

**GEOLOGIA Y CARACTERIZACION DE LOS CARBONES DE LA
FORMACIÓN UMIR EN EL SINCLINAL DE LOS ANDES,
DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**JORGE ANDRES DURAN RODRIGUEZ
CARLOS ORLANDO SUAREZ RUEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – QUIMICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2006**

**GEOLOGIA Y CARACTERIZACION DE LOS CARBONES DE LA
FORMACIÓN UMIR EN EL SINCLINAL DE LOS ANDES,
DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**JORGE ANDRES DURAN RODRIGUEZ
CARLOS ORLANDO SUAREZ RUEDA**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar el título
de Geólogo**

Director:

**MARIO GARCÍA GONZÁLEZ, PhD.
GEÓLOGO**

Codirector:

**JORGE LUÍS GROSSO, MsC.
INGENIERO QUÍMICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO – QUIMICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2006**

DEDICATORIA

JORGE ANDRES DURAN RODRIGUEZ:

Se lo dedico a Dios por brindarme vida y salud, a mis padres por el apoyo recibido y a mis amigos por tantas experiencias vividas.

CARLOS ORLANDO SUAREZ RUEDA:

Este trabajo va dedicado a aquel Ser Supremo Dios, quien me da fuerzas cada día de sacar adelante mis proyectos, metas y anhelos, y en especial, por lograr escribir este libro.

A mis padres, Orlando y Edilia, que son un aliento en mi vida a diario y un apoyo incondicional.

A todos mis familiares que aportaron un granito durante tantos días de trabajo en este libro, que siempre lo han hechos y lo seguirán haciendo.

Mis amigos del alma, que después de tantos años aun siguen presentes y a aquellos que la universidad me permitió conocer.

Y por último, en especial a Adriana, que más de la mitad de mi vida universitaria estuvo a mi lado, por su apoyo, por sus días, por su amor, y a pesar de las dificultades aun esta ahí y estará en mí corazón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este libro le dan los más sinceros agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander.

A Colciencias por el proyecto y su apoyo económico.

Al profesor Mario García González por ser nuestro director y compañero.

Al profesor Jorge Luís Grosso que igualmente, fue un apoyo.

Y a todas las personas que colaboraron de una u otra forma para la culminación exitosa de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	2
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
1.3 LOCALIZACION DE LAS AREAS DE ESTUDIO.....	3
1.3.1 Zona de la Vereda La Salina.....	5
1.3.2 Zona de la Vereda Vizcaína Alta.....	5
1.3.3 Zona de la Quebrada Mata de Cacao.....	6
1.4 ANTECEDENTES.....	8
2. METODOLOGIA.....	11
2.1 RECOPIACION BIBLIOGRAFICA.....	11
2.2 TRABAJO DE CAMPO.....	12
2.2.1 Cartografía Geológica.....	12
2.2.2 Levantamiento de las Columnas Estratigráficas.....	26
2.2.3 Muestreo de Carbones.....	31
2.2.4 Mapa Geológico de Campo.....	37
2.3 PREPARACION DE MUESTRAS (Ver Figura 32.).....	38
2.4 ANALISIS DE LABORATORIO.....	38
2.4.1 Análisis Proximales.....	41
2.4.1.1 Humedad Residual (Ver Figuras 37 y 38.).....	41
2.4.1.2 Cenizas (Ver Figuras 39 y 40.).....	42
2.4.1.3 Materia Volátil (Ver Figuras 41 y 42.).....	44
2.4.1.4 Carbono Fijo (Ver Figura 43.).....	46

2.4.1.5 Clasificación del carbón por rangos.	48
2.4.2 Análisis de Índice de Hinchamiento (IH) (<i>Ver Figura 44.</i>)	50
2.4.3 Poder Calorífico (BTU) (<i>Ver Figura 48.</i>).....	53
2.5 PETROGRAFIA DE CARBONES	57
2.5.1 Descripción Macroscópica (<i>Ver Figura 53.</i>)	58
2.5.2 Descripción Microscópica.	60
2.5.2.1 Descripción de macerales (<i>Ver Figura 59.</i>).....	60
2.5.2.2 Reflectancia de Vitrinita (Ro) (<i>Ver Figura 60.</i>)	63
2.6 INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	65
3. MARCO GEOLOGICO.....	66
3.1 ESTRATIGRAFIA REGIONAL	66
3.1.1 Formación La Luna (Ksl).....	68
3.1.2 Formación Umir (Ksu).....	68
3.1.2.1 Miembro inferior (Ksu1).....	70
3.1.2.2 Miembro Medio (Ksu2).....	70
3.1.2.3 Miembro Superior (Ksu3).....	71
3.1.3 Formación Lisama (Tpl)	71
3.1.4 Cuaternario.	72
3.1.4.1 Depósitos Coluviales (Qc).....	72
3.1.4.2 Depósitos Aluviales (Qal).....	72
4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	73
4.1 SINCLINAL DE LOS ANDES	75
4.2 FALLA DE LA SALINA	75
4.3 FALLA DE SAN LUIS.....	76
4.4 FALLA DE FLORENCIO	76
5. ESTRATIGRAFIA EN LAS ZONAS DE ESTUDIO.....	78
5.1 ZONA DE LA VEREDA LA SALINA (<i>Ver Figura 66.</i>).....	78
5.2 ZONA LA VEREDA VIZCAINA ALTA (<i>Ver Figura 73.</i>)	85
5.3 ZONA DE LA QUEBRADA MATA DE CACAO (<i>Ver Figura 77.</i>)	88

6. FACIES.....	95
7. CARACTERIZACION GEOQUIMICA Y PETROGRAFICA DE CARBONES	97
7.1 RESULTADOS DE LOS ANALISIS GEOQUIMICOS	97
7.1.1 Análisis Proximales.	97
7.1.2 Análisis de Índice de Hinchamiento (IH).	99
7.1.3 Poder Calorífico (BTU).....	100
7.2 RESULTADOS DE LOS ANALISIS PETROGRAFICOS.....	100
7.2.1 Macroscópicos.	100
7.2.2 Microscópicos.	119
7.2.2.1 Macerales.	119
7.2.2.2 Reflectancia de Vitrinita (Ro).	125
8. AMBIENTE DE DEPOSITACION DE LA FORMACION UMIR	127
CONCLUSIONES	129
REFERENCIAS CITADAS	132

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normas ASTM para los Análisis Proximales.	41
Tabla 2. Tabla de Clasificación de Carbones.	49
Tabla 3. Norma ASTM para el cálculo del Índice de Hinchamiento.	50
Tabla 4. Norma ASTM para el cálculo del Poder Calorífico.	54
Tabla 5. Hoja de calidad de carbones de La Vereda La Salina.	98
Tabla 6. Hoja de calidad de carbones de La Quebrada Mata de Cacao.	99
Tabla 7. Resultado de Índice de Hinchamiento de La Vereda La Salina.	100
Tabla 8. Resultados de Índice de Hinchamiento de La Quebrada Mata de Cacao.	100
Tabla 9. Resultado del Poder Calorífico del área de la Vereda La Salina.	100
Tabla 10. Tabla de clasificación del tipo de banda (Tipo de carbón).	102
Tabla 11. Tabla de clasificación de Frecuencia de Fracturas.	103
Tabla 12. Tabla de tipo de fracturas.	103
Tabla 13. Tabla de clasificación de tipo de carbón, según Diessel.	104
Tabla 14. Datos de clasificación, primera muestra del manto de 1m.	106
Tabla 15. Datos de clasificación, segunda muestra del manto de 1m.	107
Tabla 16. Datos de clasificación, tercera muestra del manto de 1m.	109
Tabla 17. Datos de clasificación, primera muestra del manto de 3.0m.	111
Tabla 18. Datos de clasificación, segunda muestra del manto de 3.0m.	112
Tabla 19. Datos de clasificación, tercera muestra del manto de 3.0m.	114
Tabla 20. Datos de clasificación, primera muestra del manto de 1.8.0m.	116
Tabla 21. Datos de clasificación, segunda muestra del manto de 1.8.0m.	117
Tabla 22. Datos de clasificación, tercera muestra del manto de 1.8.0m.	119
Tabla 23. Grupo de macerales de carbones duros.	120

Tabla 24. Composición maceral del área de La Vereda La Salina.	124
Tabla 25. Composición maceral del área de la Quebrada Mata de Cacao.	125
Tabla 26. Lecturas de Ro promedio para La Vereda La Salina.	126
Tabla 27. Lecturas de Ro promedio para la Quebrada Mata de Cacao.	126

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Imagen satelital del V.M.M, ubicando las áreas de estudio.	3
Figura 2. Localización de las tres zonas de estudio del presente proyecto.	4
Figura 3. Ubicación de la zona de estudio de La Vereda La Salina.	6
Figura 4. Ubicación de la zona de estudio de La Vereda Vizcaína Alta.	7
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio de La Quebrada Mata de Cacao.	8
Figura 6. La vegetación, un problema para el desarrollo del trabajo.	12
Figura 7. Afloramientos de carbón de la Formación Umir.	13
Figura 8. Forma de pasar de formato .hdf a .tiff.	15
Figura 9. Presentación del software ArcView.	16
Figura 10. Ventana de las extensiones.	16
Figura 11. Propiedades del proyecto a crear.	17
Figura 12. Forma de pasar a formato .shp.	18
Figura 13. Vista donde se visualiza toda la información.	18
Figura 14. Mapa de elevación del terreno.	19
Figura 15. Modelo digital 3D del terreno.	20
Figura 16. Extensión necesaria para visualizar la imagen satelital.	20
Figura 17. Imagen satelital en Multi-Band, Band RED, GREEN and BLUE.	21
Figura 18. Imagen satelital en Single Band, Band 3, escala de grises.	22
Figura 19. Imagen satelital con toda la información interpretada.	23
Figura 20. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno.	24
Figura 21. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno de La Vereda La Salina.	27

Figura 22. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno de La Vereda Vizcaína.	28
Figura 23. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno de La Quebrada Mata Cacao.	29
Figura 24. Elaboración de columnas estratigráficas en campo.	30
Figura 25. Procedimiento para la toma de muestras de afloramiento en carbones.	32
Figura 26. Muestra de afloramiento o muestra de mano de carbón.	33
Figura 27. Procedimiento a seguir en la toma de muestras de canal.	34
Figura 28. Selección y ubicación mejor posible del sitio a trabajar.	35
Figura 29. Limpieza de todo el material estéril del manto y del suelo.	36
Figura 30. Usando cincel y martillo tomar las muestras.	36
Figura 31. Ficha de identificación de muestras.	37
Figura 32. Procedimiento para la preparación y cuarteo de muestras.	38
Figura 33. Proceso de Trituración.	39
Figura 34. Proceso de cuarteo.	39
Figura 35. Equipo de cuarteo y molienda.	40
Figura 36. Tipo de tamizadores.	40
Figura 37. Procedimiento para determinar la Humedad Residual en muestras de carbón.	42
Figura 38. Balanza y Horno usado en la prueba de Humedad Residual.	43
Figura 39. Procedimiento para determinar Cenizas en muestras de carbón.	44
Figura 40. Mufla y Desecador usados en la prueba de Cenizas.	45
Figura 41. Procedimiento para determinar la Materia Volátil en muestras de carbón.	46
Figura 42. Protección en el uso de la mufla en la prueba de Materia Volátil.	47
Figura 43. Procedimiento para calcular el Carbono Fijo en muestras de carbón.	48
Figura 44. Procedimiento para determinar el Índice de Hinchamiento en muestras de carbón.	50

Figura 45. Tubo de asbesto con soporte triangular usado en la prueba.	51
Figura 46. Quemado de la Materia Volátil.	52
Figura 47. Botón de coque resultado al final de la prueba.	52
Figura 48. Procedimiento para determinar el Poder Calorífico en muestras de carbón.	53
Figura 49. Bomba Calorimétrica usada para el poder calorífico.	55
Figura 50. Ensamble de la bomba calorimétrica.	55
Figura 51. Determinación del contenido total de azufre mediante el Método de Eschka.	56
Figura 52. Calentamiento de muestras para eliminar y filtrar contenidos de Na_2CO_3 .	56
Figura 53. Procedimiento para la descripción macroscópica	58
Figura 54. Equipo usado en los cortes de litotipos en carbones.	59
Figura 55. Proceso de pulimento.	59
Figura 56. Proceso de brillo.	60
Figura 57. Procedimiento para elaborar secciones pulidas de carbón.	61
Figura 58. Sección pulida de carbón.	61
Figura 59. Procedimiento para la descripción de macerales en secciones pulidas.	62
Figura 60. Procedimiento par la toma de lecturas de Ro.	63
Figura 61. Pulidora automática Wurtz.	64
Figura 62. Equipos empleados en la descripción microscópica.	64
Figura 63. Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.	67
Figura 64. Sinclinal de Los Andes y su conjunto de fallas.	74
Figura 65. Pliegue local de la zona de la Quebrada Mata de Cacao.	77
Figura 66. Manto de carbón del lugar donde se levanto la sección de La Salina.	78
Figura 67. Imagen satelital de la zona de estudio de la Vereda La Salina.	79
Figura 68. Concreción de limonita intercalada con arcillolita.	80

Figura 69. Manto de carbón.	81
Figura 70 Manto de carbón alterado por el paso del agua.	82
Figura 71. Manto de carbón de 1m de espesor.	84
Figura 72. Manto de carbón de 3.0m de espesor.	84
Figura 73. Fotografía donde se levanto la sección en Vizcaína Alta.	85
Figura 74. Imagen satelital del área de estudio de la Vereda Vizcaína Alta.	86
Figura 75. Cintas de carbón.	87
Figura 76. Zona de vegetación con coluviones de diversos tamaños.	87
Figura 77. Panorámica de la sección levantada en la Quebrada Mata de Cacao.	88
Figura 78. Imagen satelital del área de estudio de la Quebrada Mata de Cacao.	89
Figura 79. Plegamiento local de arcillolitas, intercaladas con niveles de limolita oxidada.	90
Figura 80. Intercalación de shale con niveles de limolita.	91
Figura 81. Manto de carbón de 2m con trazas amarillas de azufre.	93
Figura 82. Intercalación de base a techo de shale carbonoso físil, liditas, shale masivo y shale gris físil meteorizado.	94
Figura 83. Corte de la primera muestra de carbón del manto de 1.0m.	105
Figura 84. Corte de la segunda muestra de carbón del manto de 1.0m.	107
Figura 85. Corte de la tercera muestra de carbón del manto de 1.0m.	108
Figura 86. Corte de la primera muestra de carbón del manto de 3.0m.	110
Figura 87. Corte de la segunda muestra de carbón del manto de 3.0m.	112
Figura 88. Corte de la tercera muestra de carbón del manto de 3.0m.	113
Figura 89. Corte de la primera muestra de carbón del manto de 1.80m.	115
Figura 90. Corte de la segunda muestra de carbón del manto de 1.80m.	117
Figura 91. Corte de la tercera muestra de carbón del manto de 1.80m.	118

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa geológico del área de la Vereda La Salina.	135
Anexo 2. Mapa geológico del área de la Vereda Vizcaína Alta.	135
Anexo 3. Mapa geológico del área de la Quebrada Mata de Cacao.	135
Anexo 4. Columna estratigráfica del área de la Vereda La Salina.	135
Anexo 5. Columna estratigráfica del área de la Vereda Vizcaína alta.	135
Anexo 6. Columna estratigráfica del área de la Quebrada Mata de Cacao.	135
Anexo 7. Microfotografías de Macerales.	135

RESUMEN

TITULO: GEOLOGIA Y CARACTERIZACION DE LOS CARBONES DE LA FORMACIÓN UMIR EN EL SINCLINAL DE LOS ANDES, DEPARTAMENTO DE SANTANDER *

AUTORES: DURAN RODRIGUEZ Jorge A., SUAREZ RUEDA Carlos O.**

PALABRAS CLAVES: Formación Umir – Análisis Proximales – Poder Calorífico – Índice de Hinchamiento – Petrografía de Carbones – Reflectancia de Vitrinita.

La Formación Umir ubicada en la cuenca del Valle Medio del Magdalena, es un conjunto de rocas depositadas en el Cretáceo Superior (Maestrichtiano) y esta constituida principalmente por una sucesión de arcillolitas grises de laminación plano paralela intercalada con limolitas rojas, algunos niveles de shale, cuarzo-arenita de grano fino a medio y niveles de carbón de variado espesor, que señalan un ambiente de depósito de lagoon con zonas pantanosas de aguas tranquilas y poco profundas.

Se levantaron en total tres columnas estratigráficas de la formación en estudio en el flanco Este y Oeste de Sinclinal de Los Andes, donde se tomaron muestras de carbón de los mantos más representativos, siguiendo los parámetros establecidos para la etapa de muestreo de campo según ECOCARBON (1995). Los muestreos realizados fueron de tipo de Canal y Afloramiento, con el fin de obtener una muestra representativa del manto.

Los análisis geoquímicos y petrográficos practicados a las muestras de carbón señalaron resultados para la zona de la salina, carbones bajos en cenizas (2.96%), alta materia volátil y alto poder calorífico, con una reflectancia de vitrinita de 0.5, clasificándolos como carbones Bituminosos Altos en Volátiles B. Para la zona de la Quebrada Mata de Cacao, los resultados son de altos en cenizas (36.04%), bajos en carbono fijo y materia volátil, con una reflectancia de vitrinita de 0.3, clasificándolos como carbones Bituminosos Altos en Volátiles tipo B y C.

* Tesis.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímica, Escuela de Geología, Geólogo Ph.D., Mario García González, Director.

ABSTRACT

TITTLE: GEOLOGY AND CHARACTERIZATION OF COALS IN THE UMIR FORMATION IN THE LOS ANDES SYNCLINE, SANTANDER DEPARTMENT*

AUTHORS: DURAN RODRIGUEZ Jorge A., SUAREZ RUEDA Carlos O.**

KEY WORDS: Umir Formation – Proximal Assays – Calorific Value – Swelling Index – Petrography of Coals – Vitrinite Reflectance.

The Umir Formation is located in the middle Magdalena Basin, is a group of rocks deposited in the Upper Cretaceous (Maastrichtian), is composed of a succession of gray clay stone with parallel plane lamination inserted with red siltstone, shale, sandstone and coals with varied thickness, what indicates a deposit environment of lagoon with swampy areas and shallow depth waters and slow current action.

Three stratigraphic sections were made on the Umir Formation, two in the west flank and one in the east flank of the Los Andes Syncline, where some samples of the most representative coal – bed were taken following the standard procedure established by ECOCARBON (1995).

The Geochemical and Petrographic assays applied to the coal samples show the following results: The La Salina area, has coals with low ash content (2.96%), high volatile matter and high calorific value, and a vitrinite reflectance of 0.5, all this results classify the samples as Bituminous coal high volatile B. The Mata de Cacao area, has coals with high ash content (36.04%), low fixed carbon and volatile matter, with a vitrinite reflectance of 0.3. all this results classify the samples as Bituminous coal high volatile B and C.

* Thesis.

** Faculty of Physics – Chemistry Engineerings, Geology School, Geologist Ph.D., Mario García González, Director.

INTRODUCCIÓN

La Industria del Carbón ha experimentado durante los últimos años, una reactivación masiva en todo el territorio colombiano de grandes magnitudes, donde ha mostrado interés principalmente en conocer las características geológicas de los yacimientos de carbón, así como las geoquímicas y petrográficas, donde la petrografía se muestra como una nueva y útil herramienta que ayuda a definir las propiedades del carbón tales como su coquizabilidad y el ambiente de depositación.

Este estudio fue realizado en La Formación Umir, en el Departamento de Santander y tiene como finalidad principal levantar tres columnas estratigráficas ubicadas en tres puntos diferentes de la formación en estudio, sobre las cuales se consignaron datos estructurales, datos de facies y ambientes. Se tomaron muestras de carbón de los mantos más representativos en cada sección estratigráfica, teniendo en cuenta las normas y procedimientos establecidos por ECOCARBON (1995); las muestras pasaron por una etapa previa de preparación (Trituración, Cuarteo y Tamizado), con el fin de adecuarlas para la caracterización geoquímica y petrográfica y así definir la calidad de los carbones de la zona.

El área de estudio presenta mucha vegetación espesa selvática con poca exposición de afloramientos con zonas de difícil acceso, por lo que se incluye una etapa de foto – interpretación a partir de imágenes satelitales tipo ASTER, manejando el software ArcView GIS 3.1, para lograr hacer una cartografía geológica donde se ubicaron datos estructurales como principales fallas, rumbos, buzamientos y trazar los contactos de la Formación Umir.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la cartografía geológica y caracterización geoquímica y petrográfica de los carbones de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, departamento de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar áreas con mayor exposición de estratos para la medición y descripción de columnas estratigráficas detalladas de la Formación Umir, ubicando y georreferenciando los mantos de carbón presentes.

Hacer un muestreo de carbón detallado de cada uno de los mantos seleccionados, tomando aproximadamente entre 40 a 50Kg de muestra de cada uno de ellos.

Preparar y cuartear las muestras para los análisis de laboratorio teniendo en cuenta las normas establecidas por ECOCARBON (1995).

Realizar la caracterización geoquímica de los carbones muestreados, teniendo en cuenta las normas ASTM para los Análisis Proximales, Índice de Hinchamiento y Poder Calorífico.

Describir petrográficamente los diferentes mantos de carbón de forma macroscópica, acompañada de una microscopía óptica de Reflectancia de Vitritina y contenido de macerales.

1.3 LOCALIZACION DE LAS AREAS DE ESTUDIO

En general, la zona que contiene las tres áreas de estudio, se encuentran ubicadas al occidente del departamento de Santander sobre el Valle Medio del río Magdalena en el flanco occidental de la Cordillera Oriental (Ver Figuras 1 y 2.).

Su principal vía de acceso es la Troncal que une a Bucaramanga con el municipio de Barrancabermeja; y de Barrancabermeja hacia el municipio de El Carmen pasando por Yarima, donde la vía presenta algunos trayectos pavimentados y otros destapados que en épocas de lluvia dificultan su acceso.

Figura 1. Imagen satelital del V.M.M, ubicando las áreas de estudio.

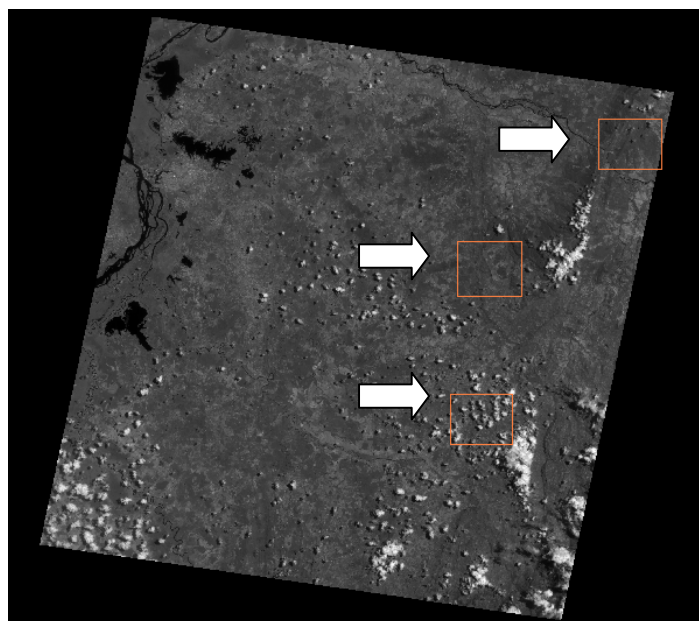
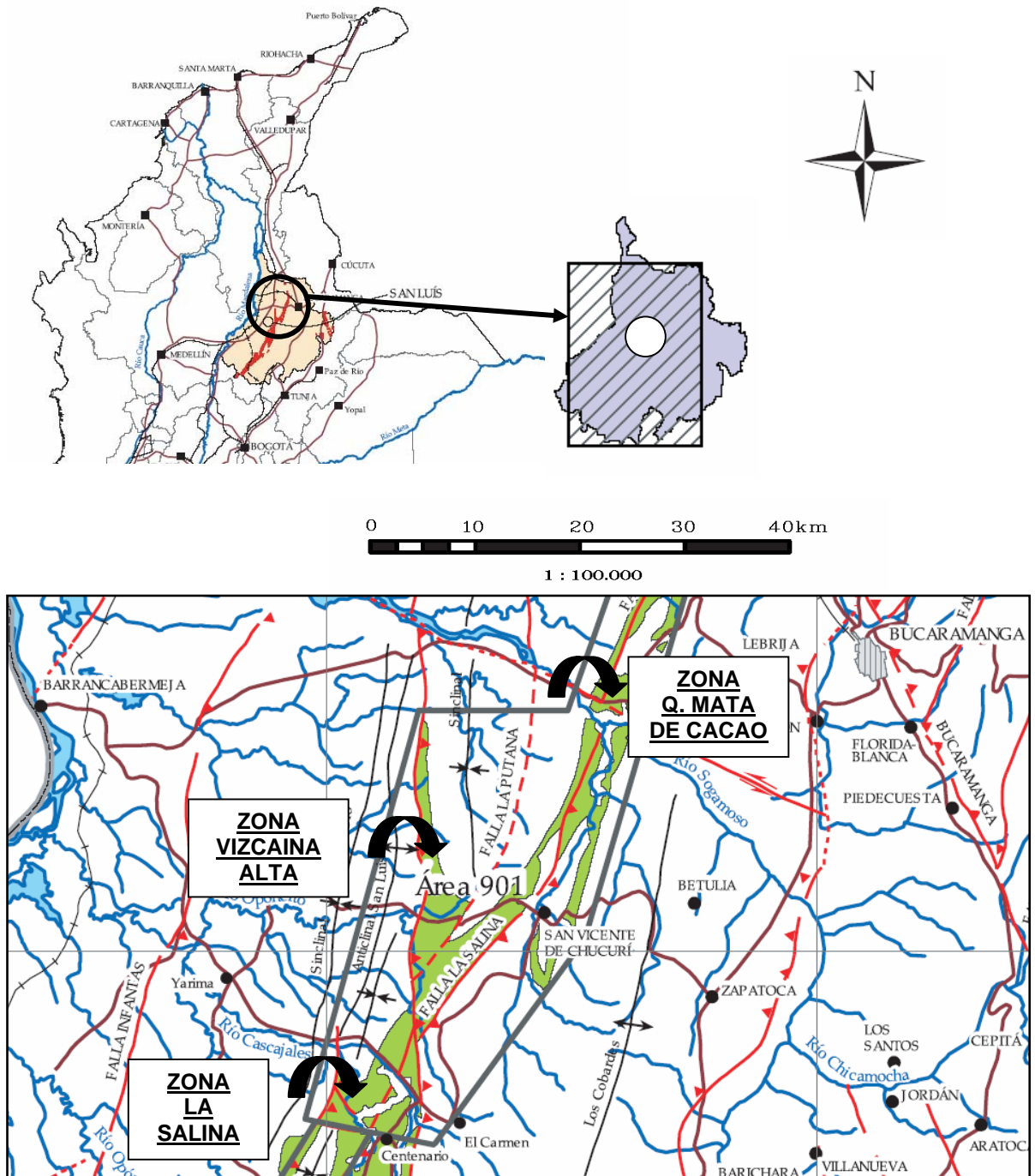


Figura 2. Localización de las tres zonas de estudio del presente proyecto.
 (Tomado de INGEOMINAS, 2004).



1.3.1 Zona de la Vereda La Salina.

La zona se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas (Ver Figura 3.):

$$\begin{array}{lll} X = 1'240.000 & Y = 1'057.000 & Z = 300m \\ X = 1'248.000 & Y = 1'060.000 & Z = 600m \end{array}$$

Se llega al lugar por la vía que conduce de Bucaramanga hacia el municipio de Barrancabermeja, para tomar luego, la carretera que de Barrancabermeja va hacia la Vereda La Salina, pasando por Yarima.

Presenta al oriente de la vereda una cadena montañosa de aproximadamente 800m de altura, donde sus principales afluentes son el Río Cascajales y el Río Oponcito que se unen para desembocar en el Río Magdalena; además de presentar un clima calido húmedo.

1.3.2 Zona de la Vereda Vizcaína Alta.

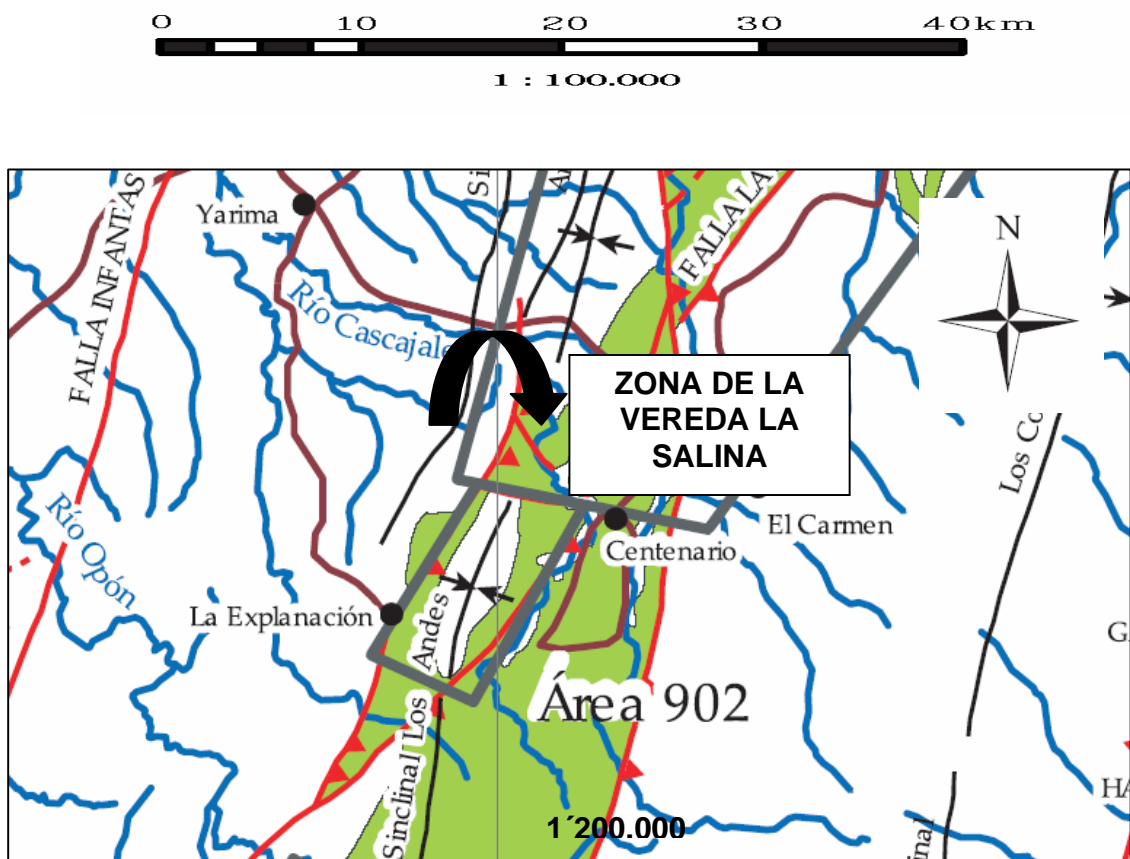
La zona se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas (Ver Figura 4.):

$$\begin{array}{lll} X = 1'260.000 & Y = 1'057.770 & Z = 170m \\ X = 1'268.000 & Y = 1'060.000 & Z = 400m \end{array}$$

Se accede al lugar por la vía principal que de Bucaramanga conduce al municipio de Barrancabermeja hasta el sitio conocido como La Fortuna, de donde se toma el desvío a margen izquierda de la vía tomando una carretera pavimentada que va hacia La Vereda Vizcaína Alta aproximadamente 30Km. de la vía principal.

Sus más rasgos sobresalientes son un cerro de 900m de altura al oriente de la vereda resaltándose de la topografía aledaña; la Quebrada Vizcaína, que junto con sus contribuyentes formando un drenaje tipo detrítico; y un clima calido húmedo. Además, la presencia de varios machines (pozos) de ECOPEPETROL.

Figura 3. Ubicación de la zona de estudio de La Vereda La Salina. (Tomado de INGEOMINAS, 2004).



1.3.3 Zona de la Quebrada Mata de Cacao.

La zona se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas (Ver Figura 5.):

$X = 1'276.000$	$Y = 1'078.000$	$Z = 300m$
$X = 1'280.000$	$Y = 1'081.000$	$Z = 500m$

Para acceder a esta zona, se toma la vía principal que conduce de Bucaramanga hacia el municipio de Barrancabermeja, aproximadamente a 60Km de Bucaramanga, sobre el puente por donde pasa la Quebrada Mata de Cacao.

Se observa un relieve abrupto caracterizado por grandes pendientes, sujetas a alta erosión y caída constante de detritos, con vegetación espesa y un clima calido húmedo.

Figura 4. Ubicación de la zona de estudio de La Vereda Vizcaína Alta. (Tomado de INGEOMINAS, 2004).

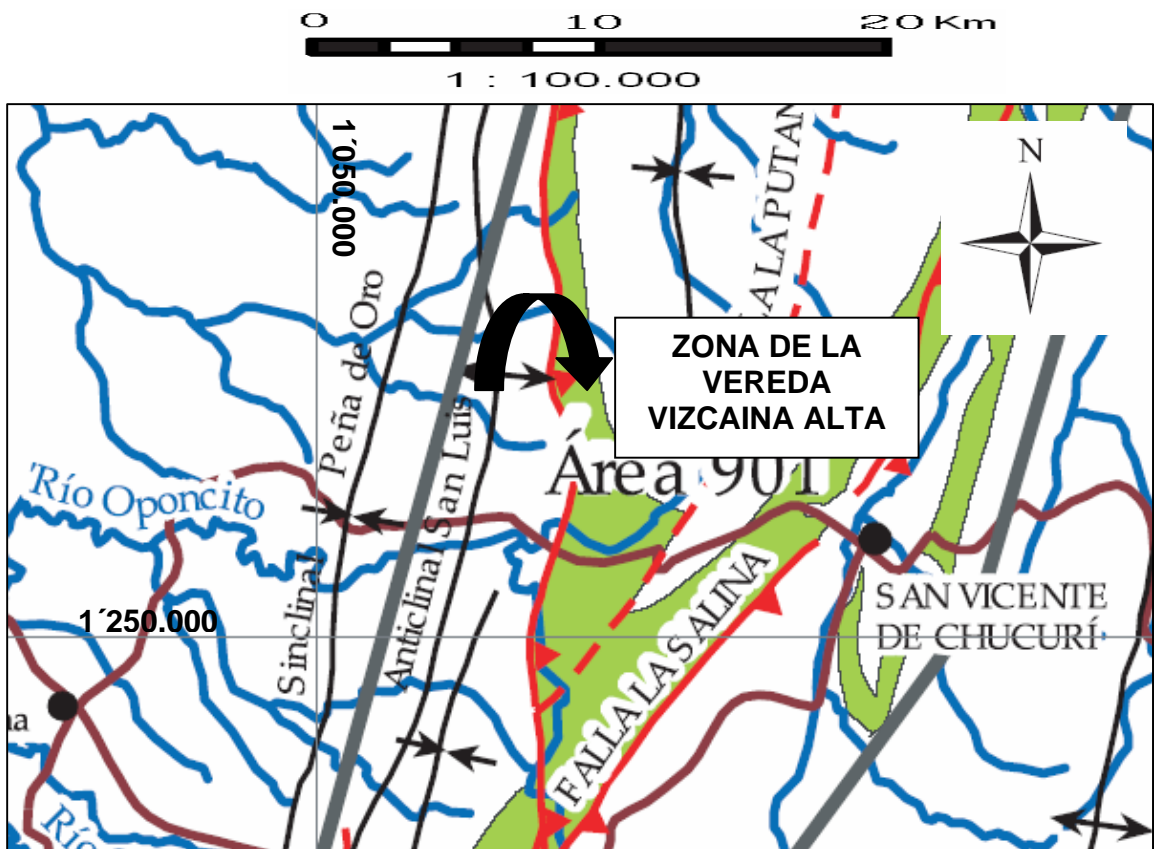
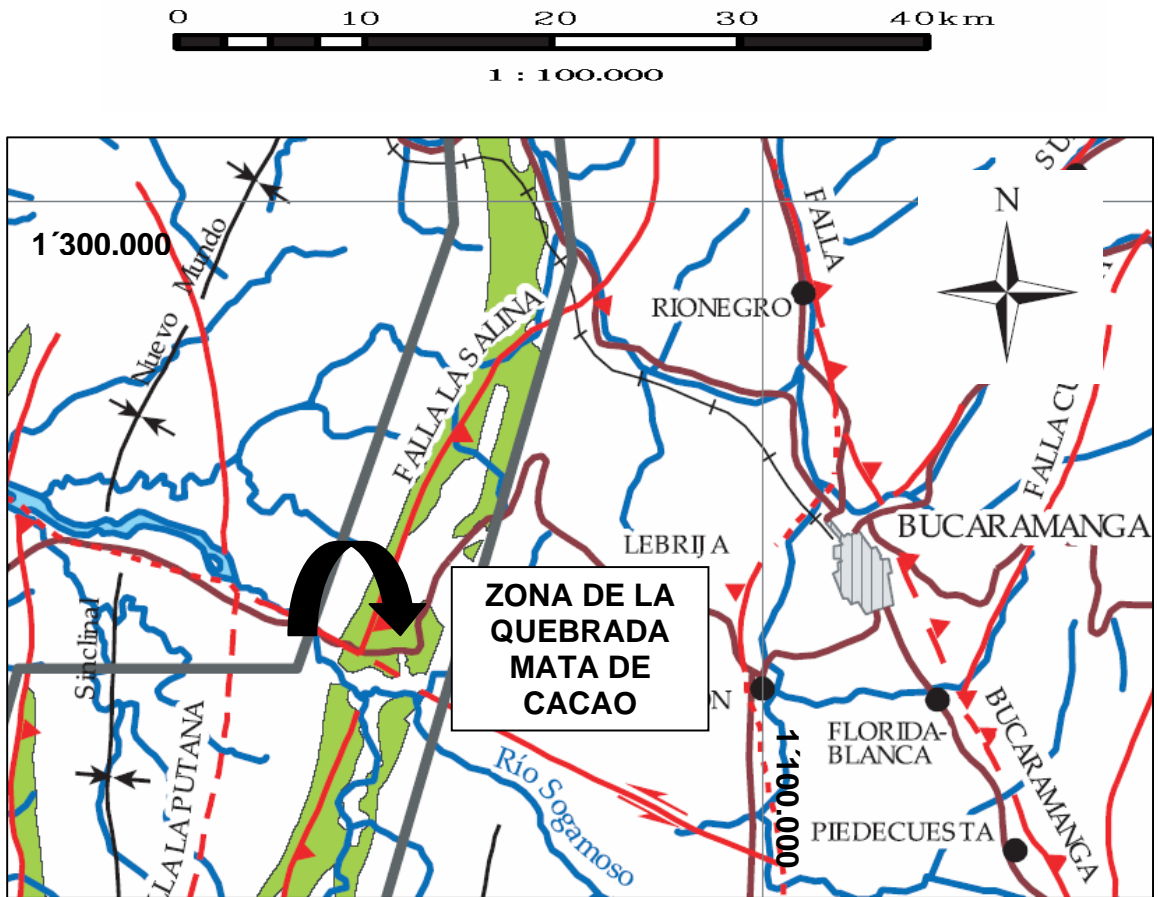


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio de La Quebrada Mata de Cacao.
(Tomado de INGEOMINAS, 2004).



1.4 ANTECEDENTES

El presente trabajo se realizó con el fin de lograr una caracterización geoquímica y petrográfica de las reservas de carbón, acompañado de un estudio estratigráfico de la Formación Umir en el área occidental del departamento de Santander.

Algunos trabajos que ya se han realizado en esta zona son presentados a continuación:

Recursos minerales de los departamentos de Santander y Norte de Santander. Boletín Geológico, Vol. 18, No. 3, Bogota. Ward, E. 1970.

Evaluación de reservas de carbón de siete zonas carboníferas de Colombia. Páb. Geológica. Esp. INGEOMINAS. No 6, Bogota. Duran, R., Mojica, P., Alvarado, B., y Lobo-Guerrero, U., 1981. Esta publicación hace una breve descripción de las principales zonas carboníferas del país, además de mostrar factores importantes para tener en cuenta en el momento de clasificar un área siendo estos los factores estructurales como buzamiento, grado de tectonismo; estratigráficos como su espesor, separación de los mantos, continuidad lateral entre otros; y la caracterización tanto fisicoquímica y petrográfica de los carbones.

Reconstrucción del ambiente de depositación del Miembro Superior de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, Departamento de Santander. Bucaramanga, Castro, E., y Gómez, F., 1988. En este proyecto logra una interpretación del ambiente de depositación del Miembro Superior de la Formación Umir con base a núcleos de perforación y registros eléctricos, haciendo énfasis en los mantos de carbón controlando sus variaciones tanto laterales como verticales.

Análisis facial, estratigrafía de secuencias y calidad de los miembros Medio y Superior de la Formación Umir en el área de San Luís, Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Piedecuesta. Ortiz, A., y Florez, I., 1997. Realiza una descripción facial y estratigráfica de la Formación Umir en el área de San Luís por medio de la interpretación sedimentológica de corazones en tres pozos perforados, usando estratigrafía de secuencias, con el fin de determinar la calidad almacenadora del Miembro Medio y Superior de la formación.

Potencial de generación de hidrocarburos de la Formación La Luna y La Formación Umir en el flanco Oriental del Valle Medio del Magdalena. Bucaramanga. Gonzáles, D., and Sánchez, C. 1999. El proyecto realiza un estudio estratigráfico de las Formaciones La Luna y Umir definiendo sus facies litológicas y ambientes de depositación. A la vez, realiza análisis geoquímicos, de TOC y de Pirolisis Rock Eval.

Umir Formation: organic geochemical and stratigraphic assessment as cosource for Middle Magdalena Basin oil, Colombia. AAPG Bulletin, Vol. 86, No. 12. Rangel, A., Moldowan, J., Niño, C., Parra, P., and Giraldo, B., 2002, pp. 2069 – 2087. El artículo evalúa a la secuencia sedimentaria de la Formación Umir como una nueva roca fuente de generación de hidrocarburos en el sistema petrolífero del Valle Medio del Magdalena, acompañado de una estratigrafía de secuencias y haciendo uso de biomarcadores que brinden información de ambientes depositacionales.

El carbón colombiano. Recursos, Reservas y Calidad. INGEOMINAS y MINERCOL. Colombia, 2002., 470p. EL libro muestra el estado del mercado a nivel nacional y mundial de la industria del carbón, destacando los principales aspectos de las diferentes zonas carboníferas de Colombia, así como la hoja de calidad de cada región y sus recursos y reservas.

2. METODOLOGIA

Para el buen desarrollo de este proyecto de investigación, se debieron seguir ciertas pautas diseñadas que permitieron una excelente obtención y discusión de resultados derivados del trabajo de campo y de los laboratorios.

2.1 RECOPIACION BIBLIOGRAFICA

En esta etapa se recopiló, clasifiqué y evalué información disponible, de trabajos realizados que describen geológicamente la zona de estudio y la caracterizan estructural y estratigráficamente, así como estudios sobre la industria minera del carbón en Santander. Además, diferentes publicaciones como revistas, artículos y boletines geológicos que lleven a un conocimiento más profundo del tema. Igualmente, mapas tanto geológicos como topográficos e imágenes satelitales.

Se consultaron documentos de entidades como ECOCARBON (1995), INGEOMINAS y MINERCOL (2004), entre otros, los cuales muestran conceptos del carbón como generación, muestreo y análisis de laboratorio. A la vez, libros que indican propiedades de los carbones y su clasificación.

2.2 TRABAJO DE CAMPO

2.2.1 Cartografía Geológica

Para esta fase fue necesario hacer un reconocimiento de la zona de estudio, con el fin de determinar que lugares eran más aptos para el estudio geológico, debido a que la región presenta una gran extensión de vegetación espesa selvática dificultando el trabajo y el muestreo de carbones (*Ver Figura 6.*).

Figura 6. La vegetación, un problema para el desarrollo del trabajo.



Se definieron tres zonas aptas para el estudio siendo estas La Vereda La Salina, La Vereda Vizcaína Alta y La Quebrada Mata de Cacao, ya que permitían observar afloramientos de la Formación Umir (*Ver Figura 7.*), y así realizar una descripción litológica, medición de espesores, toma de datos estructurales, y llevar a cabo un buen muestreo de carbones. Además de ubicar geográficamente y geológicamente los diferentes mantos.

CARTOGRAFIA GEOLOGICA CON BASE EN TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGEN SATELITAL

La gran abundancia de vegetación selvática hace imposible el acceso, además de limitar el número de afloramientos; es por este motivo que en este estudio se ha incluido una etapa de cartografía geológica a partir de imágenes satelitales tipo ASTER, la cual permite obtener una visualización general de toda la zona de estudio con una resolución de hasta 30 metros por píxel, permitiendo resaltar con mas claridad algunos aspectos geológicos como contactos, fallas y aspectos geográficos como topografía y tipos de vegetación.

Figura 7. Afloramientos de carbón de la Formación Umir.



El tratamiento de imágenes es una herramienta que en los últimos años ha venido tomando cada vez mayor importancia, ya que complementa los trabajos realizados en campo con la interpretación obtenida con base en sensores remotos.

Las imágenes ASTER son pedidas a la NASA en coordenadas latitud y longitud, donde 6°50' y 73°30' cubren toda el área de estudio; una vez descargadas las imágenes vienen en un formato .hdf que no permite el tratamiento, así que se requiere llevarse a un formato .tiff para su tratamiento.

CAMBIO DE FORMATO DE .hdf A .tiff

Para visualizar imágenes en formato .hdf se requiere del siguiente programa: ER Viewer 7.0.

El ER Viewer 7.0 es solo un visualizador de imágenes, desde el cual no se podrá realizar ningún tratamiento. Es necesario cambiar el formato de la imagen a .tiff, que es un formato mucho mas generalizado y permite ser desplegado desde cualquier programa.

Desde ER Viewer 7.0 (*Ver Figura 8.*):

File > Open File o URL.

Despliega la imagen.

Luego file > Save as

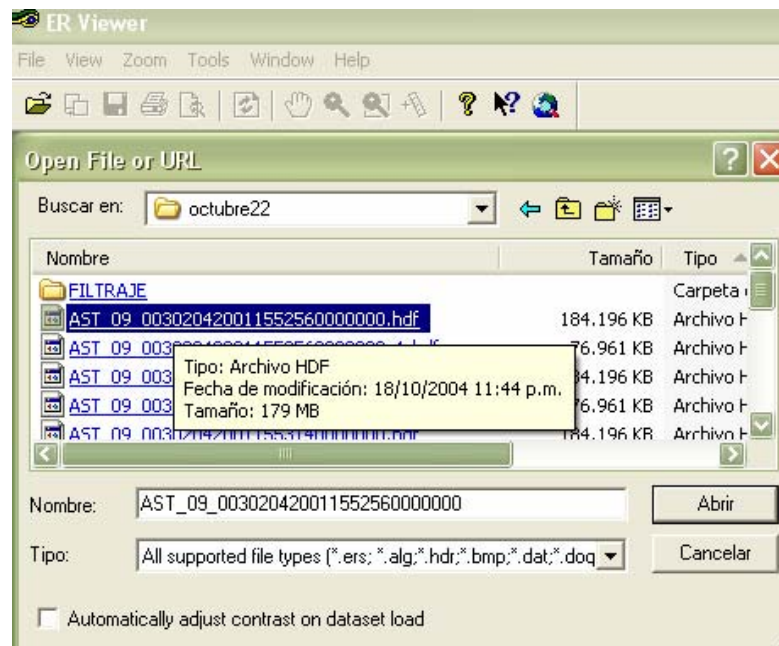
Y se escoge el formato tiff.

Este formato permitirá a la imagen conservar su ubicación espacial que por defecto viene en UTM WGS84.

GEORREFERENCIACION DE LA IMAGEN

Para la realización de la georreferenciación es necesario escoger puntos de control los cuales son rasgos posibles de identificar de modo preciso en la imagen y en el mapa, como por ejemplo el cruce de carreteras o intersección de drenajes. Se georreferencia con el fin de situar en la imagen coordenadas planas X y Y, para así ubicar las áreas de interés.

Figura 8. Forma de pasar de formato .hdf a .tiff.



INTERPRETACION CON ArcView GIS 3.1

El manejo de este software permite visualizar la imagen satelital, tratarla digitalmente e interpretarla, y así, obtener el mapa geológico, lo cual es el objetivo.

Se abre el software, donde muestra una venta (Ver Figura 9.) con tres opciones, eligiendo "with a new View"; en File > extension (Ver Figura 10.), seleccionar las extensiones necesarias y en el menú View > Properties (Ver Figura 11.) se dan en metros y metros para que todo el trabajo quede en las mismas unidades.

Figura 9. Presentación del software ArcView.

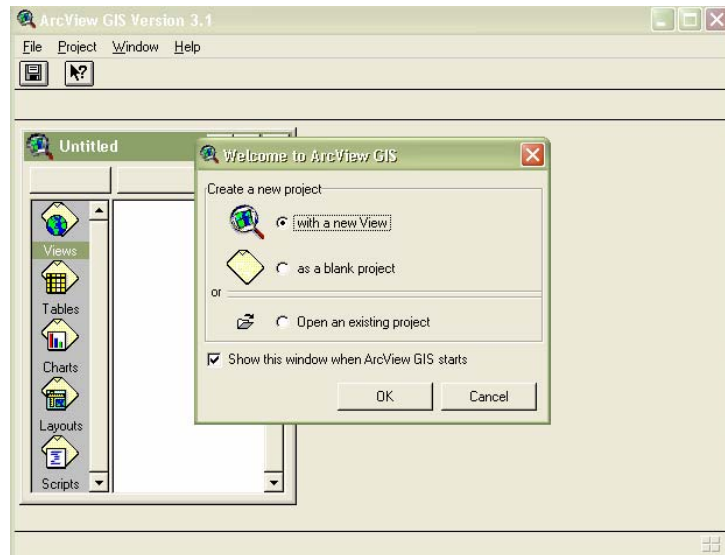


Figura 10. Ventana de extensiones.

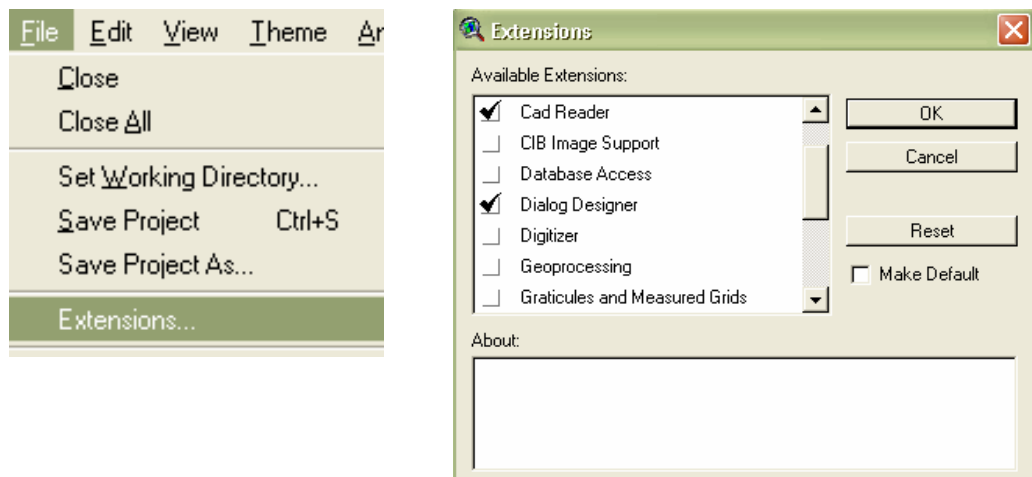
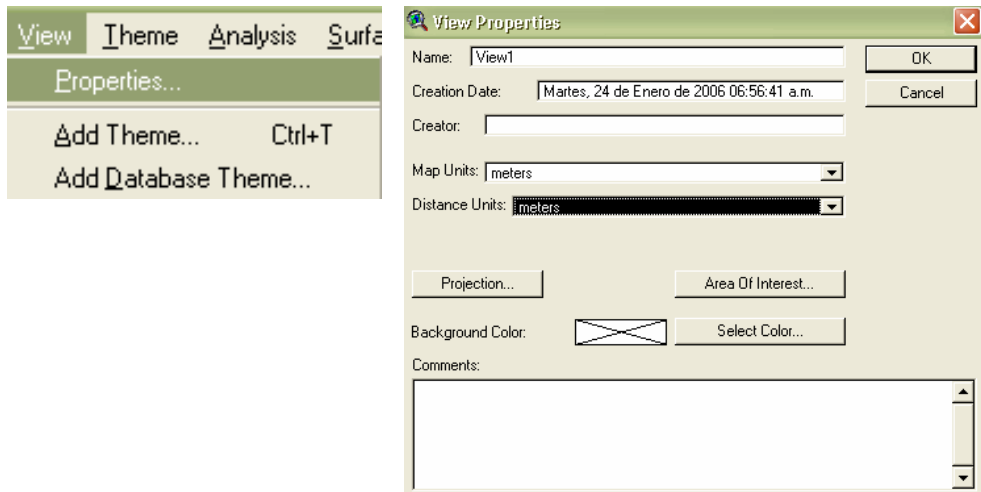


Figura 11. Propiedades del proyecto a crear.



Posterior, como se tiene de AutoCad datos de hidrografía, cotas, vías, lugares y coordenadas en formato .dwg, del área a trabajar, se adjuntan a ArcView y de desde aquí se cambian a formato .shp desde el menú Theme > Convert to Shapefile (*Ver Figura 12.*), necesario para poder dibujar sobre estas capas.

Visualizar toda la información que se adjunto (*Ver Figura 13.*); crear un mapa de pendiente para saber como son las elevaciones del terreno para así crear un modelo en 3D de la zona. Es necesario picar en la pestaña donde aparecen las cotas del terreno e ir al menú Surface > Create TIN from features y allí lo crea automáticamente el mapa de pendientes con colores, los cuales cada uno señala cierta elevación (*Ver Figura 14.*), y aparece en la pantalla con el nombre de Tin.

Figura 12. Forma de pasar a formato .shp.



Figura 13. Vista donde se visualiza toda la información.

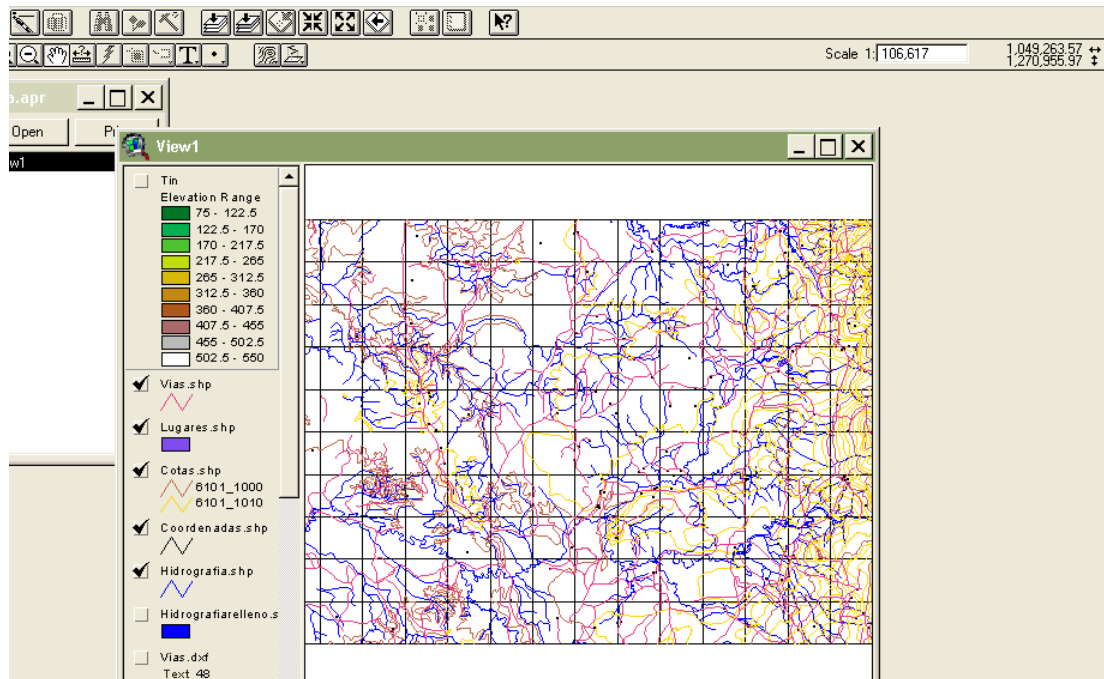
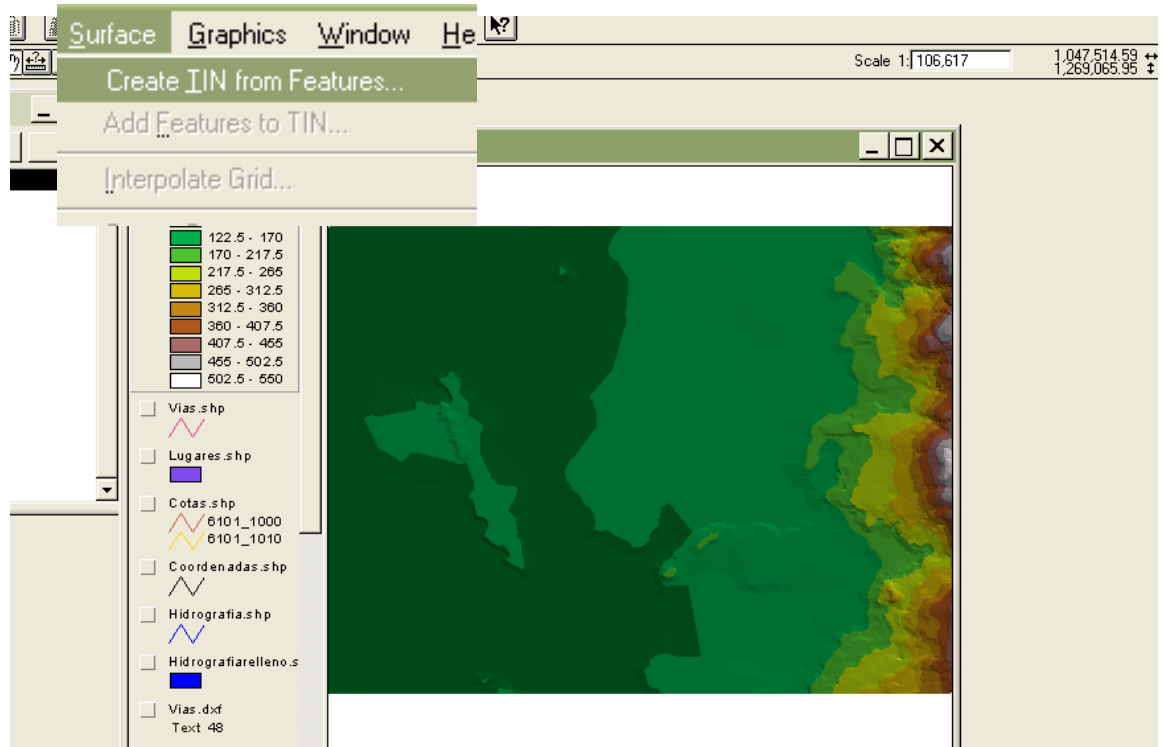
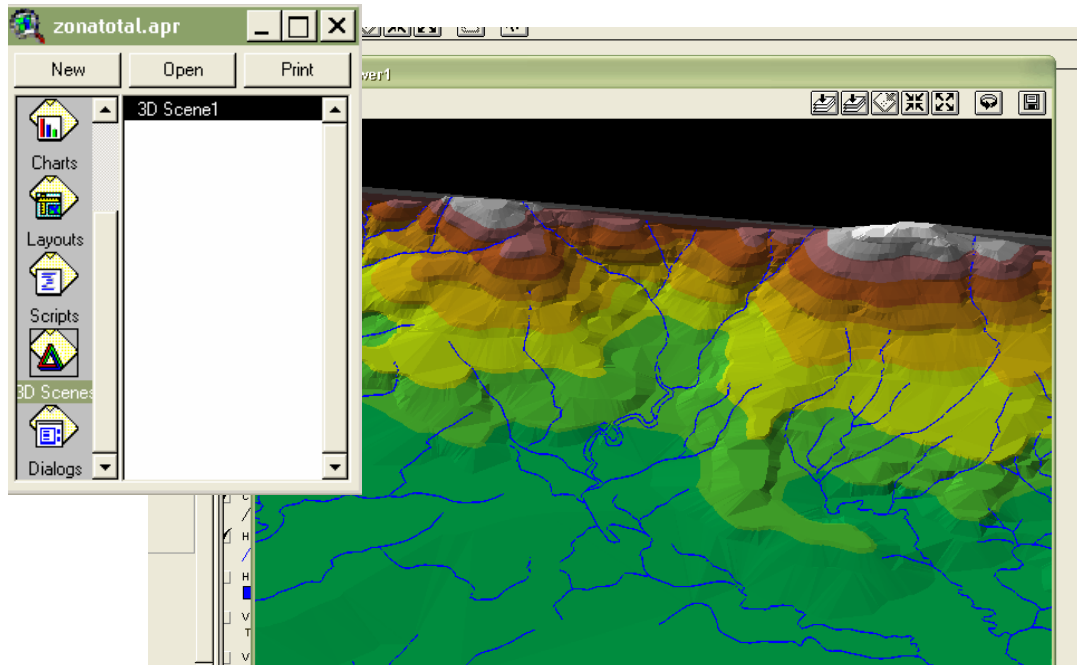


Figura 14. Mapa de elevación del terreno.



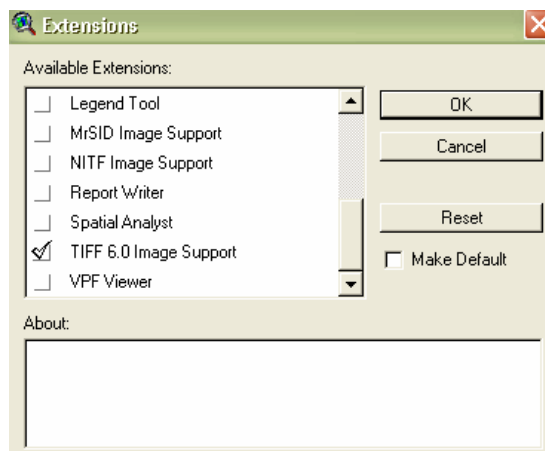
Para crear el modelo 3D, se recurre a la venta donde aparece varias opciones a la izquierda y elegir la opción 3D Scenes, y adjuntamos los diferentes temas para que modele el terreno en tercera dimensión (Ver Figura 15.).

Figura 15. Modelo digital 3D del terreno.



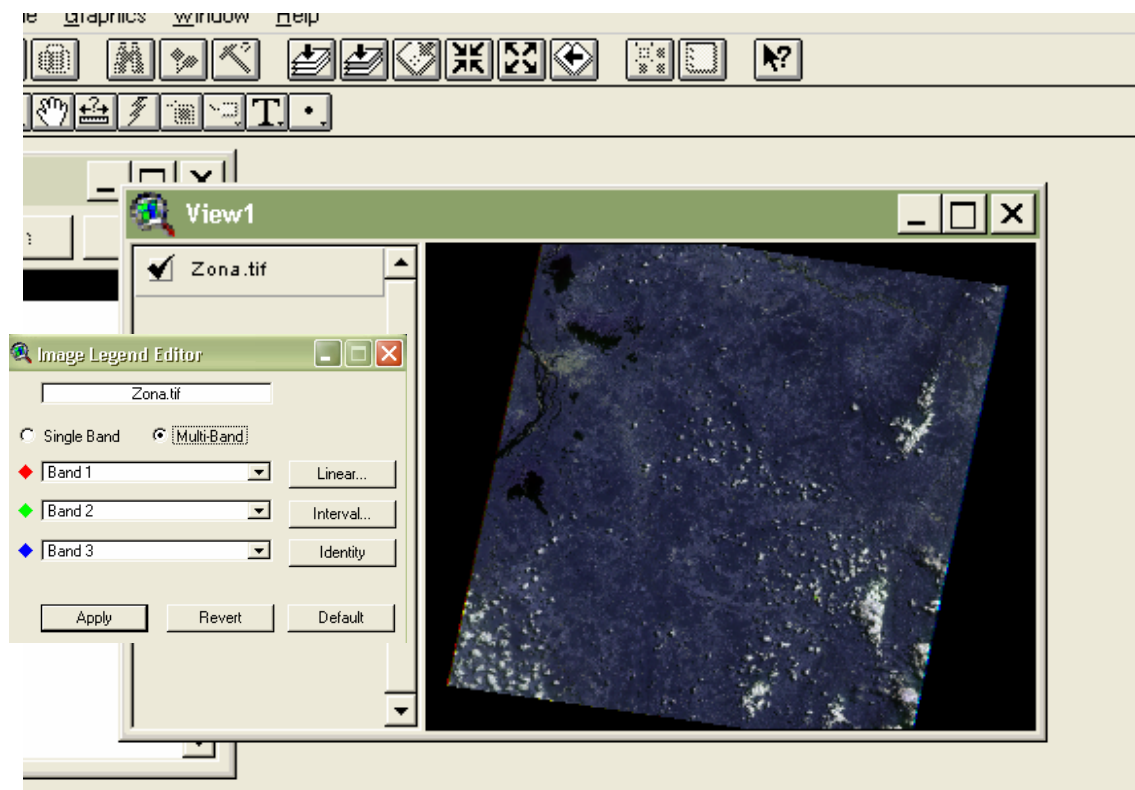
Visualizamos ahora la imagen satelital, la cual se encuentra en formato .tiff, por lo que se requiere en la parte de las extensiones del programa colocar File > Extensions TIFF 6.0 Image Support (Ver Figura 16.) para lograr verla.

Figura 16. Extensión necesaria para visualizar la imagen satelital.



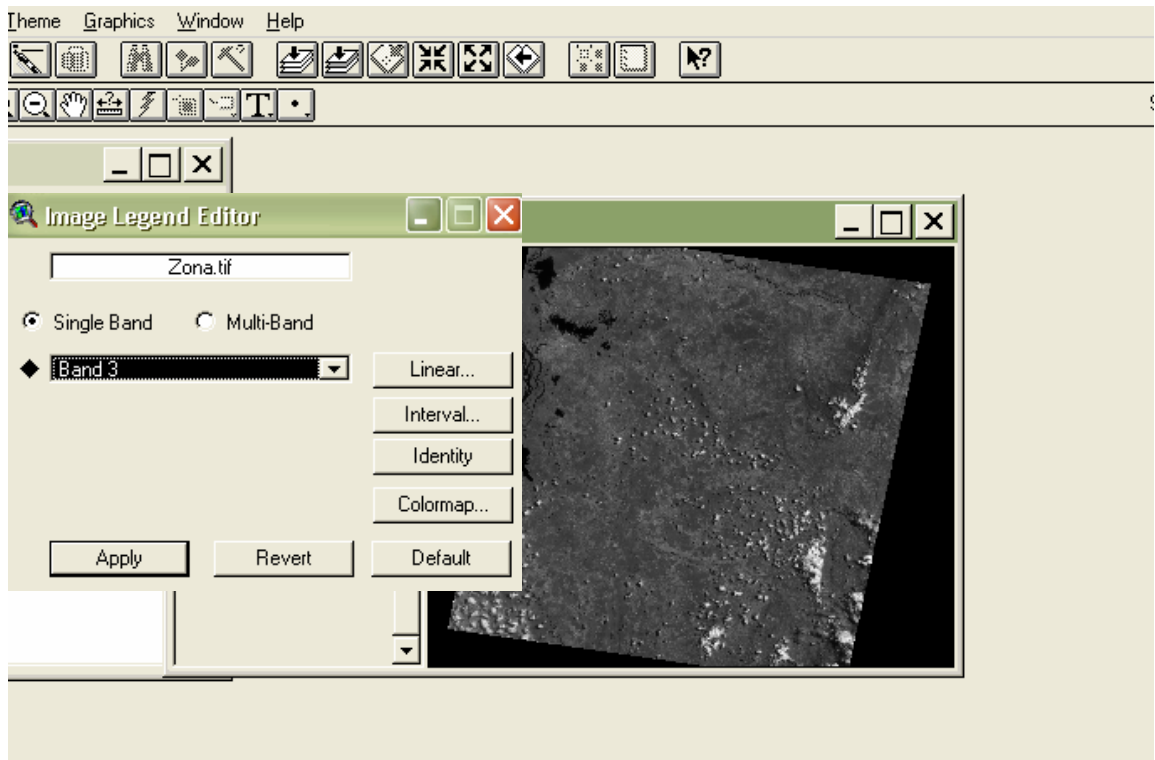
La imagen normalmente viene en Multi-Band (Ver Figura 17.), que son tres bandas que permite jugar entre ellas para lograr la mejor visualización.

Figura 17. Imágen satelital en Multi-Band, Band RED, GREEN and BLUE.



Pero en el caso de esta interpretación, se uso la **Single Band**, que es en escalas de grises, y exactamente la Band 3, donde se pudo determinar el objetivo de distinguir fallas, contactos, entre otra información (Ver Figura 18.).

Figura 18. Imagen satelital en Single Band, Band 3, escala de grises.



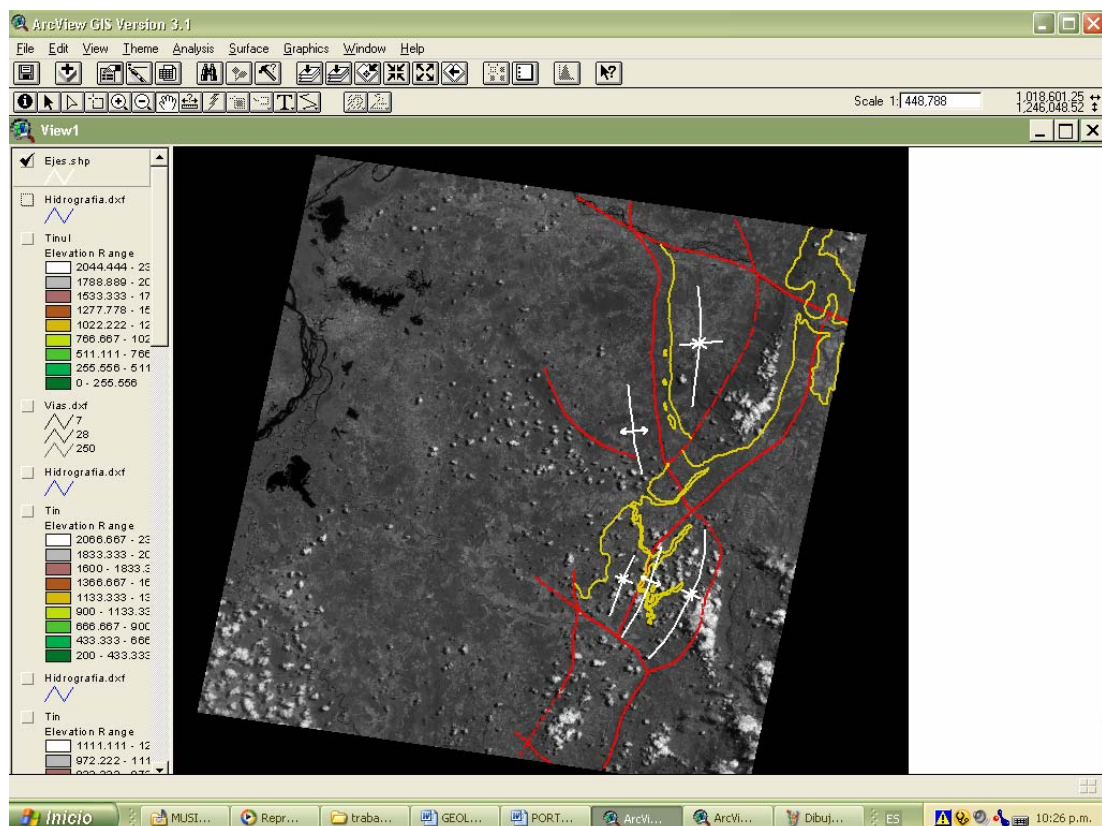
ArcView 3.1 permite montar junto con la imagen satelital, los mapas de pendientes de cada área para que así, con ayuda de la topografía y la imagen, definir los contactos geológicos, señalados de color amarillo; las fallas definidas de color rojo; y los ejes de los anticlinales y sinclinales de color blanco.

A partir de esta interpretación satelital, se logró hacer la geología de las zonas y completar la información recolectada en campo.

En esta imagen (*Ver Figura 19.*) se puede observar una completa cobertura de la zona de estudio, donde fue posible identificar a partir de lineamientos de quebradas, ríos, cerros, las principales fallas como La Salina, La Putana, La de San Luís, entre otras; además, contactos litológicos de la Formación

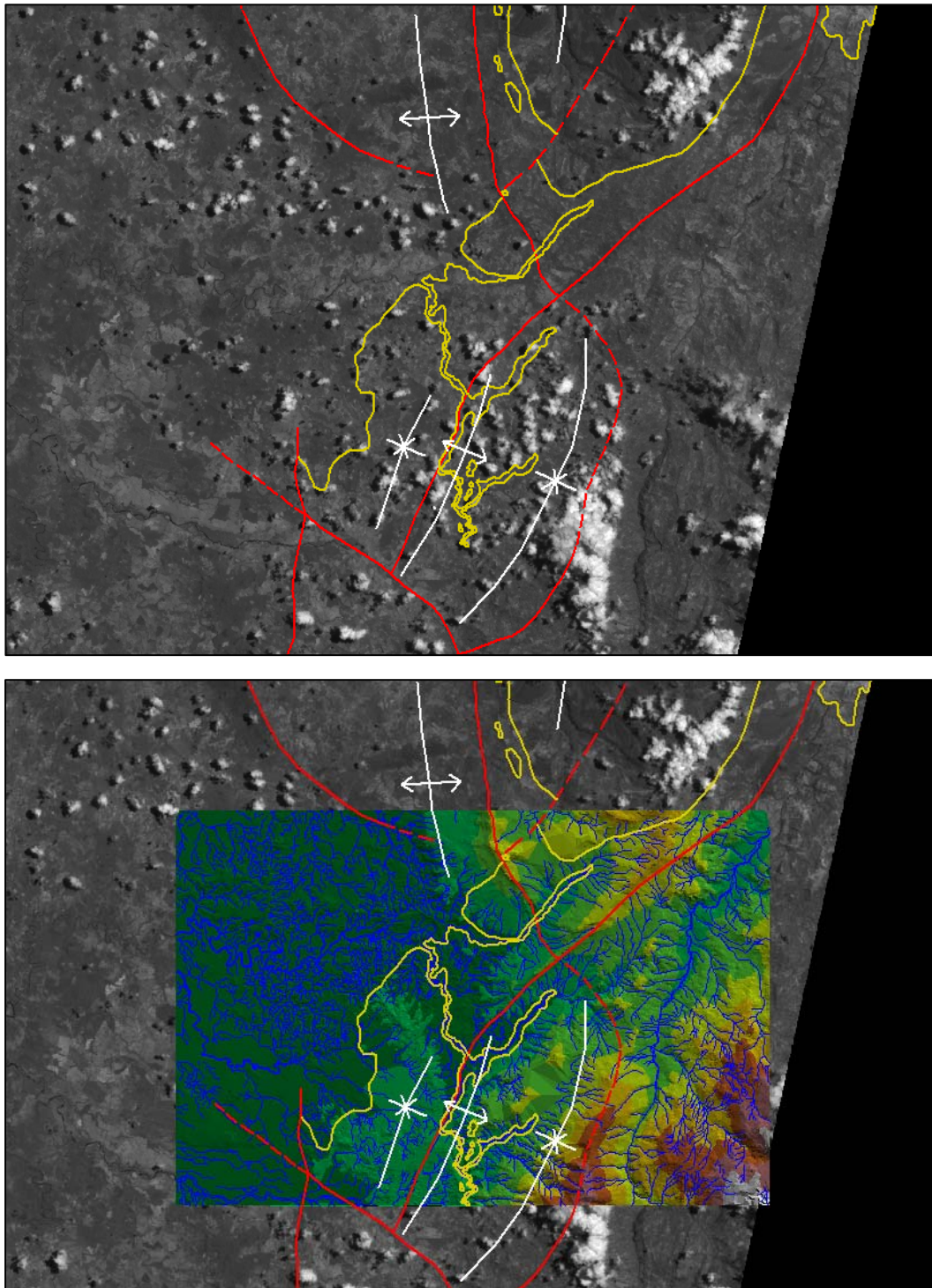
Umir con La Formación Lisama, Grupo Real y cuaternarios como los aluviones, a partir de texturas y colores; y sinclinales como el de Los Andes y de Nuevo Mundo (considerado como una extensión hacia el norte del sinclinal de los Andes).

Figura 19. Imagen satelital con toda la información interpretada. Indicando contactos, las principales fallas y anticlinales y sinclinales.



A continuación (*Ver Figura 20.*) se ve la superposición del modelo digital de elevación del terreno (mapa de pendientes) con la imagen satelital, siendo de gran ayuda porque el modelo resalta aspectos que se pueden corroborar con la imagen, tales como lineamientos de cerros para definir fallas, tonalidades de vegetación, cuaternarios, la definición mejor de los contactos, drenajes, entre otros detalles.

Figura 20. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno.



ZONA DE LA VEREDA LA SALINA

Según la interpretación de la imagen satelital (*Ver Figura 21.*), presenta como estructuras principales, una serie de fallas inversas y fallas transversales, las cuales se pudieron trazar de forma continua con ayuda de la alineación del río Oponcito y de quebradas e incluso de cerros, a excepción del borde izquierdo y derecho inferior, donde se trazaron de forma inferida ya que en esta parte de la imagen no se observaba muy claro texturas o lineamientos para poder seguirlas; se definió un sinclinal principal como el caso de el sinclinal de Los Andes, además de una serie de anticlinales y sinclinales menores, a los cuales se les hizo un control estructural en campo, tomando datos de rumbo y buzamiento para determinar sus ejes; y contacto de la Formación Umir con la Formación Lisama y cuaternarios, donde se pudo establecer un gran aluvión a lo largo del río Oponcito, ayudados por el cambio de texturas y color de un tipo de roca a otro. El tipo de contacto entre la Formación Umir y la Formación Lisama es de tipo concordante; además de diferenciar a la Formación Lisama ya que esta se encuentra en las partes altas de la Serranía de los Andes (*Ver Anexo 1.*).

ZONA DE LA VEREDA VIZCAINA ALTA

Para esta zona se observaba sobre la imagen satelital (*Ver Figura 22.*) un rasgo bien diferenciado que indica el contacto fallado de la Formación Umir con rocas del Grupo Real, debido a que se puede ver un lineamiento bien marcado de esta falla que pone en contacto estas dos formaciones, y un cambio de color y textura entre estas; así como también se definió anticlinales y sinclinales con la ayuda del control estructural realizado en campo de la toma de rumbos y buzamientos; además de diferenciar en campo que la Formación Lisama se encuentra en las partes altas de la Serranía de los andes (*Ver Anexo 2.*).

ZONA MATA DE CACAO

En la imagen satelital (*Ver Figura 23.*) se observa una tonalidad gris claro que corresponde a depósitos aluviales, y en la mayoría de interpretación de imágenes siempre corresponden a depósitos cuaternarios los colores grises claros, por lo que permitió definir con facilidad el contacto con la Formación Umir, el cual se trazo en color amarillo, y a la vez, definir el contacto con la Formación Lisama hacia el borde superior izquierdo el cual es de tipo concordante; además, fue posible identificar el trazo de una gran falla de rumbo señalada por el lineamiento del Río Sogamoso, y otra serie de fallas de forma inferida porque no se podían seguir sus trazos (*Ver Anexo 3.*)

2.2.2 Levantamiento de las Columnas Estratigráficas.

Se levantaron tres columnas estratigráficas de la Formación Umir en las zonas seleccionadas anteriormente, reconstruyendo de base a techo las diferentes litologías, ubicando los mantos de carbón, haciendo énfasis en los datos estructurales, así como los espesores de las capas, acompañadas de su descripción respectiva (*Ver Figura 24.*)

Se empleo el método de la poligonal con cinta métrica, para el cual se lleva a cabo los siguientes pasos.

Tomar las medidas en el terreno con la ayuda de una cinta métrica y una brújula. Construir una tabla de datos con la que contenga la siguiente información: Punto de la Poligonal; Distancia Real; Azimut; Inclinación; Rumbo de la Capa; Buzamiento de la Capa; y Observaciones.

Figura 21. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno de La Vereda La Salina.

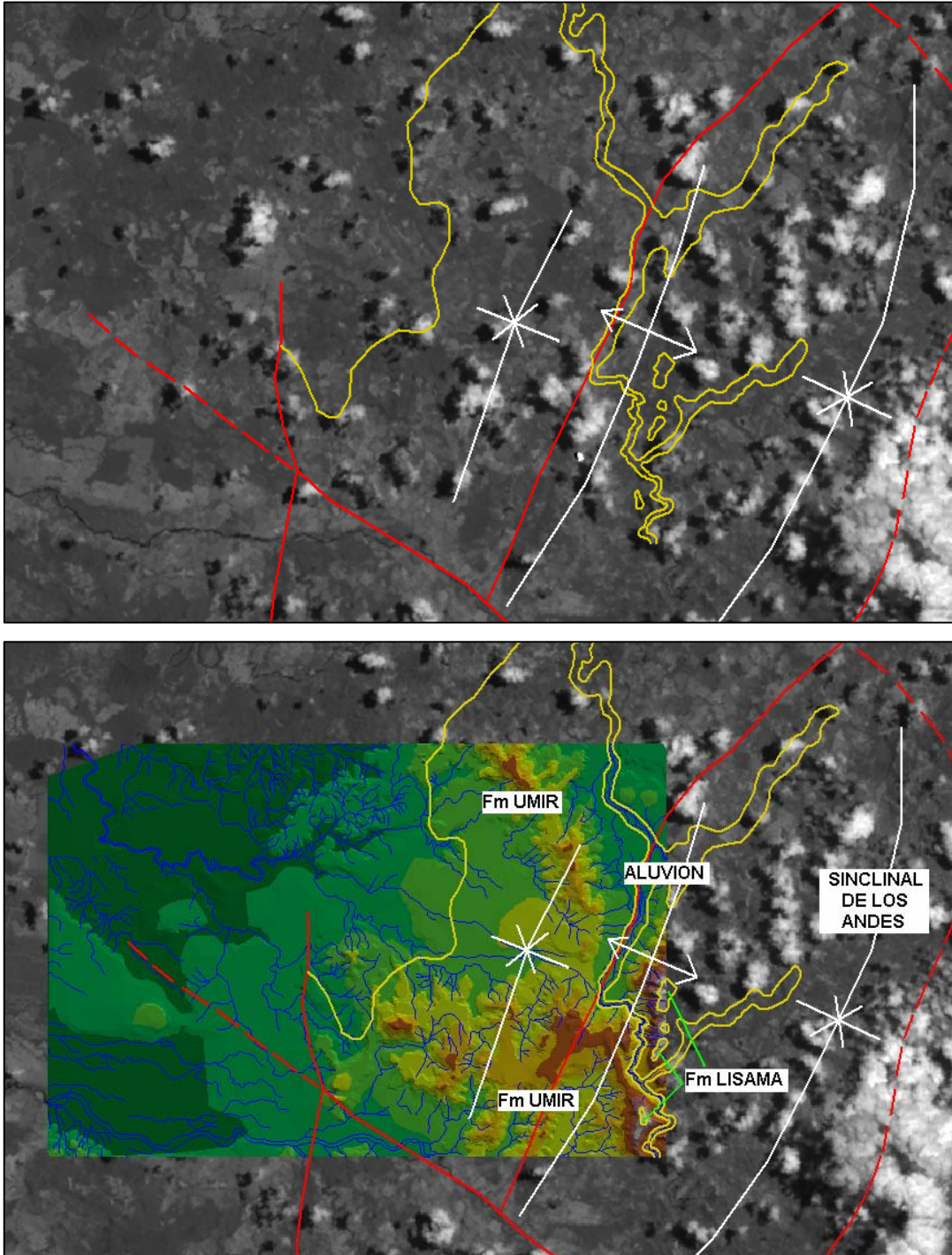


Figura 22. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno de La Vereda Vizcaína Alta.

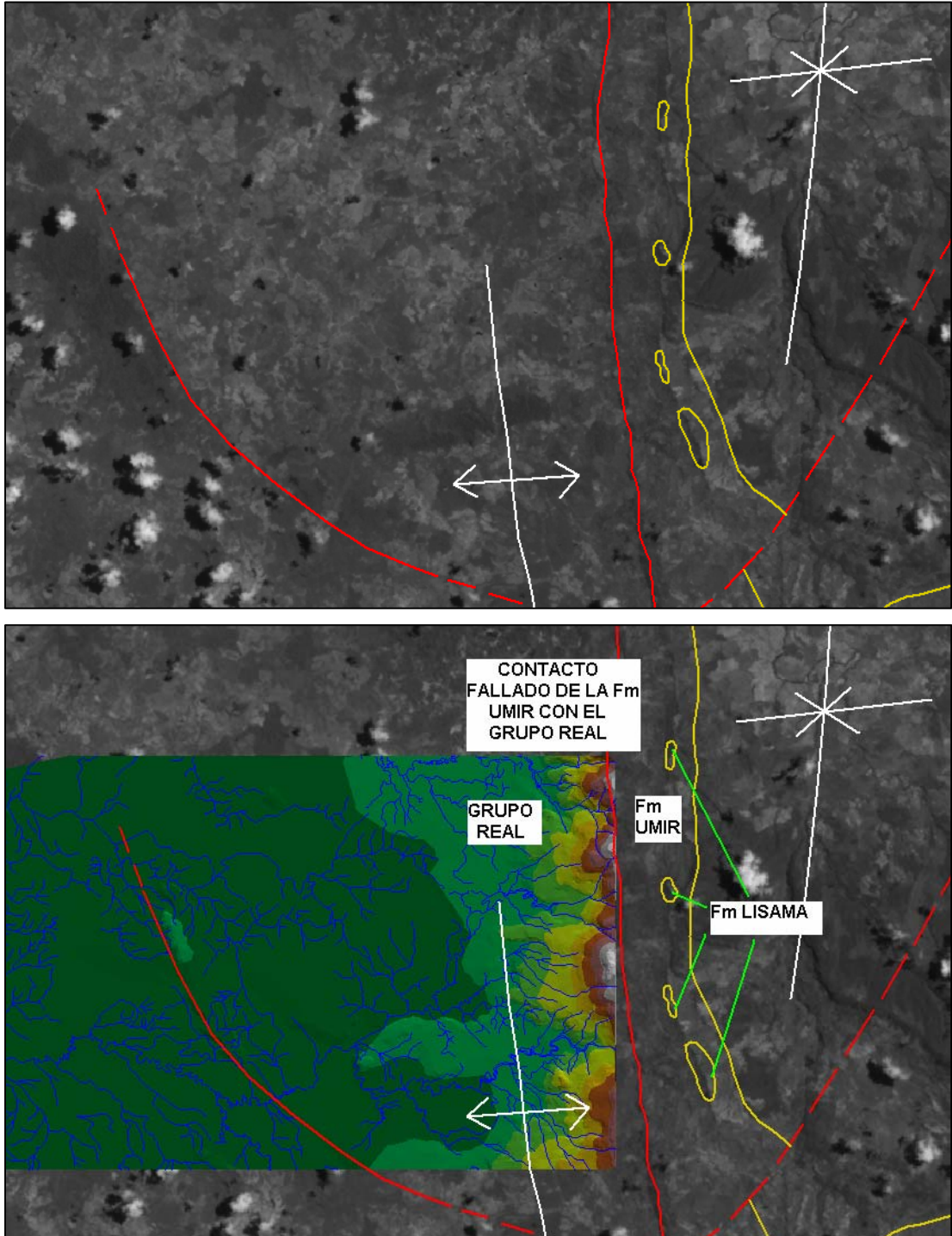
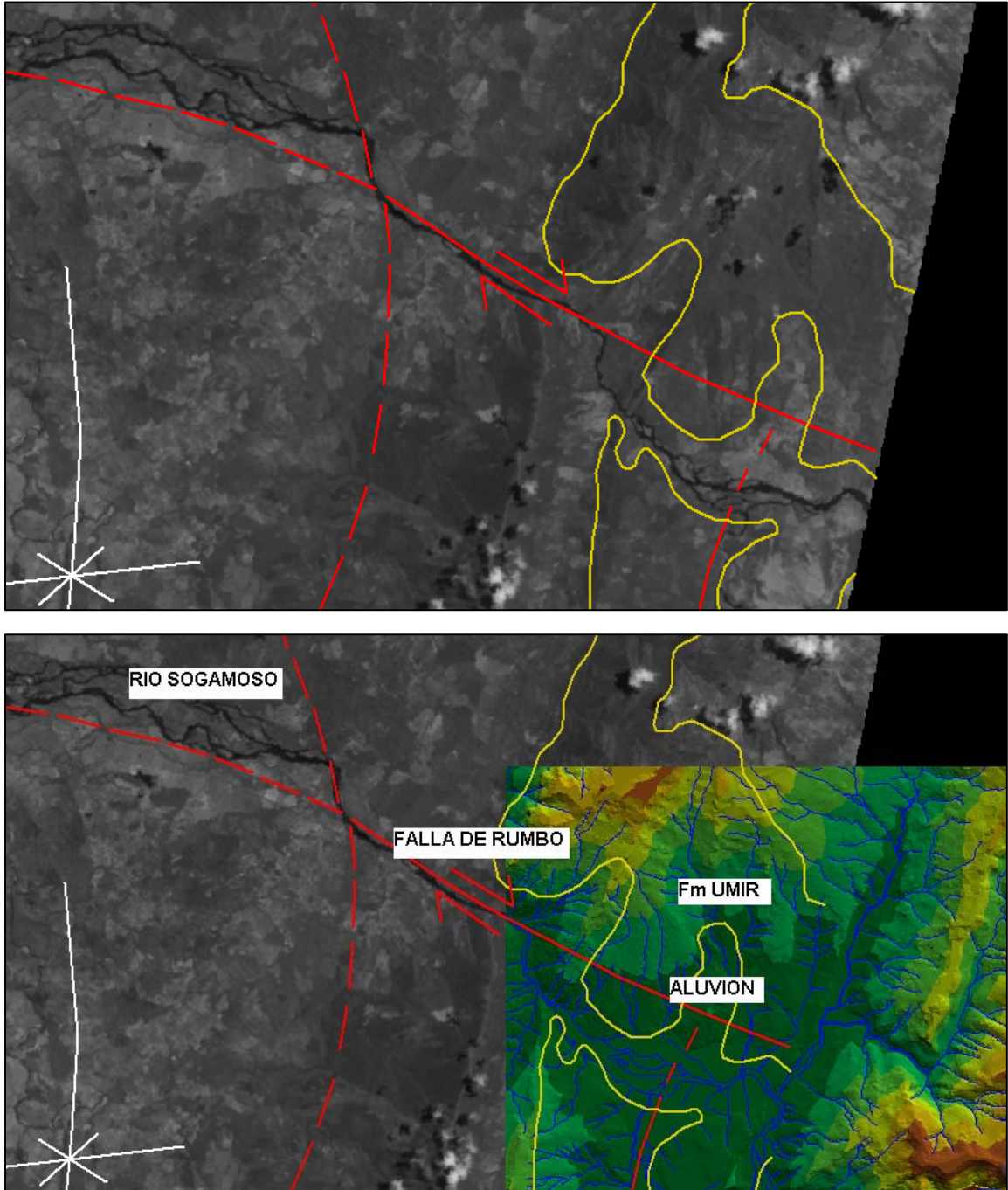


Figura 23. Imagen satelital sobrepuesta con el modelo digital del terreno de La Quebrada Mata Cacao.



Para la medición de la distancia real, es necesario ubicarse en estratos diferentes, para tomar los datos antes mencionados. Se continúa con la poligonal en varios puntos hasta completar la secuencia a la cual posteriormente se le determinó el espesor. Con los datos obtenidos, calcular la distancia horizontal y vertical entre los puntos de la poligonal.

Figura 24. Elaboración de columnas estratigráficas en campo. Emplear la información recolectada como litologías, espesores y datos estructurales.



Para la proyección de la poligonal, se traza un nivel de referencia perpendicular al rumbo promedio, posteriormente, trazar proyecciones paralelas a los rumbos, desde los diferentes deltas hasta el plano de referencia; sobre este nivel de referencia se empiezan a medir las diferencias de altura entre los diferentes puntos, obteniendo de esta manera un perfil topográfico del terreno.

Para calcular los espesores se usa el método trigonométrico. Calcular el buzamiento promedio de las capas a partir de los datos obtenidos; y con estos datos, se puede calcular la distancia horizontal de la siguiente manera:

Distancia Horizontal (H) = Cos (Angulo de inclinación) * Distancia medida entre las dos capas.

Distancia Vertical (V) = Seno (Angulo de inclinación) * Distancia medida entre las dos capas.

La sección estratigráfica de La Vereda La Salina tuvo como punto de inicio la Quebrada Caño Pescado en las siguientes coordenadas:

$$X = 1'240.175 \quad Y = 1'058.150 \quad Z = 300m$$

La sección estratigráfica de La Vereda Vizcaína Alta fue levantada en el punto conocido como Pozo Nutria 18 (Pozo de ECOPETROL) con coordenadas de inicio:

$$X = 1'266.275 \quad Y = 1'058.450 \quad Z = 185m$$

Y la sección de la Quebrada Mata de Cacao tiene como punto de inicio el puente vehicular que pasa sobre la quebrada de la vía principal que conduce de Bucaramanga a Barrancabermeja con las siguientes coordenadas:

$$X = 1'277.064 \quad Y = 1'079.600 \quad Z = 300m$$

2.2.3 Muestreo de Carbones.

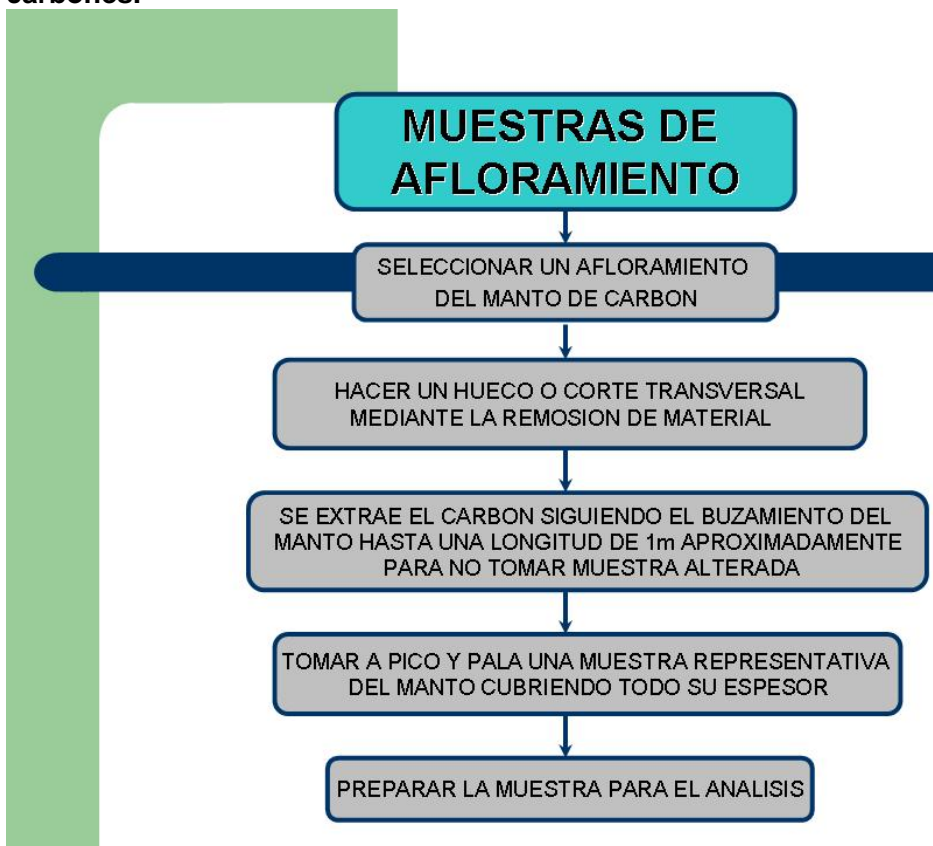
Esta fase tenía como objetivo principal obtener una muestra parcialmente representativa de carbón de una unidad de muestreo, donde la distribución de sus características tanto físicas, químicas y petrográficas sean equivalentes a esa unidad de muestreo, siguiendo los lineamientos de ECOCARBON (ECOCARBON, 1995).

Fue importante definir el tipo de muestreo a seguir, ya que debía cumplir con los requerimientos que el trabajo exigía, para así, obtener los mejores resultados posibles. En este proyecto se trabajo con los tipos de muestreo de afloramiento y muestreo de canal.

En total, se tomaron doce muestras de los mantos de carbón más representativos de las zonas estudiadas, con el fin de realizar una caracterización geoquímica y petrográfica de las muestras, para dar cumplimiento al objetivo de nuestro proyecto de investigación.

MUESTREO DE AFLORAMIENTO (Ver Figura 25.)

Figura 25. Procedimiento para la toma de muestras de afloramiento en carbones.



El muestreo de afloramiento consiste en la toma de una muestra de manto de carbón aflorante en la superficie (*Ver Figura 26.*). Se toma ya sea de apiques, trincheras o túneles. Por lo general el carbón ha estado expuesto a efectos de meteorización los cuales se extiende varios metros, por lo tanto, los túneles permiten tomar muestras frescas varios metros hacia adentro (ECOCARBON, 1995).

Figura 26. Muestra de afloramiento o muestra de mano de carbón.

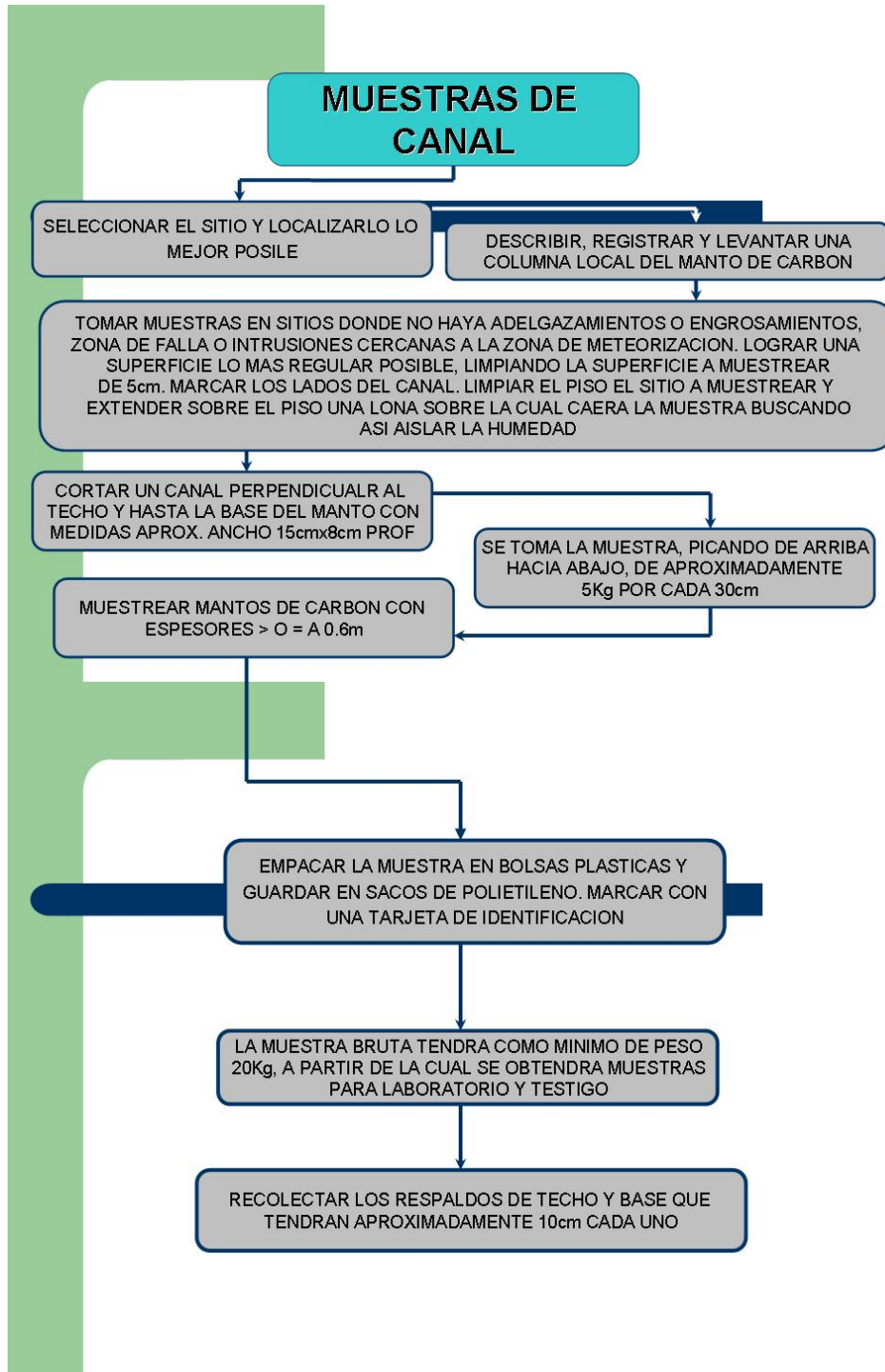


Este tipo de muestreo fue usado en la zona de La Quebrada Mata de Cacao, donde se tomaron un total de tres muestras de carbón para realizarle sus respectivos análisis tanto geoquímicos como petrográficos; y en la zona de la Vereda La Salina un total de seis muestras de carbón, las cuales representaban el techo y la base de los mantos muestreados en forma de canal.

MUESTREO DE CANAL (*Ver Figura 27.*)

El muestreo de canal son muestras de volumen de carbón triturado que incluyen el espesor total del manto tomado, de tal manera que cada uno de los estratos estén representados en igual proporción a su espesor. Se

Figura 27. Procedimiento para la toma de muestras de canal.



obtienen mediante un corte uniforme y continuo perpendicular a la estratificación (Ver Figuras 28, 29 y 30.). Es recomendado ser tomada en frentes de minas donde es fresca la muestra.

Este tipo de muestreo siempre va acompañado de muestras de los respaldos, techos y pisos de cada manto de carbón (ECOCARBON, 1995).

Se empleo este tipo de muestreo en la zona de La Vereda La Salina para tres afloramientos distintos sobre los mantos principales de carbón del área, con espesores de 1m, 1.8m y 3.0m, siendo empacados e identificados correctamente para los posteriores análisis de laboratorio.

Figura 28. Selección y ubicación mejor posible del sitio a trabajar. Seleccionar minas o lugares descubiertos, usando coordenadas para que los carbones a muestrear queden referenciados.



Para el caso de la zona de La Vereda Vizcaína Alta, no se pudo realizar un muestreo representativo de carbones ya que estos se encontraban altamente meteorizados y se disgregaban fácilmente, por lo que los resultados geoquímicos y petrográficos no serian confiables; Además, muchos de estos carbones se encontraban rodados, cubriendo parte de los afloramiento dificultando la identificación plena de los mantos.

Figura 29. Limpieza de todo material estéril del manto y del suelo. Evitar que se contaminen las muestras. Posteriormente, ubicar una manta sobre el suelo para que caigan allí los carbones que se toman de un corte perpendicular hecho de base a techo a lo largo de todo el manto para lograr muestrearlo totalmente y sea representativa la muestra.



Figura 30. Usando cincel y martillo tomar las muestras. Estas caen en la lona que está ubicada en el suelo, para que posteriormente sean empacadas en costales.



Además del muestreo, es recomendable llenar una **ficha de identificación de material recolectado fase de muestreo**, con el fin de llevar un control organizado de las muestras recolectadas, para saber de donde fue tomada, que día y algunas observaciones posibles que se requieran escribir (Ver Figura 31.).

Figura 31. Ficha de identificación de muestras. (Tomado de ECOCARBON, 1995).

		Fecha de Muestreo	
		Día	Mes Año
		30	08/05
Proyecto	CARACTERIZACION DE LOS CARBONES EN LA fm. UMIR.		
Identificación Muestra	EL CARMEN S. LIS MB	Bolsa No.	PGΔ10M8
• Z Z M M M N N N X X X			
Tipo de Muestreo:			
Canal <input checked="" type="checkbox"/>		Producción <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Manto carbón	<input type="checkbox"/> Intercalación	<input type="checkbox"/> Roca Piso	
<input type="checkbox"/> Segmento carbón	<input type="checkbox"/> Roca Techo		
Tomada por CARLOS SUAREZ Y JORGE DURAN			
Manto	Mina		
Municipio EL CARMEN	Vereda LA SALINA		
Tipo de Análisis: SE TOMA LA MUESTRA PARA REALIZARLE CUARTEO Y ANALISIS DE LABORATORIO.			
Observaciones.			

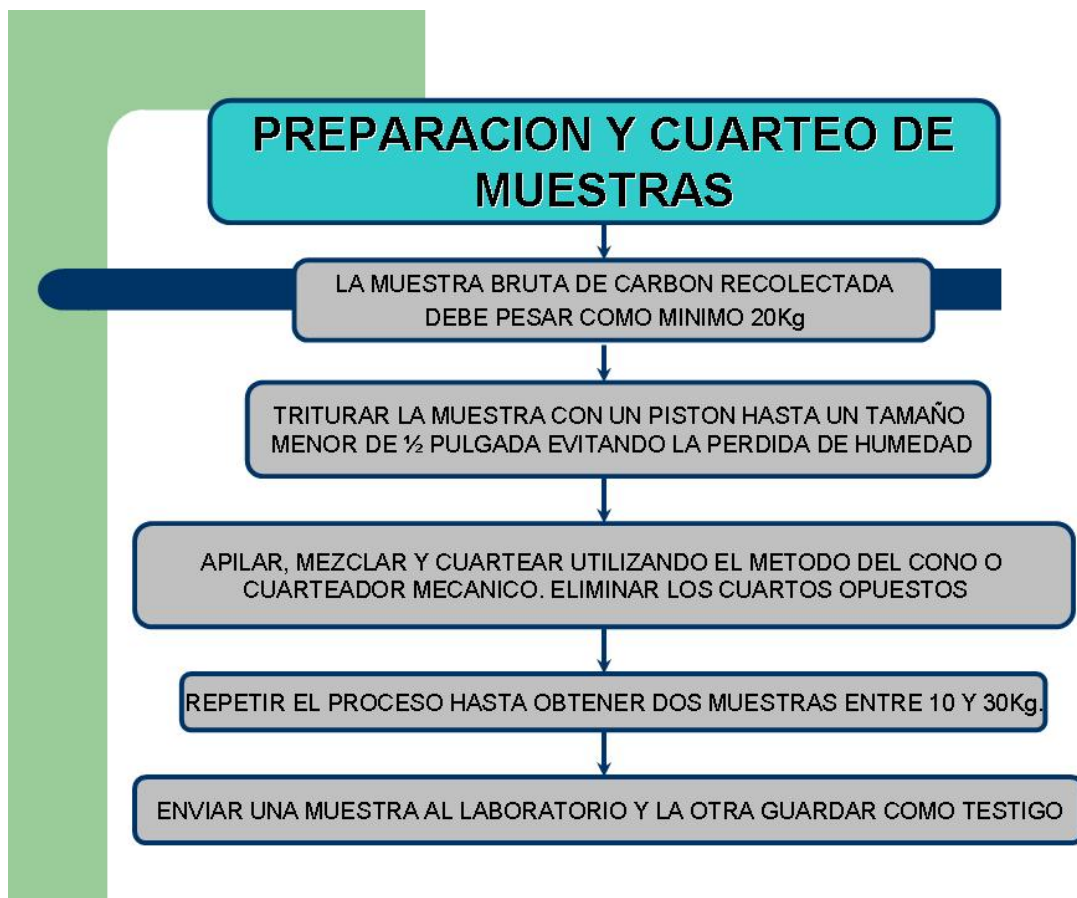
2.2.4 Mapa Geológico de Campo.

Usando la información registrada en la libreta y los datos consignados en el mapa de campo, se trazan los contactos que delimitan diferentes litologías, teniendo en cuenta la regla de las V, además de ubicar los mantos de carbón de interés y los diferentes rasgos estructurales.

2.3 PREPARACION DE MUESTRAS (Ver Figura 32.)

Las muestras recolectadas en campo son llevadas al laboratorio y tratadas con el fin de prepararlas para los análisis geoquímicos y petrográficos (Ver Figuras 33 a y b, 34 a y b, 35 a y b y 36 a y b.)

Figura 32. Procedimiento para la preparación y cuarteo de las muestras.



2.4 ANALISIS DE LABORATORIO

Con el fin de lograr una buena caracterización de los carbones y el control de calidad, se realizaron los análisis de laboratorio a las tres muestras

recolectadas de carbón en campo en la zona de La Vereda La Salina y a las tres muestras de la zona La Quebrada Mata de Cacao, siguiendo los procedimientos estipulados por las normas ASTM.

Figura 33. Proceso de trituración. a) Las muestras recolectadas en campo, por separado, son extendidas y trituradas con la ayuda de un pistón. b) Mezclar muy bien y formar un cono truncado.

a.



b.

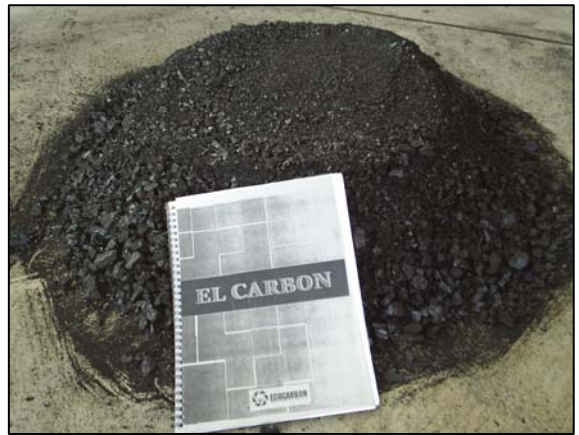


Figura 34. Proceso de cuarteo. a) Cuartear de forma manual para que la muestra elegida sea homogénea. b) Eliminar los cuartos opuestos, guardándolos nuevamente de los costales respectivos.

a.



b.



Figura 35. Equipo de cuarteo y molienda. a) En el proceso del cuarteo en muestra más pequeña, se usa el de tipo mecánico como el observado en la fotografía. b) Cuando ya se tiene la cantidad correcta, entre 3 – 5 Kg. se pasa al Molino de Bolas, dejándola por el espacio de dos horas; y por más tiempo si lo requiere.

a.



b.



Figura 36. Tipo de Tamizadores. a) Tamizador de golpeteo. b) Tamizador de agite. Debe pasar por malla No.200 el carbón al tamizarse para que sea la apropiada en los análisis de laboratorio posteriores.

a.



b.



2.4.1 Análisis Proximales.

Este análisis consiste en la determinación de la Humedad Residual, Materia Volátil, Carbono fijo (por sustracción) y Cenizas. El análisis proximal es la caracterización básica para toda clase de carbones y se complementa con la determinación del contenido de azufre y el poder calorífico.

El procedimiento empleado para cada ensayo se llevo a cabo según las normas ASTM (Ver Tabla 1.).

Tabla 1. Normas ASTM para los Análisis Proximales.

NORMA	ANALISIS
D 3173	Humedad Residual
D 3174	Cenizas
D 3175	Material Volátil
D 3176	Carbono Fijo
D 388 – 77	Clasificación del Carbón por Rango

2.4.1.1 Humedad Residual (Ver Figuras 37 y 38.).

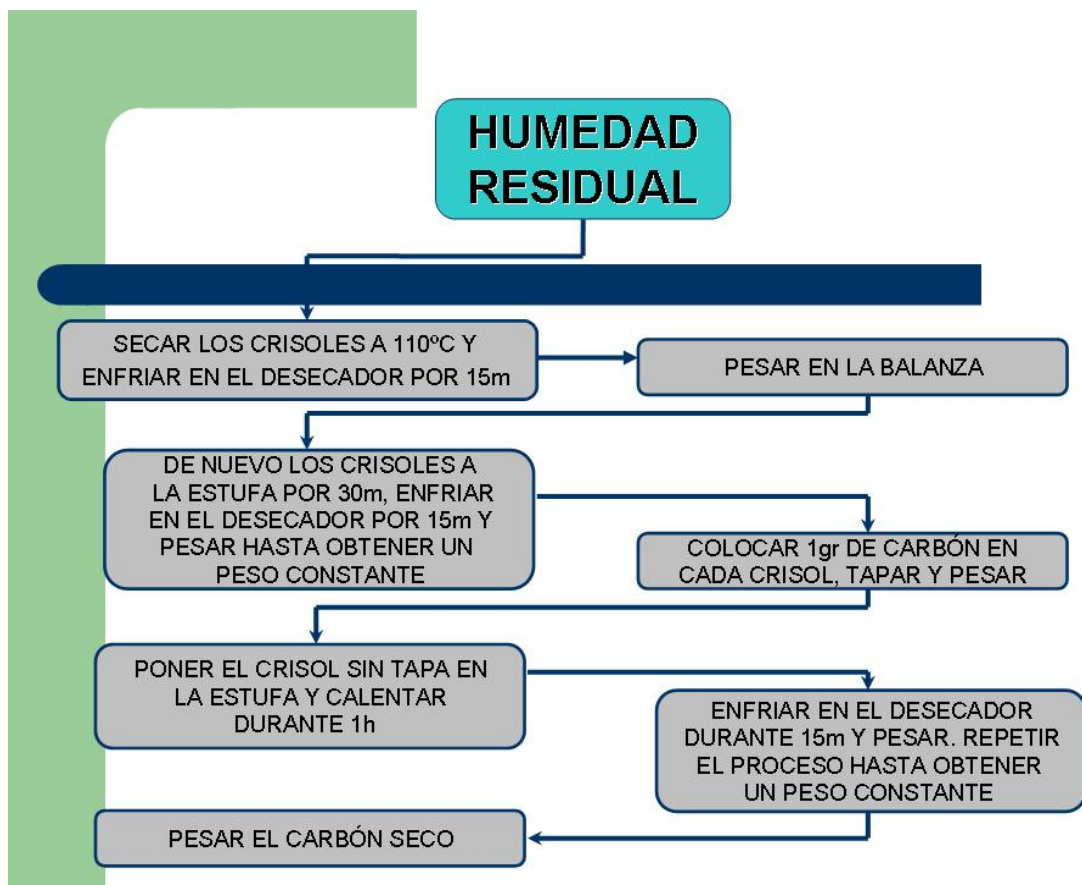
La humedad (H₂O) que se determina en el análisis inmediato corresponde a la reportada “**as determined**”, es decir, a la humedad de la muestra de carbón preparada y analizada en el laboratorio. Y se expresa indicando en base libre de humedad y cenizas.

El porcentaje de humedad en la muestra se determina con la siguiente fórmula:

$$\% H = (M2 - M3 / M2 - M1) * 100$$

Donde M_1 = peso del crisol seco. M_2 = peso del crisol con carbón antes del secado (g). M_3 = peso del crisol con carbón después del secado (g).

Figura 37. Procedimiento para determinar la Humedad Residual en muestras de carbón.



2.4.1.2 Cenizas (Ver Figuras 39 y 40.).

El contenido de cenizas es de vital importancia puesto que representa la cantidad de impurezas y el carbono efectivo disponible en el carbón. El aumento de cenizas en un carbón incrementa su consumo y el volumen de escoria, tanto en los altos hornos como en las plantas térmicas. En términos

generales se considera que un aumento del 1% del contenido de cenizas del coque reduce la productividad del alto horno en un 2% a

3% y disminuye su poder calorífico en proporciones muy considerables en los carbones térmicos (DURAN *et al.*, 1981.).

Figura 38. Balanza y Horno usado en la prueba de Humedad Residual. a) Balanza ANSWORTH de alta precisión para pesar 1g de muestra de carbón. **b)** Horno o Estufa donde se introduce la muestra en el crisol durante una hora para eliminar toda la humedad a 110 °C.

a.



b.



Es por esto que el contenido de cenizas es tal vez la especificación mas estricta en el mercado de carbones ya que la tendencia general es la de utilizar carbones con el menor contenido de cenizas posibles.

Los cálculos de cenizas se realizan teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\%C = (M3 - M1 / M2 - M1) * 100$$

Donde M1 = peso del crisol vacío con tapa (g). M2 = peso del crisol con la muestra y tapa (g). M3 = peso del crisol con las cenizas y tapa (g).

Figura 39. Procedimiento para determinar Cenizas en muestras de carbón.



2.4.1.3 Materia Volátil (Ver Figuras 41 y 42).

La materia volátil es importante y crítica en el momento de clasificación de los carbones coquizantes y térmicos ya que un carbón con un contenido de materia volátil adecuada produce un mayor porcentaje de coque.

Figura 40. Mufla y Desecador usado en la prueba de Cenizas. a) Mufla, donde se introducen los crisoles con las muestras de carbón desde 0 °C para ser prendida y llegar hasta los 750 °C. El proceso dura tres horas. **b)** Se pasan al desecador por 15 minutos y se pesan de nuevo los crisoles.

a.



b.



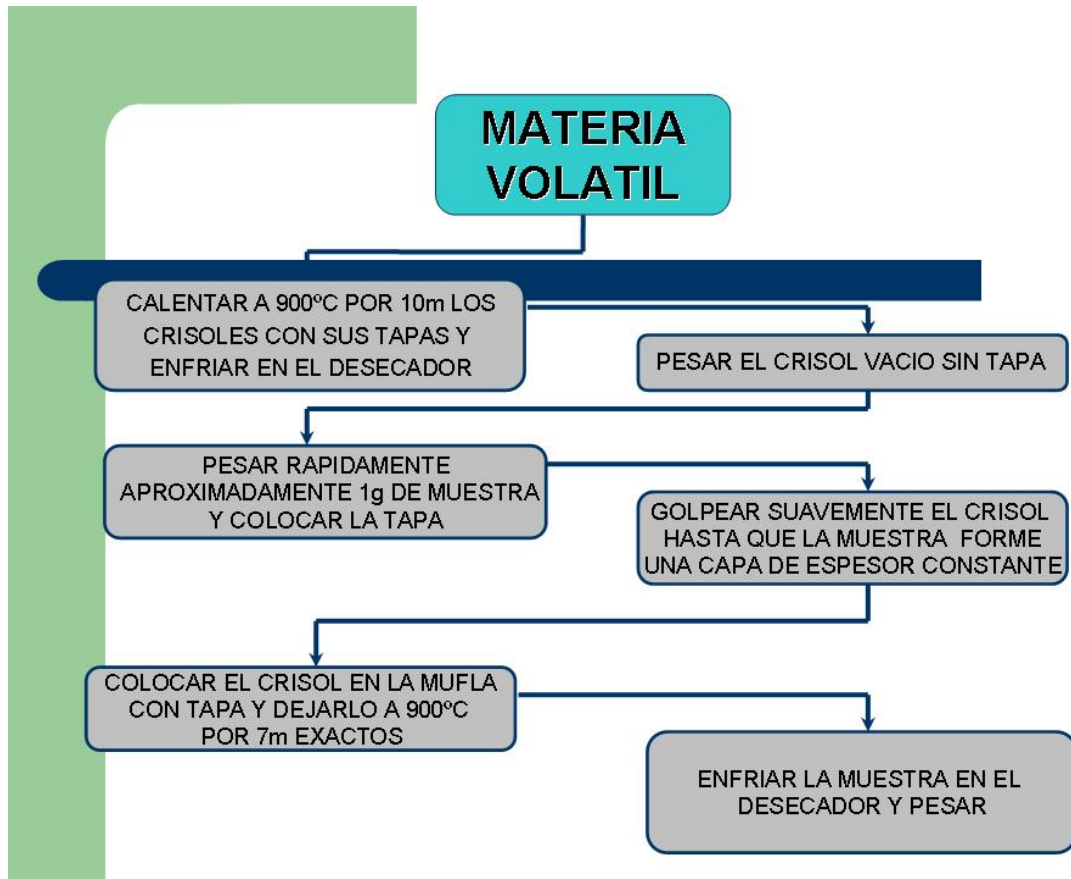
Esta claramente establecido que los carbones con menos del 14% de materia volátil no coquizan, y en el otro extremo, los carbones con mas del 38% de materia volátil tampoco producen coque de calidad metalúrgica. Los carbones de medio volátiles producen generalmente coque de excelentes calidades físicas.

Los cálculos de volátiles se realizan por la siguiente formula:

$$MV = (m2 - m3 / m2 - m1) * 100 - M1$$

Donde M1 = humedad en la muestra. M1 = peso del crisol vacío con su tapa (g). m2 = peso del crisol vacío con su tapa y muestra antes del calentamiento (g). m3 = peso del crisol vacío con su tapa y muestra después del calentamiento (g).

Figura 41. Procedimiento para determinar Materia Volátil en muestras de carbón.



2.4.1.4 Carbono Fijo (Ver Figura 43.).

El porcentaje de carbono fijo desempeña un papel importante tanto en los carbones térmicos como metalúrgicos. El porcentaje de carbono fijo se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Carbono Fijo} = 100\% - (\text{humedad}) - (\% \text{ cenizas}) - (\% \text{ materia volátil})$$

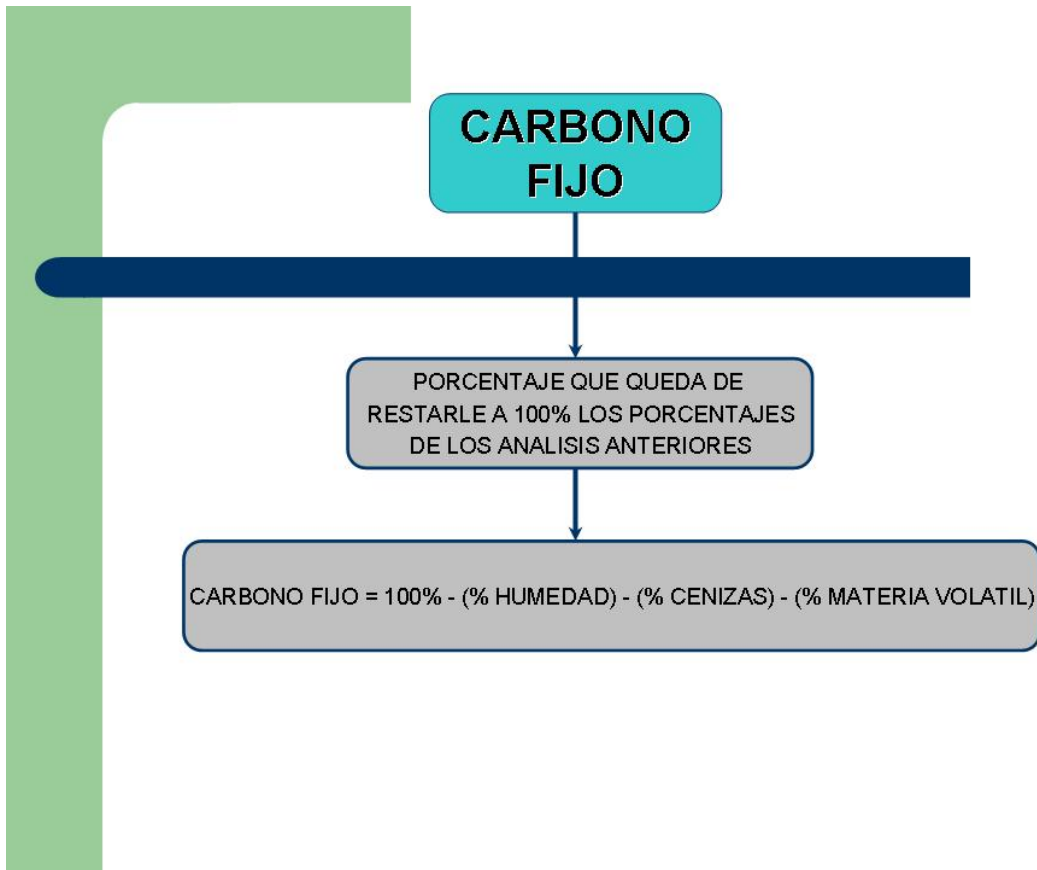
Para los carbones térmicos este parámetro junto con el de materia volátil fija el poder calorífico, y para los carbones metalúrgicos es el elemento reductor

esencial para transformar el mineral de óxidos de hierro en metal durante la operación de alto horno convencional.

Figura 42. Protección en el uso de la mufla en la prueba de Materia Volátil. Se introducen por solo siete minutos en la mufla los crisoles para que se queme la materia volátil. Sacarlos y dejar en el desecador por 15 minutos y pesar.



Figura 43. Procedimiento para calcular el Carbono Fijo en muestras de carbón.



2.4.1.5 Clasificación del carbón por rangos.

El término rango designa el estado alcanzado por un carbón en el curso de la carbonificación y se usa para clasificarlo. Haciendo uso de la tabla de clasificación del carbón por rangos de las normas ASTM, se intenta establecer que tipo de carbón es el aflorante en las zonas de estudio (Ver *Tabla 2.*).

Tabla 2. Tabla de Clasificación de Carbones. (Tomada de ECOCARBON, 1995).

CLASE	GRUPO	% CARBONO FIJO S _{lmm} ⁴		PODER CALORIFICO CALORIAS/GRAMOS H _{lmm} ⁵		CRACTER AGLOMERANTE
		>	<	>	<	
I. ANTRACITA	1-META – ANTRACITA	98				
	2-ANTRACITA	92	98			NO
	3-SEMI – ANTRACITA ⁶	86	92			
II. BITUMINOSO	1-BITUMINOSO BAJO VOLATIL	78	86			
	2-BITUMINOSO MEDIO VOLATIL	69	78			
	3-BITUMINOSO ALTO VOLATIL A		69	7780 ⁷		COMUNMENTE AGLOMERANTE ⁸
	4-BITUMINOSO ALTO VOLATIL B			7220	7780	
	5-BITUMINOSO ALTO VOLATIL C			6380	7220	
				5830	6380	AGLOMERANTE
III. SUB – BITUMINOSO	1-SUB-BITUMINOSO A			5830	6380	
	2-SUB-BITUMINOSO B			5280	5830	NO
	3-SUB-BITUMINOSO C			4610	5280	AGLOMERANTE
IV. LIGNITO	1-LIGNITO A			3500	4610	NO
	2-LIGNITO B				3500	AGLOMERANTE

⁴ S_{lmm}: Base seca libre de materia mineral.

⁵ H_{lmm}: Base húmeda libre de materia mineral. Se refiere a la humedad que contiene el carbón como inherente natural, pero no incluye el agua visible sobre la superficie del carbón.

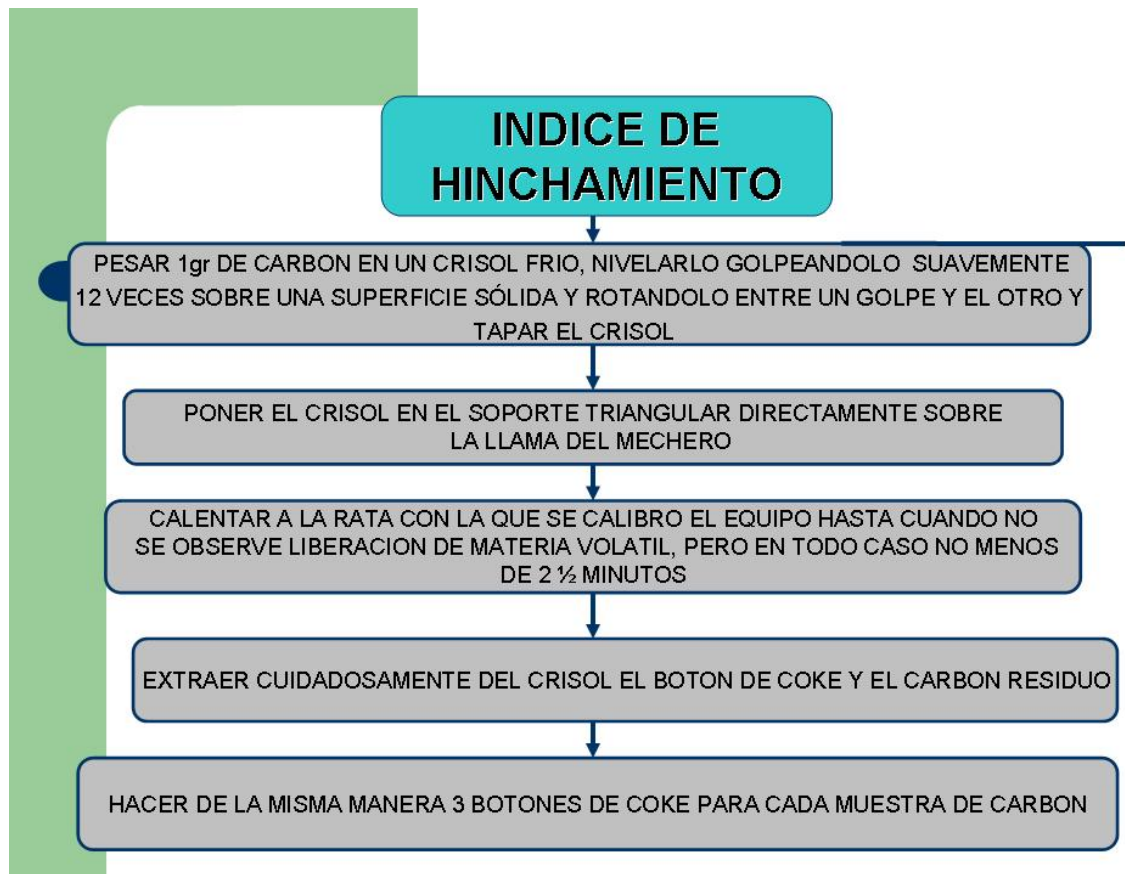
⁶ Si aglomera, se clasifica como bituminoso bajo en volátiles.

⁷ Carbones con carbono fijo > 69% se clasifican en esta categoría sin tener en cuenta el poder calorífico.

⁸ Puede hacer variedades no aglomerantes en este grupo de la clase de los bituminosos.

2.4.2 Análisis de Índice de Hinchamiento (IH) (Ver Figura 44.).

Figura 44. Procedimiento para determinar el Índice de Hinchamiento en muestras de carbón.



Este ensayo es el más elemental y sencillo para indicar las propiedades aglomerantes de un carbón, ya refleja algo de sus propiedades de coquización (Ver Tabla 3.).

Tabla 3. Norma ASTM para el cálculo del Índice de Hinchamiento.

NORMA	ANALISIS
D 720 – 67	Índice de hinchamiento libre del carbón.

El índice de hinchamiento es un rango de valor entre 1 y 9 que define por referencia a una serie de perfiles patrones, la magnitud y forma del botón producido cuando el carbón se calienta en un crisol especial, de manera que puede expandirse libremente en una dirección perpendicular a la superficie de calentamiento (Ver Figura 45 y 46). Si no se forma el botón, significa que el carbón no aglomera, aunque también puede significar que la muestra este muy oxidada (Ver Figura 47.).

Se considera carbonos potencialmente aglomerantes los que tienen un índice de hinchamiento mayor a 4.

Figura 45. Tubo de asbesto con soporte triangular usado en la prueba. Se calienta con gas y oxígeno a 900 °C el soporte donde se pone el crisol para originar el botón de coque.



Figura 46. Quemado de la Materia Volátil. a) Podemos observar la llamarada que sobre sale del tubo, lo cual indica que se esta quemando la materia volátil del carbón, dando paso a la formación del botón. b) Crisol después del quemado, que se hace por solo 2 ½ minutos.

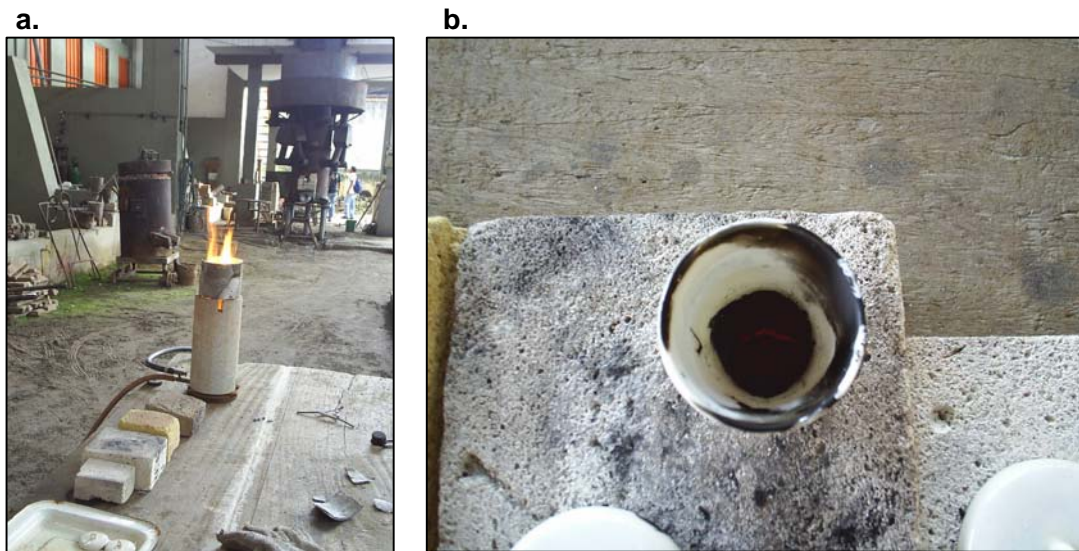
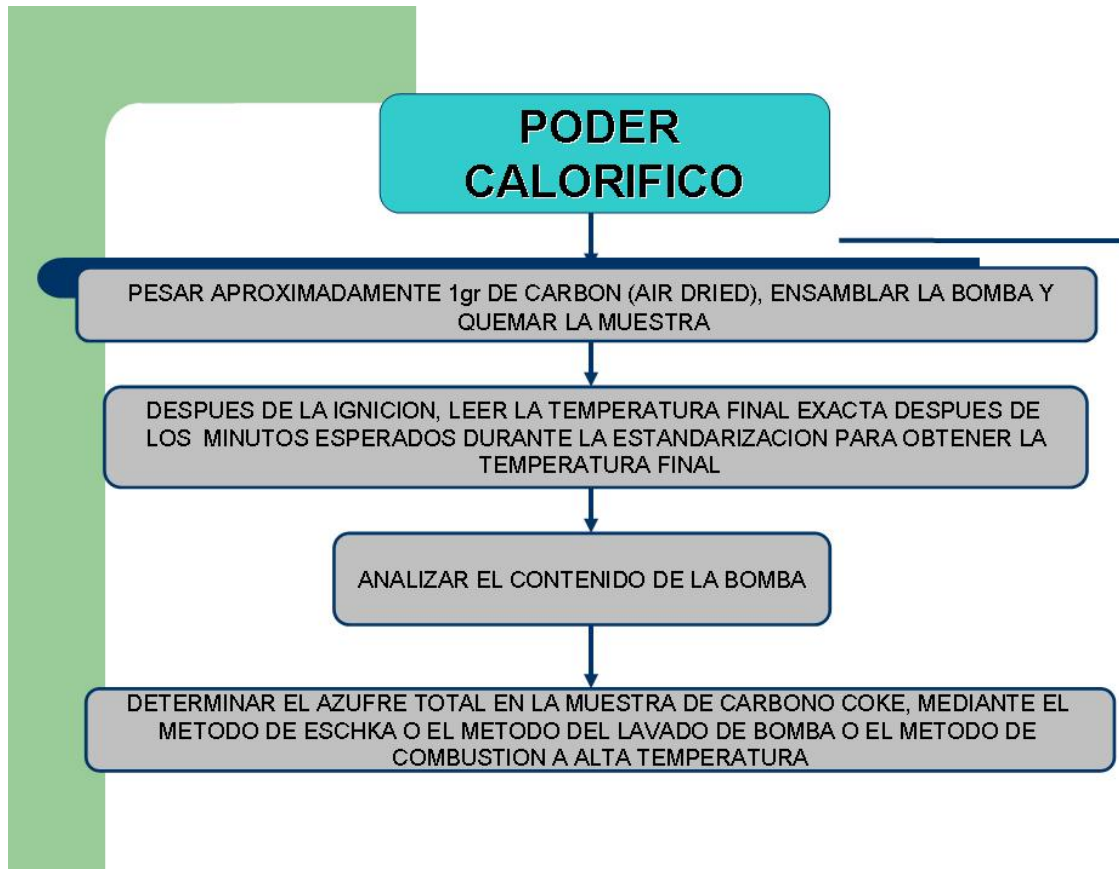


Figura 47. Botón de coque resultado al final de la prueba. Se emplea una tabla de comparación que contiene valores entre 1 – 9 para indicar que carbón es aglomerante o coquizable.



2.4.3 Poder Calorífico (BTU) (Ver Figura 48.).

Figura 48. Procedimiento para determinar el Poder Calorífico en muestras de carbón.



El parámetro que se va a determinar según este procedimiento es el poder calorífico bruto a volumen constante; bruto porque en las condiciones de la determinación el agua producida por la combustión se encuentra al final en forma líquida y por lo tanto, contribuye al poder calorífico de la muestra y también el calor latente de condensación del agua; a "volumen constante" porque los gases no pueden expandirse, ocurriendo la combustión dentro de la bomba calorimétrica (Ver Figuras 49 y 50.).

Según la norma del sistema americano ASTM, reporta el poder calorífico determinado por el calorímetro adiabático como “gross heating value” (poder calorífico superior) y se expresa en BTU por libra (*Ver Tabla 4.*).

Tabla 4. Norma ASTM para el cálculo del Poder Calorífico.

NORMA	ANALISIS
D 3286 – 73	Poder Calorífico

En el proceso de la determinación de este parámetro, se debe calcular el contenido de azufre total presente en la muestra (*Ver Figuras 51 y 52.*). El azufre es un elemento indeseable pero siempre presente en toda clase de carbones y de distintas formas como: azufre orgánico, piritas, sulfatos de calcio.

El azufre orgánico este íntimamente mezclado a la sustancia carbonosa y no puede removerse económicamente por ningún proceso de preparación y lavado. El azufre pirítico se presenta en forma de bolsas o de películas y es relativamente fácil de removerlo parcialmente durante la preparación y lavado a causa de su considerable mayor densidad que el carbón. El azufre en forma de sulfatos abunda solo en carbones oxidados cerca de la superficie y esta prácticamente ausente en los carbones frescos.

El contenido de azufre juega un papel importante tanto en los carbones térmicos como en los metalúrgicos, no solo por los efectos químicos y de contaminación ambiental sino porque la descomposición de la piritas se considera como la causa principal de la autocombustión espontánea del carbón, por esta razón la tendencia moderna es la de lavar el carbón destinado a ambos usos.

Figura 49. Bomba Calorimétrica usada para el poder calorífico.



Figura 50. Ensamble de la Bomba Calorimétrica. a) Se llena con oxígeno la bomba para producir la ignición interna con la muestra de carbón. **b)** Vigilar constantemente durante la quema para anotar la variación que hay de temperatura interna en la bomba.



Figura 51. Determinación del contenido total de azufre mediante el Método de Eschka. Titulación y filtraje para eliminación de metales.



Figura 52. Calentamiento de muestras para eliminar y filtrar contenidos de Na_2CO_3 . El papel filtro se quema en el Horno o Estufa y se pesan las cenizas para saber el contenido total de azufre.



Como norma aceptada, el límite superior del azufre en los carbones coquizables no debe sobrepasar el 1%. En los carbones térmicos este límite es más elástico dependiendo de las regulaciones de cada país y los dispositivos que utilicen para controlar la contaminación ambiental. (DURAN *et al.*, 1981.).

Para calcular el poder calorífico bruto a volumen constante se usa la siguiente fórmula:

$$Q = \Delta T \times C - (e1 - e2 - e3 - e4) / m$$

Donde Q = poder calorífico, BTU/ lb. ΔT = Aumento de temperatura: $t_c - t_a$, en $^{\circ}\text{C}$. C = Capacidad térmica del calorímetro, (BTU/lb.) \times (g/ $^{\circ}\text{C}$). m = Peso de la muestra en gramos. E1 = Calor de combustión del algodón (secado a 100°C) = 7524 \times peso algodón usado en gramos. E2 = Calor de combustión del alambre fusible Ni-Cr = 0.41 \times milímetros de alambre quemado. E3 = calor de formación del ácido sulfúrico = 23.7 \times % azufre total \times peso muestra. E4 = Calor de formación del ácido nítrico = 100 \times ml de Na_2CO_3 0.394 N usados.

2.5 PETROGRAFIA DE CARBONES

En esta fase, se pretende realizar una descripción tanto macroscópica como microscópica de las muestras de carbón, para determinar sus litotipos y características ópticas como lo son su contenido de macerales y Reflectancia de Vitrinita (R_o).

2.5.1 Descripción Macroscópica (Ver Figura 53.).

En la descripción macroscópica permite identificar claramente los litotipos que contienen las muestras de carbón, siendo estos el Vitrain, el Clarain, el Durain y el Fusain, los cuales se pueden ver en los cortes perpendiculares a los litotipos que se hacen en las muestras de mano, ya que son bandas brillantes, semibrillantes, semiopacas u opacas que se pueden diferenciar a simple vista (Ver Figuras 54, 55 y 56.).

Figura 53. Procedimiento para la descripción macroscópica. Se requiere la elaboración de cortes pulidos en muestras de mano.

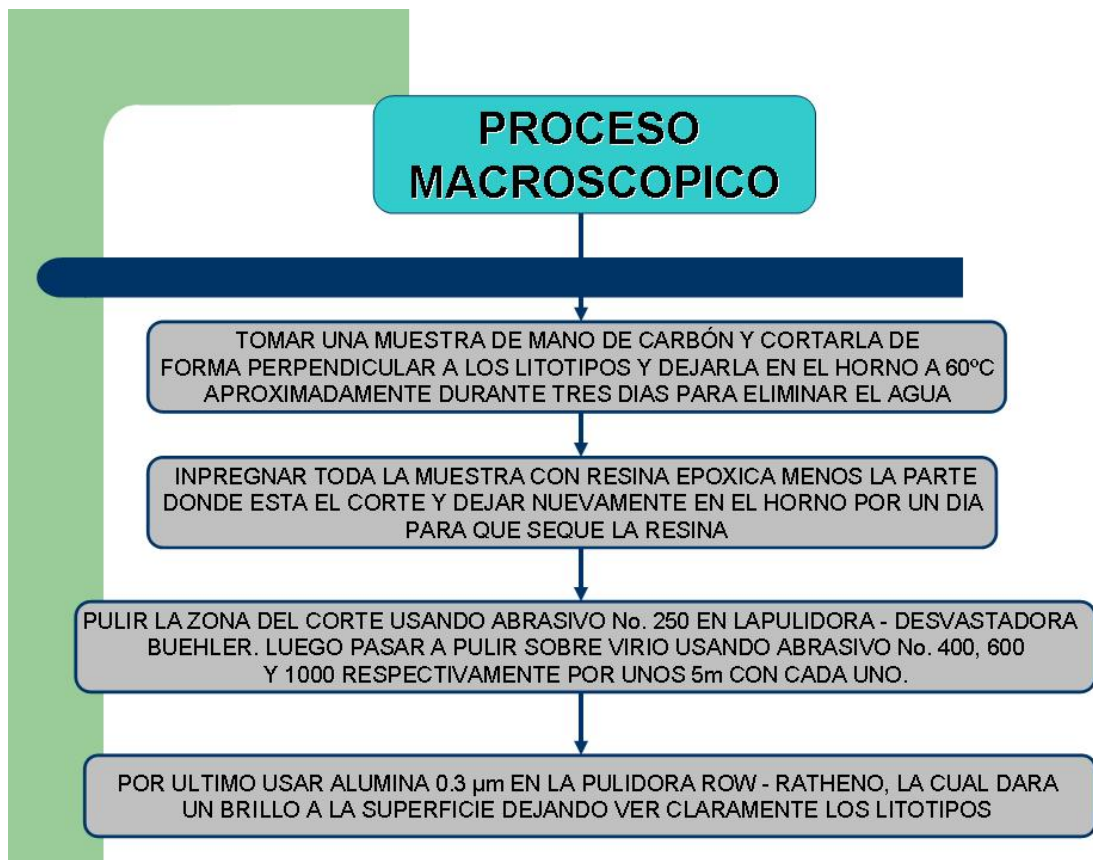


Figura 54. Equipo usado en los cortes de litotipos en carbones. a) Cortar con la CORTADORA MINOSECAR 2 ROW-RATHENO, y dejar durante tres días en el **b)** Horno, con el fin de eliminar la mayor cantidad de humedad.

a.



b.



FIGURA 55. Proceso de pulimento. a) Usar la PULIDORA DESVASTADORA BUEHLER con abrasivo No. 250 sobre la superficie del corte para alisarla. **b)** Después, se prosigue con vidrio para dejar cada vez más limpia la superficie, aplicando abrasivo No. 400, 600 y 1000 respectivamente.

a.



b.



Figura 56. Proceso de brillo. Por ultimo, se pasa por la PULIDORA montasulpa ROW-RATHENO con alúmina 0.3 μ m para producir brillo en la superficie y así, observar las bandas de los litotipos.



2.5.2 Descripción Microscópica.

Para la descripción microscópica fue necesario elaborar secciones pulidas (Ver Figuras 57 y 58.), las cuales se construyen a partir de las muestras recolectadas en campo y tratadas de una manera especial para obtener formas cilíndricas y así realizar una descripción del contenido de macerales y obtener lecturas de Reflectancia de Vitrinita (R_o), usando un microscopio fotómetro Zeiss Modelo MPM400 con objetivos de inmersión en aceite y una fuente de luz blanca reflejada.

2.5.2.1 Descripción de macerales (Ver Figura 59.).

El carbón ha sido formado por la acumulación y la posterior alteración química de detritos orgánicos, tales como hojas, troncos, raíces, etc. En la petrografía orgánica estos restos vegetales son denominados macerales los cuales se clasifican en tres grupos denominados Vitrinitas, Liptinitas (Exinitas) e Inertinitas.

Figura 57. Procedimiento para elaborar secciones pulidas de carbón.

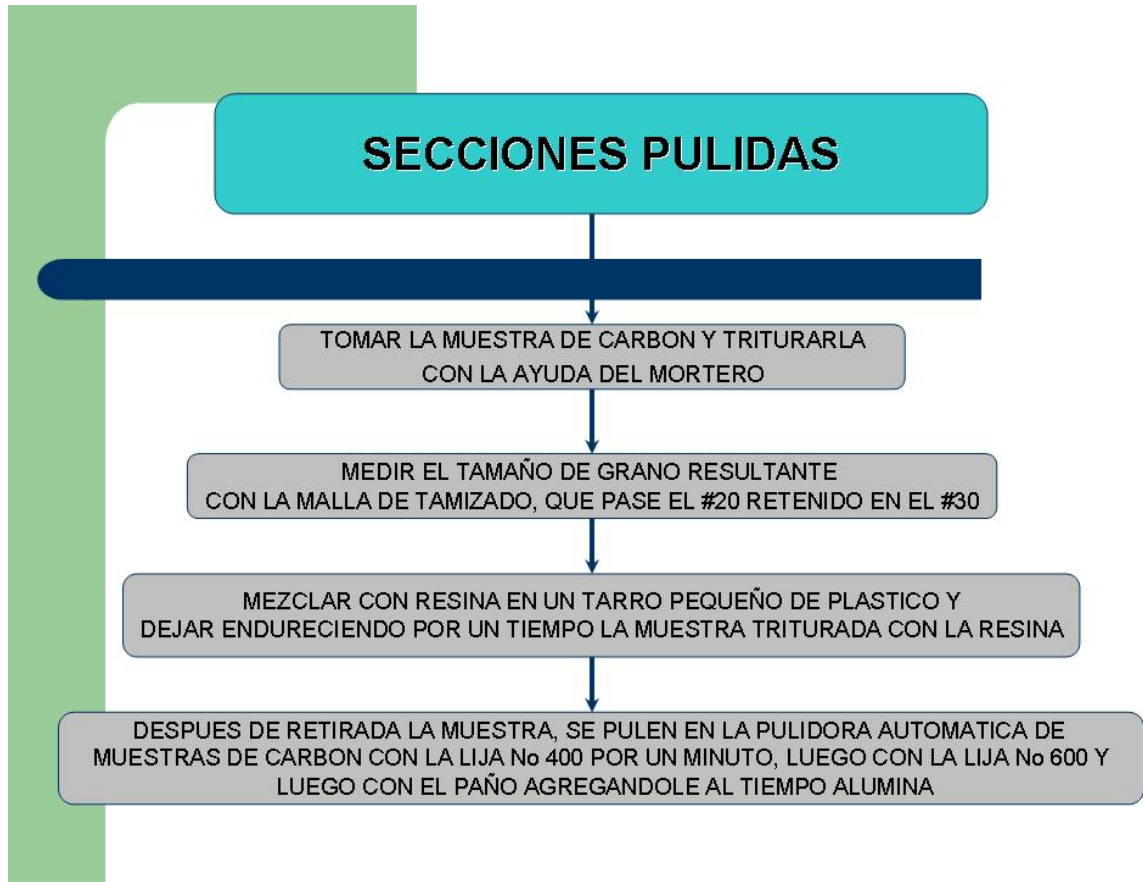
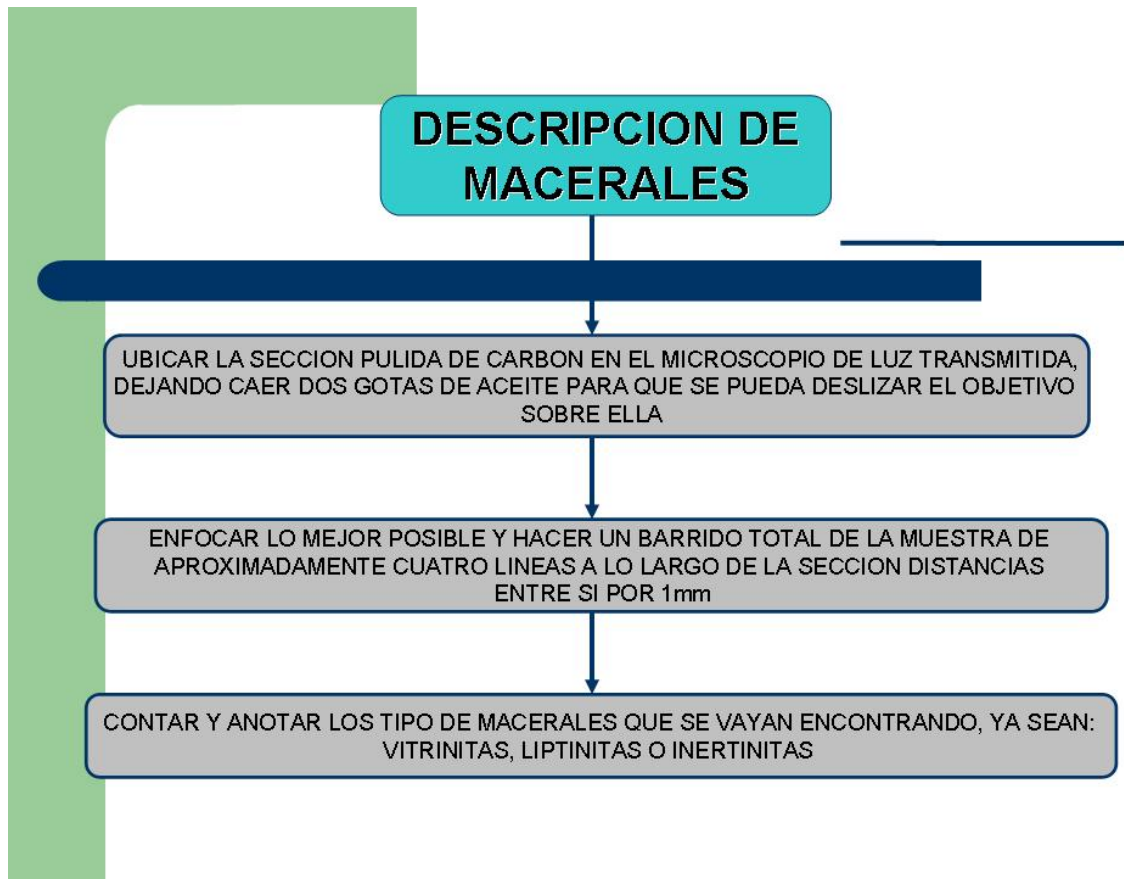


Figura 58. Sección pulida de carbón.



Figura 59. Procedimiento para la descripción de macerales en secciones pulidas.



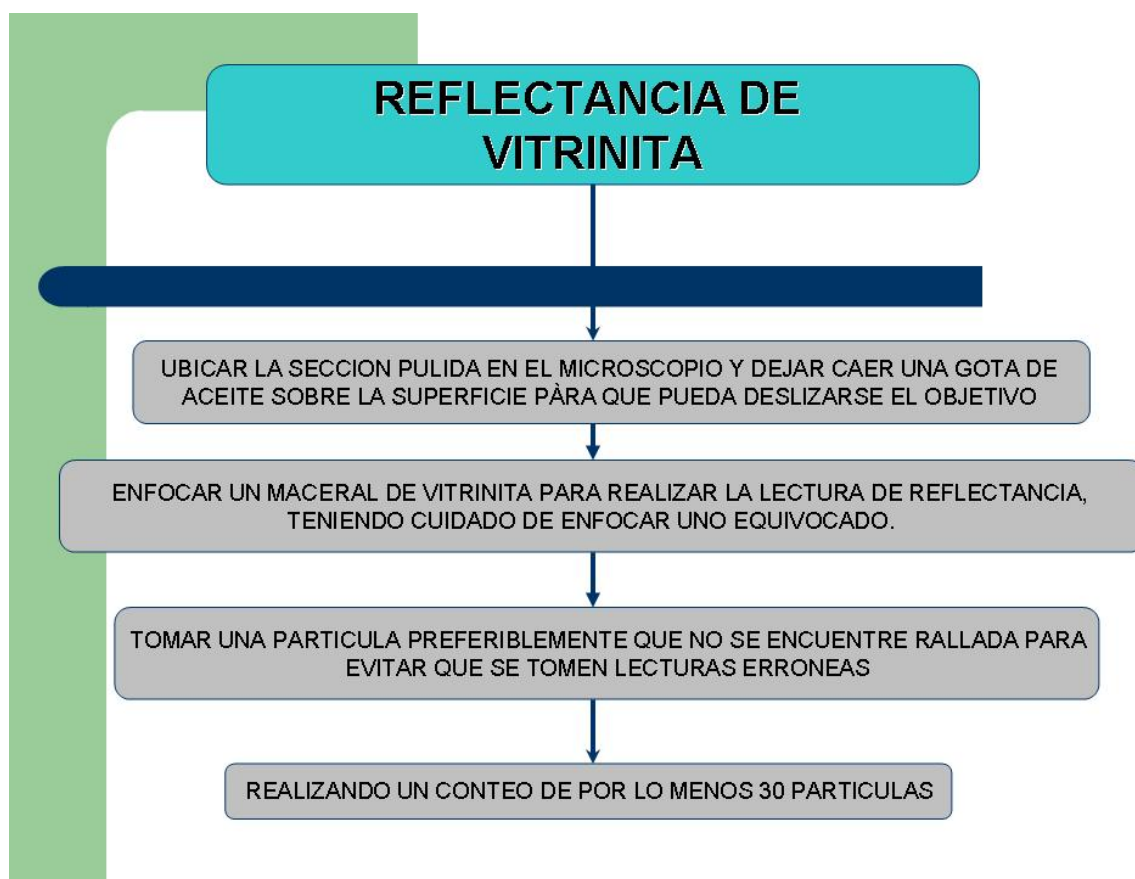
Se elaboraron seis secciones pulidas de diferentes muestras de carbón correspondientes a algunos de los mantos de la Formación Umir.

La composición maceral se determinó mediante un conteo de 100 puntos por sección pulida, escribiendo los resultados en porcentajes de las diferentes variedades de vitrinita, liptinita e inertinita.

2.5.2.2 Reflectancia de Vitrinita (Ro) (Ver Figura 60.).

La Reflectancia de Vitrinita (Ro), es un parámetro que indica la madurez termal del carbón y por lo tanto permite diferenciar carbones térmicos de coquizables; además de indicar la cantidad de gas que potencialmente puede haber generado y acumulado un carbón.

Figura 60. Procedimiento para la toma de lecturas de Ro.



Las medidas de Reflectancia de Vitrinita (Ro) se tomaron empleando un microscopio fotómetro Zeiss Modelo MPM400 usando objetivos de inmersión en aceite y una fuente de luz blanca reflejada (Ver Figuras 61 y 62.). En la calibración del instrumento se emplea un estándar de reflectancia de 0.54% y 1.71% con luz reflejada, cuya longitud de onda es de 546nm. A su vez, el

Figura 61. Pulidora automática Wurtz; usada para pulir las secciones, dejando su superficie brillante.



Figura 62. Equipos empleados en la descripción microscópica. a) Instrumento usado para ejercer presión sobre la sección para que pegue sobre un porta objetos con limpiatipos. b) Microscopio Fotómetro Zeiss Modelo MPM400 empleado en la descripción de macerales y toma de lecturas de Reflectancia de Vitritina.

a.



b.



manejo del fotómetro y el procesamiento de los datos de reflectancia se realizaron a través del software photan.

Se realizaron en total 30 lecturas de R_o para cada una de las seis secciones pulidas, tomándolas sobre superficies con buena calidad de pulimento y con especial cuidado de no hacerlas sobre macerales distintos a la vitrinita.

2.6 INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Esta etapa se interpreta y discute los resultados obtenida a partir del estudio tanto de campo como de laboratorio.

En el trabajo de campo, la interpretación de los datos geológicos permiten elaborar los mapa geológico de las zonas de estudio, acompañado de columnas estratigráficas de la Formación Umir, en las cual se ubican los mantos de carbón más representativos. Y en el trabajo de laboratorio después de realizarse los análisis respectivos, permite obtener las propiedades tanto geoquímicas como petrográficas de los mantos muestreados.

3. MARCO GEOLOGICO

La Cuenca del Valle Medio del Magdalena es una depresión alargada de geometría angosta con un área de 28.500Km² de dirección NNE – SSW con un ancho máximo de 80Km. Y una longitud de 500Km., separando la cordillera Central de la Oriental. Sus altitudes varían entre 50 a 150m.s.n.m cubierta en la mayor parte por sedimentos del Terciario Superior y Cuaternarios (González & Sánchez, 1999.).

Esta cuenca que es una depresión estructural es considerada como una semifosa afectada en su zócalo por una serie de fallas que hundan su extremo Oeste y en consecuencia se presenta basculada hacia el Este. Su límite al Este con la Cordillera Oriental lo constituye la Falla de la Salina, falla inversa sobre la cual cabalga la cordillera con un salto estimado en unos 800m. En el límite Oeste de la cuenca se encuentra una serie de fallas como la de Palestina con movimiento dextralateral y las de Cimitarra y Cantagallo que presentan el bloque Este hundido contra el bloque Oeste levantado.

3.1 ESTRATIGRAFIA REGIONAL

Las zonas de estudio se encuentran al costado oriental de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM), geológicamente conformada por unidades sedimentarias desde el pre-Cretáceo, Cretáceo (donde se incluye la formación de interés del presente trabajo), Terciario y Cuaternario que incluyen coluviones y aluviones (*Ver Figura 63.*).

Figura 63. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Adaptado de Morales, et al. (1958); Bueno (1986); Govea y Aguilera, (1986); Mojica y Franco (1992). (Tomada de INGEOMINAS, 2001).

SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	SIMBOLO	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
Terciario	CUAT. HOL.		Qtz		Terrazas y aluviones	
	PLIO.	GRUPO MESA	TQ		Gravas, arenas y conglomerados. Espesor: 300 - 545 m.	
		GRUPO REAL	Temp		Discontinuidad estratigráfica (?) Areniscas, lodolitas y conglomerados. Espesor: 500 - 700 m.	
	MIOCENO	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.
		GRUPO CHUSPAS	FM. ESMERALDA FM. LA PAZ	Tpe		Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón. Espesor: 160 - 575 m. Areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada. Espesor: 240 - 800 m.
	OLIGOCENO	FM. LISIANA			Lodolitas areniscas y capas delgadas de carbón. Espesor: 300 - 950 m.	
	Cretácico	PAL.	FM. UMIR	1ks		Lodolitas con concreciones ferruginosas y capas explotables de carbón. Espesor: 800 - 1.400 m.
						FM. LA LUNA
		SUPERIOR	FM. SIMITI	Kbal		Lodolitas principalmente, areniscas y calizas en menor proporción. Espesor: 250 - 660 m.
FM. TABLAZO			Kl		Calizas y lodolitas calcáreas. Espesor: 240 - 325 m.	
FM. PAJA					Lodolitas y areniscas. Espesor: 150 - 625 m.	
FM. ROSA BLANCA					Calizas, lodolitas y areniscas. Espesor: 290 - 450 m.	
FM. CUMBRE					Areniscas gris verdosas, cuarzosas, de grano fino, localmente lodosas, con intercalaciones de limolitas, arcillolitas y lodolitas de color gris, negro y rojizo, piritosas. Espesor: 25 - 100 m.	
INFERIOR		FM. LOS SANTOS	Kbeh			
JURASICO		SUPERIOR	FM. GIRON	Je		Areniscas cuarzosas claras, localmente conglomeráticas y lodolitas pardo rojizas. Espesor: 150 - 650 m.
						Alternancia de areniscas y lodolitas gris amarillentas a pardo rojizas, localmente niveles conglomeráticos, pardo rojizos, masivos y lenticulares. Espesor: 3.000 - 4.500 m.

3.1.1 Formación La Luna (Ksl).

Este término fue introducido en 1926 por Garner en Venezuela como “La Luna Limestone” para una sucesión de shale calcáreo, negro, fosilífero con concreciones de calizas negras. El nombre deriva de la Quebrada La Luna al W de la Casa La Luna, NW de Perijá, en el Estado Zulia (Venezuela), y debido a su amplia extensión regional se conservó este nombre en Colombia nororiental.

Según Morales *et al.* (1958, p. 653), adoptan el nombre de dicha formación para la región del Valle Medio del Magdalena y la subdividen en 3 miembros que de abajo hacia arriba son Salada, Pujamana y Galembo.

La descripción que hace Renz (1960, pp. 335-336) de esta formación es: “El Miembro Inferior de la Formación La Luna consiste en caliza de color gris oscuro, laminada, densa y de grano fino y las típicas concreciones de caliza. El Miembro Superior es rico en foraminíferos pelágicos”.

El contacto entre la Formación Umir y la Formación La Luna es neto, probablemente coincidiendo con una superficie de máxima inundación (Reyes *et al.*, 1997).

Dataciones faunísticas ubican esta formación desde el Turoniano Inferior hasta el Santoniano (Ward *et al.*, 1973).

3.1.2 Formación Umir (Ksu).

Según Morales (1958), el término fue usado primero por primera vez por L. G. Huntley, 1917 (inédito) para designar la secuencia expuesta en la Quebrada Umir, a 3Km. del Oeste del Cerro Umir, extremo Suroeste del cuadrángulo H – 12, considerada como localidad tipo. Huntley considerada bajo este

nombre lo que hoy en día son las unidades Umir y Lisama. Después, fue redefinida por T. A. Link (informe inédito) dándole el sentido actual (Morales *et al.*, 1958, p.655).

La formación fue descrita por Morales *et al.* De la siguiente forma: la parte inferior de la formación se compone de lutitas en láminas delgadas, de color gris oscuro, gris azulado a negro, con delgadas láminas carbonáceas y micáceas; caracterizada por capas delgadas, lentes y pequeñas concreciones ferruginosas. La parte superior consta de lutita blanda, gris oscura, en capas delgadas con numerosas laminillas de carbón, láminas delgadas de mineral de hierro, arenisca de grano fino y limolita. Forma amplios valles debido a su naturaleza blanda. El espesor aproximado es de 1200 m.

Julivert en 1968 en su Léxico Estratigráfico de Colombia describe a la Formación reposando en ligera discordancia sobre el Miembro Galemo de la Formación La Luna y encima concordantemente la Formación Lisama (Paleoceno).

Esta formación ha sido dividida en los Miembros Inferior, Medio y Superior (Durán *et al.*, 1976).

La edad de la formación del Cretáceo Superior (Campaniano-Maestrichtiano), dentro de la cual se han encontrado las zonas de Siphogenerinoides cretácea, *S. bramlettei* y *Ammobaculites colombianus* (Morales *et al.*, 1958).

Sin embargo, Tchegliakova (1993), hace un estudio bioestratigráfico en la formación, sección de la Quebrada La Julia, en el cual encuentra grandes cantidades de foraminíferos, predominantemente bentónicos y en baja proporción planctónicos, bajas cantidades de ostrácodos, algas calcáreas y

una gran abundancia de materia orgánica amorfa, junto con volúmenes significativos de pirita de origen sedimentario y siderita.

ECOCARBON (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 1400m y conformada por tres miembros con contenidos variantes de mantos de carbón.

3.1.2.1 Miembro inferior (Ksu1).

Este miembro conforma una secuencia monótona de arcillolita micácea y gris plomo, azulosa a negra, finamente laminada en capas de 3 a 5cm con rítmicas intercalaciones de limonita siderítica nodular laminada, con espesor de hasta 5cm.

Observar este miembro es dificultoso y especialmente su parte inferior, debido a que se encuentra muy fallado y los mejores afloramientos están hacia las quebradas La Vizcaína y Aguas blancas (Castro & Gómez, 1988).

El contacto con el Miembro Medio está ubicado donde aparece el primer manto de carbón (ECOCARBON, 1996). Durán *et al.* (1976) le asigna a este Miembro Inferior un espesor de aproximadamente 400m.

3.1.2.2 Miembro Medio (Ksu2).

Es una secuencia de 400m de arcillolitas grises y gris plomo a negras con intercalaciones muy delgadas de limolitas de cuarzo ferruginosas y con 34 cintas y mantos de carbón que han sido denominados, de techo a base, con las series del 300 al 505. El techo de la unidad está marcado por un conjunto

arenítico de 12 m de espesor, denominado Arenisca la Guía. Este miembro está cubierto por coluviones (INGEOMINAS, 2004).

Podemos ver afloramientos en las Quebradas Carbonera y Lajas en el flanco Oriental y Caño Sardina y Caño Fuego en el flanco Occidental del Sinclinal de Los Andes (Castro & Gómez, 1988).

3.1.2.3 Miembro Superior (Ksu3).

Sobre la Arenisca Guía aflora un conjunto con un espesor de 350m, conformado por arcillolitas grises a negras carbonosas con niveles de arenisca fina a media de cuarzo intercalado, donde aparecen mantos y cintas de carbón. Encima aparece una secuencia de 200m de espesor, compuesta por una sucesión de arcillolitas y 13 mantos de carbón, que conforman los mantos codificados con los números del 265 al 100. En la parte superior, encima del manto 100, afloran capas de arcillolitas verdosas y arenitas de cuarzo intercaladas, con un espesor de 50m (INGEOMINAS, 2004).

3.1.3 Formación Lisama (Tpl).

El nombre fue utilizado por Link, 1925, par describir una serie de sedimentos aflorantes en la Quebrada Lisama (localidad tipo) un tributario del Río Sogamoso, situada en la parte noroeste de la concesión de Mares (Morales *et al.*, 1958, p.656). En el área de San Luís, la Formación Lisama de encuentra en las partes altas de la estructura Sinclinal donde forma una faja continua a lo largo de la Serranía de los Andes.

Litológicamente corresponde a arcillolitas limosa de color gris oscuro a marrón, intercalada con arenisca de grano medio a fino, gris a gris verdoso y en menor proporción limonita. La arcillolita limosa es micácea y algo carbonosa, con algunas laminillas de carbón brillante.

El espesor máximo medido para esta formación, por las compañías petroleras es de 1100m pero normalmente se encuentra incompleta y en algunas ocasiones falta totalmente, debido a la erosión durante el levantamiento post – Lisama. El contacto con la Formación La Paz es una discordancia angular bien marcada y la edad de la Formación Lisama según estudio palinológicos es del Paleoceno (Ward *et al.*, 1973).

3.1.4 Cuaternario.

Esta constituido por coluviones en las laderas de los cerros y por sedimentos aluviales no consolidados que se encuentran en las orillas de ríos quebradas formando diferentes niveles de terrazas.

3.1.4.1 Depósitos Coluviales (Qc).

Estos depósitos están constituidos por grandes bloques angulares de arenisca y algunos conglomerados distribuidos de forma irregular, con matrices arena – arcillosas de tonos amarillentos, formando depósitos con dirección abajo a partir de los cerros y con espesores considerables. Generalmente presentan formas alargadas irregulares, angulosas, cubriendo rocas de la Formación Umir y Lisama.

3.1.4.2 Depósitos Aluviales (Qal).

Son sedimentos encontrados a lo largo de las corrientes como el caso del Río Oponcito, la Quebrada Mata de Cacao o de caños como Caño Pescado, siendo estos depósitos no consolidados de regular selección integrados por gravas, areniscas, liditas y en menor proporción calizas y lutitas. Estos depósitos cubren rocas de la Formación Umir.

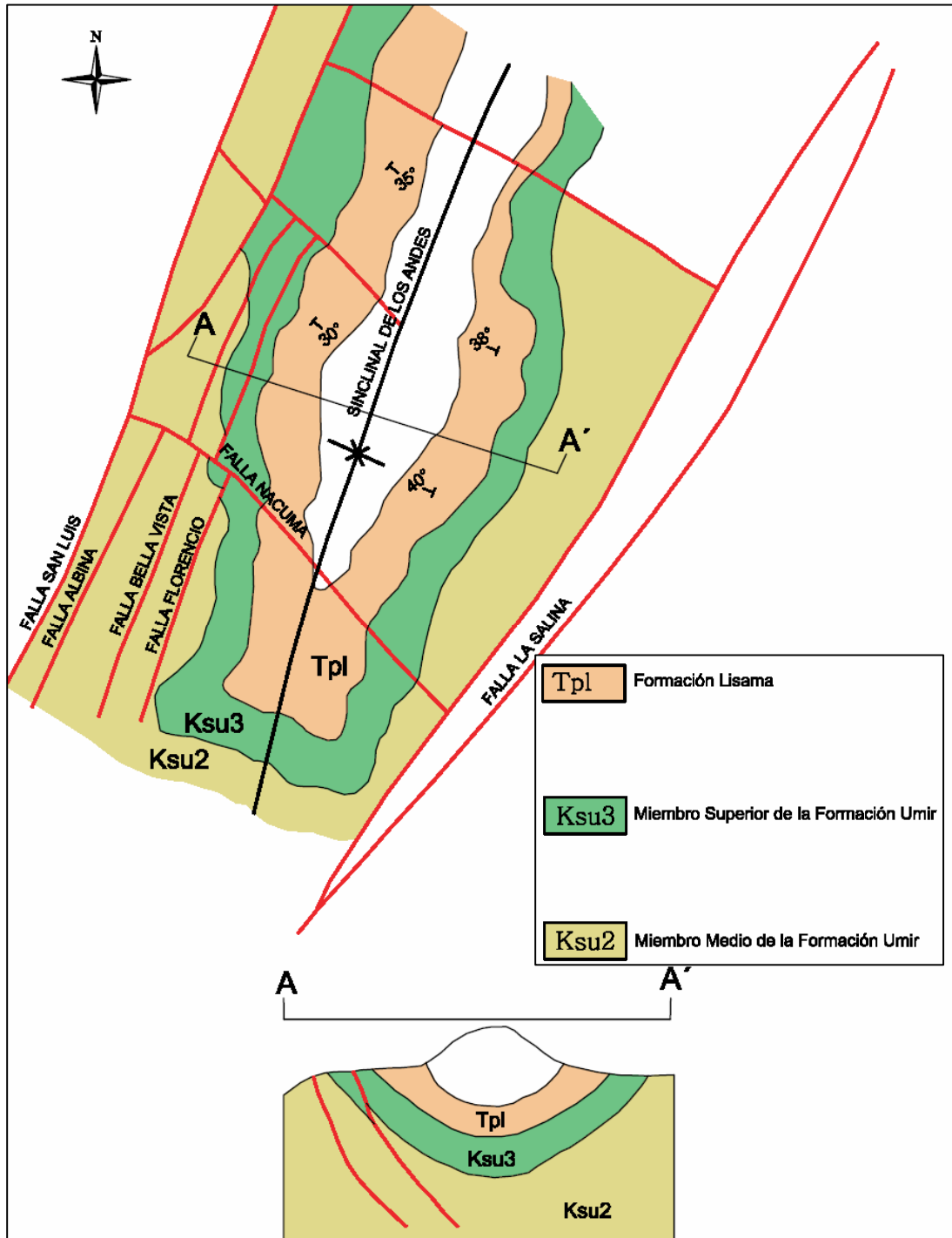
4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La geología estructural general esta representado por una estructura principal conocido como el Sinclinal de Los Andes, el cual se trata de un sinclinal simétrico cuyo eje tiene dirección SW – NE, limitado en sus flancos por fallas (INGEOMINAS, 2004).

Esta estructura esta limita en ambos flancos por un sistema de fallas muy importantes de ángulos relativamente altos y trazos longitudinales que corresponden a la Falla La Salina, una paleofalla normal con inclinación hacia el Oriente que pone en contacto la Formación Umir con la Formación La Luna (INGEOMINAS, 2004), además de la Falla San Luís y Florencio, acompañadas por fracturas secundarias que forman ángulos agudos con los trazos principales, y fallas transversales perpendiculares a estos (*Ver Figura 64.*).

El 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 a 5km al occidente de su posición normal, desplazamiento que sugiere una falla de dirección oriente-occidente a lo largo del Río Sogamoso, bajo los depósitos aluviales (INGEOMINAS, 2001). El Sinclinal de Nuevo Mundo es considerado la continuación hacia el norte del Sinclinal de los Andes.

Figura. 64. Sinclinal de Los Andes y su conjunto de fallas. (Tomado de INGEOMINAS, 2004).



4.1 SINCLINAL DE LOS ANDES

Es la estructura más importante del área, con su eje que tiene dirección general N 20° E, siendo una prolongación del Sinclinal de Nuevo Mundo. Dentro del Sinclinal Los Andes se han reconocido dos sectores: El Sector Flanco Occidental y el Sector Flanco Oriental (INGEOMINAS, 2004).

Su flanco Oriental está limitado por la depresión de la Falla La Salina y la posición de sus estratos con rumbo N 22° E y 22° NW de inclinación, permite el afloramiento de las rocas pertenecientes a los Miembros Medio y Superior de la Formación Umir y Lisama (Castro & Gómez, 1988).

El flanco Occidental, limitado por el sistema de Fallas Florencio y San Luís, expone con rumbo N 25° E y 22° SE de inclinación, las rocas pertenecientes a los Miembros Medio y Superior de la Formación Umir y Lisama.

En el sinclinal se han localizado otras fallas inversas a menor escala con dirección aproximadamente NNE, desplazadas por fallas sinestrolaterales con dirección NW. Dentro de ellas están la Falla Albina, Bellavista, Florencio de dirección NNE y la Falla Nacuma de dirección NW.

La estructura presenta un cierre perisinclinal hacia el SW y hunde su eje suavemente hacia el NE.

4.2 FALLA DE LA SALINA

Su trazo es una serie de fracturas paralelas o pequeñas fallas plumosas al trazo principal, muy recto de dirección N 45° E, lo que hace suponer su alto ángulo de inclinación, muy próximo a la vertical.

El trazo de la falla es observable a lo largo de la depresión del Río Sucio, controlando estructuralmente en forma parcial su recorrido (Castro & Gómez, 1988).

Esta falla se ha interpretado como inversa de alto ángulo, con buzamiento hacia el Este (CARBORIENTE, 1986), a lo largo de la cual el bloque oriental se ha levantado y cabalgado hacia el Oeste, colocando en contacto a la Formación La Luna con rocas del Miembro Medio de la Formación Umir, del flanco Oriental de la estructura sinclinal.

4.3 FALLA DE SAN LUIS

Limita al sinclinal de Los Andes hacia el Oeste y pone en contacto el Miembro Medio de la Formación Umir con sedimentos Terciarios de la Formación Mugrosa, presenta además una serie de fallas satelitales paralelas y plumosa al trazo principal de la misma.

Morfológicamente es fácil apreciar su continuidad por la presencia de colinas y depresiones alineadas.

Es una falla inversa con inclinación hacia el Sureste, a lo largo de la cual el bloque oriental, Cretácico Superior, traslapa sobre el Terciario Inferior (CARBORIENTE, 1986).

4.4 FALLA DE FLORENCIO

Esta localizada en el flanco Occidental de la estructura, donde se aprecia morfológicamente depresiones alineadas que en algunos casos indica su trazo.

Es una falla secundaria de la Falla San Luís y afecta sucesivamente en dirección Norte sedimentos cada vez más jóvenes, desde el Miembro Umir Medio en su parte Sur; Umir Superior en contacto con rocas Terciarias del Grupo Chorro en su parte media, hasta afectar exclusivamente las rocas Terciarias de la Formación Lisama y Mugrosa (Castro & Gómez, 1988).

Esta se ha interpretado como una falla inversa de trazo longitudinal con inclinación hacia el Este (CARBORIENTE, 1986).

Además de las fallas nombradas anteriormente, existen un conjunto de fallas de forma transversales como el caso de la Falla Nacuma de dirección NW que cortan perpendicularmente al conjunto de fallas nombradas previamente, las cuales afectan a los contactos desplazándolos levemente.

En zonas más puntuales, se logra apreciar deformaciones de tipo local, las cuales afectan tanto a la litología como a los mantos de carbón, debido a esfuerzos existentes (*Ver Figura 65.*).

Figura 65. Pliegue local de la zona de la Quebrada Mata de Cacao.



5. ESTRATIGRAFIA EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

5.1 ZONA DE LA VEREDA LA SALINA (Ver Figura 66.)

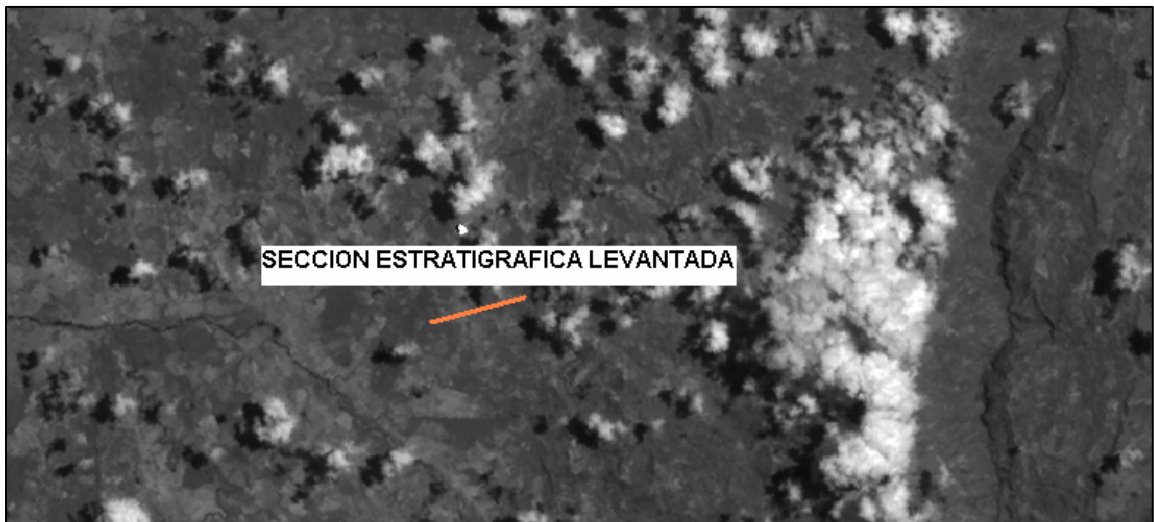
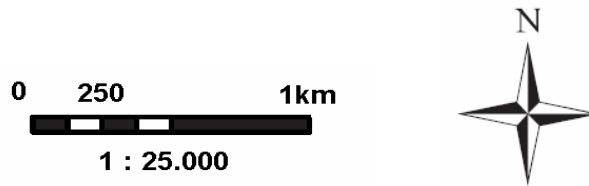
Figura 66. Manto de carbón del lugar donde se levanto la sección en La Salina.



La sección estratigráfica levantada en La Vereda La Salina (Ver Anexo 4.), se hizo justamente caminando aguas arriba por el caño pescado, cerca del río Oponcito, teniendo como coordenadas de inicio la columna: $X = 1'240.175$, $Y = 1'058.150$ y $Z = 300\text{m}$. Tiene una longitud total de 520m con zonas de vegetación donde fue imposible identificar algún tipo de litología. La sección se levanto en el flanco Occidental del Sinclinal de los Andes (Ver Figura 67.).

A continuación se realiza la descripción de la sección de base a techo, nombrando sus litologías y rasgos más sobresalientes de cada una de ellas.

Figura 67. Imagen satelital de la zona de estudio de la Vereda La Salina.



Los primeros 7.5m consta de un paquete de arcillolitas de color gris, altamente meteorizadas en algunas zonas, donde se alcanza a observar alguna laminación de tipo plano paralela; intercalada con cinco cintas de carbón hacia la base, con espesores entre los 15cm a 30cm, y están suprayacidas e infrayacidas por las mismas arcillolitas. El rumbo de los estratos es N 10° E con buzamiento 67° SE.

Continúa un cubierto de 17.5m de espesor de árboles y arbustos por toda el caño. Enseguida, 10m de un paquete de arcillolitas de color gris, altamente meteorizada por la humedad, donde se aprecia levemente laminación plano paralela; y una cinta de carbón de 20cm aproximadamente, semibrillante, con fractura concoide. La dirección de los estratos es rumbo N 5° E con buzamiento 80° NE.

Las zonas cubiertas siempre fueron un problema para la identificación de litologías como este caso, que a los 22m de distancia de la base de la sección, se encuentran 72.5m de vegetación, un espacio bastante grande que se queda sin poder determinar.

Seguidamente 9m de arcillolitas gris meteorizada y con tonalidades rojizas en algunas parte debido a la oxidación, con presencia de laminación tipo plano paralela dominante, aunque en unos sectores de tipo ondulosa; se intercala con un nivel de limolita rojiza de 10cm de espesor y algunas concreciones de la misma (*Ver Figura 68.*).

FIGURA 68. Concreción de limolita intercalada con arcillolita.



A los 126m de longitud de la base de la sección, aparece un paquete de 6.5m de arcillolitas grises, meteorizada en unas zonas, con laminación de tipo plano paralela y una cinta de carbón de 15cm con respaldos de la misma arcillolitas.

A los 140m de longitud de la base de la sección, aparece un manto de carbón de 65cm de espesor, semibrillante, levemente plegado; a 160m de la base, de nuevo otro manto de carbón de 65cm de espesor, semibrillante (*Ver*

Figura 69.); y a 3.5m del manto anterior, una cinta de carbón de 25cm semibrillante.

Figura 69. Manto de carbón.



Entre los 164m y 201m de la sección, 26m corresponde a cubiertos, y siguiendo la secuencia encontramos, 2.5m son arcillolitas grises masivas un poco alterada, intercalada con una cinta de carbón de 30cm aproximadamente; un poco más adelante, aparece un manto de carbón de 50cm; y a 13m aproximadamente, un paquete de arcillolitas carbonosa meteorizada, intercalada con unos mantos pequeños de carbón de tipo brillante con fractura concoide, los cuales están plegados. Tienen como Rumbo N 20° W y Buzamiento 40° SW.

Entre los 225m y 235m, existe una intercalación de limolita de 16cm de espesor; seguida por una arcillolita carbonosa de 3m de ancho; un manto de carbón de 20cm con Rumbo N 10° E y sus estratos están verticales; y finaliza con 6m de arcillolita gris alterada con laminación de tipo plano paralela.

Entre los 285m y 305m, se presenta un paquete de arcillolita de 2.5m de espesor con una intercalación de un nivel de limolita de 5cm; más arriba una capa de arcillolita gris de 2m de espesor intercalada con dos capas de carbón de 20cm y 40cm, brillantes; y hacia el final de este intervalo, un manto de carbón de 50cm brillante (*Ver Figura 70.*).

Figura 70. Manto de carbón alterado por el paso del agua.



Entre el rango de los 331m y 366m de la sección, inicia con dos cintas de 20cm y 35cm de espesor suprayacidas e infrayacidas por arcillolitas; seguida de un paquete grande de arcillolitas grises de 27.5m de espesor, meteorizada en unas zonas, con laminación de tipo plano paralela,

intercalada con niveles de limolita rojiza de 3cm a 5cm de espesor; una capa de arenisca de 20cm de grano fino masiva, de color pardo negrusco debido a que se encuentra impregnada de hidrocarburo por el olor a aceite que expide; y finaliza con 6.3m de arcillolita gris con laminación plano paralela. Tienen como Rumbo N 15° E y Buzamiento 65° SE.

A los 9m de distancia de la capa anterior de arcillolita, se presentan 2m de arcillolita carbonosa de color pardo negrusco, con una capa en la base y techo de la misma de 20cm y 30cm de espesor.

A partir de los 390m y hasta los 465m, hay un intercalaciones de capas de arcillolitas y zonas cubiertas, las cuales abarcan aproximadamente 46m; mientras que el resto de espesor se divide en 8m arcillolita gris meteorizada, intercalada con niveles de limolita oxidada de 3cm a 3.5cm de espesor; posteriormente, 12m de arcillolita gris con laminación plano paralela, y hacia su base se encuentran cinco mantos de carbón de espesor entre 12cm y 50cm; más delante de nuevo otra capa de arcillolitas de 3m; y finaliza con otra de 6m de espesor.

Sobre los 500m de distancia, aparece el manto de 1m de espesor con Rumbo N 20° W y Buzamiento 80° NE, el cual fue muestreado y analizado en el laboratorio. Es brillante, con fractura concoide y se observa a simple vista que presenta pirita. Se alcanzo a observar poco de su respaldo y techo, siendo una arcillolitas grises muy meteorizadas (*Ver Figura 71*).

A 13m de distancia del manto anterior, aflora el siguiente manto de 3.0m de espesor con Rumbo N 10° E y Buzamiento 55° NW, el cual, fue también muestreado y tratado en el laboratorio. Es brillante y de igual forma, se fractura de forma concoide y presenta pirita (*Ver Figura 72*).

Figura 71. Manto de carbón de 1m de espesor.



Figura 72. Manto de carbón de 3.0m de espesor.



Y el último manto a 6m de distancia del manto de 3.0m, aparece el manto de 1.80m de espesor con Rumbo N 8° W y Buzamiento 35° NE, que de igual forma se muestreo y analizo, siendo también, brillante con presencia de pirita.

5.2 ZONA LA VEREDA VIZCAINA ALTA (Ver Figura 73.)

Figura 73. Fotografía donde se levanto la sección en Vizcaína Alta.

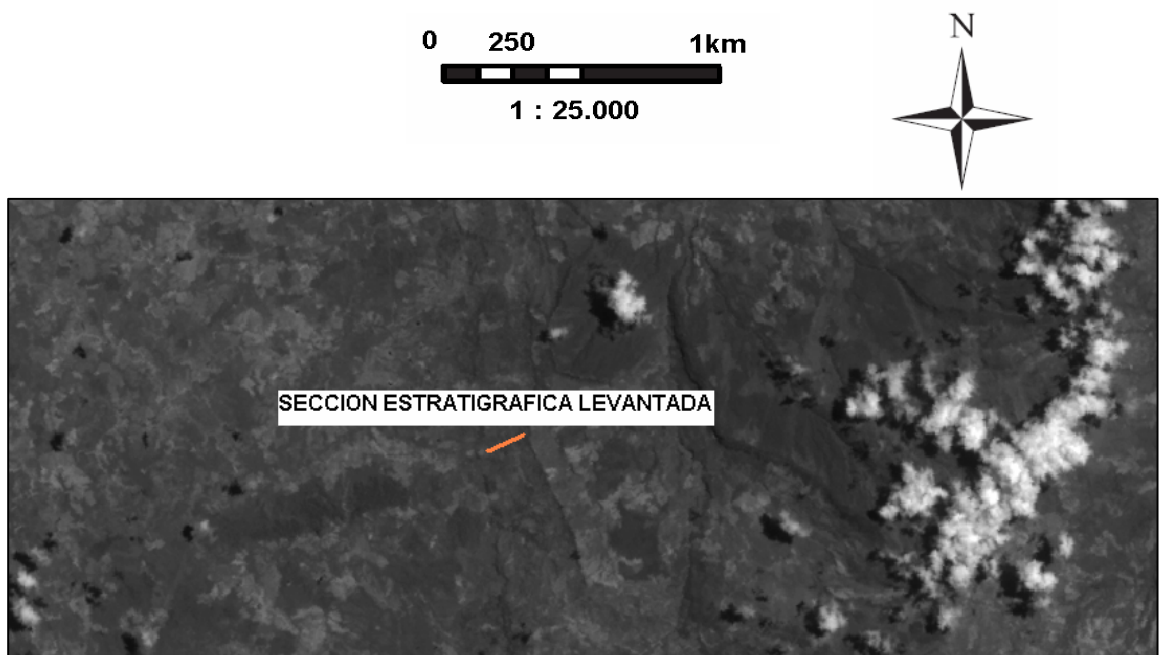


La sección estratigráfica levantada en la Vereda Vizcaína Alta (Ver Anexo 5.), se ubicada a 200m hacia el Norte del Pozo Nutria 18 (Pozo de ECOPEPETROL) cerca por donde pasa la quebrada La Vizcaína, con coordenadas: X = 1'266.275, Y = 1'058.450 y Z = 185m. Tiene una longitud total de 135m incluyendo zonas de vegetación, las cuales no ha permitido la identificación de litologías. La sección fue levantada en el flanco Occidental del Sinclinal de los Andes (Ver Figura 74.).

A continuación se describe de base a techo la columna de la Formación Umir de la presente zona.

Inicia con una arcillolitas grises altamente meteorizada, de 2m de espesor aproximadamente, en las cuales no se alcanzan a observar estructuras como de laminación; intercaladas con limolitas rojizas debido a oxidación de 3cm a 5cm de espesor.

Figura 74. Imagen satelital del área de estudio de la Vereda Vizcaína Alta.



Seguidamente un cubierto de 17m de vegetación de pastizales. A continuación aparece paquete de arcillolitas grises masiva de 22m de espesor, que presenta hacia la base, ocho cintas de carbón semibrillante a semiopaco de 10 a 35cm de espesor con Rumbo N 30° E y Buzamiento 50° SE (Ver Figura 75.); hacia el techo se encuentra una intercalación de limonitas rojizas masivas de 3cm a 5cm de espesor aproximadamente.

Figura 75. Cintas de carbón.



Posteriormente, 57.5m de cubierto por pastizales altos donde hay depositados coluviales de variado tamaño entre 50 x 40 hasta 100 x 120 m (Ver Figura 76.).

Figura 76. Zona de vegetación con coluviones de diversos tamaños.



Ascendiendo estratigráficamente, aparece un nuevo paquete de arcillolitas grises de carácter masivo de 12.5m de espesor, meteorizadas en algunas zonas, intercalada por seis mantos de carbón semibrillante bandeado de espesores que varían desde 40cm hasta 1m, con Rumbo N 30° E y Buzamiento 30° SE.

Luego de un cubierto por vegetación de 18 metros, encontramos un paquete de arcillolitas grises meteorizada de seis metros de espesor donde se encuentra una capa de carbón de 30cm.

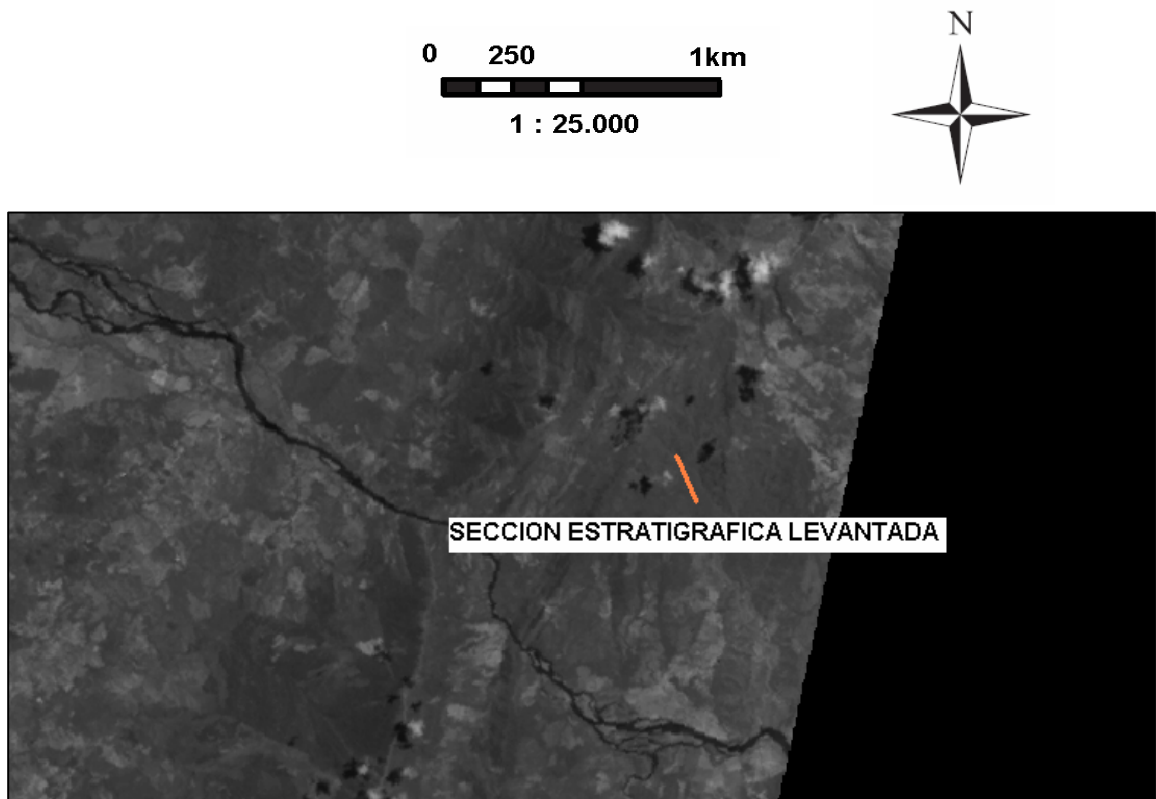
5.3 ZONA DE LA QUEBRADA MATA DE CACAO *(Ver Figura 77.)*

Figura 77. Panorámica de la sección levantada en la Quebrada Mata de Cacao.



La sección de la zona de la Quebrada Mata de Cacao (*Ver Anexo 6.*), se levanto a 50m aproximadamente del puente vehicular de la carretera que conduce de Bucaramanga hacia Barrancabermeja, aguas arriba de la quebrada, con coordenadas de inicio: $X = 1'277.064$, $Y = 1'079.600$ y $Z = 300m$ (*Ver Figura 78.*). Tiene una longitud total de 156.15m, con una visualización muy buena de sus capas. Esta sección fue levantada en el flanco Oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo, el cual se considera la continuación hacia el norte del Sinclinal de los Andes.

Figura 78. Imagen satelital del área de estudio de la Quebrada Mata de Cacao.



A continuación se describe de base a techo la columna, destacando los rasgos más sobresalientes.

Inicia con un espesor no apreciable de arcillolitas grises con laminación plano paralela intercalada con dos cintas de carbón hacia el tope de 10cm y 20cm respectivamente, de Rumbo N 12° E y Buzamiento 22° NW.

Enseguida, se encuentran 9m de arcillolita gris altamente meteorizada, plegada (*Ver Figura 79.*), intercalada con una serie de niveles de limolita de 2cm y 3cm; luego 5.5m de arcillolita gris clara hacia el tope, y arcillolita meteorizada gris oscuro hacia la base, intercalada toda en general por niveles de limolita de 3cm de espesor, con Rumbo N 12° E y Buzamiento 15° NW; hacia la base se observa una capa de 5cm de shale carbonoso y una cinta fina de carbón meteorizada de 20cm aproximadamente.

Figura 79. Plegamiento local de arcillolitas, intercaladas con niveles de limolita oxidada.



Seguidamente, aflora una capa de shale grisáceo masivo; suprayaciendo 4m de arcillolita gris alterada, intercalada con tres capas de carbón entre 10cm y 20cm; seguida de una capa de 2m de shale masivo con presencia de concreciones de tamaño de 30m X 20m y hacia el tope la presencia de dos

capas de carbón de 10cm y 20cm; continuando con 1m de arcillolita gris, intercalada con niveles de limolita rojizas oxidadas.

A continuación, afloran 22m de shale grisáceo masivo, el cual esta intercalado por varios niveles de limolitas rojizas (*Ver Figura 80.*); y suprayaciendo una capa de carbón de 20cm de espesor.

Figura 80. Intercalación de shale con niveles de limolita.



Encontramos una capa de arcillolita gris masiva de 6.5m de espesor, intercalada con varios niveles de limolita de 3cm a 5cm; una capa 19.5m de shale gris oxidado y meteorizado, de textura físil, con alguna laminación plano paralela, intercalado con niveles de 3cm a 5cm aproximadamente de limolita con laminación plano paralela, y hacia el tope, dos capas de carbón, de 35cm de espesor alterado y otro de 10cm, brillante bandeado, suprayacido e infrayacido por arcillolita, con Rumbo N 42° E y Buzamiento 28° NW ; y finaliza con una pequeña capa de shale carbonoso que esta en contacto ondulado con la siguiente capa que es de arcillolita.

Los siguiente 3.5m corresponden a una arcillolita de color gris oscura con presencia de oxidación, la cual esta en contacto ondulado hacia la base con un shale carbonoso y en contacto ondulado hacia el techo con una arenisca. Localmente presenta plegamientos.

Continúa una capa de 50cm de arenisca de grano fino de color café la cual está en contacto ondulado hacia la base con una arcillolita; seguida de 50cm de arcillolita gris en contacto ondulado hacia el techo con otra arenisca; viene 1m de arenisca cuarzosa de grano fino, amarilla, con laminación plano paralela en contacto neto en el tope con una capa de shale; y 10.5m de una capa de shale gris masivo con intercalación de niveles de limolita de 8cm hacia el tope e intercalado con capas de arenisca de grano fino color café hacia la base.

Aflora un paquete de 4m de arcillolitas grises masivas con laminación plano paralela intercalada con niveles muy pequeños de arenisca de aproximadamente 2cm a 3cm; continuando con una capa de de arenisca de 2.5m de espesor de grano fino, color café con laminación plano paralela, y presencia de cuarzo, feldespatos y micas.

A la altura de los 99m de la sección, surge una capa de 10m de arcillolita muy monótona, con una capa de carbón de 50cm de espesor, semibrillante bandeado con alto contenido de pirita, el cual fue muestreado y analizado en el laboratorio para determinar sus propiedades geoquímicas y petrográficas; seguida de otra capa de carbón a 2m aproximadamente de 60cm de espesor semibrillante bandeado con alto contenido de pirita que a la vez, también fue muestreado y analizado.

A los 109m de la base de la sección, aflora una capa grande de carbón de 1.30m de espesor, la cual se encuentra bastante alterado y meteorizado, lo

cual fue imposible de describir y muestrear; seguida por 8m de arcillolitas grises de color clara masiva; y de nuevo otra capa grande de carbón de 2m de espesor, un poco alterado, semibrillante con trazas amarillas debido a la meteorización y presencia de pirita (*Ver Figura 81.*). De igual forma, se muestreo y trato en el laboratorio para definir sus propiedades: y suprayacido el manto por 10m de arcillolitas grises con altamente meteorizadas.

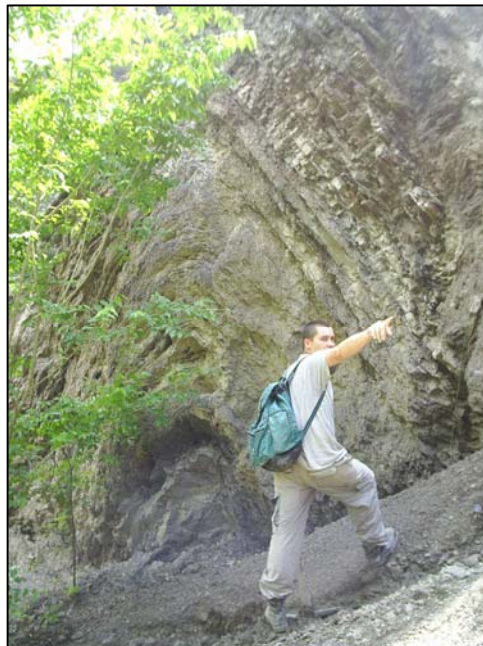
Figura 81. Manto de carbón de 2m con trazas amarillas de azufre.



A la altura de 131m, afloran 10.3 de intercalación de 1.30m de un manto de carbón semibrillante, meteorizado; seguido por 30cm de liditas de color amarillo, las cuales se fracturan en forma de panelitas, con Rumbo N 60° E y Buzamiento 27° SE; continua 1.70m de un capa de shale carbonoso físil; suprayacido por otra capa más grande de liditas de 2m de color amarillo,

igualmente físciles; una capa de 1m de shale gris masivo con laminación de tipo plano paralela, con líneas espaciadas de a 1cm; 1.5m de shale carbonoso meteorizado plegado; 2m de shale de color gris físcil meteorizado; para finalizar con 1.5m de shale carbonoso infrayacido con un nivel de 20cm aproximadamente de liditas amarillas (*Ver Figura 82.*).

Figura 82. Intercalación de base a techo de shale carbonoso físcil, liditas, shale masivo y shale gris físcil meteorizado.



Entre los 141.5m y el tope de la sección levantada, afloran 3m de arcillolita con laminación plano paralela y de tipo ondulosa hacia el techo; seguidamente una capa de carbón de 1.5m de espesor, semibrillante, el cual se encuentra meteorizado; 5.5m de una sucesión de arcillolita con laminación plano paralela, intercaladas con varios niveles de liditas de 10cm a 30cm aproximadamente, con un intenso plegamiento local; 1m de shale carbonoso; y finaliza una capa de limolita infrayacida por dos manto de carbón de 20cm y 1m de espesor.

6. FACIES

Se conoce como Facies al conjunto de rocas con características litológicas y paleontológicas similares identificables a escala de mano, permitiendo así una interpretación ambiental.

Para las secciones levantadas de la Formación Umir se han definido 4 facies de acuerdo a la descripción realizada en campo de las diferentes litologías encontradas en las columnas estratigráficas.

El nombre de las facies se ha hecho a partir de letras las cuales muestran el tipo de roca y la característica estructural sobresaliente. Las facies estimadas son las siguientes:

Agfm: Cuarzo-arenita de grano fino a medio, **Alm:** arcillolita y limolita masiva, **Shm:** Shale masivo, **CShc:** Carbón y Shale carbonoso.

Facies de Agfm (Cuarzo – arenita de grano fino a medio)

Estas facies se conforma por unas areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de color amarillo y café claro, bien calibrada, en algunas partes se encuentran con laminación plano paralela, como las encontradas en la sección de Mata de Cacao, con una abundancia de 3.21%. Sugieren un régimen hidrodinámico bajo a moderado.

Facies de Alm (arcillolita y limolita masiva)

Corresponden a las facies más abundantes y se encuentra constantemente en todas las secciones con el 41.67%. La facie esta representada por las arcillolitas grises con laminación plano paralela intercalada con niveles de limolitas masivas rojizas y se incluyen algunos niveles de lidita en la parte superior de la sección Mata de Cacao. Presenta un régimen hidrodinámico bajo.

Facies de Shm (Shale masivo)

Corresponden al 25.64% de la sección levantada, y la constituye un shale grisáceo masivo y en algunas zonas de apariencia físil. Presenta laminación plano paralela con poca bioturbación.

Su espesor es de varios centímetros hasta pocos metros. El régimen hidrodinámico es bajo, de aguas tranquilas.

Facies de CShc (Carbón y Shale Carbonoso)

Esta conformada por los niveles de carbón que varían en su espesor desde pocos centímetros hasta 3 metros (sección Vereda La Salina), y se encuentra distribuida en todas las columnas; se incluyen en esta fase los Shale carbonosos y arcillolitas carbonosas encontradas a lo largo de las secciones. Presenta una abundancia de 12.82%, y su régimen es hidrodinámico de baja energía con aguas tranquilas.

7. CARACTERIZACION GEOQUIMICA Y PETROGRAFICA DE CARBONES

La caracterización geoquímica y petrográfica permite conocer las propiedades de los carbones recolectados en campo para establecer parámetros de calidad de las muestras y ser consignados en tablas clasificatorias.

7.1 RESULTADOS DE LOS ANALISIS GEOQUIMICOS

7.1.1 Análisis Proximales.

SECCION DE LA VEREDA LA SALINA

Los resultados en el área de La Vereda La Salina (*Ver Tabla 5.*) arroja condiciones de humedad baja, ya que tienen un promedio ponderado en general tan solo del 2.96%, lo que indica la calidad y cuidado que se tuvo en el momento de ser tomados siendo ideales en el momento de trituración y molienda, ya que no se adhieren a los equipos utilizados, y fueron fáciles de triturar, por lo que tienen un bajo valor de molienda. El manto de 1.0m es el de más baja humedad con 2.03%, mientras que el manto de 1.80m es el de más alta humedad con 3.84%; la materia volátil en las muestras señala un promedio aceptable del 37.96%, por lo que se sabe que su contenido de cenizas es bajo ya que esto dos valores son inversamente proporcionales. La materia volátil del manto de 1.80m es la más baja con 35.18%, mientras que la del manto de 3.0m es la más alta con el 41.76%; el rango de cenizas es muy bueno, ya que además de estar por debajo del 12%, valor establecido para carbones limpios, estos presentan un promedio ponderado apenas del 3.52%. El manto de 1m es aquel con menor porcentaje de cenizas con

solo el 2.07%, mientras el manto de 3.0m es el más alto con 6.07%; calculando el carbono fijo presente para la muestras, nos da un promedio ponderado del 55.53% lo que clasifica a los mantos en *carbones bituminosos altos en volátiles B*.

El sulfuro se presenta en forma de piritita con el 1.47% de promedio, siendo el manto de 1.80m el valor más bajo de sulfuros y el manto de 3.0m el más con 3.13%.

Tabla 5. Hoja de calidad de carbones de La Vereda La Salina.

ANALISIS PROXIMAL	%	MANTO 1.0m	MANTO 3.0m	MANTO 1.80m	PROMEDIO
HUMEDAD RESIDUAL	%	2.03	3.02	3.84	2.96
MATERIA VOLATIL	%	37.03	41.67	35.18	37.96
CENIZAS	%	2.07	6.07	2.43	3.52
CARBONO FIJO	%	58.85	49.22	58.54	55.53
AZUFRE TOTAL	%	0.707	3.135	0.567	1.470

SECCION DE LA QUEBRADA MATA DE CACAO

Para los carbones del área de La Quebrada Mata de Cacao (*Ver Tabla 6.*), sus condiciones de humedad son aun más bajas que los de la Vereda La Salina, con un promedio ponderado del 1.65%, lo que señala la calidad y cuidado del muestreo, además que son ideales con esta humedad en el momento de trituración y molienda, ya que no se adhirieron a los equipos y su índice de molienda es bajo por la facilidad con que se dejaron triturar. El manto de 0.50m es el de más baja humedad con 1.40%, mientras que el manto de 2.0m es el de más alta humedad con 2.14%; la materia volátil presenta un promedio bajo del 27.76%, a causa de que sus cenizas son muy altas, afectando la calidad del carbón. La materia volátil del manto de 2.0m es la más baja con 22.41%, mientras que la del manto de 0.6m es la más alta

con el 35.51%; el rango de cenizas no fue muy bueno, porque los valores están muy elevados, sobre pasando el valor aceptable de 12% y presentando un promedio de 36.04% de cenizas, lo cual afecta la calidad del carbón, bajando el rendimiento. El manto de 0.6m es aquel con menor porcentaje de cenizas con el 22.26%, mientras el manto de 0.5m es el más alto con 47.79%. Este carbón necesita ser lavados previamente para poder ser empleados y tratados para eliminar toda la materia inerte posible; y calculando el carbono fijo presente de la muestras, arroja un promedio ponderado del 34.53%, clasificándolos en *carbones bituminosos altos en volátiles B y en volátiles C*.

Tabla 6. Hoja de calidad de carbones de La Quebrada Mata de Cacao.

ANALISIS PROXIMAL	%	MANTO 0.50m	MANTO 0.60m	MANTO 2.0m	PROMEDIO
HUMEDAD RESIDUAL	%	1.40	1.40	2.14	1.65
MATERIA VOLATIL	%	25.35	35.51	22.41	27.76
CENIZAS	%	47.79	22.26	38.08	36.04
CARBONO FIJO	%	25.44	40.806	37.346	34.530

7.1.2 Análisis de Índice de Hinchamiento (IH).

El resultado del Índice de Hinchamiento respecto a las dos zonas, muestra que ninguno de ellos es coquizable (*Ver Tablas 7 y 8.*), se aglomeran pero no forman coque, llegando solamente como máximo rango de valor a 1.5 el manto de 1m del área de La Salina, y el resto de ellos con valores de 1. Por lo que se deduce que son carbones de tipo “Térmico”, empleados para la generación de energía.

SECCION DE LA VEREDA LA SALINA

Tabla 7. Resultado de Índice de Hinchamiento de La Vereda La Salina.

OTROS ANALISIS	MANTO 1.0m	MANTO 3.0m	MANTO 1.8m
INDICE DE HINCHAMIENTO	1.5	1	1

SECCION DE LA QUEBRADA MATA DE CACAO

Tabla 8. Resultados de Índice de Hinchamiento de La Quebrada Mata de Cacao.

OTROS ANALISIS	MANTO 0.5m	MANTO 0.60m	MANTO 2.0m
INDICE DE HINCHAMIENTO	1	1	1

7.1.3 Poder Calorífico (BTU).

Este análisis solo fue practicado para la zona de la Vereda La Salina. Los resultados muestran carbones con buen poder calorífico (*Ver Tabla 9.*) con promedio de 12,666.20 BTU / lb., rango muy bueno de energía, ya que los carbones de alta calidad están dentro de este rango. El manto de 1.80m es aquel que tiene el poder calorífico más alto con 14,145.39 BTU / lb., por lo que puede ser empleado en plantas de generación de energía.

SECCION DE LA VEREDA LA SALINA

Tabla 9. Resultado del Poder Calorífico de la Vereda La Salina.

OTROS ANALISIS		MANTO 1.0m	MANTO 3.0m	MANTO 1.80m	PROMEDIO
PODER CALORIFICO	BTU/lb.	14,145.39	10,749.19	13,104.02	12,666.20

7.2 RESULTADOS DE LOS ANALISIS PETROGRAFICOS

7.2.1 Macroscópicos.

El término litotipo se emplea para designar las diferentes bandas de los mantos identificables macroscópicamente. Estos litotipos presentan características diferentes según la naturaleza, las condiciones de

deposición y la extensión de la alteración bioquímica durante la carbonificación de los diferentes componentes de las plantas originales, lo cual determina el tipo de carbón (ECOCARBON, 1995).

La descripción e identificación de los litotipos permiten correlacionar un manto, ya que por lo general tienen una extensión bastante considerable lateral por lo delgadas que son. Además, los litotipos están correlacionados con el ambiente de sedimentación y permiten realizar una reconstrucción de un paleoambiente.

Los carbones se dividen en Sapropélicos y en Húmicos; los Húmicos presentan generalmente un bandeamiento conocido como Vitrain, Clarain, Durain y Fusain.

Vitrain (Carbón brillante) corresponde a capas de carbón muy brillante de espesor de más de 10mm y las de menor espesor de 10mm se incluyen dentro del clarain. Las propiedades del vitrain varían de acuerdo al grado de carbonificación y es el maceral más uniforme en pureza ya que contiene el mínimo contenido de materia mineral.

Clarain (Carbón semibrillante) este litotipo comprende las bandas muy finas que constituyen a un carbón, donde su espesor es inferior a 10mm. Tiene un brillo que varía entre el vitrain y el durain y el clarain es el constituyente más abundantes en los carbones húmicos.

Durain (Carbón opaco) solo son bandas de más de 10mm de espesor y las de menor espesor son consideradas de clarain. Las bandas de durain son menos frecuentes que las de vitrain y clarain y en ocasiones tienden a confundirse con arcillolitas finamente laminadas.

Fusain en la mayoría de los casos se presentan en el manto en forma de lentes con algunos centímetros de gruesos y algunos centímetros de largo, siendo el componente sucio. El fusain no es coquizable y por lo general presentan contenidos de poder calorífico carbono fijo relativamente altos.

Y los carbones Sapropélicos difieren litológicamente de los carbones húmicos por la falta de estratificación, textura homogénea y la gran resistencia. Se clasifican en Carbones Cannel y Carbones Boghead.

Se analizaron macroscópicamente en total seis muestras de mano de carbón de los principales manto de la zona de La Vereda La Salina, siendo estos los mantos de 1m, 3m y 1.80m de espesor.

Un corte de forma perpendicular a los litotipos se hizo para cada una de ellas, donde se describió la cantidad de bandas, que tipo de bandas se observaba (*Ver Tabla 10.*), la frecuencia de las fracturas (*Ver Tabla 11.*) y las fracturas que tenía (*Ver Tabla 12.*), para que así, reuniendo toda la información descrita de la muestra, definir los litotipos y el tipo de carbón existente en la zona, haciendo uso de la tabla de clasificación según Diessel (*Ver Tabla 13.*).

Tabla 10. Tabla de clasificación del tipo de banda (Tipo de carbón).

	TIPO DE BANDA (TIPO DE CARBON)
1	SHALE
2	SHALE CARBONOSO
3	CARBON OPACO
4	CARBON SEMIOPACO
5	CARBON SEMIBRILLANTE
6	CARBON BRILLANTE

Tabla 11. Tabla de clasificación de Frecuencia de Fracturas.

FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS
10 FRACTURAS / cm.
5 FRACTURAS / cm.
3 FRACTURAS / cm.
1 FRACTURAS / cm.
<1 FRACTURAS / cm.

Tabla 12. Tabla de tipo de fracturas.

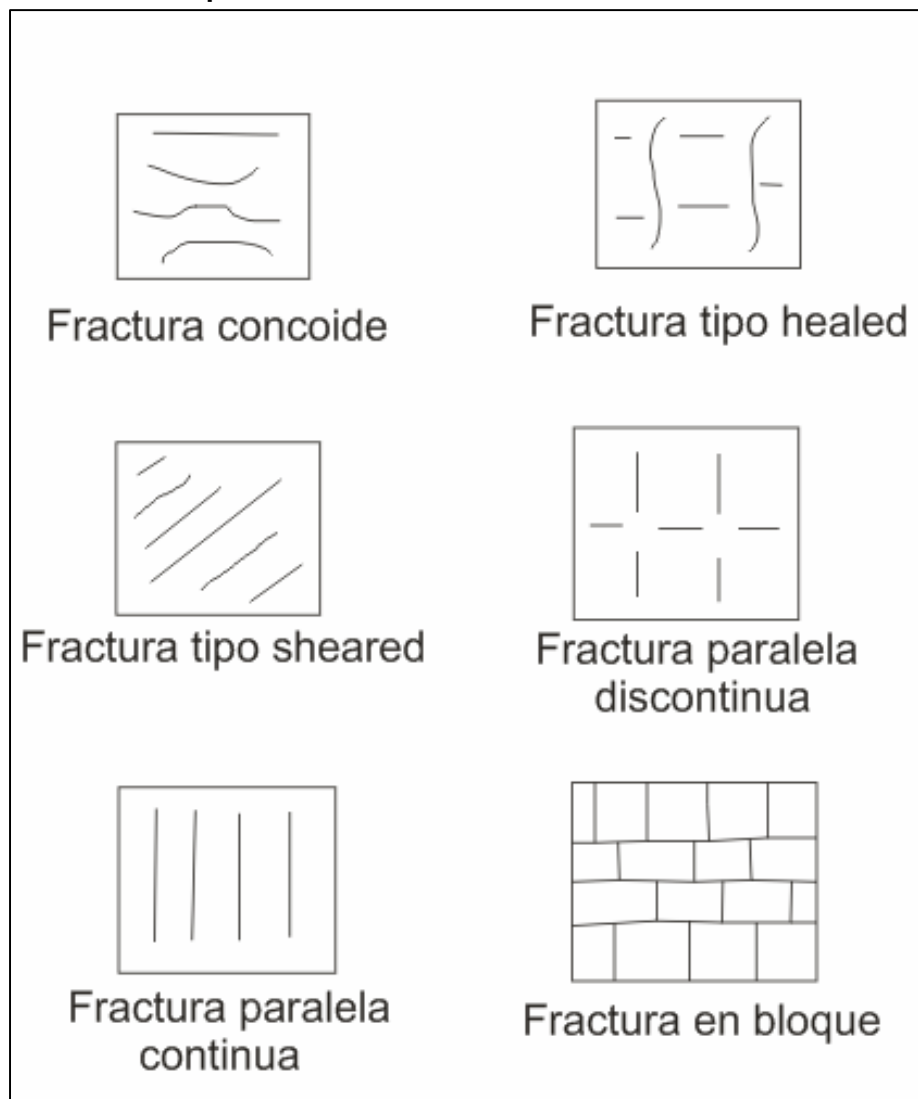


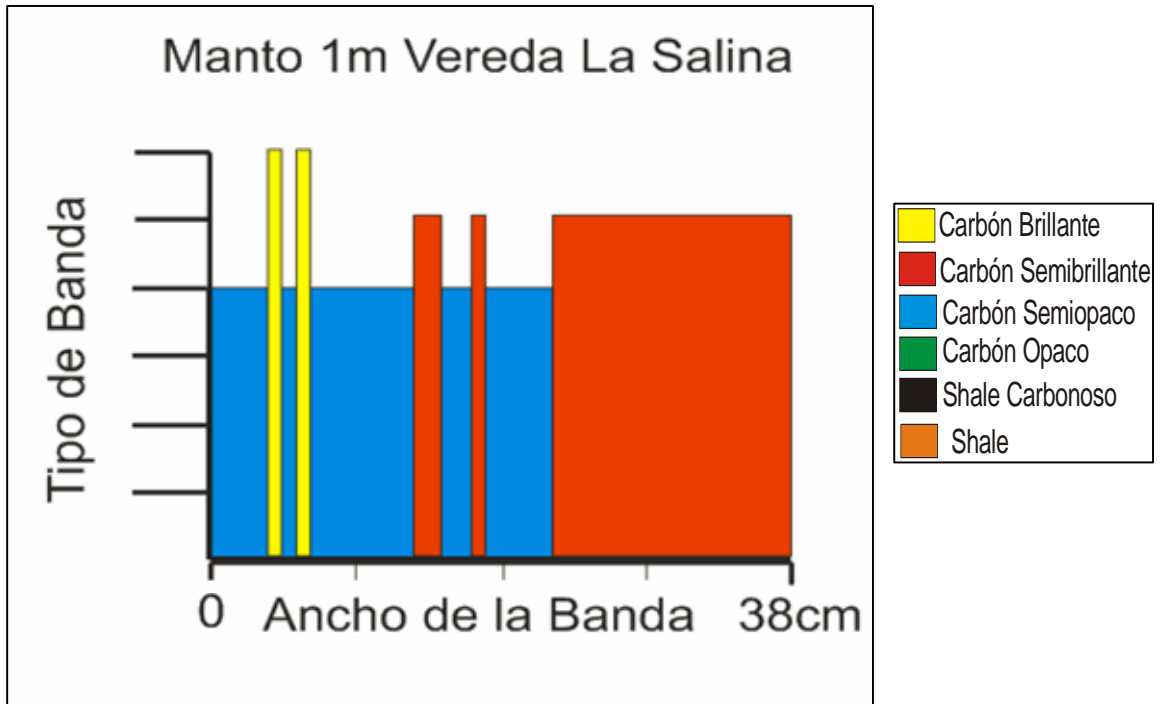
Tabla 13. Tabla de clasificación de tipo de carbón, según Diessel. (Toma de Diessel, 1992.)

% DE VITRAIN	LITOTIPO	NOMBRE DEL CARBON	DESCRIPCION
75% VITRAIN BRILLANTE	VITRAIN	CARBON BRILLANTE	SUBVITREO – VITREO (< 10%) SEMIBRILLANTE – BRILLANTE
50 – 75 % VITRAIN SEMIBRILLANTE		CARBON BANDEADO BRILLANTE	INTERCALACIONES BANDEADO BRILLANTE CON OPACOS. 10 – 40 % SON DE OPACOS
25 – 50 % VITRAIN SEMIOPACO	CLARAIN	CARBON BANDEADO	INTERCALACIONES DE BANDAS BRILLANTES Y OPACOS. 40 – 60 % OPACOS
		CARBON OPACO BANDEADO	CARBON OPACO CON INTERCALACIONES DE BANDA BRILLANTES. 10 – 40 % BANDAS BRILLANTES
< 25 % VITRAIN OPACO	DURAIN	CARBON OPACO	LUSTRE MATE FRACTURA IRREGULAR < 10 % CARBON BRILLANTE
	FUSAIN	CARBON FIBROSO	BRILLO SATINADO FRIABLE

Primera muestra MANTO 1m – VEREDA LA SALINA

La primera muestra de carbón del manto de 1m de espesor analizada de forma macroscópica, tiene un corte perpendicular a los litotipos de 3.8cm de ancho, donde se pudo observar un total de diez bandas, de las cuales dos bandas corresponden a bandas de carbón brillante de 1mm de ancho; tres a bandas de carbón semibrillante de 2mm, 1mm y 14mm de ancho; y cinco a bandas de carbón semiopaco entre los 1mm y 9mm de ancho (*Ver Figura 83.*).

Figura 83. Corte de la primera muestra de carbón del manto de 1.0m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.



El carbón tiene un 50% de bandas semiopacas, acompañado del 44.75% de bandas semibrillantes y con una mínima cantidad de bandas brillantes con tan solo del 5.26%, lo cual, según con la tabla de Diessel, lo ubica en un rango de litotipo Clarain y con nombre de “Carbón Opaco Bandeado” (Ver *Tabla 14.*).

Sus fracturas son de tipo Paralela Discontinua y con una baja frecuencia con tan solo de 1 fractura / cm.

Tabla 14. Datos de clasificación, primera muestra del manto de 1m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semiopaco	50 %
Semibrillante	44.74 %
Brillante	5.26 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Opaco Bandeado	
FRACTURA (S): Paralela Discontinua	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 1 fractura / cm.	

Segunda muestra MANTO 1m – VEREDA LA SALINA

Esta segunda muestra de carbón del mismo manto de 1m de espesor, tiene corte perpendicular de 5.5cm de ancho, donde se observaron en total once bandas de carbón, de las cuales cinco son bandas de carbón brillante de 1mm de ancho; y seis bandas de carbón semibrillante entre 1mm y 8mm de ancho, con un banda bastante ancha de 30mm (*Ver Figura 84.*).

Analizando el porcentaje de bandas, se obtuvo un 90.9% de bandas semibrillantes con un 9.10% de bandas brillantes, ubicando este carbón según la tabla de Diessel con litotipo Clarain y de nombre “Carbón Bandeado” (*Ver Tabla 15.*).

Tiene fracturas de tipo Paralela Continuas aunque en algunas parte de puede observar Discontinuidad entre ellas, con una frecuencia de 3 – 5 fracturas / cm.

Figura 84. Corte de la segunda muestra de carbón del manto de 1.0m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.

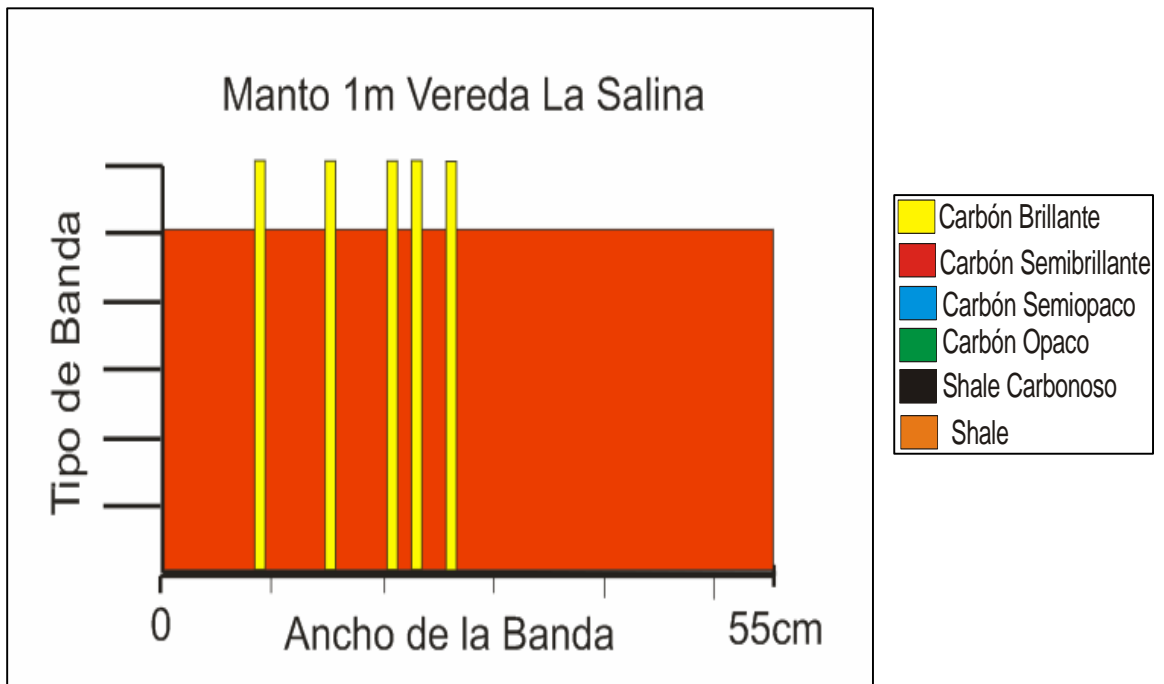


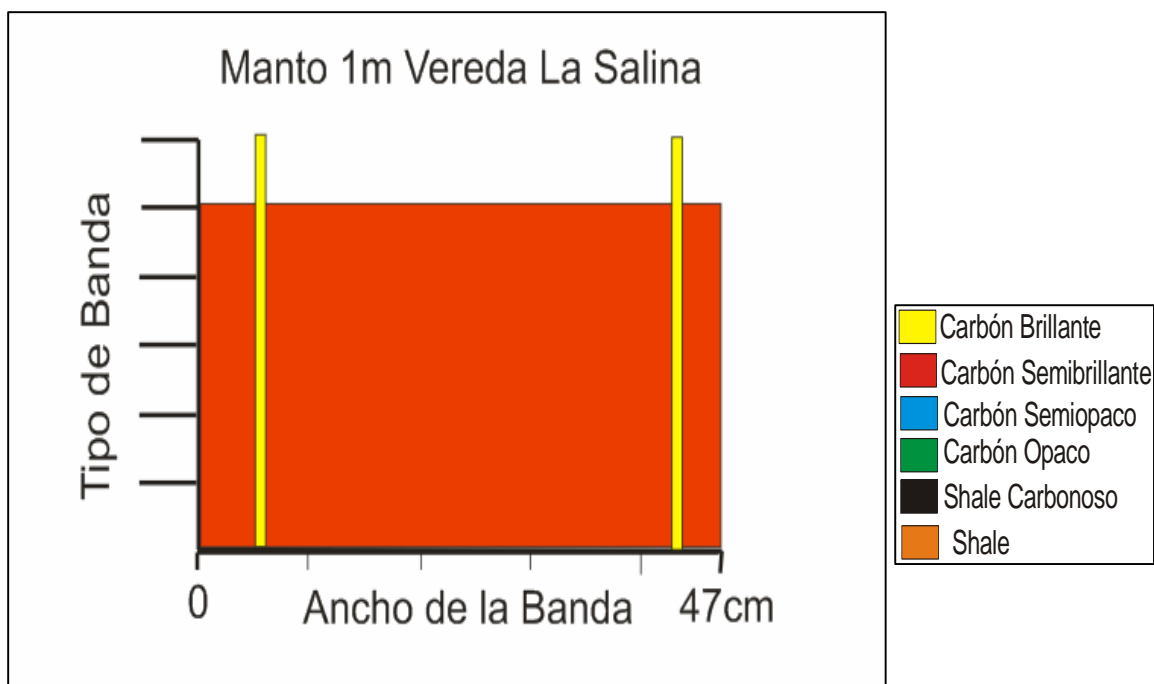
Tabla 15. Datos de clasificación, segunda muestra del manto de 1m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semibrillante	90.9 %
Brillante	9.10 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Bandedo	
FRACTURA (S): Paralela Continua y Discontinua	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 3 – 5 fracturas / cm.	

Tercera muestra MANTO 1m – VEREDA LA SALINA

La última muestra analizada de forma macroscópica del manto de 1m de La Vereda La Salina, tiene corte perpendicular de 4.7cm de ancho, donde se determinaron en total cinco bandas de carbón, de las cuales, dos corresponden a bandas de carbón brillante de 1mm de ancho; y tres bandas de carbón semibrillante de 3mm y 5mm con una banda bastante ancha de 37mm (Ver Figura 85.).

Figura 85. Corte de la tercera muestra de carbón del manto de 1.0m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.



Sus porcentaje de bandas corresponden al 95.75% a bandas semibrillantes y el 4.25% a bandas brillantes. Según la tabla de Diessel, este carbón se puede ubicar en el rango de litotipo Clarain de nombre “Carbón Bandeado” (Ver Tabla 16.).

Posee fracturas de tipo paralela Discontinua y una frecuencia de 1 fractura / cm.

Tabla 16. Datos de clasificación, tercera muestra del manto de 1m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semibrillante	95.75 %
Brillante	4.25 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Bandeado	
FRACTURA (S): Paralela Discontinua	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 1 fractura / cm.	

En general, se observa una tendencia clara del carbón de litotipo Clarain en las tres muestras analizadas, variando su nombre entre Carbón Bandeado y Carbón Opaco Bandeado, con un promedio 77.1% de carbón semibrillante dominando en las muestras a excepción de la primera donde abunda más el carbón semioptico con el 50% pero muy cerca del semibrillante solo con una diferencia del 5.26% ya que este último tiene un 44.74%. Las bandas brillantes tienen un promedio del 6.2% y se encuentra presente en las tres muestras aunque en baja cantidad.

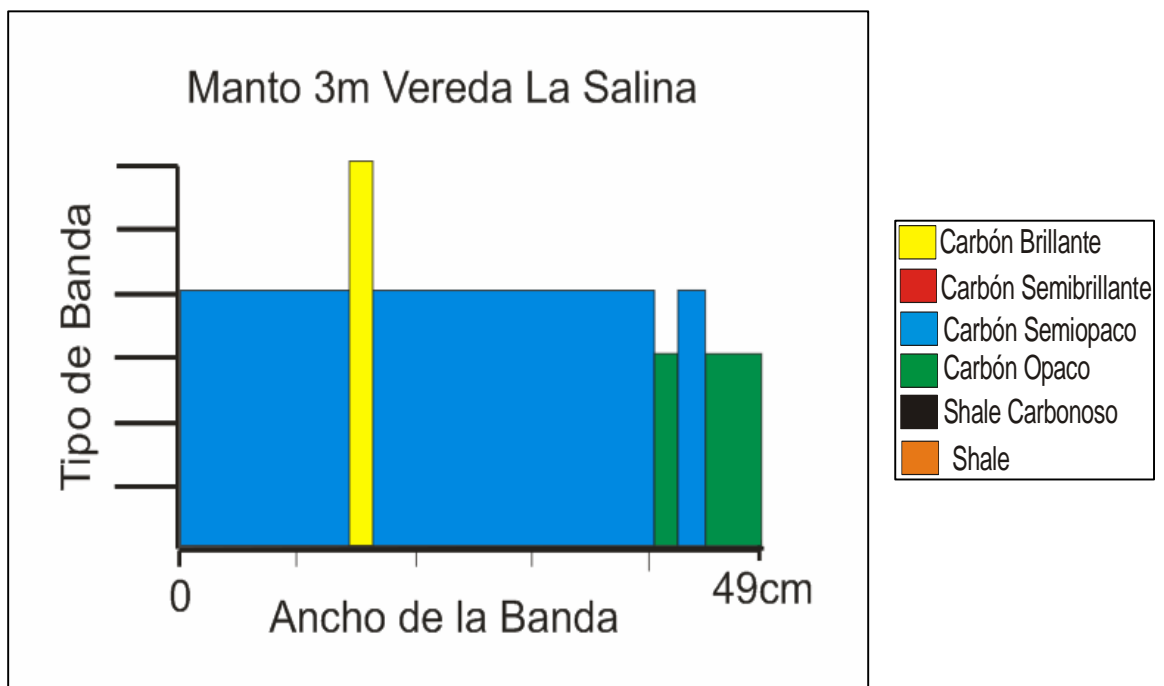
Sus fracturas varían entre Paralelas Continuas y Discontinuas o poseen ya sea las dos como el caso de la segunda muestra, con baja frecuencia entre 1 – 3 fracturas por centímetro.

Primera muestra MANTO 3.0m – VEREDA LA SALINA

La primera muestra de carbón del manto de 3.0m de espesor analizada de forma macroscópica, tiene un corte perpendicular a los litotipos de 5cm de ancho, donde se observaron en total seis bandas, de las cuales una corresponden a banda de carbón brillante de 2mm de ancho; tres a bandas

de carbón semiopaco de 1mm, 15mm y 26mm; y dos a bandas de carbón opaco de 1mm y 5mm de ancho (Ver Figura 86.).

Figura 86. Corte de la primera muestra de carbón del manto de 3.0m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.



El carbón presenta un 84% de bandas semiopacas, acompañado del 12% de bandas opacas y con una mínima cantidad de bandas brillantes con tan solo del 4%, lo cual, según con la tabla de Diessel, lo ubica en el rango de litotipo Durain y dándole el nombre de “Carbón Opaco” (Ver Tabla 17.).

Sus fractura son de tipo Paralela Discontinua y con un baja frecuencia con tan solo de 1 fractura / cm.

Tabla 17. Datos de clasificación, primera muestra del manto de 3.0m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semiopaco	84 %
Opaco	12 %
Brillante	4 %
LITOTIPO DURAIN: Carbón Opaco	
FRACTURA (S): Paralela Discontinua	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 1 fractura / cm.	

Segunda muestra MANTO 3.0m – VEREDA LA SALINA

Esta segunda muestra de carbón del manto de 3.0m de espesor, tiene corte perpendicular de 6cm de ancho, donde se observaron en total diez bandas de carbón, de las cuales cinco son bandas de carbón semibrillante de 1mm y 13mm de ancho; y cinco bandas de carbón semiopaco entre 1mm y 5mm de ancho, con dos banda bastante ancha de 15mm y 20mm (*Ver Figura 87.*).

Analizando el porcentaje de las bandas, se obtuvo un 71.66% de bandas semiopacas y un 28.34% de bandas semibrillantes, ubicando este carbón según la tabla de Diessel en el rango de litotipo Clarain y dándole nombre de “Carbón Opaco Bandeado” (*Ver Tabla 18.*).

Sus fracturas son de tipo Healed, la cuales son fracturas dispuestas de forma irregular, con una frecuencia de 3 – 5 fracturas / cm.

Figura 87. Corte de la segunda muestra de carbón del manto de 3.0m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.

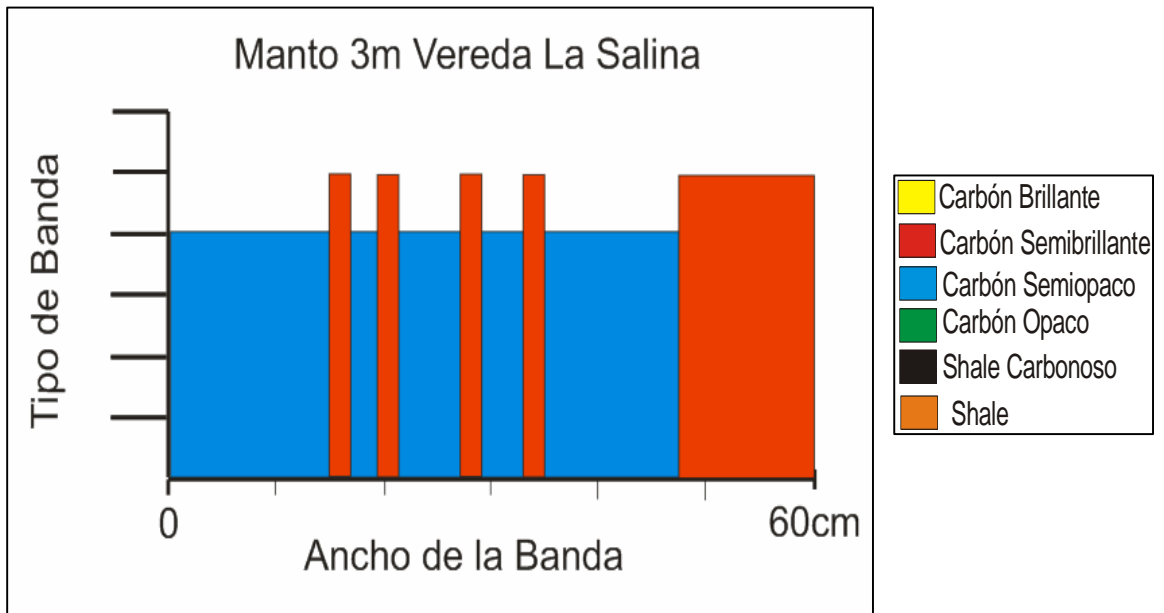


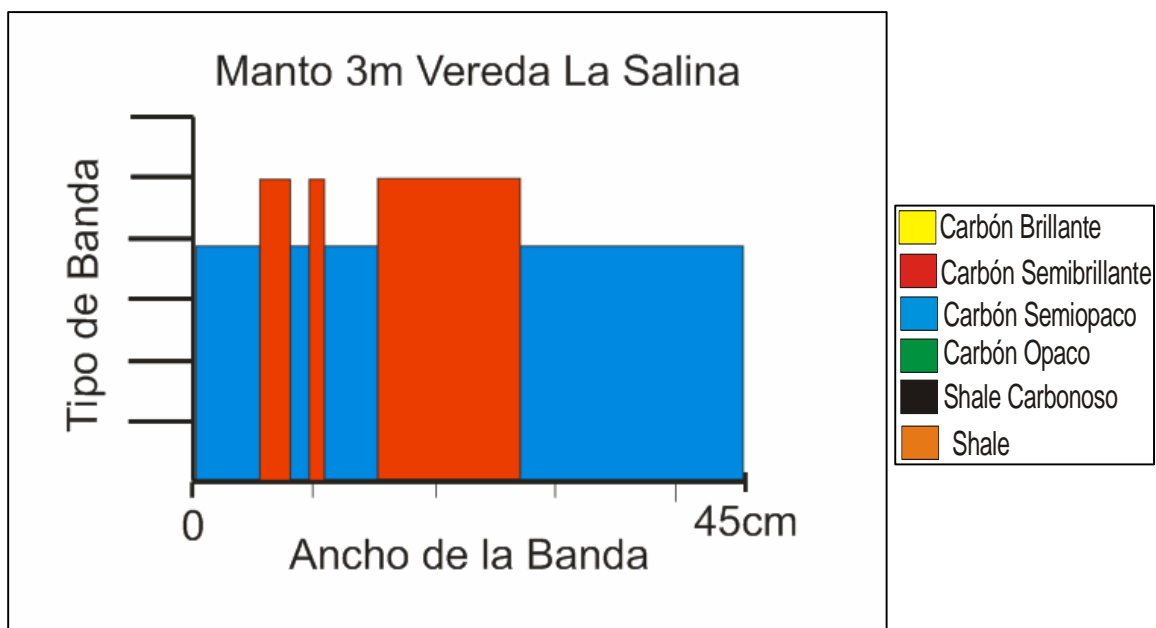
Tabla 18. Datos de clasificación, segunda muestra del manto de 3.0m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semiopaco	71.66 %
Semibrillante	28.34 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Opaco Bandedo	
FRACTURA (S): Healed	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 3 – 5 fracturas / cm.	

Tercera muestra MANTO 3.0m – VEREDA LA SALINA

La última muestra analizada de forma macroscópica del manto de 3.0m de La Vereda La Salina, tiene corte perpendicular de 4.5cm de ancho, donde se determinaron en total siete bandas de carbón, de las cuales, tres corresponden a bandas de carbón semibrillante de 1mm, 2mm y 12mm de ancho; y cuatro bandas de carbón semiopaco de 1mm, 4mm con una banda bastante ancha de 20mm (Ver Figura 88.).

Figura 88. Corte de la tercera muestra de carbón del manto de 3.0m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.



El porcentaje de bandas corresponden al 66.67% de bandas semiopacas y el 33.33% de bandas brillantes. Según la tabla de Diessel, este carbón se puede ubicar en el rango de litotipo Clarain con nombre “Carbón Opaco Bandeado” (Ver Tabla 19.).

Posee fracturas de tipo paralela Discontinua y una frecuencia de ellas de 1 fractura / cm.

Tabla 19. Datos de clasificación, tercera muestra del manto de 3.0m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semiopaco	66.67%
Semibrillante	33.33 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Opaco Bandeado	
FRACTURA (S): Paralela Discontinua	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 1 fractura / cm.	

La primera muestra de carbón presenta un litotipo de Durain, mientras que las dos muestras siguientes, son de litotipo Clarain, variando sus nombres entre “Carbón Bandeado y Carbón Opaco Bandeado”, con un promedio 74.11% de carbón semiopaco dominante en ellas. Solamente en la primera muestra se apreció un 4% de bandas brillante y un 12% de bandas opacas, las cuales no estaban presentes en la segunda y tercera muestra, pero si contienen bandas semibrillante en un 30.8% en total.

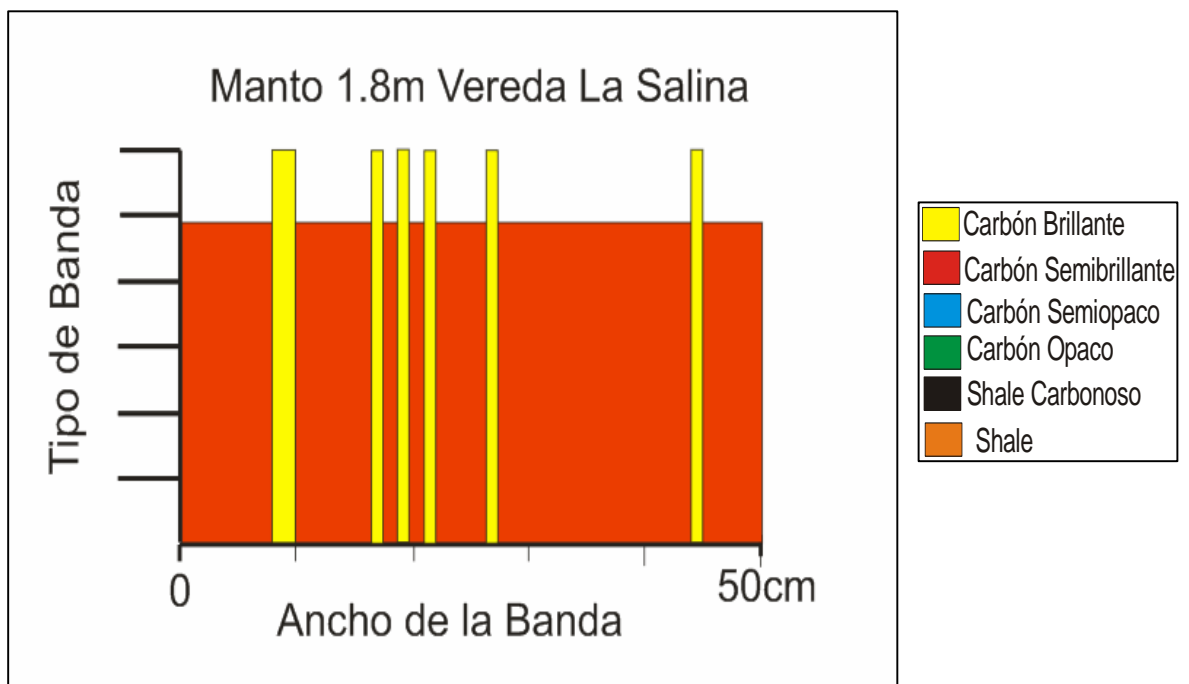
Sus fracturas son Paralelas Discontinuas y de tipo Healed, las cuales son aquellas dispuestas de forma irregular por toda la superficie, con baja frecuencia de 1 para las discontinuas y alta frecuencia entre 3 – 5 fracturas por centímetro para las Healed.

Primera muestra MANTO 1.80m – VEREDA LA SALINA

La primera muestra de carbón del manto de 1.80m de espesor analizada de forma macroscópica, tiene un corte perpendicular de 5cm de ancho, donde se observaron en total trece bandas, de las cuales seis corresponden a banda de carbón brillante de 1mm y 2mm de ancho; y siete a bandas de

carbón semibrillante entre 1mm y 8mm de ancho con una banda más ancha de 17mm (Ver Figura 89.).

Figura 89. Corte de la primera muestra de carbón del manto de 1.80m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.



La muestra presenta un 86% de bandas semibrillantes y un 14% de bandas brillantes, lo cual, según con la tabla de Diessel, lo ubica en el rango de litotipo Clarain y dándole el nombre de “Carbón Bandeado” (Ver Tabla 20.).

Tiene fractura de tipo Healed, que presentan una disposición de forma irregular y una frecuencia entre 1 – 3 fractura / cm.

Tabla 20. Datos de clasificación, primera muestra del manto de 1.8.0m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semibrillante	86 %
Brillante	14 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Bandeado	
FRACTURA (S): Healed	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 1 – 3 fracturas / cm.	

Segunda muestra MANTO 1.80m – VEREDA LA SALINA

Esta segunda muestra de carbón del manto de 1.80m de espesor, tiene corte perpendicular de 4cm de ancho, donde se observaron en total siete bandas de carbón, de las cuales tres son bandas de carbón brillante de 1mm y 2mm de ancho; y cuatro bandas de carbón semibrillante entre 3mm y 13mm de ancho (*Ver Figura 90.*).

Analizando el porcentaje de las bandas, se obtuvo un 87.5% de bandas semibrillantes y un 12.5% de bandas brillantes, ubicando este carbón según la tabla de Diessel en el rango de litotipo Clarain y dando nombre de “Carbón Bandeado” (*Ver Tabla 21.*).

Sus fracturas son de tipo Healed, la cuales son fracturas dispuestas de forma irregular, con una frecuencia de 1 – 3 fracturas / cm.

Figura 90. Corte de la segunda muestra de carbón del manto de 1.80m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.

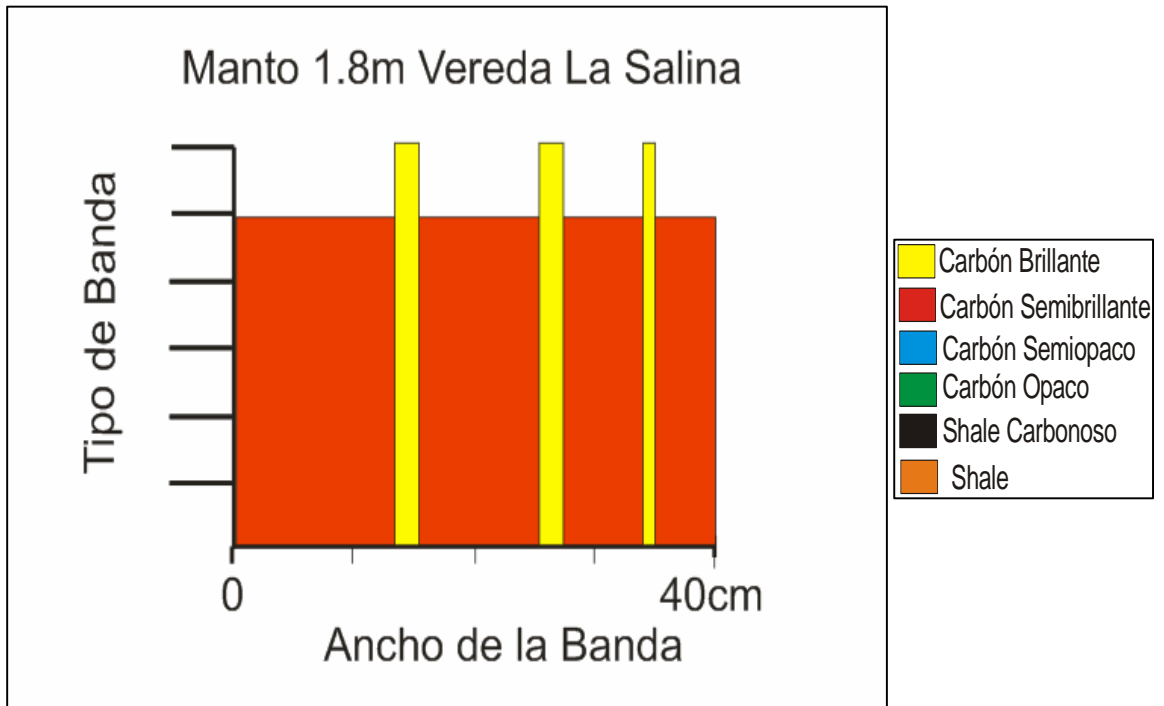


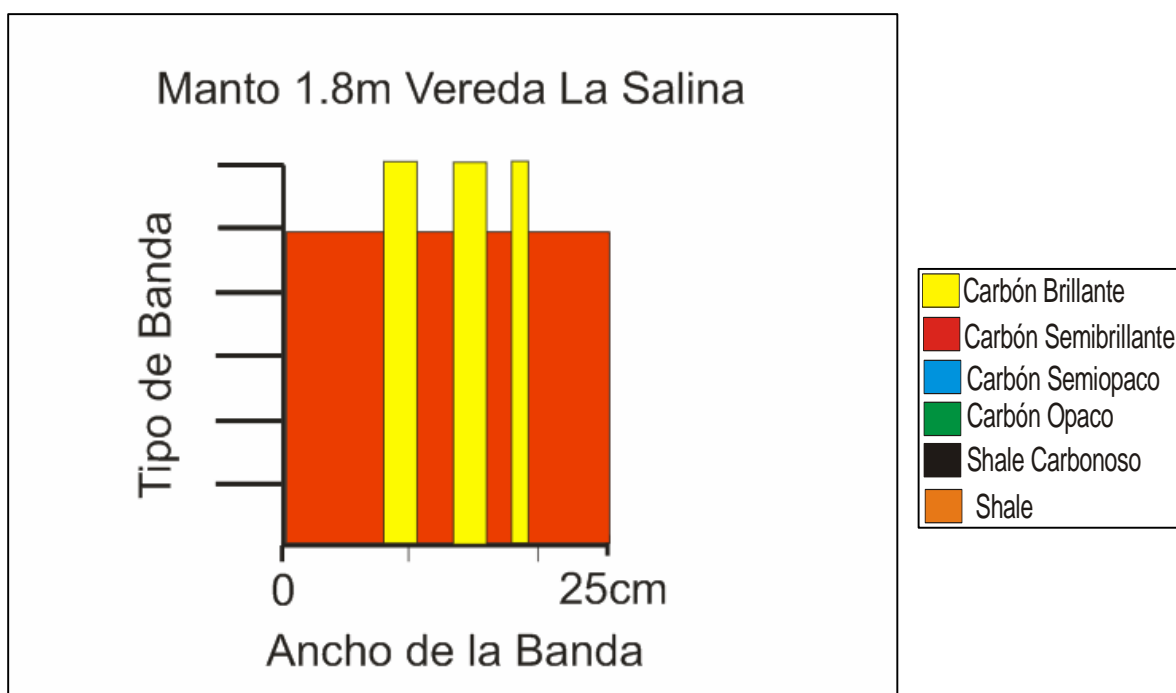
Tabla 21. Datos de clasificación, segunda muestra del manto de 1.8.0m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semibrillante	87.5 %
Brillante	12.5 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Bandeado	
FRACTURA (S): Healed	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 1 – 3 fracturas / cm.	

Tercera muestra MANTO 1.80m – VEREDA LA SALINA

La última muestra analizada de forma macroscópica del manto de 1.80m de La Vereda La Salina, tiene corte perpendicular de 2.5cm de ancho, donde se determinaron en total siete bandas de carbón, de las cuales, tres corresponden a bandas de carbón brillante de 1mm y 3mm de ancho; y cuatro bandas de carbón semibrillante entre 2mm, y 8mm de ancho (Ver Figura 94.).

Figura 91. Corte de la tercera muestra de carbón del manto de 1.80m. Gráfica del Tipo de Banda vs. Ancho de la Banda.



El porcentaje de bandas corresponden al 83.72% de bandas semiopacas y el 16.28% a bandas brillantes. Según la tabla se Diessel, este carbón se ubica en el rango de litotipo Clarain dándole el nombre de “Carbón Bandeado” (Ver Tabla 22.).

Este carbón no se encuentra fracturado, por lo cual, tampoco posee una frecuencia de las mismas.

Tabla 22. Datos de clasificación, tercera muestra del manto de 1.8.0m.

TIPO DE CARBON (BANDA)	PORCENTAJE
Semibrillante	83.72 %
Brillante	16.28 %
LITOTIPO CLARAIN: Carbón Bandeado	
FRACTURA (S): No Tiene	
FRECUENCIA DE LAS FRACTURAS: 0 fractura / cm.	

Se puede observar que hay una tendencia clara en las tres muestras de carbón analizadas del manto de 1.80m de espesor por el rango de litotipo Clarain de nombre único de “Carbón Bandeado”, con un promedio 85.74% de carbón semibrillante y con un 14.26% de bandas brillante. Hay dominio bastante alto de las bandas semibrillante con respecto a las brillantes, debido a que es el componente más abundante en carbones.

Las fracturas estudiadas corresponden de tipo Healed, dispuestas de forma irregular y con una frecuencia modesta de 1 – 3 fracturas por centímetro, aunque la última muestra no presenta fractura alguna.

7.2.2 Microscópicos.

7.2.2.1 Macerales.

Además de los análisis de litotipos realizado anteriormente en el estudio macroscópico de los carbones, también se realiza el estudio de los microlitotipos y sus constituyentes microscópicos homogéneos, llamados *macerales* debido a analogías con los minerales de las rocas inorgánicas (Pearson, 1998).

Los grupos de macerales son tres grupos principalmente (Ver Tabla 23.):

Tabla 23. Grupo de macerales de carbones duros. (Modificado de Krevelen, 1993).

GRUPO	MACERAL	CARACTERÍSTICAS
VITRINITA	Telinita	Pared celular
	Colinita -telo -detro	Amorfos -tejido -detritos
	Corpocolinita	Llenando células
	Vitrodetrinita	Detritos
LIPTINITA (EXINITA)	Esporinita	Esporas, Polen
	Cutinita	Cutículas
	Suberinita	Paredes celulares (corcho)
	Fluorinita	Aceite de plantas
	Resinita	Resinas, cera
	Alginita	Algas
	Bituminita	Amorfo (bacteria, alga, hongo)
	Cloropilinita	Clorofila
	Exsudatinita	Exudados secundarios
	Liptodetrinita	Detritos
INERTINITA	Fusinita	Pared celular (quemadas)
	Semi-fusinita	
	Esclerotinita	Actividad de hongos
	Macrinita	Gel amorfa
	Micrinita	Relictos secundarios de generación de aceites.
	Inertodetrinita	Detritos

Vitrinita, considerada como el componente principal de los carbones, formada a partir de restos de tejidos de troncos. Dentro de la vitrinita tenemos Telinita, Colinita, Desmocolinita y Detrovitrinita.

Liptinitas son reconocidas por ser más ricas en hidrogeno que la vitrinita, y junto con ella, son los componentes reactivos en los procesos de

carbonificación y licuefacción del carbón. Dentro de la liptinitas tenemos a la Cutinita, Esporinita, Resinita, Alginita, Exudatinita y Liptodetrinita.

Inertinitas son los macerales que poseen mas bajo contenido de hidrogeno, y son consideradas aditivos inertes durante el proceso de carbonificación y licuefacción.

Dentro de las inertinitas tenemos a la Fusinita, Semifusinita, Macrinita, Micrinita, Esclerotinita e Inertodetrinita.

Los macerales son componentes fósiles provenientes de restos de material vegetal y proporciona información que ayuda a identificar ambientes de depositación, debido a que cada uno de ellos tiene unas condiciones de origen específicas que permiten definir características del momento de la formación y del proceso de la carbonificación.

Pueden ser clasificados según su origen en diferentes tipos tales como:

a) Macerales, los cuales su origen fue definitivamente por tejidos de troncos, siendo algunos de estos:

Vitrinita que es el principal componente maceral y constituyente de los carbones brillantes. Se observa de color gris claro. Cuando las muestras pulidas analizadas muestran una superficie limpia se le da el nombre de Tellinita, y cuando la superficie presenta impurezas como rayaduras es llamado Desmocolinita.

Fusinita es el maceral encontrado en el carbón fósil. Siempre muestra una estructura de paredes celulares. Algunas veces las paredes son encontradas de manera aplastada y se conoce con el nombre de “Estructura Boguen”

(Krevelen, 1993). En las secciones delgadas es completamente opaco y muestra una apariencia física de duro pero friable.

Semifusinita es conocida como el estado de transición de vitrinita a fusinita. Su estructura molecular no siempre es fácil de reconocer aunque su reflectividad es intermedia entre la vitrinita y fusinita.

b) Macerales, los cuales su origen son definitivamente de materia vegetal diferente a tejidos de troncos. Entre los más comunes están:

Esporinita que son los fósiles de esporas, normalmente paralelas a la estratificación y se manifiestan como una banda delgada. El color varia dependiendo del rango del carbón desde amarillo en los de bajo rango hasta casi rojo en los de alto rango. Su reflectividad es menor que la de vitrinita y presenta fluorescencia.

Cutinita es un constituyente formado a partir de cutículas de hojas y semillas, y puede ser distinguido claramente por su apariencia como de drenaje estrecho con una reflectividad igual a la de la esporinita y su color varia de amarillo y naranja a rojo marrón.

Resinita es el fósil de restos de resinas de plantas, tiene usualmente la forma de cuerpos circulares ovalados y como inclusiones en colinita.

Alginita son los restos de cuerpos de algas, es de apariencia oscura y color amarillo claro.

Esclerotinita son los restos fósiles de la actividad de hongos, morfológicamente fácil de reconocer, es opaca y muy reflectiva.

c) Macerales, que originalmente no ha sido reconocido como de origen vegetal, entre los cuales tenemos:

Macrinita usualmente constituyente de los carbones opacos, llamada también como micrinita masiva.

Micrinita aparece en carbones opacos y como inclusiones en carbones brillantes, llamada también micrinita granular.

Exsudatinita es considerado un maceral secundario de la liptinita, exudado de otros componentes en la ventana de generación.

En total se analizaron seis secciones pulidas de las diferentes muestras de carbón correspondientes a algunos de los mantos de la Formación Umir; de las cuales, tres secciones corresponden a la zona de La Vereda La Salina, y tres a la zona de La Quebrada Mata de Cacao.

La composición maceral se determinó mediante un conteo de 100 puntos por sección pulida, anotando las diferentes variedades de vitrinita, liptinita e inertinita que se van encontrando a lo largo de la línea de conteo.

Analizando el contenido de maceral en las secciones de La Vereda La Salina y La Quebrada Mata de Cacao (*Ver Tabla 24 y 25.*), muestran una abundancia del maceral vitrinita tipo desmocolinita entre 39 y 62, textinita entre 5 y 25; seguido de maceral liptinita como esporinita entre 3 y 13 y resinita entre 1 y 13; y una más baja cantidad del maceral inertinita tipo semifusinita y fusinita entre 1 y 5.

Los carbones del área de la Quebrada Mata de Cacao, en el conteo presentan pirita en alta cantidad, entre 5 y 21, mientras que los carbones de

la Vereda La Salina en su conteo no cayeron en puntos de pirita, pero las muestras si contienen un porcentaje de azufre en forma de pirita (Ver Anexo7.).

Del estudio de macerales, según estos resultados permiten definir que sobre las zonas aledañas a los lagos y pantanos fueron comunes las zonas boscosas, con vegetación propia de latitudes tropicales, evidenciadas por la presencia en los carbones de macerales como *Vitrinita*, *Fusinita* y *Esporinita*, los cuales presentan un origen de restos de tejidos de troncos y esporas; estos restos de plantas se acumulan y preservan dentro de los pantanos haciendo parte del relleno del lago en etapas de alta acomodación. La frecuente concurrencia de vitrinita y fusinita y la existencia de numerosos gradaciones transitorias entre estos macerales, sugerirían que la vitrinita también fue formada bajo condiciones secas. Por ejemplo en pantanos donde el nivel del agua estaba solo ligeramente sobre la superficie.

SECCION DE LA VEREDA LA SALINA

Tabla 24. Composición maceral del área de la Vereda La Salina.

NOMBRE DEL MACERAL	MANTO 1m	MANTO 3.0m	MANTO 1.80m	PROMEDIO
DESMOCOLINITA	62	53	68	61
TEXTINITA	21	25	10	19
RESINITA	1	2	4	2
CUTINITA	0	0	3	3
ESPORINITA	8	13	5	9
ESCLEROTINITA	1	1	0	1
FUSINITA	0	1	0	1
SEMIFUSINITA	7	5	16	9

SECCION DE LA QUEBRADA MATA DE CACAO

Tabla 25. Composición maceral del área de la Quebrada Mata de Cacao.

NOMBRE DEL MACERAL	MANTO 0.50m	MANTO 0.60m	MANTO 2.0m	PROMEDIO
DESMOCOLINITA	45	52	39	45
TEXTINITA	5	13	9	9
RESINITA	13	4	13	10
CUTINITA	4	4	15	8
ESPORINITA	3	8	7	6
ESCLEROTINITA	1	2	0	2
FUSINITA	5	1	3	3
SEMIFUSINITA	3	0	9	6
PIRITA	21	16	5	14

7.2.2.2 Reflectancia de Vitrinita (Ro).

Se realizaron las lecturas de Ro para cada una de las seis secciones pulidas, tomándolas sobre superficies con buena calidad de pulimento y con especial cuidado de no hacerlas sobre macerales distintos a la vitrinita.

La reflectancia de vitrinita Ro esta íntimamente ligada con el poder coquizante de los carbones, donde reflectancias de aproximadamente de 0.8, indican carbones coquizables.

SECCION DE LA VEREDA LA SALINA

Los carbones analizados en el área de la Vereda La Salina, muestran resultados de reflectancia de vitrinita entre 0.42 y 0.59 con un promedio de 0.5 (*Ver Tabla 26.*), donde el manto de 1m es aquel con mayor reflectancia de vitrinita con 0.59 y el manto de 3.0m el menor con 0.42. El resultado de 0.5 indica carbones que no alcanzaron la madurez necesaria para generar coque, por lo que son considerados térmicos.

Tabla 26. Lecturas de Ro promedio para La Vereda La Salina.

MANTO	MANTO 1m	MANTO 3.0m	MANTO 1.80m	PROMEDIO
PROMEDIO	0.59	0.42	0.49	0.5
MAXIMO	0.62	0.58	0.52	0.573
MINIMO	0.55	0.37	0.43	0.45

SECCION DE LA QUEBRADA MATA DE CACAO

Los carbones analizados en el área de La Quebrada Mata de Cacao, muestran resultados de reflectancia de vitrinita entre 0.31 y 0.40 con un promedio de 0.36 (*Ver Tabla 27.*), donde el manto de 0.50m es aquel con mayor reflectancia de vitrinita con 0.40 y el manto de 2.0m el menor con 0.31. El resultado de 0.36 indica carbones que no alcanzaron la madurez necesaria para generar coque, por lo que son considerados térmicos de mala calidad. Además, cabe resaltar que estos carbones se encuentran alterados debido a la meteorización y oxidación.

Tabla 27. Lecturas de Ro promedio para La Quebrada Mata de Cacao.

MANTO	MANTO 0.50m	MANTO 0.60m	MANTO 2.0m	PROMEDIO
PROMEDIO	0.40	0.395	0.31	0.3683
MAXIMO	0.46	0.36	0.31	0.376
MINIMO	0.36	0.43	0.31	0.36

8. AMBIENTE DE DEPOSITACION DE LA FORMACION UMIR

Las características sedimentológicas marcadas por la presencia abundante de facies de arcillolita y limolita de laminación plano paralela y algunas veces ondulosa, ha estimado un ambiente de depósito para la Formación Umir de bahía o lago semi-restringido de grandes extensiones y baja profundidad donde predominaban condiciones tranquilas con algunas acciones muy esporádicas de corrientes débiles.

La existencia de fauna bentónica como foraminíferos y ostrácodos, sugieren ambientes parálidos de bahías y estuarios predominantemente hiposalinos con acción intermitente de aguas frescas (Rangel, 2002).

Los abundantes restos de plantas y la presencia de carbón sugieren áreas próximas al continente con existencia de ambientes pantanosos de PH bajo y baja oxigenación, que permiten la acumulación y preservación de materia orgánica acompañada de una baja actividad biológica.

Sobre las zonas aledañas a los lagos y pantanos fueron comunes las zonas boscosas, con vegetación propia de latitudes tropicales, evidenciadas por la presencia en los carbones de macerales como *Vitrinita*, *Fusinita* y *Esporinita*, los cuales presentan un origen de restos de tejidos de troncos y esporas; estos restos de plantas se acumulan y preservan dentro de los pantanos haciendo parte del relleno del lago en etapas de alta acomodación.

También la predominancia de carbones tipo *Clarain* en nuestras zonas de estudio, sugieren áreas donde se regían las altas temperaturas acompañadas de alta humedad (Krevelen, 1993).

Por lo tanto la precipitación y evaporación presentaban características similares y esto hacía que los ríos fueran los principales medios de aporte de sedimentos.

Hacia la parte superior de la Formación Umir la presencia de capas de cuarzo-arenita de grano fino a medio sugiere ambientes cercanos a la costa del lago en donde se alcanza a registrar sectores que corresponden a canales distributarios y *crevasse splays* (Ortiz, 1997).

CONCLUSIONES

Los análisis geoquímicos realizados a los carbones proveniente de los mantos más representativos de la sección estratigráfica levantada en el área de La Vereda La Salina, muestran bajas condiciones de humedad con tan solo (2.97%), bajos contenidos de cenizas (3.53%), una materia volátil de (37.96%), y poder calorífico alto con (12,666 BTU/lb.); esta hoja de calidad permite clasificarlos como carbones bituminosos alto en volátiles B. Para los carbones analizados de la sección levantada en el área de La Quebrada Mata de Cacao, muestra condiciones bajas de humedad (1.96%), unas cantidades de cenizas demasiado altas (36.1%), materia volátil baja (27.75%) debido a las cenizas altas; esta hoja de calidad permite clasificarlos como carbones bituminosos alto en volátiles B y C.

La gran abundancia y la buena calidad de los carbones hacia la parte sur de la Formación Umir indican un sitio sobre la cuenca con condiciones más propicias para la depositación y conservación de la materia orgánica.

La Formación Umir en el área de estudio, esta conforma principalmente por una sucesión de arcillolitas grises de laminación plano paralela y ondulosa, intercaladas con limolitas rojizas masivas, algunos niveles de shale gris masivo y físil, con capas de cuarzo-arenita de grano fino a medio y una serie de cintas y mantos de carbón de espesores que varían entre 10cm hasta 3.0m. Estas características permitieron definir un ambiente depositacional de lago semirestringido de condiciones tranquilas con algunas zonas pantanosas y acción esporádica de corrientes débiles. Hacia la parte superior de la formación, se encuentran niveles más arenosos, lo que corresponde a canales distributarios y crevasse splay.

Las pruebas de índice de hinchamiento respecto a las dos zonas, muestra que ninguno de ellos es coquizable, se aglomeran pero no forman coque, llegando solamente como máximo rango de valor a 1.5 el manto de 1m del área de La Salina, y el resto de ellos con valores de 1. Por lo que se deduce que son carbones de tipo "Térmico", empleados para la generación de energía.

El estudio petrográfico muestra una abundancia del maceral vitrinita tipo desmocolinita, textinita; seguido de maceral liptinita como esporinita y resinita; y maceral inertinita tipo semifusinita y fusinita; lo que indica la existencia de pantanos donde el nivel del agua estaba solo ligeramente sobre la superficie, con una cantidad de oxígeno en el medio baja, ya que se evita el crecimiento de bacterias anaerobias que alterarían la materia orgánica presente

En el análisis macroscópico de los carbones para el área de la Vereda La Salina, da como resultado según la clasificación de Diessel (1992), carbones con una predominancia de litotipo Clarain, lo cual sugiere áreas donde se regían las altas temperaturas acompañadas de alta humedad, por lo tanto la precipitación y evaporación se encontraban balanceadas.

Los carbones analizados en el área de la Vereda La Salina, muestran resultados de reflectancia de vitrinita promedio de 0.5, donde el manto de 1m es aquel con mayor reflectancia de vitrinita con 0.59 y el manto de 3.0m el menor con 0.42, indicando carbones que no alcanzaron la madurez necesaria para generar coque, por lo que son considerados térmicos. De igual forma, los carbones analizados en el área de La Quebrada Mata de Cacao, muestran resultados de reflectancia de vitrinita promedio de 0.36, donde el manto de 0.50m es aquel con mayor reflectancia de vitrinita con 0.40 y el manto de 2.0m el menor con 0.31, indicando carbones que no

alcanzaron la madurez necesaria para generar coque, por lo que son considerados térmicos de mala calidad, además, de resaltar que estos carbones se encuentran alterados debido a la meteorización y oxidación.

Para evaluar zonas de difícil acceso debido a la vegetación espesa, se hizo uso de la herramienta de tratamiento de imágenes satelitales, para lograr evaluar geológicamente aquellas áreas donde no se pudo realizar visitas de campo, y así, crear los respectivos mapas geológicos de La Vereda La Salina, La Vereda Vizcaína Alta y de la Quebrada Mata de Cacao, los cuales contiene contactos geológicos e información estructural como fallas y ejes de anticlinales y sinclinales; este tratamiento de imágenes descargadas de la pagina de la NASA, es un complemento del trabajo del geólogo.

REFERENCIAS CITADAS

CASTRO, E., & GÓMEZ, F. Reconstrucción del ambiente de depositación del miembro Superior de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, Departamento de Santander. Bucaramanga. 1988.

CARBORIENTE. Informe Geológico Final, Fase I, Proyecto de San Luís, Santander. Colombia. 1986.

DIESSEL, C. Coal – Bearing Depositional System. Berlin, SPRINGER – VERLAG. 1992.

DURAN, *et al.* Geología y Recursos Carboníferos del Área de San Luís, Informe 1700, INGEOMINAS, Bogota. 1976.

DURAN, *et al.* INGEOMINAS. Evaluación de reservas de carbón de siete zonas carboníferas de Colombia. Púb. Geológica. Especial. No 6, Bogota. 1981.

ECOCARBON. El Carbón. Empresa Colombia del Carbón, LTDA. Bogota, Colombia. 1995.

ECOCARBON. Estudio de optimización de la exploración geológica en el área San Luís, Departamento de Santander. Fase I. Informe final. Reporte interno. 1995.

GONZALEZ, D., & SANCHEZ, C. Potencial de generación de hidrocarburos de la Formación La Luna y La Formación Umir en el flanco Oriental del Valle Medio del Magdalena. Bucaramanga. 1999.

INGEOMINAS, GUTIERREZ & CLAVIJO, J. MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DEPARTAMENTO DE SANTANDER. ESCALA 1:400.000. Memoria explicativa. 2001.

INGEOMINAS. El carbón colombiano. Recursos, Reservas y Calidad. Colombia. 470p. 2002.

JULIVERT, M. Léxico Estratigráfico de Colombia. Volumen V, Fascículo 4^a. Paris. Francia. 1968.

KREVELEN, V. Coal. 3 ed. ELSEVIER. Ámsterdam, Holanda. 1993

Manual de Procedimiento Standard Del Laboratorio de Carbones, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 1980.

MORALES L., *et al.* General Geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. *Habitat of Oil, Symposium Am. Ass. Petr. Geol.*, pp. 655-656 (Umir Formation), fig. 6 (Umir shale), Tulsa. 1958.

NASA, USA, 24/08/05, <http://asterweb.jpl.nasa.gov/> Imágenes ASTER del área de estudio.

ORTIZ & FLOREZ. Análisis facial, estratigrafía de secuencias y calidad almacenadora de los miembros Medio y Superior de la Formación Umir en el área de San Luís, Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Piedecuesta. 1997.

PEARSON, D. E. The Quality of Western Canadian Coking Coal. British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Victoria, British Columbia. 1998.

RANGEL *et al.* Umir Formation: organic geochemical and stratigraphic assessment as cosource for Middle Magdalena Basin oil, Colombia. AAPG Bulletin, Vol. 86, No. 12. pp. 2069 – 2087. 2002.

REYES *et al.* Proyecto Cretáceo de plataforma área central, Valle Medio del Magdalena. Instituto Colombiano del Petróleo. Informe Interno. Bucaramanga. 1997.

TCHEGLIAKOVA, N. Los foraminíferos y los minerales autigénicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano). Geología Colombiana: No.18, pp. 107 – 117. 1993

WARD, *et al.* Geología de los Cuadrángulos H – 12, Bucaramanga y H – 13, Pamplona. Departamento de Santander. Bol. Geol. No. 21, Bogota, pp.1-142. 1973.

ANEXOS