

**ESTRATIGRAFIA, PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA DE LA OCURRENCIA DE
CARBONES COQUIZABLES DE LA FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA
DE BOGOTA**

**LENIN BUENO JIMENEZ
MARIO AUGUSTO MORENO CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2005

**ESTRATIGRAFIA, PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA DE LA OCURRENCIA DE
CARBONES COQUIZABLES DE LA FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA
DE BOGOTA**

**LENIN BUENO JIMENEZ
MARIO AUGUSTO MORENO CASTELLANOS**

Proyecto de grado para optar el título de Geólogo.

**Director
MARIO GARCIA GONZALEZ, PhD.
Profesor Titular**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2005

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta tesis presenta sus agradecimientos a:

Al grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones de la Universidad Industrial de Santander y la Corporación ARES, por la financiación y realización de este proyecto de investigación.

Al Doctor Mario García González, por su apoyo y esfuerzo en la realización de este proyecto.

A la Geóloga Caroli Damarys López Castellanos, por su inigualable amistad, apoyo y colaboración.

A COLCARBON Seccional Cucunubá – Cundinamarca, por permitirnos es acceso a sus instalaciones y soporte técnico.

CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

| | Pág. |
|---|-------------------------------|
| 1. INTRODUCCION | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS | 17 |
| 2. LOCALIZACION AREA DE ESTUDIO | 18 |
| 3. ANTECEDENTES | 19 |
| 4. METODOLOGIA | 21 |
| 5. MARCO GEOLOGICO REGIONAL | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6. MARCO TECTONICO | 31 |
| 6.1 GEOLOGIA ESTRUCTURAL | 33 |
| 7. ESTRATIGRAFIA | 38 |
| 8. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO ESTRUCTURAL | 47 |
| 9. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO ESTRATIGRAFICO | 53 |
| 9.1 DESCRIPCION DE COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS | 53 |
| 9.2 INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA FORMACION GUADUAS | 61 |
| 9.3 ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS | 64 |
| 10. CARACTERIZACION GEOQUIMICA Y PETROGRAFICA | 78 |
| 10.1 REFLECTANCIA DE VITRINITA | 78 |
| 10.1.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE R _o | 89 |
| 10.2 PETROGRAFIA DE LOS CARBONES | 91 |
| 10.2.1 RESULTADOS DE LA PETROGRAFIA DE DE LOS CARBONES | 92 |
| 10.2.2 DISCUSION DE LA COMPOSICION MACERAL | 93 |
| 10.3 RESULTADOS DE LOS ANALISIS PROXIMALES | 106 |

| | |
|--|------------|
| 10.3.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS | 108 |
| 10.4 RESULTADOS DE TOC | 109 |
| 10.4.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE TOC | 110 |
| CONCLUSIONES | 111 |
| REFERENCIAS CITADAS | 113 |
| ANEXOS | 115 |

LISTA DE TABLAS

| | PÁG. |
|--|------------|
| Tabla 1. Lecturas de valores de Ro promedio para la sección Montecristo | 79 |
| Tabla 2. Lecturas de valores de Ro promedio para la sección El Triunfo | 84 |
| Tabla 3. Composición maceral para los mantos de la seccion Montecristo | 92 |
| Tabla 4. Composición maceral para los mantos de la sección El Triunfo | 93 |
| Tabla 5. Resultados de los análisis proximales, sección Montecristo | 106 |
| Tabla 6. Resultados de los análisis proximales, sección El Triunfo | 107 |
| Tabla 7. Resultados de los análisis de TOC | 109 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1. Localización del área de estudio | 18 |
| Figura 2. Levantamiento poligonal | 22 |
| Figura 3. Levantamiento poligonal continuo | 24 |
| Figura 4. Ciclos de acumulación y deformación para la sabana de Bogotá | 34 |
| Figura 5. Columna Estratigráfica generalizada para la sabana de Bogotá | 39 |
| Figura 6. Panorámica del Sinclinal Checua Lenguazaque | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 7. Panorámica del Grupo Guadalupe | 48 |
| Figura 8. Panorámica de la Formación Cacho | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 9. Fracturamiento, evidencia de falla | 49 |
| Figura 10. Micropliegue | 50 |
| Figura 11. Verticalización de estratos en el flanco oriental del sinclinal | 51 |
| Figura 12. Sector, Formación Guaduas | 52 |
| Figura 13. Intercalación de lodolitas y areniscas, contacto erosivo | 58 |
| Figura 14. Variación litológica a pequeña escala, contacto en artesa | 59 |
| Figura 15. Posición del mar relativo a un nivel fijo | 65 |
| Figura 16. Nivel relativo del mar | 66 |
| Figura 17. Geometría depositacional | 67 |
| Figura 18. Rata de cambio del nivel base. | 70 |
| Figura 19. Correlación Estratigráfica columnas Montecristo- El Triunfo | 71 |
| Figura 20. Late Highstand, Tomado de Bohacs y Suter 1997 | 72 |
| Figura 21. Middle Lowstand, Tomado de Bohacs y Suter 1997 | 73 |
| Figura 22. Late Lowstand, Tomado de Bohacs y Suter 1997 | 74 |

| | |
|---|-------------------------------|
| Figura 23. Transgressive, Tomado de Bohacs y Suter 1997 | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 24. Early Highstand, Tomado de Bohacs y Suter 1997 | 76 |
| Figura 25. Middle Highstand, Tomado de Bohacs y Suter 1997 | 77 |
| Figura 26. Histograma de Ro para el manto 1 | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 27. Histograma de Ro para el manto 2 | 80 |
| Figura 28. Histograma de Ro para el manto 3 | 80 |
| Figura 29. Histograma de Ro para el manto 6 | 81 |
| Figura 30. Histograma de Ro para el manto 7 | 81 |
| Figura 31. Histograma de Ro para el manto 9 | 82 |
| Figura 32. Histograma de Ro para el manto Ciscuda | 82 |
| Figura 33. Histograma de Ro para el manto Vidriosa | 83 |
| Figura 34. Histograma de Ro para el manto 7 Bancos | 83 |
| Figura 35. Histograma de Ro para el manto 1 | 84 |
| Figura 36. Histograma de Ro para el manto 2 | 85 |
| Figura 37. Histograma de Ro para el manto 5 | 85 |
| Figura 38. Histograma de Ro para el manto 6 | 86 |
| Figura 39. Histograma de Ro para el manto 7 | 86 |
| Figura 40. Histograma de Ro para el manto Ciscuda | 87 |
| Figura 41. Histograma de Ro para el manto Vidriosa | 87 |
| Figura 42. Histograma de Ro para el manto Depósito | 88 |
| Figura 43. Histograma de Ro para el manto 7 Bancos | 88 |
| Figura 44. Histograma de Ro para el manto Veta Chica | 89 |
| Figura 45. Variación de Ro con la profundidad, sección Montecristo | 90 |
| Figura 46. Variación de Ro con la profundidad, sección El Triunfo | 90 |

| | |
|---|------------|
| Figura 47. Tendencia de desmocolinita y textinita con la profundidad, sección Montecristo | 96 |
| Figura 48. Tendencia de desmocolinita y textinita con la profundidad, sección El Triunfo | 97 |
| Figura 49. Tendencia de inertes y liptinitas con la profundidad, sección Montecristo | 100 |
| Figura 50. Tendencia de inertes y liptinitas con la profundidad, sección El Triunfo | 101 |
| Figura 51. Índice de Hinchamiento en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita | 102 |
| Figura 52. Dilatación en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita | 103 |
| Figura 53. Fluidez en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita | 104 |
| Figura 54. Precios del carbón en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita | 105 |
| Figura 55. Variación de TOC con la profundidad | 109 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. LECTURAS DE REFLECTANCIA DE VITRINITA, SECCION MONTECRISTO.

ANEXO 2. LECTURAS DE REFLECTANCIA DE VITRINITA, SECCION EL TRIUNFO.

ANEXO 3. DATOS DE LA POLIGONAL OBTENIDOS EN CAMPO.

ANEXO 4. POLIGONALES ESCALA 1:500.

ANEXO 5. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS A DETALLE ESCALA 1:500.

ANEXO 6. CORTE GEOLOGICO ESCALA 1:12500.

ANEXO 7. MAPA DE UBICACIÓN ESCALA 1:25000

LISTADO DE FOTOMICROGRAFIAS

| | |
|------------------------------|------------|
| Fotomicrografía No 1. | 95 |
| Fotomicrografía No 2. | 95 |
| Fotomicrografía No 3. | 98 |
| Fotomicrografía No 4. | 98 |
| Fotomicrografía No 5. | 99 |
| Fotomicrografía No 6. | 99 |
| Fotomicrografía No 7. | 100 |

RESUMEN

TITULO: ESTRATIGRAFÍA, PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA DE LA OCURRENCIA DE CARBONES COQUIZABLES DE LA FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA DE BOGOTA.*

AUTORES: BUENO JIMENEZ Lenin, MORENO CASTELLANOS Mario A.**

PALABRAS CLAVES: Formación Guaduas – Carbones Coquizables – Parasecuencias – Reflectancia de Vitrinita
Macerales reactivos – Macerales inertes
Índice de hinchamiento.

La Formación Guaduas es una secuencia sedimentaria con mil metros de espesor que presenta mantos de carbón coquizables y térmicos de edad Maastrichtiano a Paleoceno. Esta Formación está presente en la cuenca de la sabana de Bogotá. La secuencia estudiada aflora en el flanco occidental del Sinclinal Checua Lenguaque en donde se describieron dos columnas estratigráficas correspondientes a las secciones Montecristo y El Triunfo, separadas 4 kilómetros entre sí.

El estudio de los diferentes mantos de carbón tuvo en cuenta los siguientes aspectos 1) la posición estratigráfica de los diferentes mantos de carbón y su posición en las parasecuencias 2) el ambiente de depósito 3) la composición maceral de los mantos de carbón 4) La reflectancia de vitrinita y 5) las características geoquímicas como son análisis proximales y el índice de hinchamiento.

El análisis de la información obtenida permitió establecer que los mantos de carbón coquizables con buena continuidad lateral, se encuentran en parasecuencia inferior de la Formación. Estos mantos de carbón se formaron durante niveles del mar relativamente bajos seguidos de lentos ascensos, característicos del *Middle Lowstand* en el cual se dieron las condiciones favorables para la acumulación y preservación de materia orgánica.

Los parámetros petrográficos y geoquímicos mencionados anteriormente indican que los carbones correspondientes a los mantos 2, 3, 6 y 7 presentan las mejores propiedades de coquización ya que poseen valores de reflectancia de vitrinita entre 0.8 y 0.86%, además de un alto contenido de macerales reactivos (desmocolinita y textinita), un bajo contenido de macerales inertes, e índices de hinchamiento entre 5 y 8.

La metodología empleada en este trabajo se puede aplicar a la exploración e identificación de nuevos mantos coquizables, en áreas en donde aun no se han reportado la presencia de carbones coquizables.

* Tesis

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Geología, Mario García González, Ph. D., Profesor Titular de Geología.

ABSTRACT

TITLE: STRATIGRAPHY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF THE COKING COAL IN THE GUADUAS FORMATION, BOGOTÁ BASIN, COLOMBIA*

AUTHORS: BUENO JIMENEZ Lenin, MORENO CASTELLANOS Mario A.**

KEY WORDS: Guaduas Formation– coking coals –
Parasequences – vitrinite reflectance
Reactive macerals – inert macerals
Swelling index.

The Guaduas Formation a coal-bearing sequence with one thousand meters thick presents coking and thermal coals of Maetrichian to Paleocene age. This Formation is present in the Bogotá basin and was studied in the Checua-Lenguazaque syncline, where two stratigraphic sections (four kilometers apart) were measured and described.

The coal study took into account the following parameters: 1) the stratigraphic coal position within the parasequence, 2) depositional environments, 3) maceral composition, 4) vitrinite reflectance, and 5) geochemical analysis such as proximate analysis and swelling index.

After studying the information obtained it was concluded that the coking coals are present in the first parasequence of the Guaduas Formation. These coal seams were formed during a Middle Lowstand system followed by a slow rise of the sea level. This situation created good conditions for the accumulation and preservation of the organic matter.

The results indicates that the best coking coals are coal seams 2, 3, 6, and 7. These coal seams present vitrinite reflectance values between 0.8 and 0.86%, with a high content of reactive macerals (desmocollinite and textinite) and a low non-reactive maceral content. This is coupled with swelling indexes of 5 and 8.

The methodology used in this study can be applied to the exploration and identification of unknown coking coal seams, in areas where no coking coals have been reported yet.

* Thesis

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

INTRODUCCIÓN

El auge en la explotación de carbones coquizables debido a los altos precios de este tipo de carbones y la relativa escasez de mantos coquizables de carbón en comparación con los mantos de carbones térmicos, fue el planteamiento de este proyecto de investigación en el que se buscaba identificar y caracterizar los carbones metalúrgicos de la Formación Guaduas empleando técnicas de petrografía orgánica y el índice de hinchamiento.

De igual manera se buscaba documentar la posición estratigráfica de los diferentes mantos coquizables dentro de la Formación Guaduas, empleando los conceptos de la estratigrafía de secuencias y las tendencias en la composición maceral de los diferentes mantos de carbón.

El resultado de este estudio permitió identificar las características coquizables de los diferentes mantos de carbón de la formación Guaduas y su posición estratigráfica. Este resultado permite formular un modelo geológico predictivo para la ocurrencia de carbones coquizables en la Formación Guaduas.

Teniendo en cuenta estos factores se hace necesario el aumento en la actividad exploratoria de nuevos mantos de carbón que permitan aumentar el número de reservas y calidad en las mezclas coquizables. Para lo cual se propone la explotación de mantos de carbón con espesores relativamente menores que actualmente no son explotados en la zona, pero que debido a su posición estratigráfica pueden presentar muy buenas características de coquización.

Este trabajo muestra una relación entre las características geoquímicas y petrográficas de los diferentes mantos de carbón de la Formación Guaduas con respecto a la posición estratigráfica de los mantos de carbón. De manera similar se pretende establecer la correlación que se pueda presentar entre los ambientes de depósito de los mantos de carbón y las características geoquímicas y petrográficas de los mismos.

1. OBJETIVOS

- Establecer un marco estratigráfico de la secuencia sedimentaria del Terciario Inferior en la cuenca de Bogotá (Formación Guaduas), el cual permita predecir la ocurrencia de mantos de carbones metalúrgicos con relación a su posición estratigráfica.
- Seleccionar áreas propicias para realizar los levantamientos estratigráficos correspondientes.
- Colectar muestras de cada manto de carbón con el fin de realizar los estudios geoquímicos y petrográficos correspondientes.
- Realizar estudios petrográficos y geoquímicos de los carbones muestreados
- Establecer el marco estratigráfico a detalle mediante la generación de correlaciones detalladas.
- Contextualizar la información petrográfica y geoquímica en el modelo estratigráfico propuesto.
- Derivar implicaciones predictivas que posibiliten situar la presencia de mantos de carbón coquizables dentro de la secuencia del Terciario Inferior del Guaduas.

2. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada 80 Km. al NE de Santafé de Bogotá, entre las poblaciones de Zipaquira al sur y Guacheta al Norte, en el departamento de Cundinamarca, comprende los municipios de Suta, Tausa, Sutatausa, Cucunuba, Ubaté, Lenguaque y Guacheta.

La principal vía de acceso es la carretera pavimentada que comunica a Bogotá con Zipaquira – Ubaté y Chiquinquirá, esta vía continua hasta Barbosa (Departamento de Santander), en donde se une a la vía Bogotá – Bucaramanga.

Existen además vías pavimentadas como Ubaté – Cucunubá, Ubaté – Guachetá, y casi la totalidad de la vía Ubaté – Lenguaque, facilitando el acceso a la zona, así como una serie de vías sin pavimentar en buen estado que unen las poblaciones de Sutatausa, Cucunubá, Lenguaque y Guachetá.

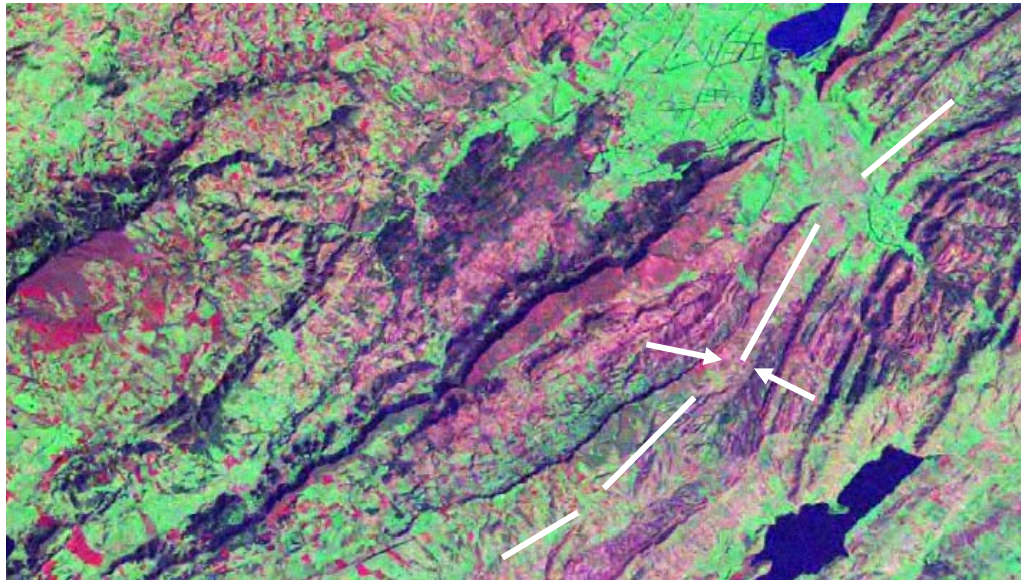


Figura 1. Localización del área de estudio. Sinclinal Checua Lenguaque. Tomado de Colombia Satelital.

3. ANTECEDENTES

El presente trabajo se inició teniendo como base lo realizado en el curso de campo I en el sinclinal de Checua – Lenguazaque por el hecho de ser un área que presenta cantidades económicas explotables de Carbón, y además es una de las regiones carboníferas mas estudiadas, tanto desde el punto de vista de la geología económica como de la investigación geológica.

Los principales trabajos realizados para esta zona son:

Recursos Minerales de parte de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, y Meta. Ministerio de Minas y petróleo. Bol Geológico Vol. 19 No. 1 Bogota, Mc Laughlin, D, Arce M, 1971.

Cuenca carbonífera de Checua –Lenguazaque . Inf. 1728, Ingeominas, Bogota. Nigrinis, R, Herrera, B, Blanco, 1975.

Censo Minero del Sinclinal Chencua Lenguazaque. (Cundinamarca). Informe 1728, ingeominas, Bogotá, Herrera B., Mateus, E. 1977.

Clasificación Internacional de los Carbones de Checua-Lenguazaque. Inf. 1726 Ingeominas Bogota, Blanco G., Romero, E. 1977.

Estudio de Prefactibilidad para la Explotación de carbones Coquizables en los Bloques I y II, Borde Occidental del Sinclinal de Checua-Lenguazaque, Empresa Nacional de investigación minera 1978.

Espesor, Estratigrafía y facies de la Formación Guaduas, Ingeominas Bogota. Laverde, F. 1979.

Petrografía de Carbones de la parte septentrional de la cuenca Checua-Lenguazaque, Universidad Nacional, Bogota. Reino, G. Y Rojas Y. 1981.

Censo Nacional de Minas. División de investigaciones Económicas y Estadísticas. Bogota. Carbocol. 1983.

Caracterización de Carbones Colombianos zona Checua-Lenguazaque. Bol. Geológico No.2. Vol.28, Ingeominas. Bogota, Pérez F. 1987.

Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. (Maastrichtiano-paleoceno, Colombia) Bol .Geológico, Vol.32, No.1, Ingeominas Bogota, Sarmiento G.1991.

Estratigrafía y medios de Depósito de la formación Guaduas, Sarmiento G. 1992.

Patrones de fracturamiento en la formación Guaduas. Sinclinal Checua-Lenguazaque y su relación con los yacimientos de Gas asociados a mantos de Carbón, Rueda E., Vélez M. 1999.

4. METODOLOGIA

La metodología del presente proyecto de investigación abarcó las siguientes fases.

Durante la fase de precampo se recopiló toda la información geológica disponible (documental, muestras de roca, etc.) sobre el área de trabajo.

En campo realizó un trabajo geológico de detalle, se levantaron dos columnas estratigráficas (Montecristo, El Triunfo), una poligonal y se realizaron muestreos extensivos con énfasis especial en los mantos de carbón. Para la realización de la poligonal se llevó a cabo el siguiente procedimiento.

Se tomaron medidas en el terreno con la ayuda de una cinta métrica y la brújula. Se construyó una tabla de datos con la siguiente información:

- Punto de la Poligonal.
- Distancia Real.
- Azimut.
- Inclinación.
- Rumbo de la Capa.
- Buzamiento de la Capa.
- Observaciones.

Para la medición de la distancia real nos ubicamos en estratos diferentes y tomamos los datos antes mencionados. Continuamos con la poligonal en varios puntos hasta completar la secuencia a la cual posteriormente se le determinó el espesor. Con los datos obtenidos se calculó la distancia horizontal y vertical entre los puntos de la poligonal (*Ver Figura 2.*)

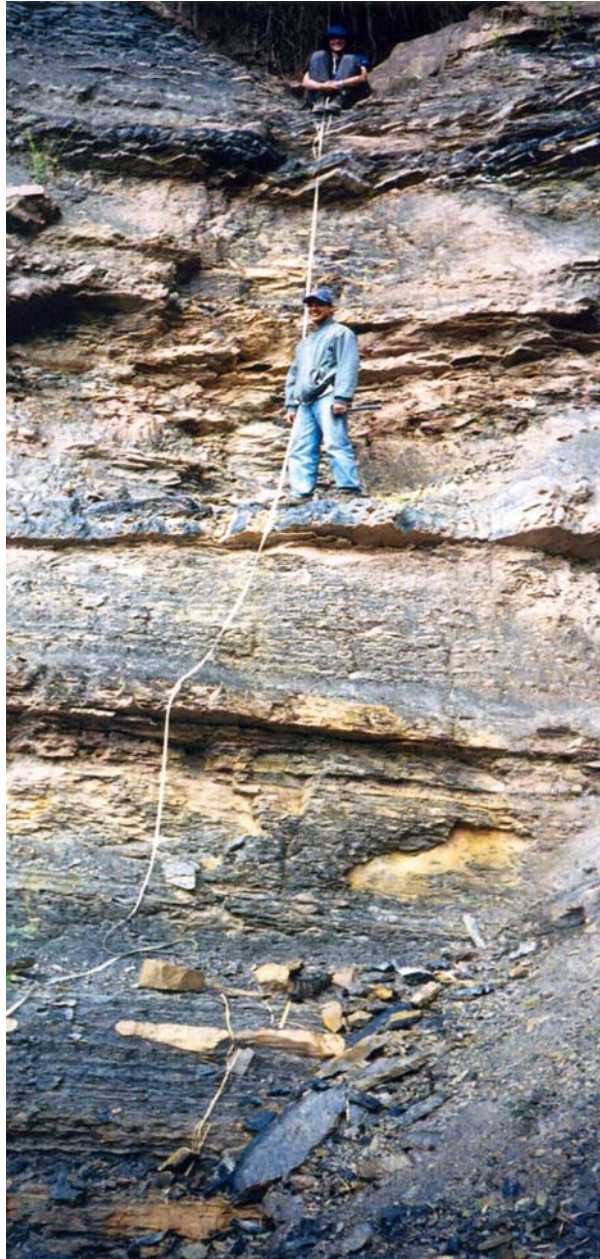


Figura 2. Levantamiento de la Poligonal. Afloramiento correspondiente a un TRANSGRESSIVE SYSTEM con cintas delgadas de carbón y abundante presencia de shales característico de una superficie máxima de inundación

Para la proyección de la poligonal se trazó un nivel de referencia perpendicular al rumbo promedio, posteriormente se trazaron proyecciones paralelas a los rumbos, desde los diferentes deltas hasta el plano de referencia; sobre este nivel de referencia se empezaron a medir las diferencias de altura entre los diferentes puntos, obteniendo de esta manera un perfil topográfico del terreno (*Ver Anexo 4*).

Para calcular los espesores se utilizó el método trigonométrico. Se calculó el buzamiento promedio de las capas a partir de los datos obtenidos; con estos datos se calculó la distancia horizontal de la siguiente manera:

- Distancia Horizontal (H) = $\text{Cos}(\text{Ángulo de inclinación}) * \text{Distancia medida entre las dos capas}$.
- Distancia Vertical (V) = $\text{Seno}(\text{Ángulo de inclinación}) * \text{Distancia medida entre las dos capas}$.

Se levantaron dos columnas estratigráficas teniendo en cuenta el siguiente procedimiento:

- Se seleccionaron las zonas de mejor exposición las cuales nos permitieron hacer el levantamiento de las secciones estratigráficas (Montecristo, El Triunfo) en forma continua. (*Ver Figura 3*).
- Para realizar la columna estratigráfica de la sección Montecristo se escogió como sitio de inicio la carretera que conduce a la mina Capellanía a 115m de la Quebrada el Cajón por ser la base de la formación Guaduas y por presentar una exposición general excelente. Para la columna estratigráfica de la sección El Triunfo se tomó como punto de partida el sitio conocido como Ventana Boquerón sobre la Quebrada el Cajón 500m al noreste de la mina El Triunfo (*Ver anexo 7*).



Figura 3. Levantamiento poligonal continuo Afloramiento correspondiente a un *MIDDLE LOWSTAND*, ubicado en la parte inferior de la Formación Guaduas, sobre la Quebrada El Volcán.

En la fase de laboratorio realizaron estudios petrográficos y geoquímicos como:

Análisis proximal: Humedad, cenizas, materia volátil, análisis de carbono total, análisis de contenido de macerales de carbón (Vitrinita, inertinita, liptinitas); análisis de reflectancia de vitrinita, índice de hinchamiento.

Los análisis proximales fueron diseñados específicamente para la caracterización de carbones térmicos y coquizables, sin embargo, sus resultados pueden ser empleados para evaluar el grado de madurez termal de los carbones, de otra parte el contenido de materia volátil se puede asociar al potencial genético.

Se realizaron macerando 200 gramos de muestra en molinos de bolas recuperando 80 gramos retenidos sobre la malla 120.

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

El análisis de materia volátil se llevó a cabo en una mufla a una temperatura de $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$ durante 7 minutos utilizando 1 gramo de muestra en un crisol con tapa. Posteriormente se pesó el crisol y por diferencias de peso se obtuvo la materia volátil que se quemó.

El objetivo de la prueba de humedad es eliminar el agua (H_2O) presente en la muestra secándola a una temperatura de 110°C . Se utilizó un gramo de muestra en un crisol sin tapa el cual se colocó en una estufa de secado a 110°C durante una hora, por diferencias de peso obtenemos la humedad de la muestra.

El contenido de ceniza representa la cantidad de impurezas en la muestra y el carbón efectivo disponible, con el cual podemos determinar la calidad del carbón, siendo el 12% el límite máximo permitido en carbones de buena calidad. Se utilizó un gramo de muestra en

un crisol sin tapa el cual se colocó en un horno, calentándolo gradualmente hasta obtener una temperatura de 950°C durante una hora, por diferencias de peso obtenemos la cantidad de cenizas.

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

Se utilizó un gramo de muestra en un crisol con tapa, el cual se colocó sobre un soporte triangular directamente sobre la llama de un mechero con una temperatura de 800°C +- 20°C durante aproximadamente 3 minutos. Se obtuvo como resultado botones de coque para cada muestra de carbón, los cuales se compararon con las gráficas estandarizadas de índices de hinchamiento.

Los análisis de Carbono Orgánico Total se llevaron a cabo en el analizador de Carbono-Azufre LECO Modelo SC 144R el cual emplea un horno de alta temperatura hasta 1500°C en una atmósfera oxidante.

Los vapores de la combustión de la muestra son pasados a través de una celda de espectro infrarrojo, que analiza la cantidad de CO₂ producido durante la combustión.

El procesamiento de los datos de TOC, se realizó mediante el software SC144R del analizador LECO. El instrumento se calibró empleando diferentes patrones de calibración para carbono y para azufre.

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 y también indica la cantidad de gas que potencialmente puede haber generado y acumulado un carbón.

Se elaboraron 30 secciones pulidas de diferentes muestras de carbón correspondientes a algunos de los mantos de la Formación Guaduas. El procedimiento realizado fue:

- Trituración de una muestra representativa de aproximadamente 250 gramos que posteriormente se tamiza empleando la malla límite 20.
- Impregnación con resinas epóxicas de una muestra entre 3 y 5 gramos de la fracción retenida por la malla 20.
- Pulido de la muestra impregnada, empleando una pulidora automática Wurtz.

Las medidas de Reflectancia de vitrinita (R_o) se tomaron empleando un microscopio fotómetro Zeiss Modelo MPM400 empleando objetivos de inmersión en aceite y una fuente de luz blanca reflejada.

La calibración del instrumento se realizó empleando estándares de reflectancia de 0.54% y 1.71% con luz reflejada, cuya longitud de onda es de 546 nm. A su vez, el manejo del fotómetro y el procesamiento de los datos de reflectancia se realizó a través del software photan.

El procedimiento y el equipo empleado nos aseguran una excelente calidad de datos con baja dispersión.

Se efectuaron 30 lecturas de R_o , teniendo especial cuidado en tomar las lecturas sobre superficies con buena calidad de pulimento con especial cuidado en no tomar las lecturas de R_o a macerales distintos a la vitrinita.

5. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El área de estudio se encuentra localizada Geológicamente en la zona axial de la Cordillera Oriental, involucrando rocas desde el paleozoico hasta en cenozoico, cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios de diferente origen. Los mayores eventos tectónicos que dieron lugar a la formación de la cordillera oriental colombiana y por ende a la sabana de Bogota están relacionados al desarrollo de la esquina noroccidental de Sudamérica. (*Ver figura 1*).

La cordillera Oriental de Colombia es una cadena plegada que cabalga hacia el Este sobre la cuenca de los Llanos Orientales y hacia el Oeste sobre la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Una gran parte de la cadena esta constituida de rocas sedimentarias depositadas en cuencas subsidentes durante el cretáceo y terciario inferior (Fabre, 1983).

El basamento de estas cuencas se encuentra formado por rocas metamórficas de edad Precámbrica a Paleozoica Inferior, por sedimentitas depositadas durante el paleozoico superior o durante el intervalo Triásico-Jurásico Inferior y por intrusivos precretáceos. (Fabre 1983).

Sobre este Basamento ígneo-metamórfico y metasedimentario inclinado levemente hacia el Este durante el periodo Triásico-Jurásico se depositan unas sedimentitas las cuales son posteriormente afectadas por un periodo de Subsistencia durante el cual el mar avanza hacia el Sur y el Oeste, dando origen a la depositación de los sedimentos Cretáceos, los cuales se encuentran asociados genéticamente al escudo Guayanés razón por la cual en esa dirección se tienen los sedimentos cretáceos mas antiguos. Durante el cretáceo temprano una fase de distensión importante afecta el área comprendida entre la paleocordillera Central y la paleofalla de Guaycaramo. (Fabre 1983).

De esta forma la Cordillera Oriental consistió de una serie de grabens desarrollados a partir de la ruptura de Pangea producto de la separación entre el norte y Sudamérica (Triásico Superior).

Dando como resultado una mega secuencia synrift producto del evento de expansión o rifting.

Durante la mayor parte del cretáceo la cuenca se ve sometida a subsidencia térmica. Para el cretáceo superior, debido a la elevación del nivel eustático, el mar transgrede rápidamente sobre la zona de los llanos que había quedado emergida durante el cretáceo inferior, allí se presenta el máximo nivel de inundación durante el Turoniano-Coniaciano. En el centro de la cuenca se depositan facies arcillosas y carbonatadas en condiciones anóxicas muy favorables a la conservación de la materia orgánica como las que componen la formación La luna, la principal roca generadora de hidrocarburos entrampados hoy día tanto en Colombia como en Venezuela.

Durante el Maastrichtiano-paleoceno ocurre la acreción de la cordillera Occidental provocando el levantamiento de la cordillera Central de esta manera se crea una cuenca de antepaís hacia el Este, la cual se extendió hasta el escudo Guayanés, durante este evento se originan cabalgamientos con transporte tectónico principalmente en dirección SW, evidenciados en el valle medio del Magdalena.

El levantamiento estuvo seguido de un episodio depositacional desde el masstrichtiano medio, consistente de facies litorales, planicies aluviales, planicies costeras y depósitos estuarinos dando origen a las formaciones Guaduas y Cacho las cuales fueron resultado de la depositación en el centro de la cuenca de gran cantidad de materia orgánica en condiciones parálicas, favorables a la formación de mantos de carbón (formación guaduas) a través de la cordillera Oriental. (Fabre 1983).

A partir del paleoceno las condiciones de sedimentación han sido de carácter continental, hasta el presente, observándose varios periodos erosivos representados en las discordancias que se encuentran dentro de la secuencia terciaria tales como las del paleoceno-eoceno al tope del guaduas y a las del mioceno medio, contemporánea con el levantamiento de la cordillera Oriental.

En la fase preandina durante el eoceno medio se presentan eventos de levantamiento, plegamiento y erosión. El ultimo periodo de tectonismo de gran importancia para el área tuvo lugar a finales del terciario durante el mioceno medio, donde se presenta un incremento de la carga tectónica en la cuenca desde el Oeste producida por la continua acreción de la cordillera Occidental, esto dio probablemente como resultado la formación de fallas inversas tales como las de Chocontá, Teatinos y Boquerón. (Fabre 1983).

Durante el mioceno medio y superior, importantes fases de tectónica compresiva interrumpe la subsidencia de las dos cuencas, cuyos sedimentos son plegados y fallados, esto se conoce también como la orogenia intraterciaria. La nueva cordillera Oriental emerge y es interesante notar que las zonas más subsidentes de las dos cuencas del valle medio del magdalena y de los llanos, forman actualmente los dos flancos cabalgantes de la cadena. Las profundas paleofallas normales, que limitaban las cuencas durante la fase de extensión parecen haber sido reactivadas como fallas inversas durante las fases de compresión del mioceno, puesto que representaban planos de debilidad preferenciales a lo largo de los cuales la cordillera Oriental pudo cabalgar respectivamente hacia el Este (sobre el borde de los llanos orientales) y hacia el Occidente (sobre el valle medio del magdalena) (Fabre 1983).

En la cordillera Oriental, las deformaciones compresivas principales terminan al final del mioceno. La formación Tilata, de edad plioceno que se deposita en zonas sinclinales de la cordillera, no esta plegada y descansa en discordancia angular sobre formaciones plegadas del terciario inferior (Van Der Hammen 1973 y Fabre 1983). Los estudios palinológicos

de Van Der Hammen mostraron que los sedimentos de la formación Tilata registraron todo el levantamiento epirogenico de la cordillera Oriental, el cual ocurrió principalmente durante el plioceno. (Fabre 1983).

6. MARCO TECTONICO

La evolución tectónica de la cordillera Oriental, se encuentra caracterizada por múltiples estados de evolución a partir de una cuenca mesozoica, relacionados a la evolución neodinámica de la esquina Noroccidental de Sudamérica, durante el mesozoico y cenozoico.

Durante el Triásico-Jurásico y cretáceo temprano la esquina Noroccidental de Sudamérica fue afectada por un evento expansivo, asociado a la separación de Norte y Sudamérica y al desarrollo de un margen activo en el Occidente con el establecimiento de un arco magmático, representado por un extenso cordón de plutones calcoalcalinos localizados en el flanco Oriental de la cordillera Central.

Como resultado de este evento se crea una gran zona de distensión en la parte posterior del arco, donde se desarrollaron depocentros controlados por fallas normales y depositaron sedimentos volcanoclasticos y carbonáticos pocos profundos. Para este tiempo en el área de la cordillera Oriental, se crearon dos grandes depocentros: la cuenca del Cocuy al Este y la cuenca del Tablazo-Magdalena al Oeste, separadas por el paleomacizo de Santander-Floresta, limitadas por la paleocordillera Central y la paleofalla de Guaicaramo. Estas cuencas actuaron como grabens subsidentes durante el cretáceo temprano. Posteriormente el avance de la placa del farallón ocasiono la acreción del complejo ofiolítico Occidental a lo largo de la sutura de romeral.

Durante el Albiano en la zona de Back-arc, se establece una expansión de las condiciones marinas en la actual zona del Valle medio del Magdalena y los Llanos Orientales, donde se presenta un cambio gradual de espesor y de facies en las unidades estratigráficas, esto sugiere el desarrollo de una fase posterior a la expansión, que domino la historia de la evolución durante la mayor parte del cretáceo.

Durante el cretáceo tardío ocurre el primer evento compresivo contemporáneo con el levantamiento de la cordillera Central, este evento probablemente afecta gran parte del sector occidental de la cordillera, generando zonas estructuralmente altas que controlan la depositación de los sedimentos del terciario inferior y al mismo tiempo sirvieron de zonas de aportes de sedimentos.

Durante el mioceno ocurre un nuevo evento compresivo que configuraría el estado de deformación actual de la cordillera; durante este evento algunas antiguas fallas normales fueron invertidas y se generaron nuevas fallas inversas involucrando basamento. Como producto de esta deformación la carga litostática creó el espacio de acomodación de gruesas secuencias molásicas en la cuenca ante país o de tipo foreland de los llanos y en la cuenca intramontaña del Valle medio del Magdalena.

La evolución terciaria de la cordillera Oriental y áreas adyacentes, esta caracterizada por el desarrollo de un sistema de cuencas tipo foreland, posiblemente relacionadas con el estado final de acreción de la cordillera Occidental.

Los ejes depositacionales de estas cuencas se localizaron inicialmente en el valle medio y superior del Magdalena y con el tiempo migraron a la actual área de la cordillera Oriental.

La cordillera Oriental se ha dividido en cinco zonas de acuerdo a su comportamiento o estilo estructural, su expresión en superficie y su prospectividad hidrocarburífera. En el extremo Noroeste se encuentra la zona de cuenca y piedemonte del Valle Medio del

Magdalena, mas al Este la zona de transición occidental en la zona axial de la cordillera se presenta la sabana de Bogota, hacia el flanco Oriental la zona de transición oriental y al Oriente la cuenca y piedemonte de los Llanos Orientales.

6.1 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La configuración inicial de la cuenca de rift en el área comprende un gran graben en el área de Arcabuco y un graben mediano en Sogamoso y Tunja. Los depósitos del sinrift fueron depositados en el Triásico Superior-Jurásico superior, dichos segmentos corresponden a una secuencia no marina de capas rojas inconformes sobre rocas Igneas, Metamórficas y Sedimentarias de edades Cámbrico a Carbonífero inferior. (ICP-GER, 1998).

La subsidencia termal se dá durante el Jurásico tardío y Cretaceo, generando la acumulación de una espesa secuencia de sedimentos de plataforma marina. Los seis ciclos mayores de depositación por fenómenos transgresivos se dan entre el Jurásico tardío y Paleoceno Temprano. (Fajardo, 1998). (*Ver Figura 4*).

La erosión del Maastrichtiano temprano así como la acumulación de sedimentos clásicos inconformes del Foreland del paleoceno tardío son debidos a la acreción de la Cordillera Occidental el cual marca la inversión de la cuenca y el progresivo desarrollo de la Cordillera Oriental. La deformación Terciaria en la región de Arcabuco se inicia con la inversión en escama delgada del antiguo Graben; esto genera pliegues amplios dentro de una estructura formada por inclinaciones invertidas de alto ángulo que involucran basamento como en la región de Floresta (Boyacá), con buzamientos Noroeste y Sureste respecto a los sistemas de fallas normales de Boyacá y la Salina-Landázuri. La vergencia bipolar Noroeste-Suroeste es interpretada como el efecto de barrera a ambos lados del Graben. (Fajardo, 1998).

La formación de bloque yacente (footwall) de la antigua falla normal de Boyacá y más tarde del bloque colgante (hangingwall) del antiguo sistema de fallas normales con buzamientos Noroeste suprayacieron el sistema de fallas de Cabalgamiento de Guaicáramo. (Fajardo, 1998).

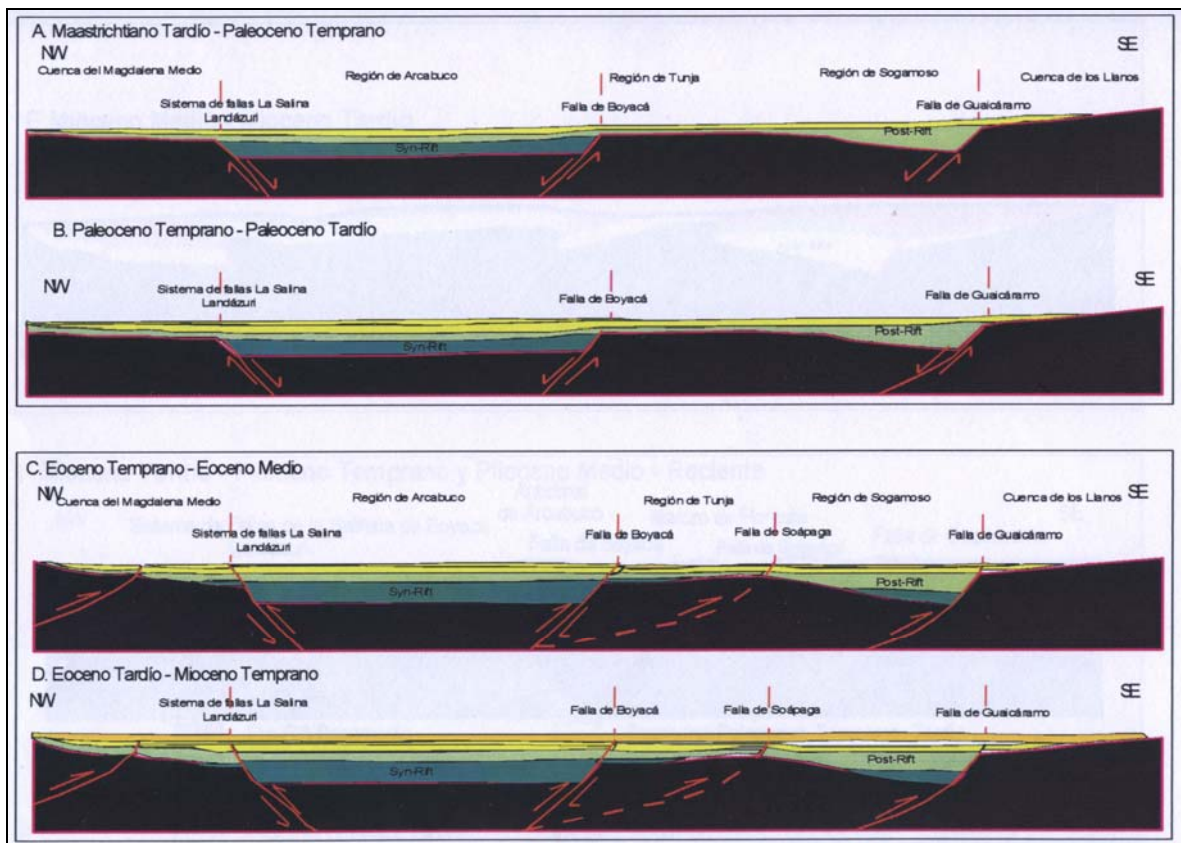


Figura 4. Ciclos de Acumulación y Deformación para el área de la Sabana de Bogotá. (Tomado de Fajardo P.G, .1998)

Los grandes pliegues del Este fueron probablemente el resultado del efecto de barrera del footwall del sistema de fallas de Guaicáramo y el Macizo de Quetame. El retrocabalgamiento se asocia a la propagación anterior del acortamiento del bloque yacente (footwall) de la falla de Soápage. (Fajardo, 1998).

El macizo de la Floresta y su cabeceo Suroeste dentro de la Sabana de Bogota dominan el área de Tunja. (ICP-GER, 1999).

Los pliegues Fault-Bend y Fault Propagation Fault predominan excepto en el sector Sur (área del Sinclinal Checua-Lenguazaque), en donde son más comunes los pliegues de Detachment debido a la presencia de sal y capas gruesas de Shales. (Fajardo P. G., 1998). (ICP-GER, 1999).

En el sector sur de la sabana se presenta un fuerte plegamiento y fallamiento en secciones del Cretaceo y Terciario hacia el Oeste y pliegues amplios y elongados raramente fallados que involucran Cretaceo inferior en el Este. En la parte Norte se da un dominio de deformación en escama delgada con vergencia Noroeste-Suroeste el cual es acompañado probablemente por estructuras en flor. El progresivo desarrollo de la Cordillera Oriental envuelve cinco ciclos de acumulación y deformación entre el Maastrichtiano y Holoceno. (Fajardo P. G., 1998).

La tectónica de la cobertera está bien expuesta en la zona axial de la cordillera Oriental y se caracteriza por pliegues que se presenta en trenes mucho menos espaciados que los altos estructurales que involucran el basamento, como en Floresta. (ICP-GER, 1999).

Las estructuras que se presentan en la zona axial de la Cordillera Oriental, donde se presentan sedimentos marinos del cretáceo inferior, son muy características, ya que muchos de estos pliegues fueron formados durante el Mioceno Medio en la llamada orogenia intra Terciaria.

Estos pliegues se presentan típicamente en anticlinales estrechos y simétricos, los cuales presentan frecuente inversiones algunas de ellas atribuidas a efectos de gravedad y otras a la presencia de fallas inversas, separados por sinclinales amplios asimétricos en forma de cubeta y de senos planos. Los pliegues más importantes corresponden en el área de estudio

al Sinclinal de Checua-Lenguazaque, Sinclinal de Suesca y Sinclinal de Neusa; y los Anticlinales de Tausa, Nemocón y Suesca.

Otro rasgo muy particular se refiere a las vergencias de los pliegues en el área, ya que respecto al sinclinal de Checua-Lenguazaque este alcanza una posición estructural más baja, los demás pliegues muestran a través de sus asimetrías vergencia hacia los bordes de la Cordillera Oriental.

La cuenca de la sabana de Bogotá está caracterizada por cabalgamientos con rumbo NNE-SSW, cabalgamientos menores de vergencia oriental, fallas de transferencia de rumbo WE. Las fallas que se presentan en el área y que tienen un gran control sobre las estructuras son de muy alto ángulo.

Los sistemas de fallas de convergencia oriental, occidental y de transferencia afectan el área, dentro de las principales fallas de vergencia oriental se encuentran las fallas de Chocontá, Teatinos, El Boquerón y una serie de fallas de transferencia que involucran las estructuras del área.

Anticlinal de Nemocón. Hacia la parte Norte recibe el nombre de Anticlinal de Gachaneca. Corresponde a una estructura asimétrica, involucre rocas de las formaciones Arenisca Tierna, los Pinos y Plaeners, y en su núcleo afloran rocas de la formación Chipaque. Presenta buzamientos moderados a altos, con inversiones en el sector Sur en su flanco Oriental, el cual se encuentra afectado por una falla antitética a la falla de Gachaneca. El flanco occidental es cortado por la falla de Gachaneca, sus buzamientos varían de 25° a 60° en el sector Norte e invertidos en el sector Sur.

El seno de este pliegue es disarmónico en profundidad, su dirección preferencial corresponde a N50E (Godoy y Rocha, 1993). Esta estructura se comporta como un pliegue

que cabalga hacia el Este por efecto de la falla de Teatinos, que afecta la estructura dando como resultado un anticlinal muy apretado.

En su núcleo se forman de estructuras anticlinorias-sinclinorias muy apretadas, presentándose frecuentes inversiones; hacia el sector Norte, el anticlinal se amplía, alcanzando valores de 10 kilómetros.

Anticlinal de Tausa. Corresponde a una estructura simétrica y amplia, aunque en algunos sectores presenta inversiones hacia el Este, con un rumbo de 45° en dirección NE, se caracteriza por ser una estructura que presenta internamente sinclinales y anticlinales, debido a la litología que lo conforma, en su mayoría shales y areniscas de grano fino correspondientes a la Formación Chipaque. Tiene aproximadamente una extensión de 60 kilómetros, y en la parte Norte recibe el nombre de Anticlinal de Rabanal.

Sinclinal de Suesca. Es una estructura simétrica y amplia, con charnelas amplias y planas, en su núcleo afloran roas de la Formación Cacho y Guaduas.

Anticlinal de Suesca. Corresponde a una estructura ligeramente asimétrica, con cabeceo en sus dos extremos y una extensión aproximada de 18 kilómetros. En su núcleo afloran rocas de las formaciones Plaeners, y en sus flancos las formaciones Los Pinos y Arenisca Tierna.

El flanco Oriental presenta un rumbo constante a lo largo de su estructura con excepción en la parte Sur donde presenta cambios en su dirección, es cortado por la falla de Tibitá y presenta ángulos de buzamientos normales e invertidos variando de 5° a 30°.

El flanco Occidental presenta variaciones fuertes en la dirección de su eje, es afectado por la falla del Rhur y sus buzamientos varían de 5° a 30°.

Falla de Chocontá. La Falla de Chocontá corresponde a una falla inversa con vergencia oriental, a lo largo de su trayectoria afecta de Sur a Norte al anticlinal de Chocontá Norte.

Falla de Teatinos. La Falla de Teatinos. Esta falla corresponde a una falla inversa que se desprende de la falla de Chocontá presenta vergencia oriental, que afecta de Norte a Sur al sinclinal de Checua-Lenguazaque, dando como resultado las frecuentes inversiones del flanco oriental.

7. ESTRATIGRAFIA

En el área del sinclinal Checua –Lenguazaque afloran en superficie unidades como Chipaque, Guadalupe, Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera y depósitos cuaternarios. A continuación se hace una descripción de las unidades cretácicas y terciarias que conforman el sinclinal con base en la columna estratigráfica generalizada de la sabana de Bogotá. (*Ver figura 5*).

| EDAD | | EPOCA | | | | |
|---|---|---|--------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| ERA | PERIODO | | | | | |
| C E N O Z O I C O | | | CUATERNARIO | | | |
| | T E R C I A R I O | NEOGENO | PLIOCENO | TILATA | | |
| | | | MIOCENO | | | |
| | | PALEOGENO | OLIGOCENO | USME | | |
| | | | EOCENO | REGADERIA | | |
| | | | PALEOCENO | BOGOTÁ | | |
| | | | | CACHO | | |
| | | M E S O Z O I C O | C R E T A C E O | TARDIO | Maastrichtiano | GUADUAS |
| | | | | | Campaniano | GUADALUPE |
| | Santoniano | | | | CHIPAQUE | |
| Coniaciano | | | | | | |
| Turoniano | | | | | | |
| Cenomaniano | UNE | | | | | |
| TEMPRANO | Albiano | | | FOMEQUE | | |
| | Aptiano | | | | | |
| | Barremiano | | | | | |
| | Hauteriviano | | | | | |

| | | | | |
|--|----------------|--|--------------|------------------|
| | | | Valanginiano | GRUPO CAQUEZA |
| | | | | |
| | | | Berriasiano | |
| | PRE – CRETÁCEO | | | |

Figura 5. Columna Estratigráfica Generalizada para la Sabana de Bogotá. Modificada de Ulloa y Rodríguez, 1991.

GRUPO CAQUEZA

El término utilizado inicialmente por Hubach, 1931 esta dividido en tres unidades de rango formacional: Brechas de Buenavista, Lutitas de Macanal y areniscas de Cáqueza.

Brechas de Buenavista: Representa la base de la secuencia cretácica para la sabana de Bogotá y piedemonte llanero. La unidad esta constituida por brechas y conglomerados con clastos derivados de cuarcitas, filitas, esquistos y cuarzo en una matriz arenosa, interestratificados hacia la parte media con capas delgadas de lodolitas negras.

Suprayace en discontinuidad al grupo Quetame y las capas rojas de Guaitiquia, y en continuidad a la formación de lutitas del macanal.

Se le ha asignado una edad Tithoniano a Berriasiano, y proviene de un ambiente de abanicos submarinos. Las brechas equivalen cronológicamente a las calizas del Guavio y su espesor varia entre 80 y 350 m.

Lutitas de Macanal: Esta constituida por lodolitas negras, areniscas alternadas con lodolitas negras y areniscas de grano fino. Se le ha asignado una edad Berriasiano- Valanginiano- Hauteriviano inferior.

Sus facies indican un ambiente de abanico submarino, su espesor varia desde 1 a 4 Km.

Areniscas de Cáqueza: Definida originalmente por Hubach, 1931 (En JULIVERT, 1968). Consta de areniscas de grano fino que varia a areniscas ligeramente conglomeráticas con

intercalaciones de lodolitas negras con abundantes restos de plantas. El ambiente de formación se define como abanico submarino. La unidad se considera de edad Hauteriviano a Barremiano. Facialmente es equivalente al miembro Almeida de las areniscas de las Juntas y cronológicamente a la Formación de Naveta. Espesor 400m.

FORMACION FOMEQUE

Esta constituida por lodolitas interpuestas con capas delgadas de areniscas y calizas. Suprayace en continuidad estratigráfica a la formación Cáqueza e infrayace en similares condiciones a la Formación Une. Su edad varía entre Barremiano medio-Tardío y Albiano Temprano. Su espesor varía de 500 a 600m. (ULLOA et al .1988).

FORMACION UNE

Consta de areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas, con estratificación cruzada en las capas gruesas, interpuestas con lodolitas magras. En algunos sectores se presentan lentes de carbón (ULLOA et al, 1988). Para la cuenca de Farallones estos autores la describen como cuarzo arenitas grises y blancas de grano fino a grueso ligeramente conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas negras. Ambiente: marino Deltaico, según ULLOA y RODRÍGUEZ (1988).

Su edad varia de Albiano a Cenomaniano (FABRE, 1985) a Albiano Superior-Cenomaniano. (ULLOA et al, (1988). Une se correlaciona con las Formaciones Chiquinquirá y Churuvita en las áreas de Tunja y Villa de Leiva, Aguardiente en la Cuenca de Catatumbo y Salto en el Valle Medio del Magdalena Superior. Espesor: 500m en cercanías de Une y 850m cerca de Villavicencio. (ULLOA et al. 1988).

FORMACION CHIPAQUE

Descrita originalmente por Hubach (1931 en JULIVERT, 1968) fue redefinida por Renzoni (1968) en cercanías de Chipaque. Consiste de Lodolitas grises oscuras y negras interpuestas con capas de carbón. (Ulloa et al 1998). Descansa en continuidad estratigráfica sobre las areniscas de la Formación Une e infrayace en similares condiciones con la Formación Arenisca Dura del Grupo Guadalupe. Ambiente: según Ulloa et al. (1998) es marino, de aguas poco profundas y circulación restringida.

GRUPO GUADALUPE

En la Sabana de Bogota esta conformada de base a techo por tres unidades formacionales: Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna. (GUERRERO Y SERMIENTO 1996).

ARENISCA DURA: Descrita inicialmente por Hubach, 1931 (en JULIVERT 1968) representa la parte más inferior de Grupo Guadalupe. Esta constituida por areniscas cuarzosas de grano muy fino a grueso, interpuestas con capas delgadas de limolitas y algunas de arcillolitas grises oscuras, las areniscas se presentan intensamente bioturbadas, con thalasinoides hacia la base de las capas principalmente. Hacia el Euroeste la unidad varía a facies más arcillosas.

PLAENERS: Fue descrita originalmente por Hubach (1931 in Julivert, 1968). Está constituida predominantemente por lodolita, arenita de grano muy fino, fino, medio y limolita. Pérez y Salazar (1978) la dividen en seis segmentos; esta unidad descansa en continuidad estratigráfica sobre la Formación Arenisca Dura e infrayace en condiciones similares a las formaciones Labor y Tierna. Plaeners se cree depositada durante un marcado ascenso relativo del nivel del mar (GUERRERO Y SARMIENTO, 1996). Se le

ha asignado una edad que fluctúa entre el Santoniano Superior (ETAYO SERNA, 1979) Campaniano superior a Maastrichtiano inferior (FOLMI et al, 1992; PEREZ Y SALAZAR, 1978). Su espesor varía entre 50 y 105 m.

FORMACIONES LABOR Y TIERNA: descrita por Hubach (1931) separadamente para describir las unidades arenosas. Actualmente se agrupan en uno debido a su similitud litológica y para evitar confusiones (REZONI 1981). Ulloa et al. (1988) dividen la unidad en tres miembros constituidos por Arenisca de grano fino a medio (Miembro Labor), lodolitas y limolitas negras (Miembro Intermedio), Arenisca de grano fino a grueso con estratificación cruzada (Miembro Tierna). Sus relaciones estratigráficas son de continuidad tanto con la infrayacente Formación Plaeners como la suprayacente Formación Guaduas. Ambiente marino sometido a somerización súbita. (GUERRERO y SARMIENTO, 1996).

Se le ha asignado una edad Maastrichtiano Inferior (Pérez y Salazar, 1978; Guerrero y Sarmiento, 1996). Su espesor varía entre 67 y 219 m.

FORMACION GUADUAS

Fue redefinida por Hubach (1951). Ulloa et al. (1988) dividen la unidad en tres miembros: Miembro Inferior de 70 m de arcillolitas con capas delgadas de areniscas interpuestas, Miembros Medio de 440 m de areniscas cuarzosas de grano fino a medio con delgadas intercalaciones de arcillolitas gris amarillentas que incluyen capas de carbón. Miembro Superior de 250 m de lodolitas rojo amarillentas interpuestas con capas delgadas de areniscas cuarzosas. De las Columnas estratigráficas de Sarmiento (1992) en el área de Sutatausa, se deduce que las lodolitas oscuras y las capas de carbón explotables se encuentran en la parte inferior de la unidad, mientras que en la parte superior se presentan arcillolitas rojizas y abigarradas con intercalaciones menores de areniscas, Sarmiento (1992). En el área Sutatausa también se interpreta el ambiente de la Formación Guaduas

como una sucesión que varía de Lagoon, llanuras intramaréales, supramareales y lacustres a llanuras de inundación y canales formados en ríos meandriformes. Suprayace en continuidad estratigráfica a las formaciones Labor y Tierna e infrayace en discontinuidad a la Formación Cacho, Sarmiento, 1994 (en GUERRERO Y SARMIENTO, 1996) restringió el uso del término Guaduas a la parte central de la Cordillera Oriental, indicando que la unidad presenta diferencias significativas entre ésta (1100 m) y la parte oriental en el Pie de Monte Llanero (80 m) en donde haría parte del conjunto D del Grupo Palmichal (ULLOA y RODRÍGUEZ, 1979). El espesor varía de 59 a 1100 m y la edad de la Formación varía de Maastrichtiano Superior al Paleoceno Inferior. (VAN DER HAMMEN, 1957, SARMIENTO 1992).

FORMACION CACHO

También conocida como Arenisca del Cacho. Descrita originalmente por Sheibe (1938) redefinida por Hubach. (1945, 1957). Constituida de abajo hacia arriba por areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada, cuarzosas de grano fino a grueso. (ULLO et al. 1988). Se formó en un ambiente fluvial de ríos trenzados (HOORN, 1988) y suprayace en discontinuidad estratigráfica a la Formación Bogota. Se le ha asignado una edad Paleocena para la Formación Cacho (VAN DER HAMMEN, 1958; HOORN, 1987- 1988) y su espesor es de 43 metros.

FORMACION BOGOTA

Descrita originalmente por Hubach (1957), fue redefinida por Van Der Hammen (1958), esta conformada por dos miembros, uno inferior constituido por arcillolitas amarillentas y rojizas con intercalaciones de areniscas cuarzosas; otro superior de arcillolitas rojizas con interposiciones menores a areniscas.

Es el producto de un ambiente lagunar cercano a la costa; son depósitos de llanuras de inundación formados en un régimen de ríos meandriformes. Se le ha asignado una edad entre paleoceno Superior y Eoceno Inferior, comprende un espesor entre 120 y 1625m.

FORMACION REGADERA

La unidad consta de areniscas de grano grueso, conglomerados y en menor proporción arcillolitas abigarradas. La unidad subyace en continuidad estratigráfica a la formación Bogotá e infrayace en similares condiciones a la formación Usme, aunque para Julivert (1963) este contacto es de carácter discordante. Edad Paleoceno-eoceno.

FORMACION USME

Descrita originalmente por Hubach (1951), este autor diferencia dos partes, una inferior constituida por arcillolitas con intercalaciones de arenisca y otra superior de areniscas cuarzosas de grano grueso y conglomerados. Descansa en discontinuidad sobre la formación Bogotá e infrayace en continuidad a la formación regadera. Se le ha asignado una edad Oligoceno-Mioceno, con un espesor de 125 m.

FORMACION TILATA

Descrita originalmente por Sheibe (1933). Fue redefinida por Renzoni (1981). Consta por gravas, arcillas, arenas y esporádicos fragmentos de lignitos y Andesitas. Reposa en discontinuidad estratigráfica sobre las unidades Cretácicas y paleógenas. Van Der Hammen (1995) describe la unidad como una alternancia de gravas subredondeadas, arenas compactas, limos y arcillas de color grisáceo a parduzco. Se considera como un depósito de abanicos aluviales, de edad Neógeno, su espesor varia entre 150 y 260m.

8. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO ESTRUCTURAL

A continuación se hace una descripción del sinclinal Checua- Lenguazaque y sus estructuras asociadas.



Figura 6. Panorámica Sinclinal Checua Lenguazaque

La zona de estudio correspondiente al sinclinal Checua Lenguazaque, se considera un pliegue resultante de la orogenia intraterciaria que causó el levantamiento y plegamiento de la cordillera oriental de la región andina de Colombia (*Ver Figura 1 y 6*). Considerando el primer gran evento compresivo en el país durante el cretáceo se entienden las fallas existentes en esta estructura como producto de una inversión tectónica, donde las fallas normales sirvieron de plano de debilidad para la formación de fallas inversas.

En la zona podemos identificar tres unidades correspondientes en su orden estratigráfico a la Formación Guadalupe, caracterizada por niveles duros de liditas y arenisca (*Ver*

Figura 7), seguida en contacto neto por la Formación Guaduas representada por niveles blandos y mantos de carbón (*Ver Figura 12*).

Suprayaciendo a la Formación Guaduas y en contacto erosional, encontramos la Formación Cacho la cual corresponde a areniscas conglomeráticas (*Ver Figura 8*).

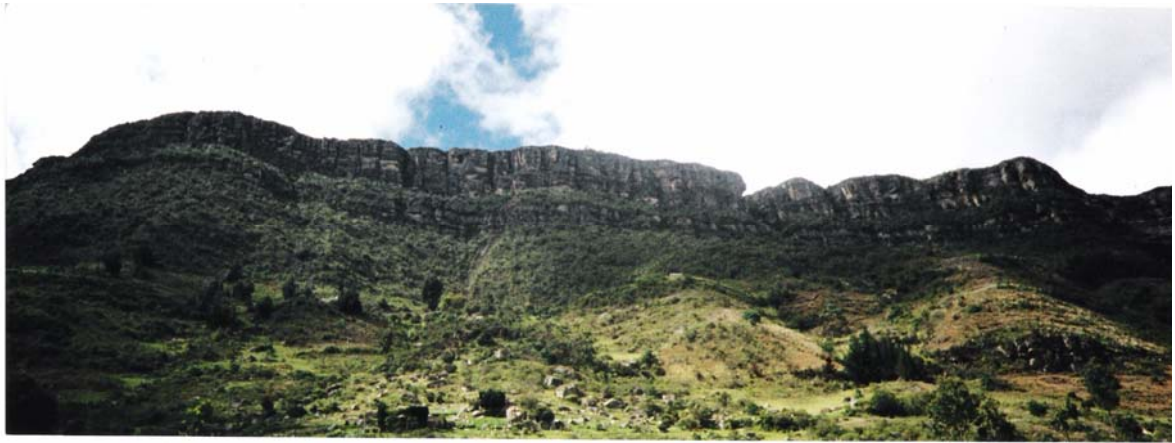


Figura 7. Panorámica del Grupo Guadalupe.



Figura 8. Panorámica de la Formación Cacho.

Hacia el flanco oriental se evidencia un abrupto cambio de espesor de la formación Guaduas y Guadalupe que muestran entre otras cosas variedad de micropliegues (*Ver Figura 10*) este sector presenta a profundidad un sistema de fallas que lo hacen de gran complejidad estructural (*Ver Fotografía 9*); a superficie y en diferencia con publicaciones anteriores de estudios realizados en esta zona, se observa un back thrusts entre el contacto de dichas formaciones de desplazamiento moderadamente considerable, con geometría poco escalonada que indica un aparente transporte tectónico en dirección contraria (*Ver anexo 6 y 7*); la formación Guadalupe a profundidad es desplazada por esta falla e igualmente afectada por el sistema de fallas antes mencionadas.



Figura 9. Fracturamiento, evidencias de fallas



Figura 10. Micropliegue

El Sinclinal de Chequa Lenguazaque es una estructura asimétrica, presenta una dirección general NE y se extiende por más de 60 Km., su flanco oriental se encuentra más inclinado que el occidental, e invertido en casi su totalidad (*Ver Anexo 6*).

Dentro de las características estructurales más sobresalientes, cabe resaltar la diferencia entre los valores de buzamiento del flanco occidental respecto al flanco oriental; mientras en el flanco occidental encontramos buzamientos en un rango de 28 a 35° SE, en el flanco oriental encontramos rangos entre 60 y 90° al SW. (*Ver Figura 11*), en este mismo flanco y en la Formación Guaduas, se presentan algunos buzamientos invertidos, todas estas características nos llevan a concluir que el sinclinal Chequa-Lenguazaque es asimétrico hacia el este.



**Figura 11. Verticalización de estratos flanco Oriental
Sinclinal Chequa-Lenguazaque**

Por presentar una tectónica más complicada y buzamientos cercanos a la vertical este flanco en general ha sido menos explotado que el occidental. Encontrándose frecuentes truncamientos de los mantos de carbón, formación de estructuras que colapsan por presión y por la pérdida de su sostenimiento natural, levantamiento del piso produciendo el estrechamiento de las paredes de la mina hasta su cierre total. (*Ver figura 12*).

La distancia entre los dos flancos del sinclinal varía considerablemente, en su parte más amplia que corresponde a su parte Norte y Sur alcanza los 12 kilómetros de amplitud, mientras que en las zonas donde se presenta más estrecho alcanza los 3,5 kilómetros como en la zona comprendida entre Cucunubá y Lenguazaque.



Figura 12. Sector Formación Guaduas

9. RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTRATIGRAFICO

9.1 DESCRIPCION DE COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

Sección Montecristo

El contacto inferior entre la formación Guaduas y el Grupo Guadalupe en el flanco occidental del Sinclinal Checua-Lenguazaque es neto y concordante; marcado geomorfológicamente por el paso de la quebrada El Cajón.

La sección estratigráfica se inició sobre la carretera que conduce a la mina Capellanía a 115m de la quebrada El Cajón, con coordenadas X = 1070180 Y = 1029513, segmento que corresponde a un nivel blando cubierto. Y finalizó en el sitio con coordenadas X=1068970, Y=1029500. (*Ver anexos 4 y 7*).

La descripción siguiente se realiza de la base al tope de la Formación Guaduas:

Los primeros 53m conforman un paquete de lodolitas gris claras con espesor de estratificación grueso seguido de un nivel de concreciones ferruginosas intercalado con lodolitas grises físis y esporádicos lentes de arena muy fina, localmente se encuentra una estratificación Hummocky ondulosa suprayacida por niveles de lodolitas masivos.

Los siguientes 47m comienzan con lodolitas abigarradas suprayacidas en contacto neto por un paquete de areniscas masivas de grano fino, las cuales a su vez contienen el primer manto de carbón de 1.3m denominado manto 1 y explotado por la mina el Espino, seguido a este tenemos un paquete representativo de lodolitas con concreciones ferruginosas en contacto neto con el manto 2 de 1m, hacia el tope de este manto tenemos una intercalación de lodolitas gris clara con lodolitas ondulosas oscuras físis y el manto 3 de 1.1m.

A partir de los 115m hasta los 177m se inicia con un paquete de areniscas rojizas de grano fino subredondeado con buena porosidad y presencia de ondulitas orientadas N20W y dirección de la corriente S-N, éstas areniscas a su vez presentan en su lecho moldes de bivalvos disueltos. Seguido a estas areniscas encontramos una intercalación de lodolitas rojizas con laminación inclinada, de alto contenido de líticos de carbón con arenisca cuarzosa de grano muy fino bien cementada y laminación interna inclinada; los mantos 4 (1.16m), tres cintas de menor espesor (30-50cm), y el manto 5 (1.3m) (*Ver figura 3*) se encuentran dentro de este paquete suprayacidos e infrayacidos por las lodolitas antes mencionadas.

A partir de los 180m hasta los 210m tenemos inicialmente una intercalación de lodolitas arenosa bien calibradas con lodolitas silíceas de laminación plana paralela discontinua y presencia de lentes ferruginosos, entre estas lodolitas encontramos 3 delgados mantos de carbón de 30cm de espesor, seguido a esto tenemos un manto de carbón de 1.5m de espesor (manto 6) que se encuentra suprayacido e infrayacido por lodolitas con lentes ferruginosos al igual que el manto 5. Posteriormente encontramos en su orden lodolitas silíceas, arenisca, lodolita silícea.

Entre los 209 y 265m se inicia con un espeso manto de carbón denominado manto 8 de aproximadamente 1.4m el cual no se está explotando, dicho manto se encuentra suprayacido en contacto neto por un paquete de lodolitas abigarradas de gran espesor que culminan en una pequeña capa de areniscas con presencia de ondulitas las cuales a su vez infrayacen una cinta de 30cms, finalizando este sector tenemos el manto 9 (1m) infrayacido por las mismas lodolitas antes mencionadas y suprayacido por lodolitas con presencia de lentes ferruginosos.

Entre los 265 y los 410m hay un predominio de lodolitas rojizas a amarillentas claras algo curbiertas, algunas con presencia de lentes ferruginosos que contienen hacia la base del sector los mantos Ciscuda (1.4m), Vidriosa (0.7m) y Depósito en su parte superior.

Entre los 410 y 461m tenemos un conjunto de lodolitas grises oscuras físciles y otras compactas con presencia de lentes ferruginosos que se encuentran intercaladas en contacto plano paralelo con delgadas capas de carbón de 20cm de espesor denominado Veta Chica, hacia la base de este sector encontramos dos mantos de carbón de aproximadamente 1m de espesor denominado 7 bancos.

Entre los 461 y 497m encontramos inicialmente una capa gruesa de areniscas rosadas de grano fino con laminación lenticular infrayaciendo un manto de carbón no explotado en contacto neto que a su vez se encuentra suprayacido por lodolitas gris oscuras físciles dentro de las cuales encontramos una cinta de carbón de 30cms.

Entre 497 y 524m se inicia con un manto de 50cms no explotado y un paquete espeso de lodolitas gris físciles con presencia de lentes ferruginosos, seguidas en contacto ondulado con lodolitas compactas grises que presentan ondulitas seguidas por un manto de carbón de 30cms, el cual está suprayacido por lodolitas grises oscuras compactas, en contacto plano paralelo las cuales a su vez infrayacen un manto de carbón o shale carbonoso. Seguido a esto encontramos lodolitas grises oscuras compactas con presencia de lentes ferruginosos (*Ver Figura 2*).

Entre los 524 y 560m tenemos la presencia de lodolita físcil gris oscura con lentes ferruginosos, seguidas de un conjunto de areniscas de grano fino, compactas de color verdoso con lentes rojizos de lodo y presencia de ondulitas de rumbo N85W, intercaladas con lodolitas físciles de tonalidades grises, que presentan igualmente laminación ondulosa y esporádicamente lentes de color crema de arenisca muy fina.

Entre los 560 y 700 m se encuentra lodolitas físciles gris oscuras intercaladas con lodolitas compactas con lentes ferruginosos y dos mantos delgados de carbón. Hacia el tope de este sector encontramos unas areniscas de grano medio débilmente cementadas, seguidas de una

intercalación de lodolitas gris clara a rosadas, con arenisca de grano medio amarillenta a rojiza con laminación cruzada hacia la base. (Ver Figura 13 y 14, Anexo 5).

Sección El Triunfo

Esta sección se inició sobre la Quebrada el Cajón, a 30m de la Ventana Boqueron, en el sitio con coordenadas X=1069480 Y=1025700 y finalizó en X=1066300 Y=1025800.

La descripción se realiza de base a techo:

Los primeros 60m corresponden a una intercalación de lodolitas grises con laminación ondulosa a cruzada con areniscas de grano fino rojiza con laminación cruzada y presencia de ondulitas de corriente en contacto erosivo con las lodolitas.

De los 60 a los 140m se tienen los primeros mantos de carbón (1, 2,3) intercalados con lodolitas ferruginosas marrones a rosadas con laminación plana paralela, suprayacido por una intercalación de areniscas de grano fino a medio con presencia de ondulitas de corriente, laminación ondulosa, contactos ondulosos y erosivos.

Entre los 140 y los 240m se encuentra la zona con mayor cantidad de mantos de carbón observados (16 mantos) los cuales se encuentran intercalados con lodolitas grises a rosadas con presencia de nódulos ferruginosos, laminación plana no paralela y areniscas de grano medio con presencia de ondulitas de corriente en superficie, laminación ondulosa e intraclastos de carbón.

Entre 240 a los 420m se tiene en la parte inferior un paquete de lodolitas rosadas a grisáceas con nódulos ferruginosos de aproximadamente 50m de espesor dentro de las cuales se encuentran estratos de arenisca de grano fino lenticulares. Seguido a esto se

presenta una intercalación de lodolitas con laminación cruzada, nódulos ferruginosos y los mantos de carbón, Nueve, Ciscuda, Vidriosa, Depósito, Siete Bancos y Veta Chica.

De los 420 a los 530m se inicia con un paquete de arenisca de grano grueso con nódulos de carbón y laminación cruzada, seguido de una intercalación de lodolitas amarillentas a marrones con nódulos ferruginosos, carbonosos y tres cintas de carbón, suprayacido por un paquete de lodolitas de aproximadamente 80m de espesor con laminación ondulosa y lenticular y presencia de estratos de arenisca de grano medio con ondulitas de corriente en superficie y contacto erosivo.

Entre los 530 y 590m se presenta una intercalación de lodolitas grises oscuras con alto contenido de óxidos de hierro lenticulares, shale carbonoso y mantos de carbón.

De los 590 a los 670m se tiene un potente paquete de lodolitas grises a rosadas con lentes ferruginosos y carbonosos con laminación ondulosa.

Entre los 670 y 720m se tiene una intercalación de arenisca de grano fino con laminación plana paralela hacia la base, cruzada en la parte intermedia y ondulosa en la parte superior con lodolitas ferruginosas y pequeñas cintas de carbón.

De los 720 a los 850m se presenta una intercalación de lodolitas grisáceas con paquetes de arenisca de grano medio a grueso con laminación plana paralela, cruzada e intraclastos de carbón y lentes de lodolita grisácea a verdosa, en contacto erosivo con el último paquete de arenisca de grano grueso. (*Ver Figura 13 y 14, Anexo 5*).



Figura 13. Intercalación de lodolitas y areniscas, contacto erosivo.



Figura 14. Variación litológica a pequeña escala, contacto en artesa.

Comparación de resultados en la Columna Estratigráfica con otros trabajos

Como uno de los trabajos más completos desarrollados en esta zona resulta importante mencionar en primer lugar el de Sarmiento (Sarmiento G, 1994, Visión Regional de la Formación Guaduas Publicación especial del Ingeominas No. 20 1994) resaltando el gran control estratigráfico que desarrolló, con un control de geometrías y contactos entre las unidades muy detallado a diferencia del presente informe cuyo trabajo de campo se realizó en un tiempo mucho mas corto con relación al anterior. Sarmiento presenta abundantes datos de bioperturbación con una gran cantidad de contenido fósil que nos han servido de apoyo en nuestra interpretación de ambientes de depósito. Es importante resaltar la densidad de mantos de carbón que dicho autor presenta (62 mantos) y compararlos con los 47 mostrados en este informe enfatizando en la escala del proyecto y rectificando de una manera afirmativa la correlación estratigráfica de los mismos; cabe mencionar la variación en la densidad de lentes y concreciones ferruginosas a lo largo de la columna estratigráfica presentada por Sarmiento, ya que en dicho trabajo se obvian niveles significativos de lentes

y concreciones ferruginosas registrados en el presente trabajo en el anexo 5 y de igual manera sectores denominados “No visible” entre 400-500m, 630-650m y 660-680 m los cuales dentro de nuestro levantamiento fueron reportados como niveles de lodolitas abigarradas físisiles con esporádicas presencias de concreciones ferruginosas, algunos niveles de lodolitas oscuras; dentro de este sector que dicho autor denomina no visible él esta obviando 2 mantos de carbón que añadiéndolos a su estudio detallado daría un total de mantos de carbón registrados hasta el momento en la formación Guaduas de 64 mantos.

En segundo lugar y con una pobre información estratigráfica mencionamos el trabajo presentado por Ingeominas (Pérez G, Blanco, C., García G. 1985, Caracterización de los carbones Colombianos Zona Checua - Lenguazaque. Boletín Geológico Vol. 28 Ingeominas) el cual es mucho mas generalizado con relación al de Sarmiento. Ingeominas en su informe no registra la densidad de mantos de carbón caracterizados en esta región principalmente en los mantos cuyo espesor se encuentra entre 25 y 30 cm., las estructuras descritas en dicho informe son pobres comparándolas con las registradas por Sarmiento y al igual que este autor obvia niveles significativos de concreciones ferruginosas. Ingeominas presenta buena información de bioperturbación como evidencias de plantas carbonizadas pero deficiencia en estructuras sedimentarias como por ejemplo la hummocky registrada en los 140-200m, sin embargo se cubrió la unidad completa registrada como 1000m.

9.2 INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA FORMACION GUADUAS

Dada la predominante presencia de mantos de carbón en esta formación, el ambiente de depositación esta regido por las características típicas para la depositación de carbones entre las cuales se citan:

• *La acumulación:* Cantidades significativas de materia orgánica (peat) están controladas por los siguientes elementos primarios de depositación: 1) productividad orgánica primaria, 2) preservación de materia orgánica, 3) disolución por materia mineral, 4) Subsistencia. (Bohacs and Suter, 1997).

1) Productividad orgánica primaria: La rata de producción de materia orgánica (peat) es controlada por el suministro de agua y de nutrientes, el relieve y el tipo de flora.

2) Preservación de materia orgánica: Las acumulaciones significantes de materia orgánica ocurren únicamente debajo de la tabla de agua donde el suministro de O₂ sea mínimo.

3) Disolución por materia mineral: Se requieren principalmente tazas de sedimentación bajas en las cuales la disolución de la materia orgánica sea mínima.

4) Subsistencia: Es el espacio disponible para la formación y acumulación de turba. La rata de acomodación debe ser proporcional a la rata de acumulación orgánica para la generación de peats o materia orgánica concentrada.

Dentro de este entorno variante encontramos de base a tope de la Formación Guaduas la siguiente interpretación ambiental (*ver anexo 5*).

De la base de la Formación Guaduas hasta el metro 40 se observan lodolitas arenosas con laminación ondulosa que varían a laminación inclinada y lenticular. Esta facies es

característica de una zona intermareal. Entre los metros 40 y 100 se tiene una intercalación de lodolitas con areniscas de grano fino, el contacto entre estas dos litologías es erosivo en la parte inferior de las capas de arenisca. En el tope de las areniscas se observan ondulitas asimétricas de corriente. Esta facies corresponde a canales de marea en una zona supramareal. Hacia el tope del segmento 40 a 100 metros, se observan lodolitas con laminación plano paralela intercalados con los mantos de carbón 1, 2 y 3 los cuales presentan espesores cercanos a 1m y una continuidad lateral que sobrepasa los 4 km. Estas características son propias de ambientes costeros en donde se forman pantanos con abundante depositación de materia vegetal que da lugar a la formación de turberas (Diessel, 1982).

Entre los metros 100 y 140 de la secuencia del Triunfo, se observa una intercalación de lodolitas con areniscas, la cuales presentan una variación de grano que va de muy grueso en la parte inferior, con laminación cruzada, a grano fino en la parte superior, en contactos ondulados a ligeramente erosivos. Hacia el tope de este segmento el espesor de las capas de arenisca disminuye gradualmente hasta formar unas intercalaciones de lodolitas con capas tabulares de arenisca. Esta asociación de facies es indicativa de ambiente fluvial en el cual se presentan canales de ríos, representados por la capas de areniscas con espesores mayores de 0.5 m, con un régimen de flujo alto. El cual cambia gradualmente hacia el tope en donde se observan depósitos de desborde de ríos representados por las capas de arenisca de espesores de 10 a 20 cm.

Del metro 140 al 230 se presenta la mayor cantidad de mantos de carbón correspondientes a los mantos 4, 5, 6, 7 y 8. Los mantos 4 y 7 están infrayacidos y suprayacidos respectivamente, por areniscas de grano medio de cuarzo con buena madurez textural y composicional. Esta situación es indicativa de carbones depositados en ambientes de back barrier los cuales presentan un relativa abundancia de macerales de liptinita además de abundante vitrinita tipo desmocolinita (García González 2005) Los mantos 5, 6 y 8 están intercalados con lodolitas, su composición maceral esta dominada por la desmocolinita, esta

situación es indicativa de ambientes de depósito de lagunas costeras de aguas salobres. (*Ver figura 3*).

La presencia de lodolitas con laminación ondulosa intercalada con areniscas de grano fino y ausencia de mantos de carbón entre los metros 240 y 280 son rasgos característicos de llanuras bajas con altas tasas de sedimentación clástica.

Entre los metros 280 y 430 se tiene nuevamente una abundante cantidad de mantos de carbón correspondientes a los mantos; Nueve, Ciscuda, Vidriosa, Depósito, 7 Bancos y Veta Chica, los cuales presentan un grado de carbonización menor (ver reflectancia de vitrinita, anexo 5) y alto contenido de inertinitas, esta situación es indicativa de pantanos abiertos, en los cuales la tabla de agua está por debajo del nivel topográfico presentándose una alta oxidación de la materia orgánica, lo cual se evidencia por el alto contenido de pirita de estos carbones. (Diessel, 1982).

Entre los 430 y los 520m se tiene la presencia de lodolitas con laminación ondulosa, intercalada con areniscas de grano medio en contacto erosivo y ausencia de mantos de carbón característicos de llanuras bajas con altas tasas de sedimentación clástica. Del metro 520 al 600 se presenta una intercalación de mantos de carbón con espesores entre 0.40 a 1.5m intercalados con lodolitas y shale carbonoso indicando un ambiente de pantanos costeros cerrados. (*Ver figura 2*). Entre los 600 y 720m se presenta un paquete de lodolitas con laminación ondulosa suprayacido por una intercalación de capas de arenisca de grano muy fino con laminación cruzada en la base y ondulosa hacia el tope con lodolitas y pequeñas de capas de carbón, lo cual indica una zona de pantanos muy cercanos a la línea de costa.

El último segmento, correspondiente a los metros 720 a 850 se caracteriza por presentar dos secuencias granodecrecientes. La primera está constituida por areniscas de grano medio mal cementadas con alto contenido de feldespatos y laminación cruzada, suprayacidas por

lodolitas con laminación ondulosa. La segunda presenta areniscas de grano medio con laminación cruzada hacia la base y lentes de lodolita gris a verdosa, suprayacida por un paquete de lodolitas con laminación ondulosa el cual se encuentran en contacto erosivo en su parte superior con areniscas de grano grueso inmaduras textural y composicionalmente, correspondiente a canales meandriformes (Walter.G.R, 1979). (Ver figura 13)

9.3 ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS

Para realizar la estratigrafía de secuencias de la Formación Guaduas se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos.

- *Cambio Eustático:* Cambios mundiales del nivel del mar, lo cual afecta a todos los océanos, o cambios relativos del nivel del mar a escala global producidos por cambios en el volumen de agua, cambios en el área superficial de una cuenca oceánica o ambos conjuntamente.
- *Ciclo Eustático:* Intervalo de tiempo durante el cual ocurre una subida y una caída eustática del nivel del mar.
- *Nivel Relativo del mar:* Es la posición del mar relativo a un nivel fijo en el fondo del mar (Ver Figura 15): esta definición toma en cuenta dos componentes: eustacia y movimientos verticales del fondo del mar (tectonismo y/o compactación de sedimentos) (Ver Figura16).

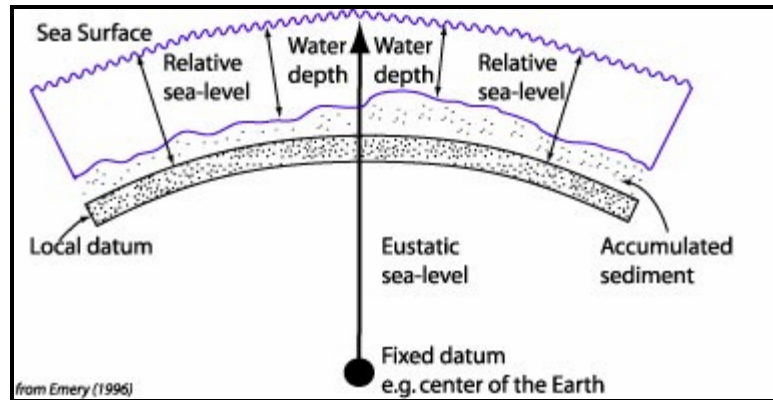


Figura 15. Posición del mar relativo a un nivel fijo. Tomado de Possamentier; H.W. Jersey; M.T. y VAIL; P.R (1988)

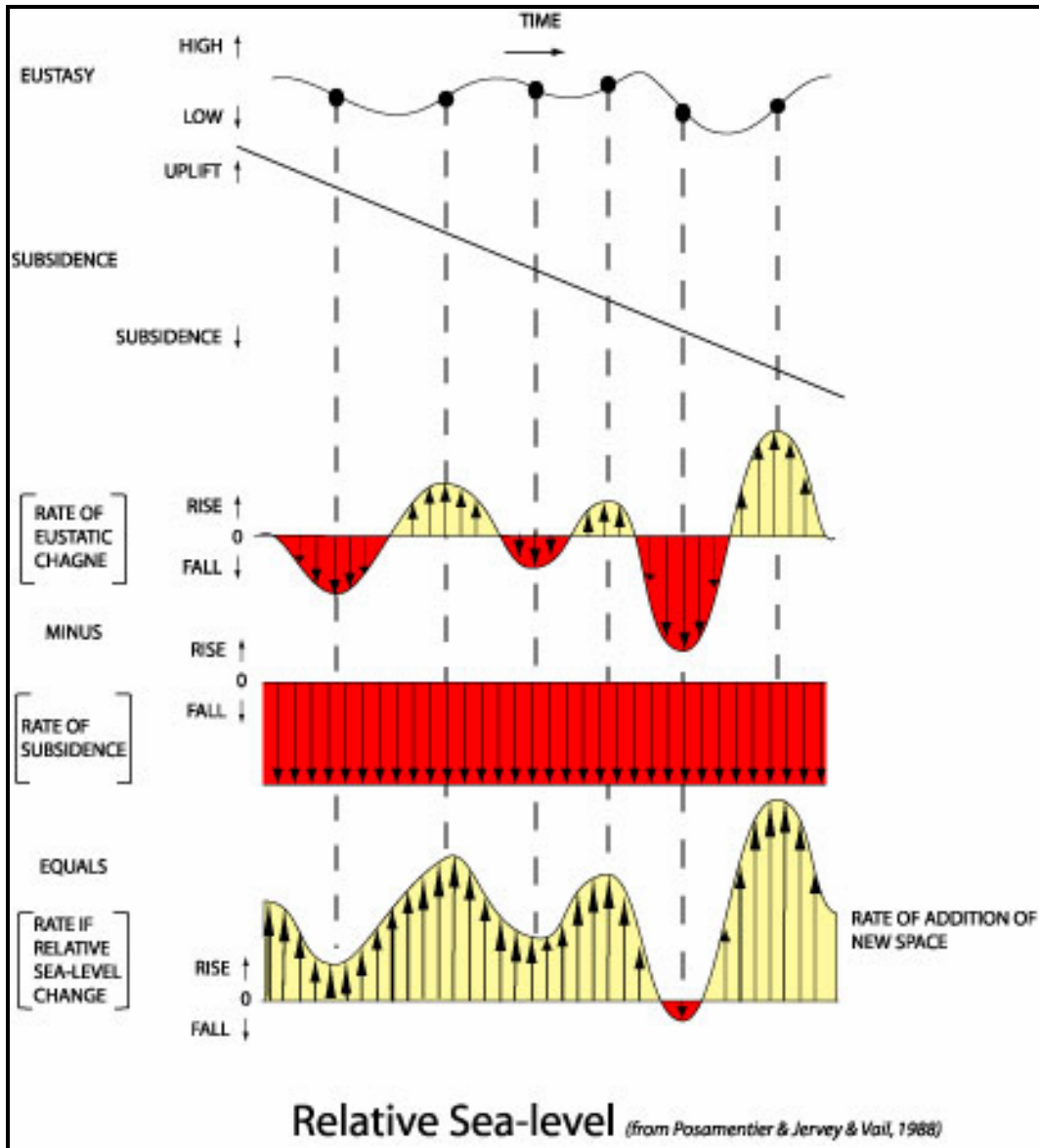


Figura 16. Nivel relativo del mar. Tomado de Posamentier; H.W. Jersey; M.T. y VAIL; P.R (1988)

- *Espacio de acomodación:* Es el espacio potencial disponible para que los sedimentos llenen y es determinado por la combinación del movimiento del nivel del mar (eustacia) y el movimiento del fondo marino (subsistencia tectónica) (Ver Figura17).

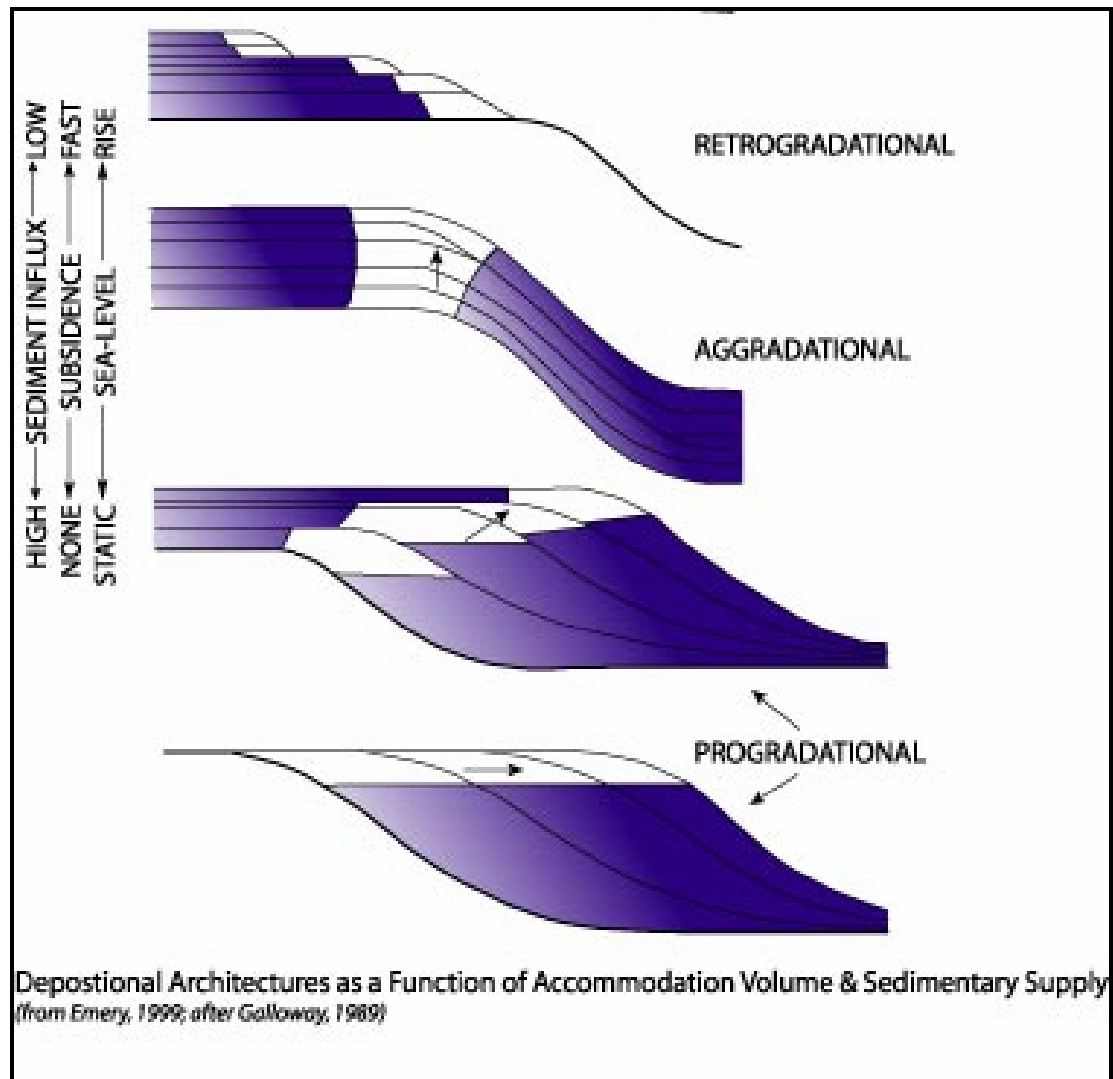


Figura 17. Geometría depositacional. Tomado de Possamentier; H.W. Jersey; M.T. y VAIL; P.R (1988)

- **Systems Tracts:** Son unidades estratigráficas representadas en el registro rocoso como asociaciones de facies tridimensionales. Se definen con base en los límites de secuencias, posición con respecto a la secuencia y su patrón de apilamiento.

Se reconocen 4 System Tracts: Lowstand, Transgressive, Highstand, Shelf-Margin:

- ◆ **Tren inferior (Lowstand System Track):** Este tren es depositado durante intervalos caracterizados por niveles del mar relativamente bajos (por ejemplo cuando la tasa de descenso del nivel del mar es mayor que la subsidencia), seguidos por un lento ascenso del nivel del mar. Este tren se subdivide en dos; 1) *Middle Lowstand* caracterizado por presentar mantos de carbón con espesor variable, buena continuidad lateral y buena preservación. 2) *Late Lowstand* caracterizado por presentar mantos de buen espesor pero con poca continuidad lateral.
- ◆ **Tren Transgresivo (Transgressive System track):** Representa la sedimentación durante un rápido ascenso del nivel del mar; la línea de costa retrocede hacia el continente, alimentando la cuenca con sedimentos. Es iniciado por el primer evento de inundación significativa después de la máxima regresión ocurrida durante el tren inferior. Este tren está compuesto de una sucesión de parasecuencias retrogradacionales (eventos de inundación) e incisión de valles y puede estar asociado con concentraciones de minerales autigénicos (pirita), mantos de carbón delgados y aislados. El tope del tren transgresivo es el límite de la invasión marina, llamada la máxima superficie de inundación (mfs), y consta de una depositación extensa de shales.
- ◆ **Tren Superior (Highstand System Tract):** Este tren se caracteriza por un incremento en el patrón de apilamiento de las parasecuencias progradacionales. Este tren es depositado cuando los niveles del mar o del océano están por encima del borde de la plataforma, en un área local dada. Este tren se subdivide en tres: 1) *Early Highstand* caracterizado por presentar mantos de carbón de buen espesor pero con poca continuidad lateral. 2) *Middle Highstand* caracterizado por presentar mantos de carbón con espesor variable,

buena continuidad lateral y buena preservación. 3) *Late Highstand* caracterizado por la ausencia de carbones.

- *Ciclo de Primer Orden:* Ciclo de cambio eustático o relativo del nivel del mar con una duración de 100 a 200 millones de años.
- *Ciclo de Segundo Orden:* Ciclo de cambio eustático o relativo del nivel del mar con una duración de 10 a 80 millones de años.
- *Ciclo de Tercer Orden:* Ciclo de cambio eustático o relativo del nivel del mar con una duración de 1 a 10 millones de años. Este es el ciclo fundamental, el cual representa una subida y una caída del nivel del mar, mientras que los ciclos de segundo y primer orden están compuestos de más de un ciclo de tercer orden.

Los resultados obtenidos nos permiten realizar la correlación de las columnas estratigráficas, para obtener la interpretación ambiental (Ver Figura 19), lo cual se realizó en función de la estratigrafía de secuencias teniendo en cuenta la relación entre la rata de cambio del nivel base, espesor y geometría de los carbones para una rata de acumulación de materia orgánica (peat) determinada (Ver Figura 18).

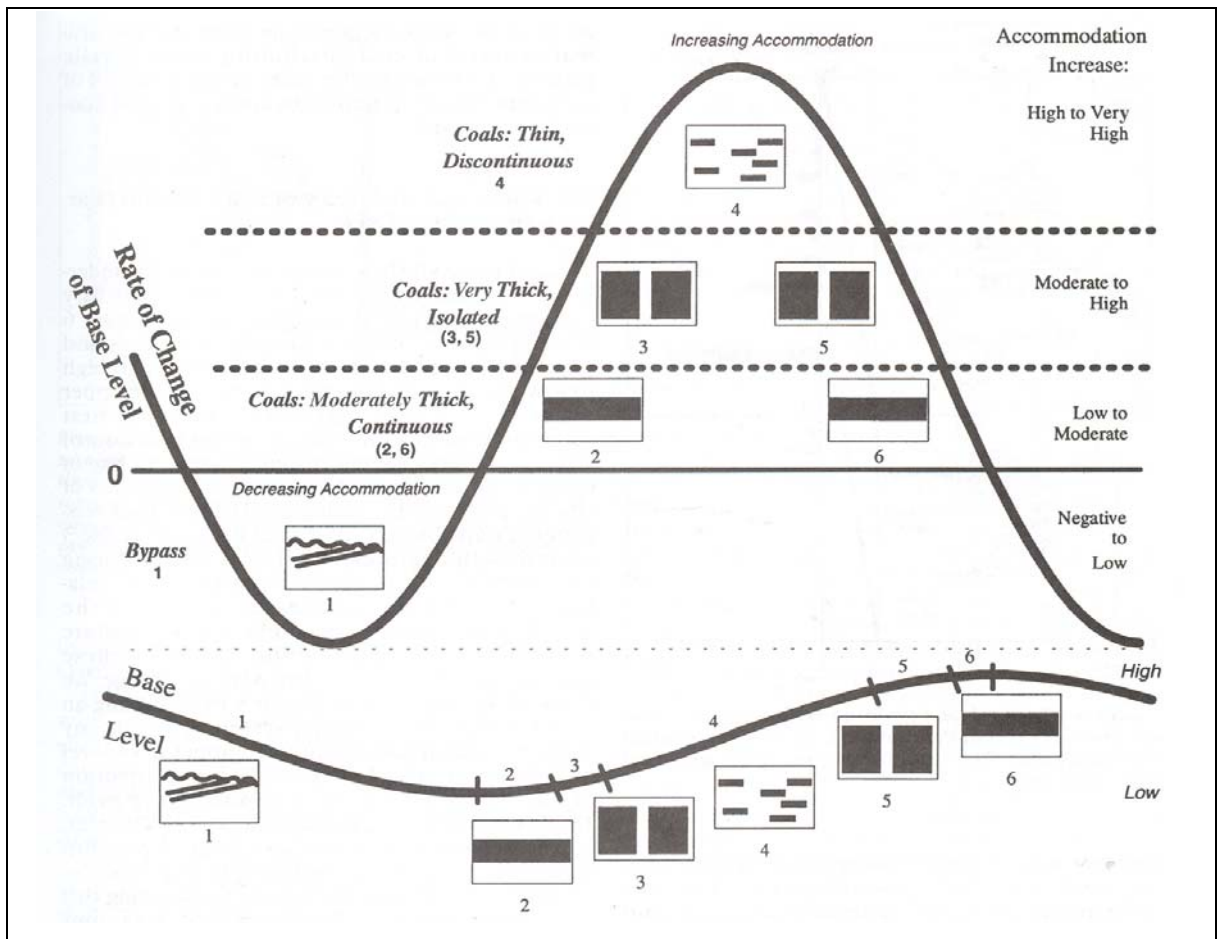


Figura 18. Rata de cambio el nivel base. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

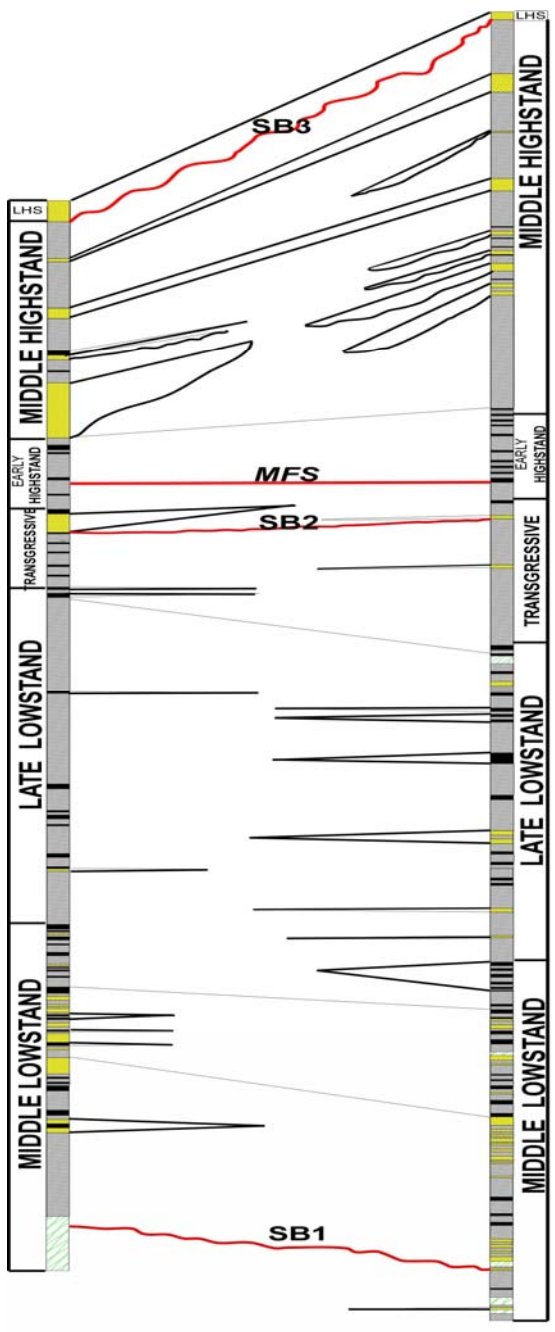


Figura 19. Correlación Columnas Estratigráficas, Montecristo (Izquierda), El Triunfo (Derecha),
 Nótese el acuñaamiento de las arenas, mantos de carbón y límites de secuencias (SB).
 MFS: Máxima Superficie de Inundación (Datum). Escala 1:4500

La depositación de la Formación Guaduas está enmarcada dentro de un evento regresivo general, iniciado en un Late Highstand, seguido de ascensos y descensos de menor escala y finalizando nuevamente en un Late Highstand.

El contacto entre El Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas está marcado por el cambio de un espeso paquete de areniscas depositadas durante un Late Highstand (*Ver Figuras 19 y 20*).

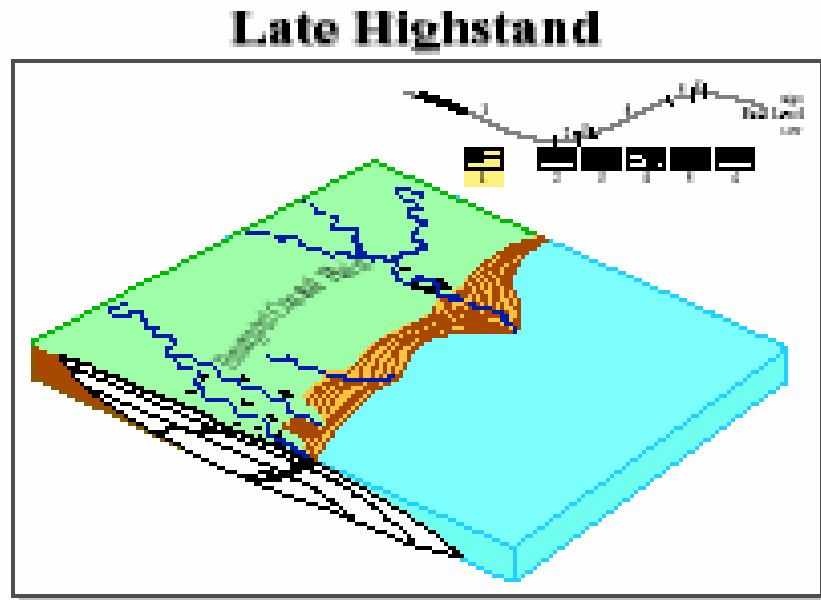


Figura 20. Late Highstand. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

a unas intercalaciones de lodolitas grises con areniscas de grano fino, presencia de canales con estratificación cruzada, ondulitas de corriente y contactos erosivos, marcando el primer límite de secuencias (SB1) (*Ver figura 19*). Seguido a esto se tiene un lento ascenso del nivel del mar, el cual favoreció la acumulación y preservación de materia orgánica característico de un Middle Lowstand (*Ver Figura 21*) dando lugar a la formación de mantos de carbón espesos, continuos y con buenas características de coquización correspondientes a los mantos del uno al nueve. (*Ver Figura 3 y anexo 5*).

Middle Lowstand

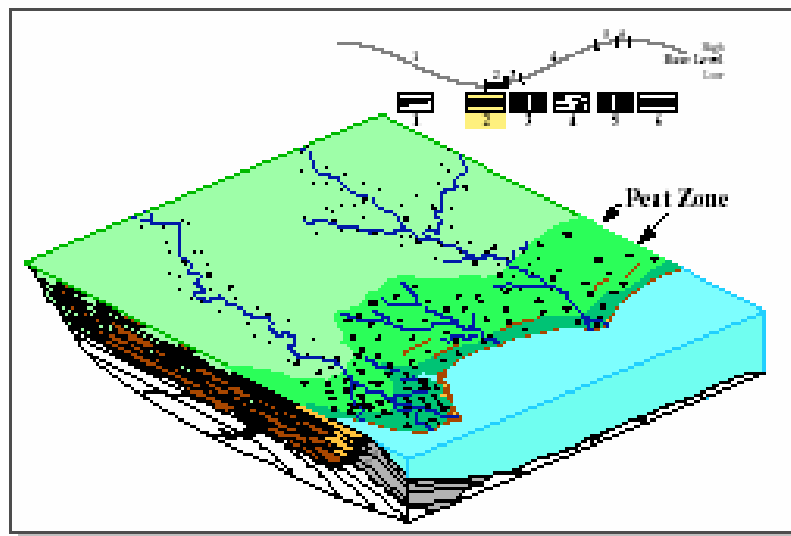


Figura 21. Middle Lowstand. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

Posteriormente continua el ascenso del nivel del mar dando lugar a un incremento del espacio de acomodación en el que se acumula materia orgánica, dando lugar a la formación de mantos de carbón, algunos con un espesor mayor pero tendientes a acuñarse correspondientes a los mantos Ciscuda, Vidriosa, Depósito y Siete Bancos (Ver figura 19, anexo 5) característico de un Late Lowstand (Ver figura 22).

Late Lowstand

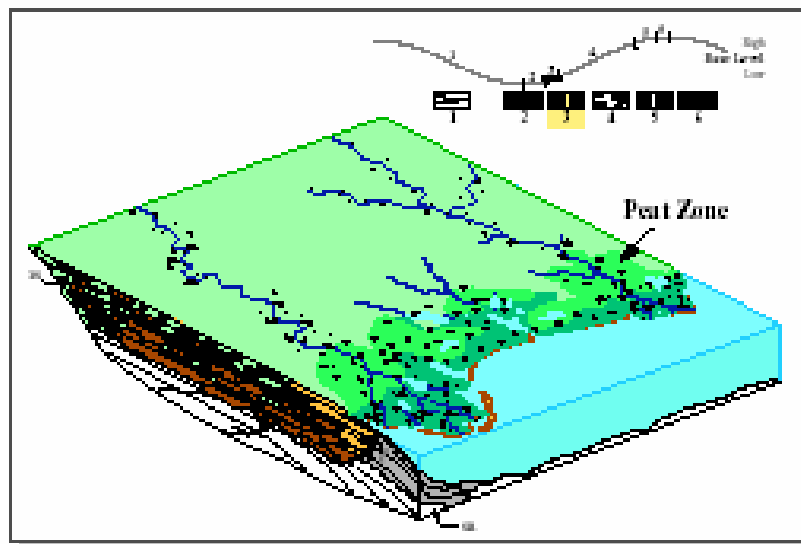


Figura 22. Late Lowstand. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

Se continua con un rápido ascenso del nivel del mar en el cual la preservación de materia orgánica es mínima, ya que el espacio de acomodación es reducido, dando lugar a la formación de mantos de carbón delgados y discontinuos con alto contenido de pirita correspondiente al manto veta chica, canales con laminación lenticular y contacto erosivo (SB2) característicos de un Transgressive (Ver figura 23), limitado en su parte superior por la máxima superficie de inundación (mfs), la cual se pudo identificar por la presencia de shales. (Ver figuras 2, 17 y anexo 5).

Transgressive

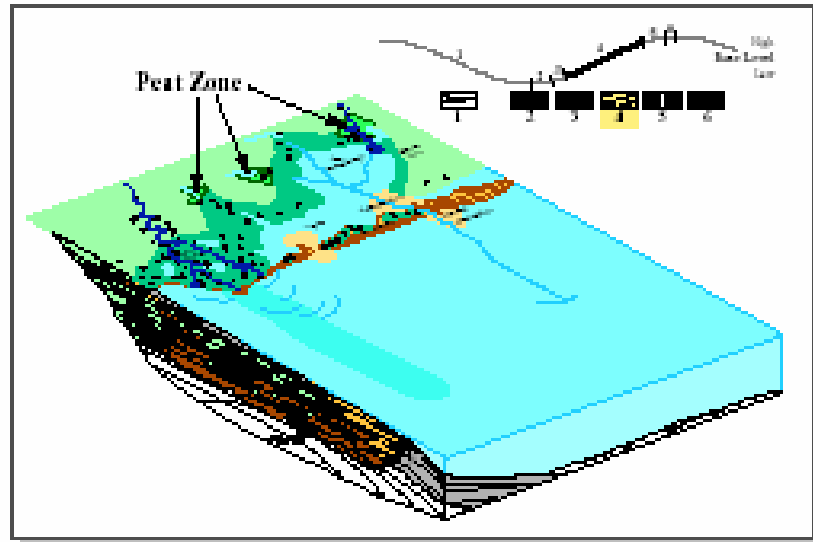


Figura 23. Transgressive. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

Seguido a esto, la rata de ascenso del nivel del mar se hace lenta, generando condiciones favorables nuevamente para la acumulación y preservación de materia orgánica, dando lugar a la formación de mantos de carbón relativamente espesos tendientes a acuñarse correspondientes a los mantos ubicados entre los 500 y 550m, característico de un Early Highstand (*Ver Figura 24*).

Early Highstand

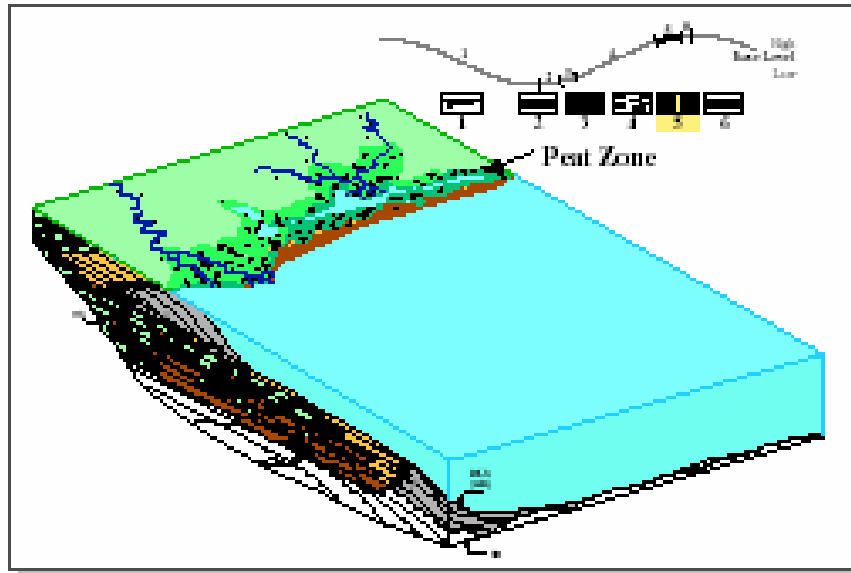


Figura 24. Early Highstand. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

El mar se estabiliza a niveles relativamente altos, durante el cual se favorece la acumulación y preservación de materia orgánica dando lugar a la formación de mantos de carbón relativamente delgados, no muy bien preservados ubicados entre los 680 y 710m (columna El Triunfo) y canales de arena media con laminación ondulosa y lentes de lodolita gris (Ver Figura 19 y anexo 5) característicos de un overbank, correspondientes a un Middle Highstand (Ver Figura 25).

Middle Highstand

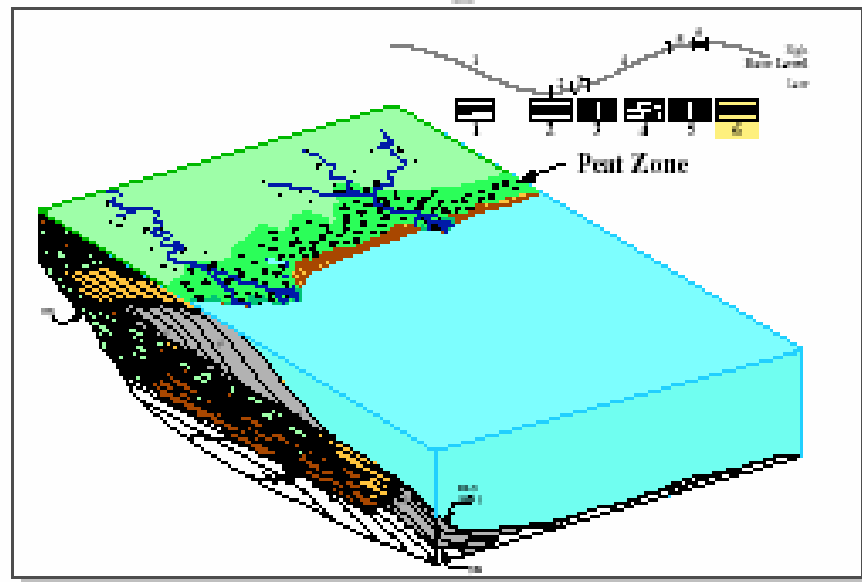


Figura 25. Middle Highstand. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

Finalmente el nivel del mar desciende dando lugar a la depositación de areniscas de grano grueso, las cuales presentan un contacto erosivo en su parte inferior (límite de secuencia SB3) dando lugar al inicio Late Highstand (Ver Figura 13, 19 y 20).

10. CARACTERIZACION GEOQUIMICA Y PETROGRAFICA

10.1 REFLECTANCIA DE VITRINITA

El análisis de la reflectancia de vitrinita (%Ro) se realizó teniendo en cuenta la posición estratigráfica de los diferentes mantos, en las dos secciones donde se levantaron las columnas estratigráficas, secciones de Montecristo y El Triunfo, con una separación de aproximadamente 4km entre ambas secciones. (*Ver anexo 5*).

Con base en los resultados de las lecturas de Ro se realizaron las siguientes medidas estadísticas que incluyen: 1) Elaboración de un histograma de frecuencia. 2) Cálculo del promedio. 3) Cálculo de la desviación estándar. 4) Valores máximos y mínimos. De acuerdo a la norma ASTM 274. Se realizaron los siguientes histogramas que muestran las tendencias en cuanto a la reflectancia de vitrinita de las diferentes muestras, estos se realizaron tomando clases o intervalos de valor de reflectancia de vitrinita en el eje x caracterizados como:

- Intervalo 1: 0.4 – 0.49 % de Ro
- Intervalo 2: 0.5 – 0.59 % de Ro
- Intervalo 3. 0.6 – 0.69 % de Ro
- Intervalo 4. 0.7 – 0.79 % de Ro
- Intervalo 5: 0.8 – 0.89 % de Ro
- Intervalo 6: 0.9 – 0.99 % de Ro
- Intervalo 7: 1.00 – 1.09 % de Ro

Y tomando el eje y como la frecuencia.

SECCION MONTECRISTO

| Manto | Uno | Dos | Tres | Seis | Siete | Nueve | Ciscuda | Vidriosa | 7 Bancos |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|
| Promedio | 0,86 | 0,83 | 0,85 | 0,8 | 0,81 | 0,72 | 0,69 | 0,54 | 0,62 |
| Máximo | 0,919 | 0,892 | 0,912 | 0,856 | 0,897 | 0,807 | 0,782 | 0,64 | 0,79 |
| Mínimo | 0,793 | 0,783 | 0,788 | 0,713 | 0,719 | 0,647 | 0,604 | 0,44 | 0,546 |
| Desviación Estándar | 0,031 | 0,034 | 0,028 | 0,032 | 0,041 | 0,033 | 0,053 | 0,05 | 0,044 |

Tabla 1. Lecturas de valores de Ro Promedio para la sección Montecristo.

Manto 1 X: 1070750, Y: 1029900

Ro Promedio: 0.86

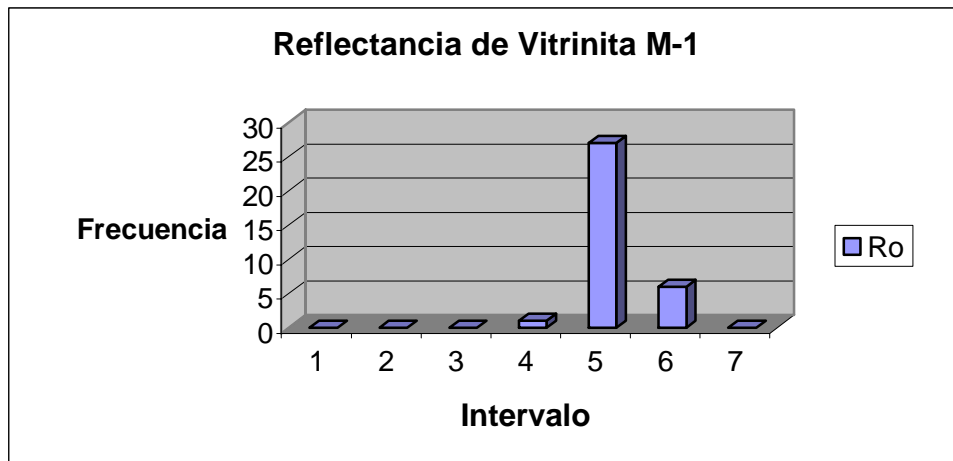


Figura 26. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 1.

Manto 2 X: 1029930, Y: 1070700

Ro Promedio: 0.83

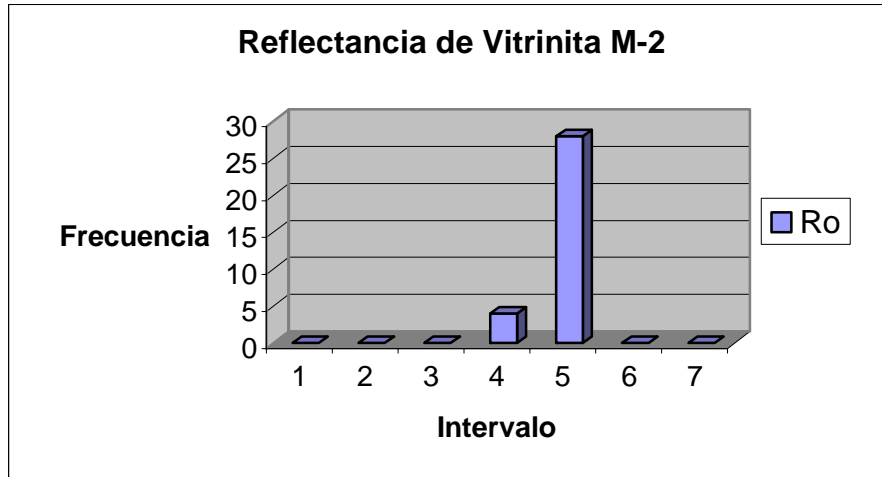


Figura 27. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 2.

Manto 3 X: 1029950, Y: 1070650

Ro Promedio: 0.85

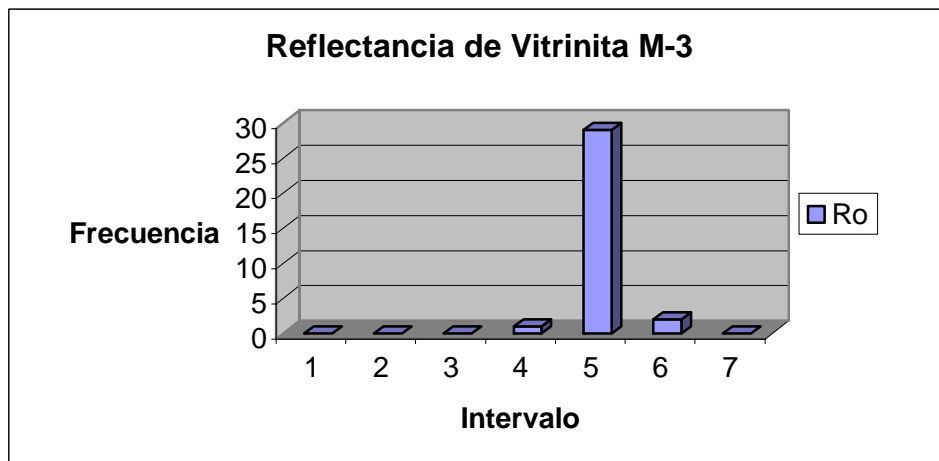


Figura 28. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 3.

Manto 6 X: 1029200, Y: 1069450

Ro Promedio: 0.80

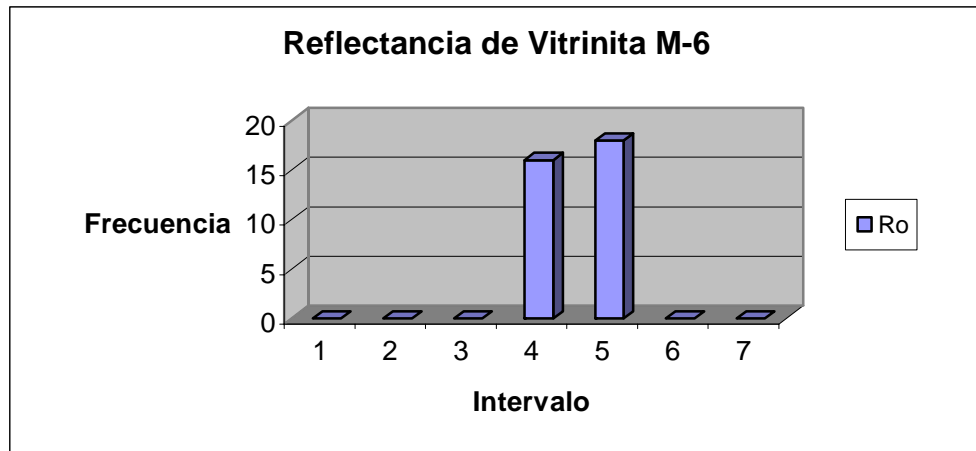


Figura 29. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 6.

Manto 7 X: 1029500, Y: 1069600

Ro Promedio: 0.81

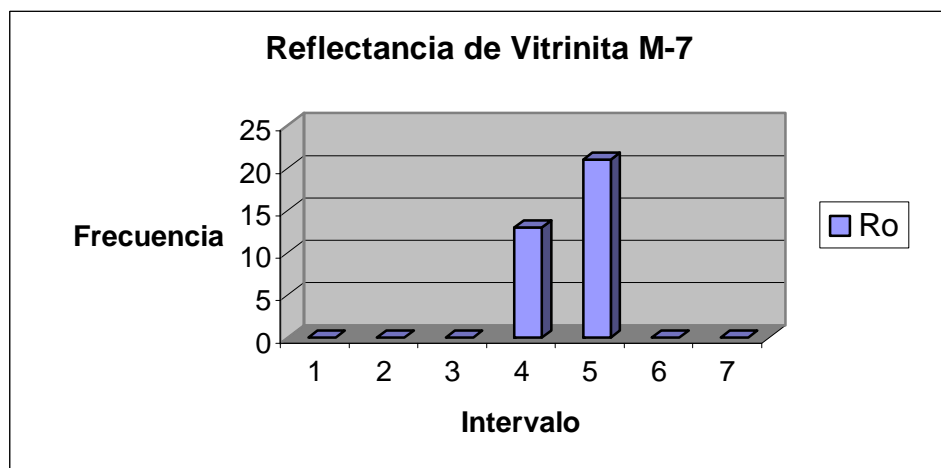


Figura 30. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 7.

Manto 9 X: 1030100, Y: 1070150

Ro Promedio: 0.72

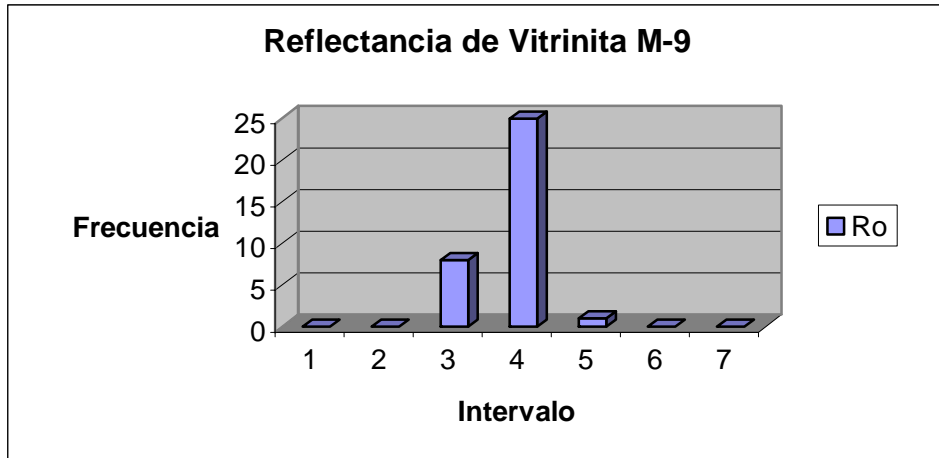


Figura 31. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 9.

Manto Ciscuda X: 1029800, Y: 1069600

Ro Promedio: 0.69

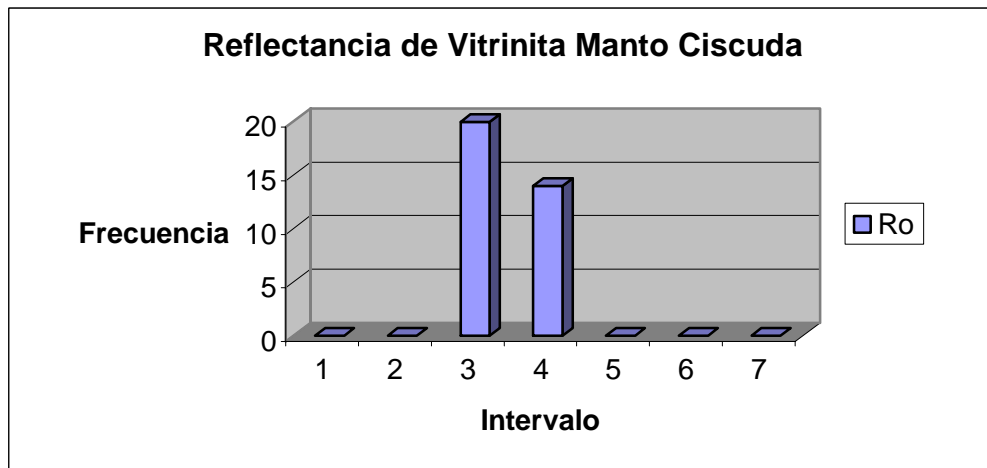


Figura 32. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto ciscuda.

Manto Vidriosa X: 1069300, Y: 1029750

Ro Promedio: 0.54

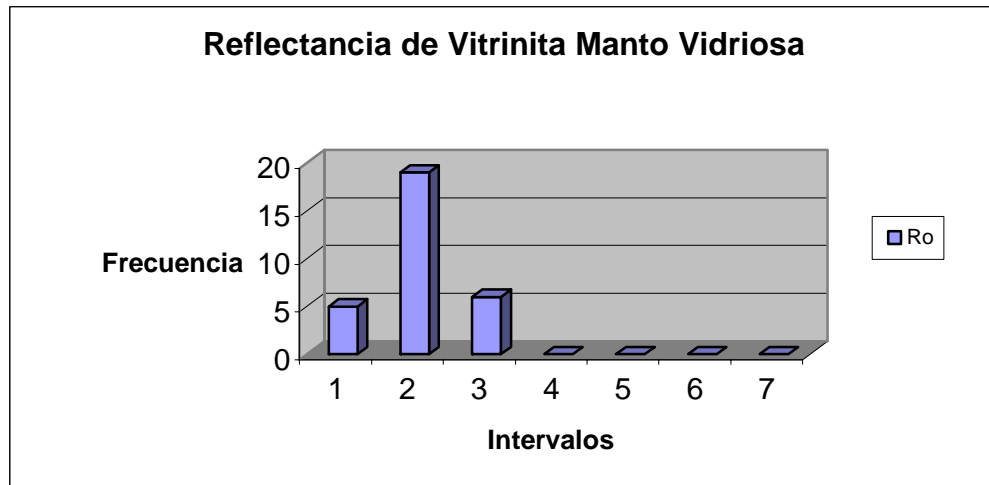


Figura 33. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto vidriosa

Manto 7 Bancos X: 1068300, Y: 1027500

Ro Promedio: 0.62

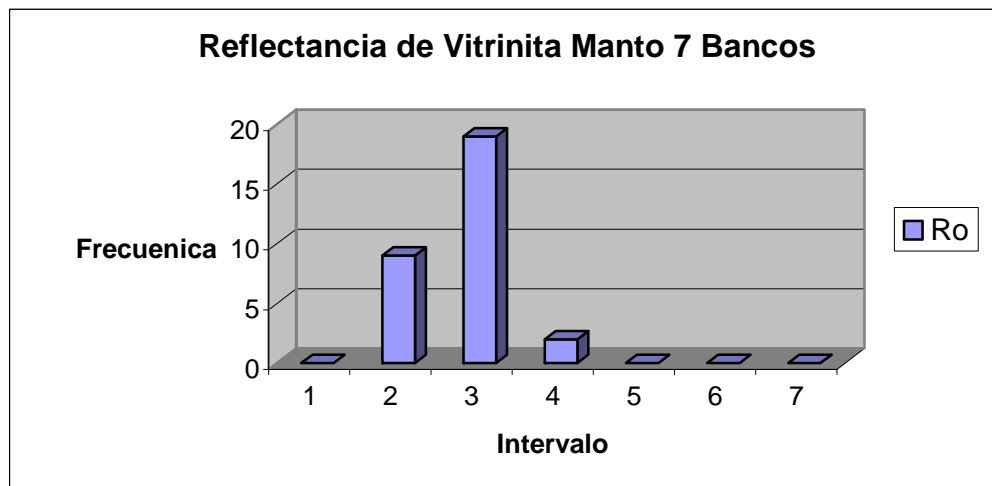


Figura 34. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 7 bancos.

SECCION EL TRIUNFO

| Manto | Uno | Dos | Cinco | Seis | Siete | Ciscuda | Vidriosa | Depósito | 7 Bancos | Veta Chica |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|----------|------------|
| Promedio | 0,79 | 0,7 | 0,72 | 0,76 | 0,7 | 0,73 | 0,56 | 0,65 | 0,64 | 0,59 |
| Máximo | 0,878 | 0,78 | 0,78 | 0,84 | 0,78 | 0,83 | 0,737 | 0,75 | 0,689 | 0,646 |
| Mínimo | 0,73 | 0,6 | 0,64 | 0,72 | 0,63 | 0,67 | 0,52 | 0,566 | 0,536 | 0,498 |
| Desviación Estándar | 0,038 | 0,047 | 0,033 | 0,028 | 0,042 | 0,039 | 0,043 | 0,044 | 0,031 | 0,031 |

Tabla 2. Lecturas de valores de Ro Promedio para la sección El Triunfo.

Manto 1 X: 1068500 Y: 1026200

Ro Promedio: 0.79

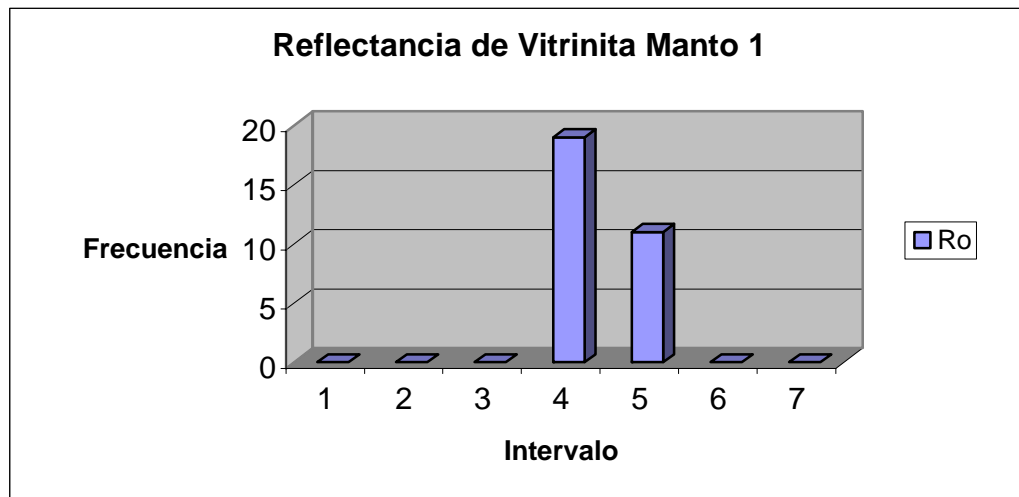


Figura 35. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el Manto 1.

Manto 2 X: 1069300 Y: 1027300

Ro Promedio: 0.70

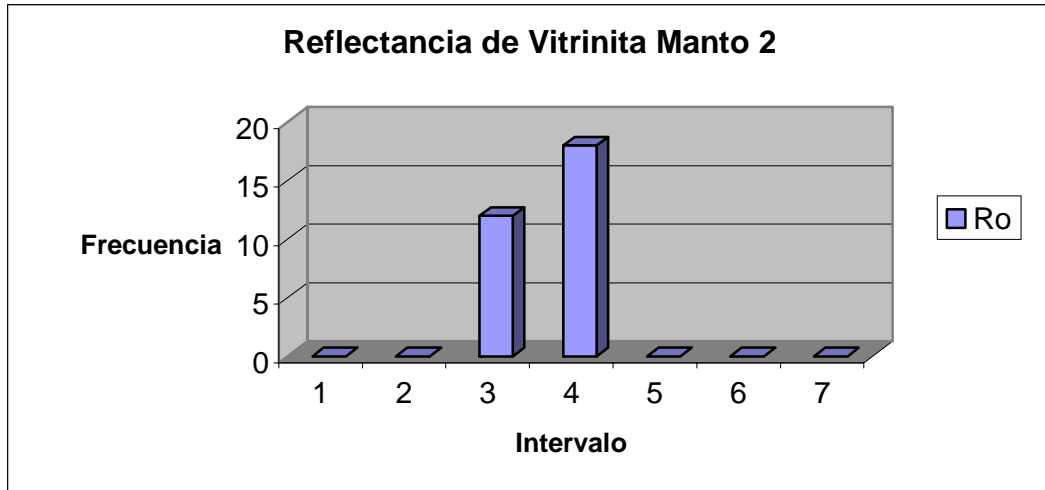


Figura 36. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 2.

Manto 5 X: 1068500 Y: 1026600

Ro Promedio: 0.72

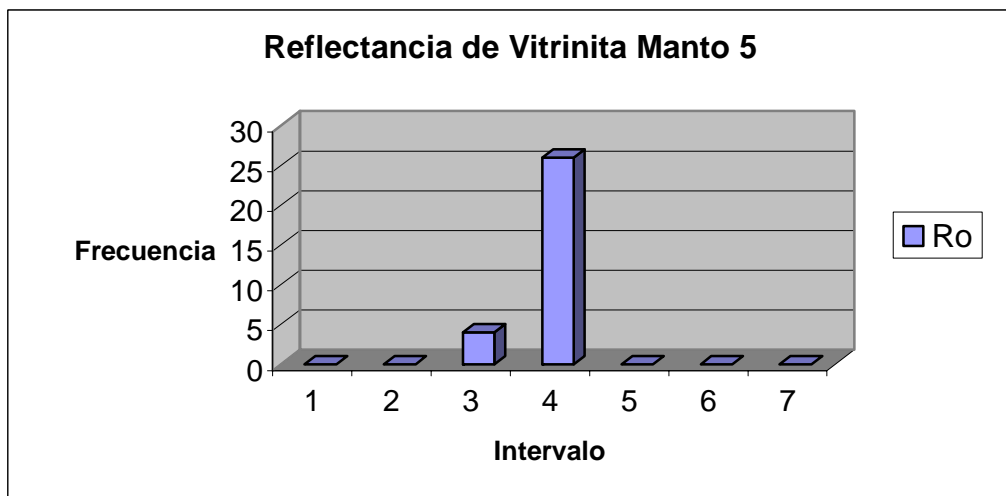


Figura 37. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 5

Manto 6 X: 1068350 Y: 1026700

Ro Promedio: 0.76

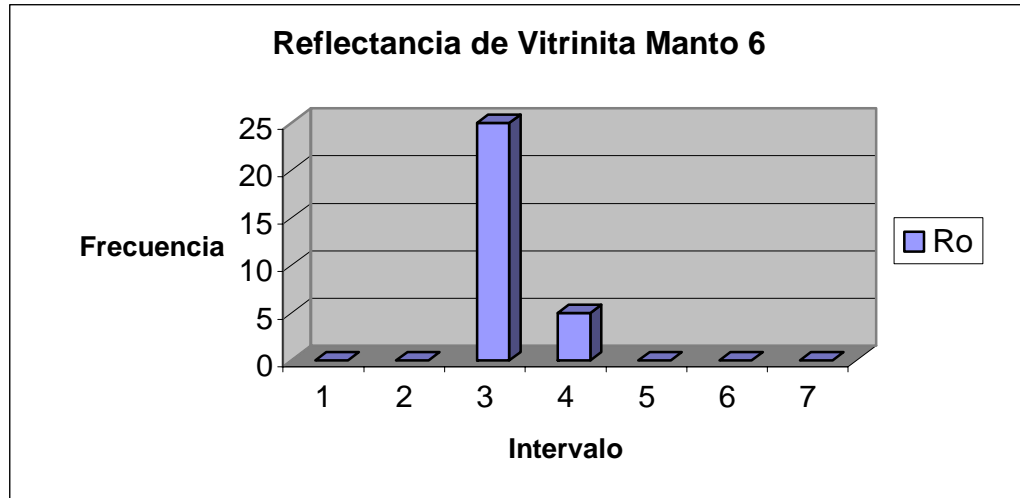


Figura 38. Histograma Frecuencia de valores de Ro para el manto 6

Manto 7 X: 1068800 Y: 1026900

Ro Promedio: 0.70

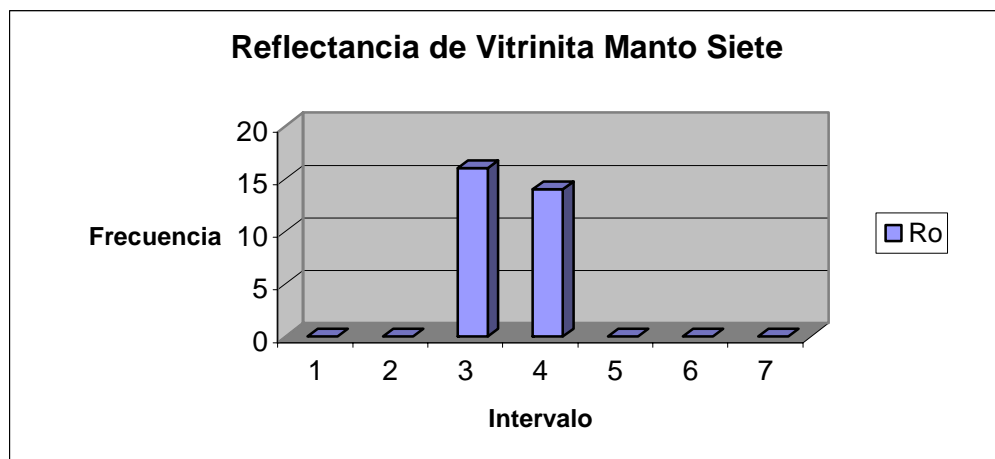


Figura 39. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el Manto Siete

Manto Ciscuda X: 1068500 Y: 1027000

Ro Promedio: 0.73

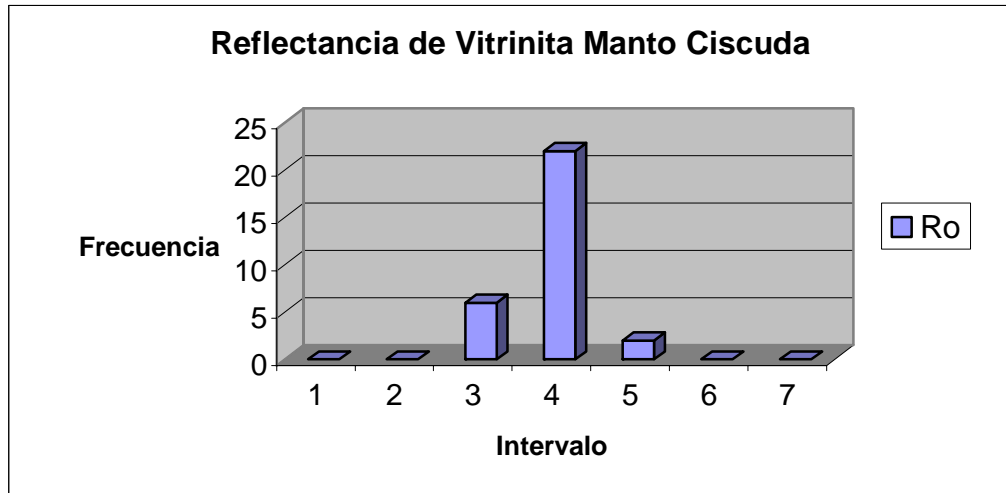


Figura 40. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto ciscuda

Manto Vidriosa X: 1068100 Y: 1026500

Ro Promedio: 0.55

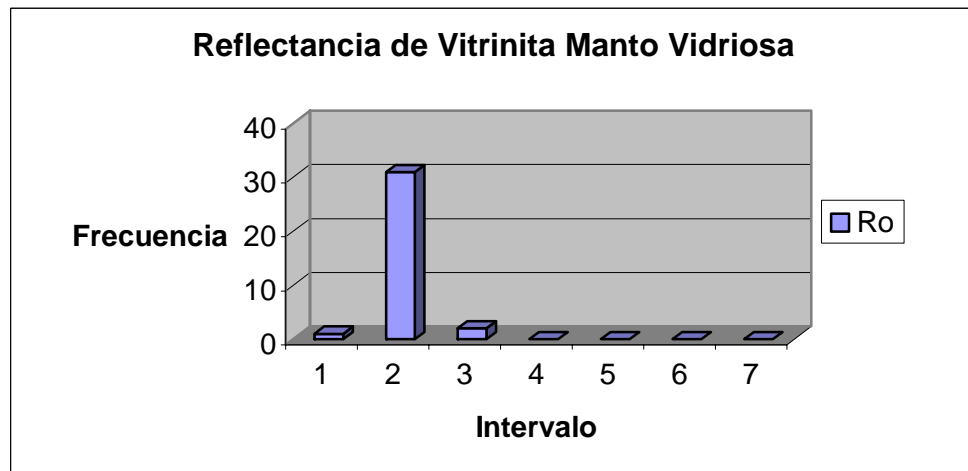


Figura 41. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto vidriosa

Manto Depósito X: 1068000 Y: 1027100

Ro Promedio: 0.65

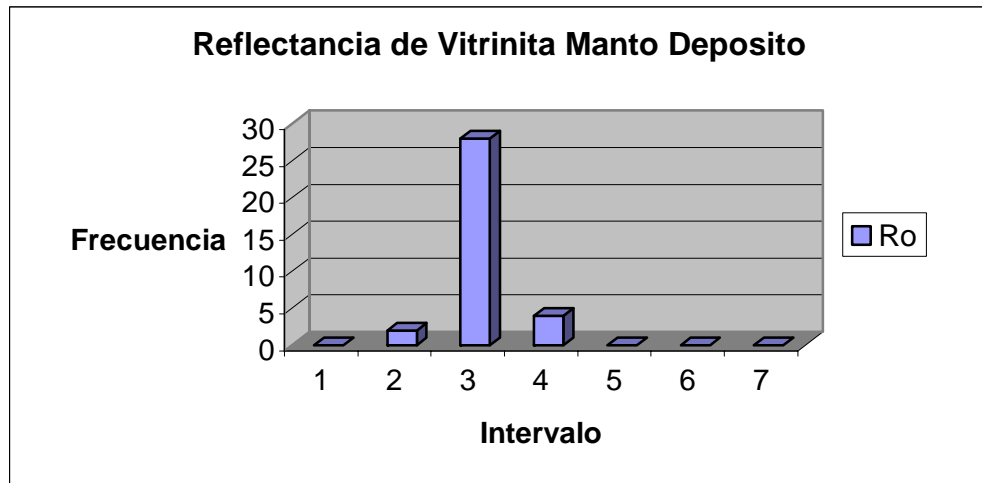


Figura 42. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto Depósito

Manto 7 Bancos X: 1067200 Y: 1026500

Ro Promedio: 0.64

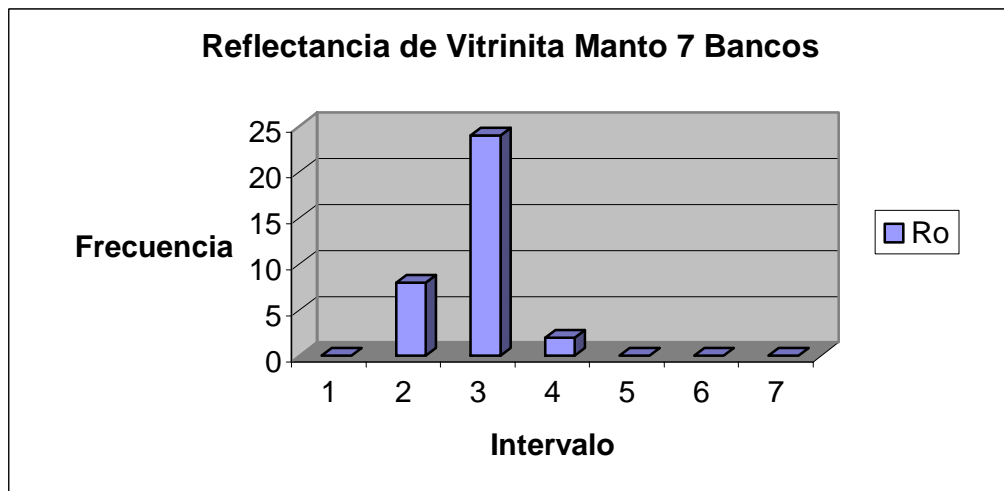


Figura 43. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto 7 bancos

Manto Veta Chica X: 1066300 Y: 1025900

Ro Promedio: 0.59

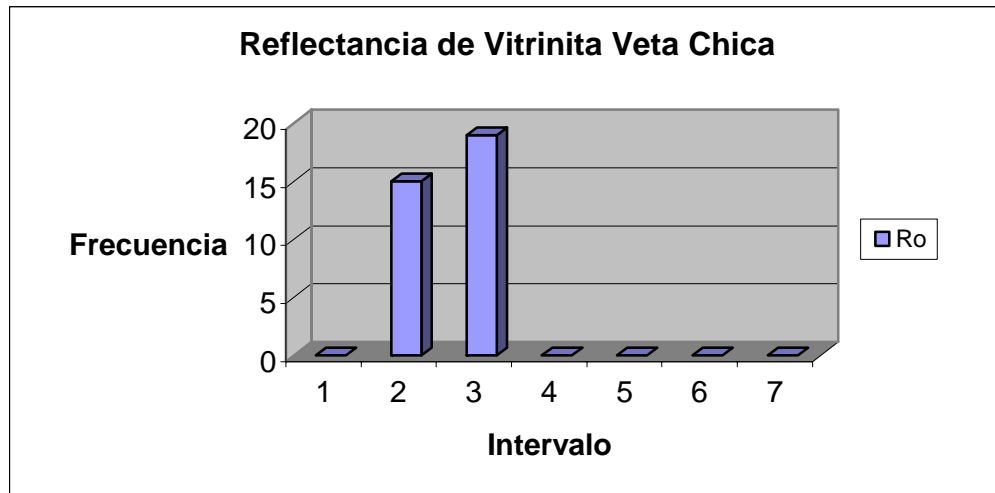


Figura 44. Histograma de Frecuencia de valores de Ro para el manto veta chica

10.1.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE REFLECTANCIA DE VITRINITA

Basados en los resultados de los análisis de Reflectancia de Vitrinita obtenidos anteriormente, podemos deducir que los carbones de la Formación Guaduas tienden a disminuir los valores de Ro a medida que se asciende estratigráficamente (*Ver Figura 45,46*) lo cual se puede relacionar con un cambio progresivo de un ambiente middle lowstand (*Ver anexo 5*) en el cual se dan las condiciones de acomodación y preservación de materia orgánica dando como resultado carbones coquizables de buena calidad (Ro: 0.86-0.80, sección Montecristo), en comparación con los carbones de la parte media-superior de la formación en donde el ambiente de depositación es dominado por un rápido ascenso del nivel del mar (Late Lowstand, transgressive), lo cual no permite la buena

preservación de los mantos dando lugar a carbones térmicos de menor calidad (R_o : 0.69-0.54, sección Montecristo).

Otra característica de resaltar en la zona es la disminución generalizada de R_o de sur a norte entre las dos secciones, ya que en la sección El Triunfo los valores oscilan entre 0.79 y 0.59 en comparación con la sección Montecristo en la cual los valores oscilan entre 0.86 y 0.62.

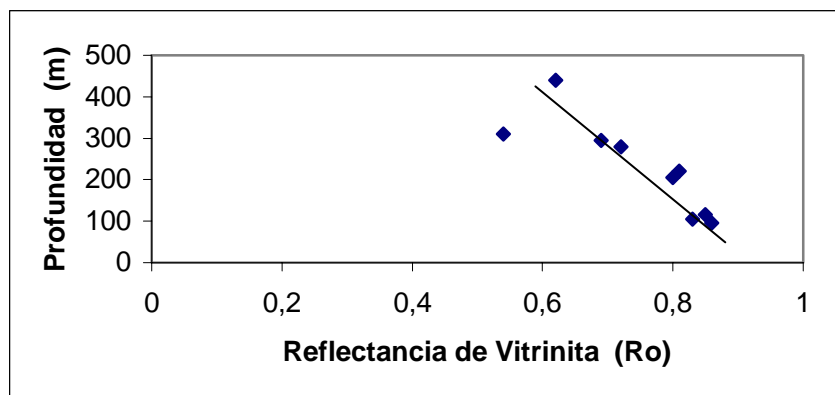


Figura 45. Variación de la Reflectancia de Vitrinita con la Profundidad. Sección Montecristo.

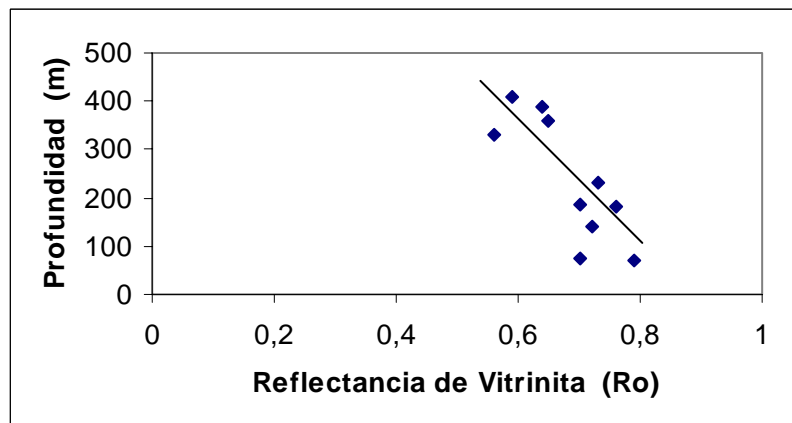


Figura 46. Variación de la Rreflectancia de Vitrinita con la Profundidad. Sección El Triunfo

10.2 PETROGRAFIA DE LOS CARBONES

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.

Las vitrinitas están constituidas por restos de cutículas de hojas, esporas, resinas y algas, en general, tejidos vegetales ricos en lípidos. Las inertinitas están constituidas por restos vegetales que han sufrido alteración y oxidación durante incendios forestales, actividad de hongos y maduración termal. Y las liptinitas están constituidas por polen, esporas y epidermis de las hojas, tecnológicamente es importante ya que realza la fluidez del carbón.

El análisis de los macerales se efectuó con el objeto de buscar una relación entre el carácter coquizable o térmico de los carbones y la composición maceral de los mismos, en 19 muestras para las dos secciones.

Durante la petrografía de los carbones se identificaron los siguientes macerales:

Vitrinita: Identificando las variedades desmocolinita y textinita.

Liptinita: Identificando las variedades resinita y exudatinita.

Inertinita: Identificando las variedades fusinita, semifusinita, macrinita, esclerotinita y micrinita.

Además en algunas muestras se identificaron minerales como la pirita y óxidos de hierro.

La composición maceral se determinó mediante el conteo de 100 puntos por muestra, reportándose los resultados en porcentajes de las diferentes variedades de vitrinita, liptinita e inertinita.

Las fotomicrografías que se tomaron a las secciones pulidas de los carbones, se hicieron con la cámara fotográfica del microscopio fotómetro Zeiss modelo MPM 400, utilizando objetivos de inmersión en aceite, los tiempos de exposición son automáticamente fijados por la cámara. En las fotomicrografías se pueden observar diferentes aspectos texturales de los macerales y sus variedades.

10.2.1 RESULTADOS DE LA PETROGRAFIA DE CARBONES

Al igual que en los análisis de Ro, los resultados de la petrografía se realizaron teniendo en cuenta la posición estratigráfica de base a techo de los mantos muestreados en las dos secciones levantadas (Montecristo – El Triunfo).

SECCION MONTECRISTO

| Nombre Maceral | Manto Uno | Manto Dos | Manto Tres | Manto Seis | Manto Siete | Manto Nueve | Manto Ciscuda | Manto Vidriosa | Manto 7 Bancos |
|---------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Desmocolinita | 40 | 48 | 39 | 62 | 45 | 39 | 45 | 32 | 40 |
| Textinita | 16 | 39 | 40 | 26 | 23 | 20 | 14 | 25 | 6 |
| Resinita | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 4 | 1 | 6 |
| Exudatinita | 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| Fusinita | 17 | 7 | 5 | 2 | 11 | 5 | 16 | 10 | 11 |
| Semifusinita | 10 | 2 | 6 | 1 | 7 | 8 | 10 | 0 | 9 |
| Micrinita | 8 | 0 | 2 | 2 | 6 | 6 | 4 | 7 | 3 |
| Macrinita | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 7 | 3 | 7 | 8 |
| Liptinita | 3 | 2 | 5 | 2 | 5 | 14 | 2 | 15 | 4 |
| Esclerotinita | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Pirita | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 12 |

Tabla 3. Composición maceral para los mantos de la sección Montecristo.

SECCION EL TRIUNFO

| Nombre | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Veta |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|----------------------|-------|
| Maceral | Uno | Dos | Cinco | Seis | Siete | Ciscuda | Vidriosa | Deposito | Manto 7 Bancos | Chica |
| Desmocolinita | 30 | 51 | 43 | 32 | 26 | 46 | 56 | 32 | 38 | 35 |
| Textinita | 30 | 11 | 24 | 33 | 25 | 22 | 20 | 25 | 22 | 18 |
| Resinita | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 2 | 6 |
| Exudatinita | 5 | 1 | 0 | 4 | 7 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Fusinita | 6 | 12 | 15 | 9 | 14 | 6 | 1 | 4 | 9 | 10 |
| Semifusinita | 10 | 10 | 8 | 2 | 3 | 7 | 0 | 2 | 3 | 8 |
| Micrinita | 7 | 8 | 1 | 5 | 16 | 5 | 0 | 6 | 3 | 7 |
| Macrinita | 5 | 3 | 1 | 4 | 8 | 10 | 3 | 4 | 6 | 3 |
| Liptinita | 6 | 4 | 5 | 10 | 0 | 4 | 20 | 21 | 15 | 9 |
| Esclerotinita | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pirita | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |

Tabla 4. Composición maceral para los mantos de la sección El Triunfo.

10.2.2 DISCUSIÓN DE LA COMPOSICION MACERAL DE LOS CARBONES

El análisis de la composición maceral de los mantos de carbón en términos de Vitrinita (Desmocolinita, textinita), Inertinitas (Fusinita, semifusinita, macrinita, micrinita, esclerotinita, pirita) y liptinitas (Resinita, exudatinita), de la siguiente manera:

Comparando las dos secciones se observa un aumento de los macerales de vitrinita de sur a norte de la siguiente manera; en la sección El Triunfo se tiene un valor promedio de vitrinita de 59.5% correspondiente a los mantos 1, 2, 6,7, mientras que en la sección Montecristo se tiene un valor promedio de 74.75% para los mismos mantos.

Esta relación se invierte a medida que ascendemos en la columna estratigráfica de la siguiente manera, en la sección el Triunfo se tiene un valor promedio de 68% correspondiente a los mantos Ciscuda, Vidriosa y Siete Bancos, mientras que en la sección Montecristo se tiene un valor promedio de 54% para los mismos manto.

Esta variación concuerda con los resultados obtenidos de la composición maceral de inertinitas ya que en la sección Montecristo el valor promedio es de 19.75% mientras que en la sección El Triunfo el valor promedio es de 31% para los mantos 1, 2, 6,7. Observándose un aumento de sur a norte de vitrinita y una disminución de inertinita.

En los mantos de la parte superior Ciscuda, Vidriosa, Siete Bancos, ocurre la misma relación inversa ya que se presenta un aumento de sur a norte de inertinita de la siguiente manera, en la sección Montecristo se tiene un promedio de 34.33% mientras que en la sección el Triunfo se tiene un valor promedio de 21.66%.

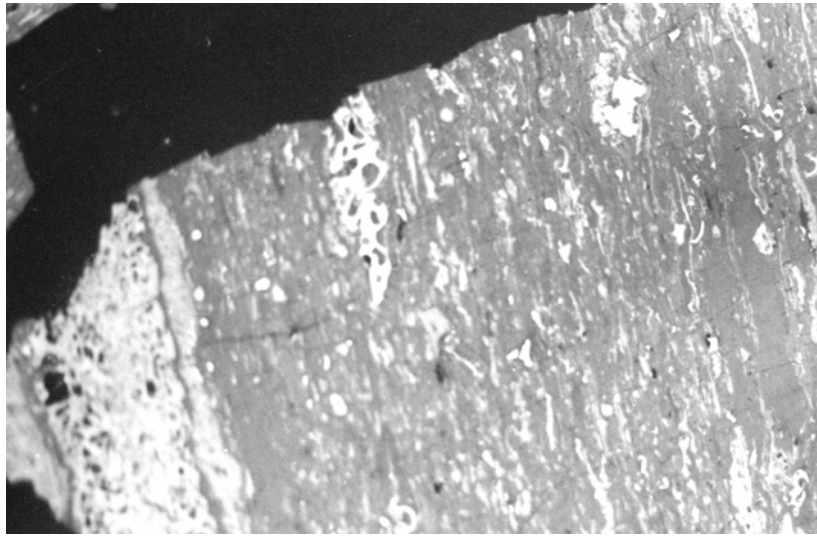
Estos datos además concuerdan con los valores obtenidos de Ro, ya que en la sección Montecristo se tienen valores mayores para los mantos 1, 2, 6,7 en relación a la sección el Triunfo, pero los mantos Ciscuda, Vidriosa y Siete Bancos presentan valores menores en la sección Montecristo.

Respecto a la composición maceral de liptinitas se tiene una disminución generalizada de sur a norte de la siguiente manera: Sección Montecristo 8.42%, sección el Triunfo 11.57%. Con una tendencia a aumentar estratigráficamente de base a techo en ambas secciones.

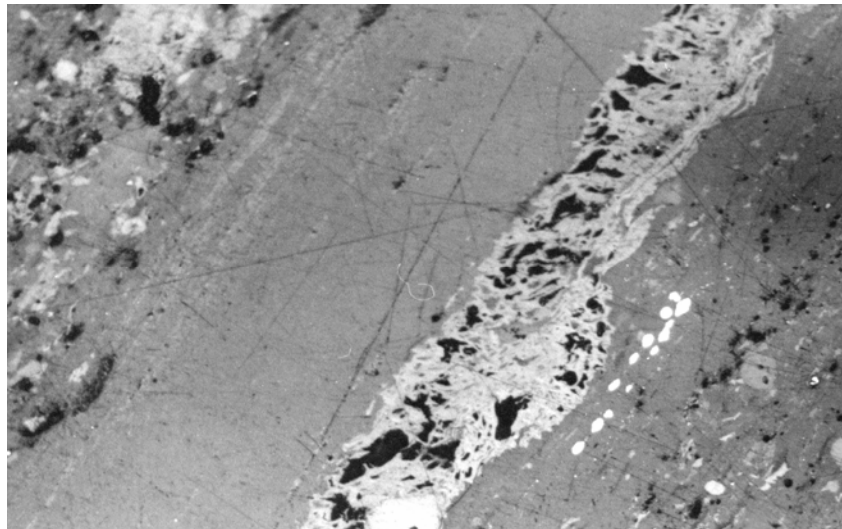
Los análisis de las variaciones en la composición petrográfica se realizaron en base a García, G.M. (2004) que para el caso de la Formación Guaduas presenta las siguientes tendencias:

De acuerdo a la posición estratigráfica se tiene que tanto la desmocolinita como la textinita (*Ver Fotomicrografía 1 y 2*) presentan un aumento gradual en los mantos con características coquizables (*Ver Figura 47,48*) ya que estos fueron depositados durante un middle lowstand en el cual se dieron las condiciones favorables para el desarrollo de

ambientes parálícos con presencia de algas, cutículas de hojas, esporas, resinas, en general, tejidos vegetales ricos en lípidos.



Fotomicrografía No 1. Manto 5; Desmocollinita, fusinita, sección El Triunfo. Aumento 20X.



Fotomicrografía No 2. Manto 1; Textinita, semifusinita, desmocollinita, sección El Triunfo. Aumento 20X

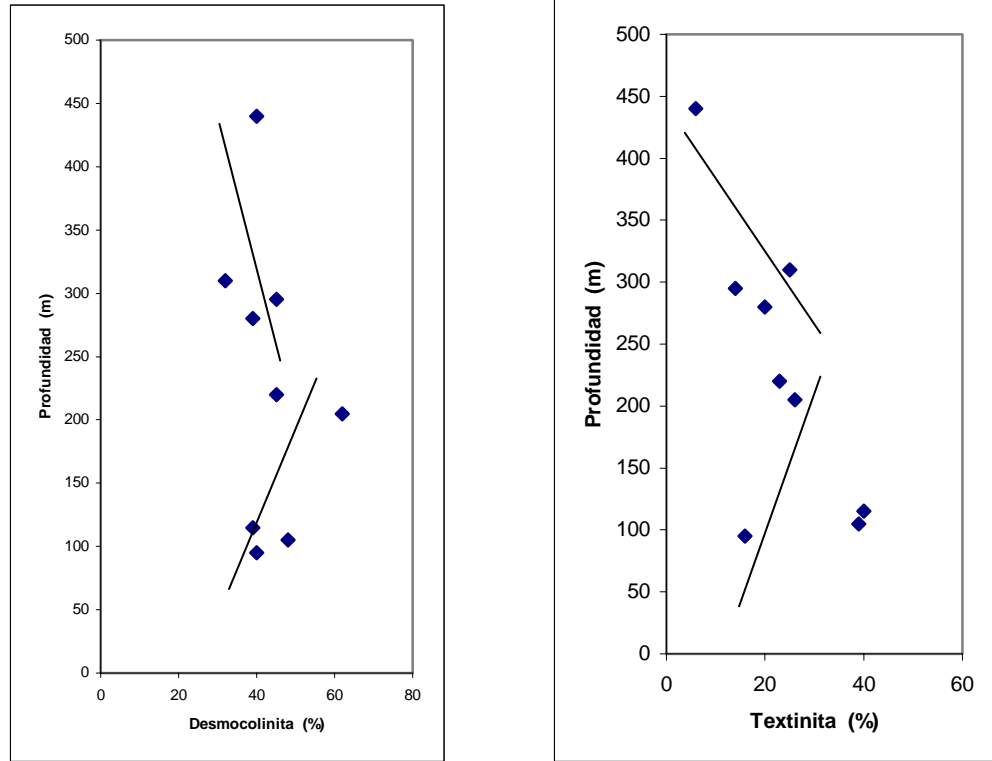


Figura 47. Tendencia de la Desmocolinita y Textinita con la profundidad. Sección Montecristo.

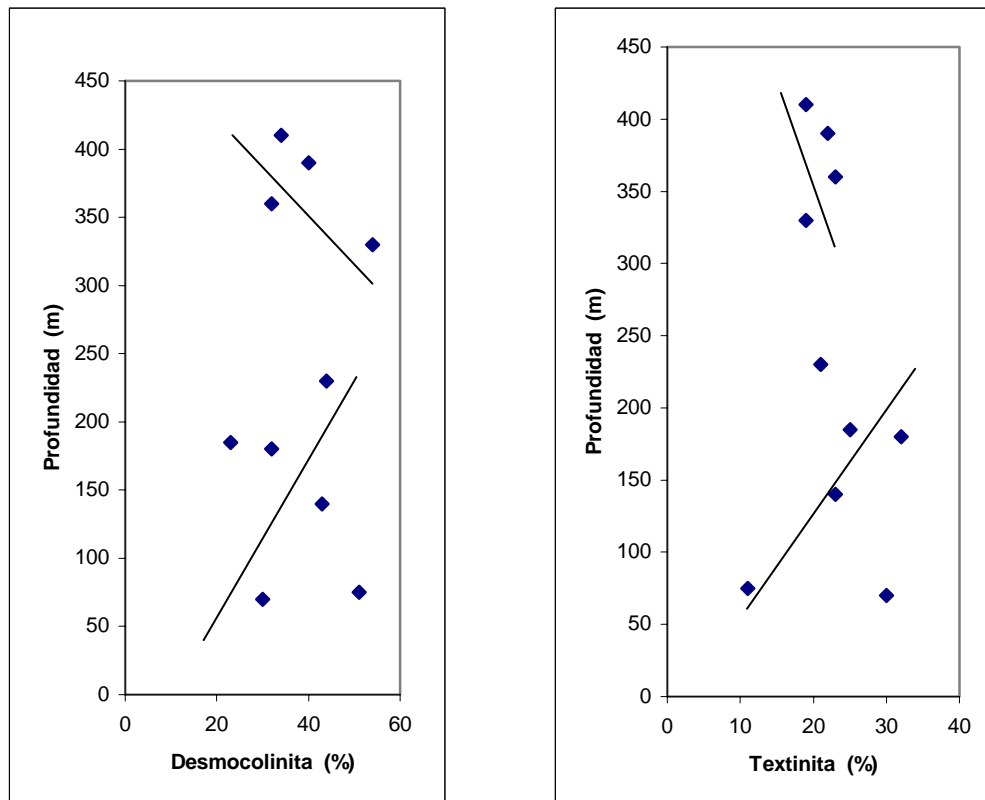
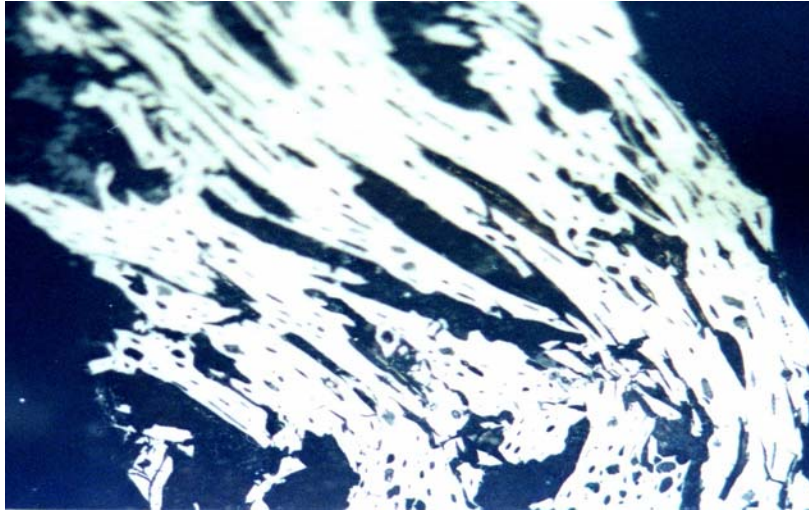
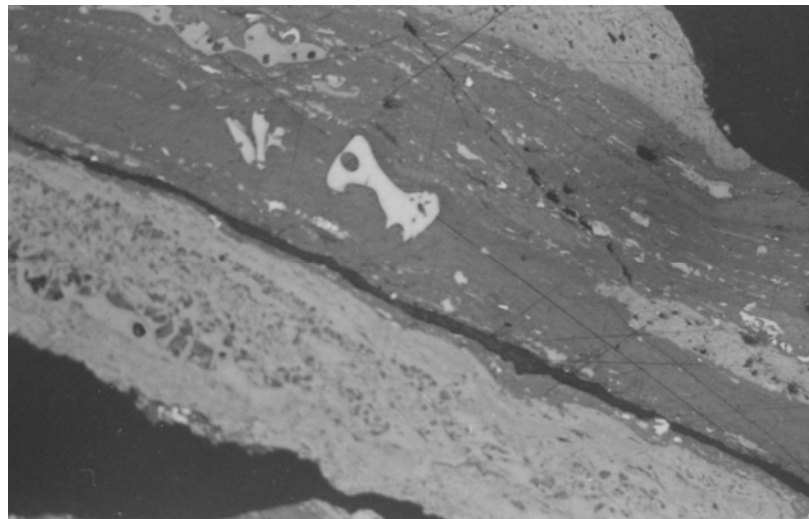


Figura 48. Tendencia de la Desmocolinita y Textinita con la profundidad. Sección El Triunfo.

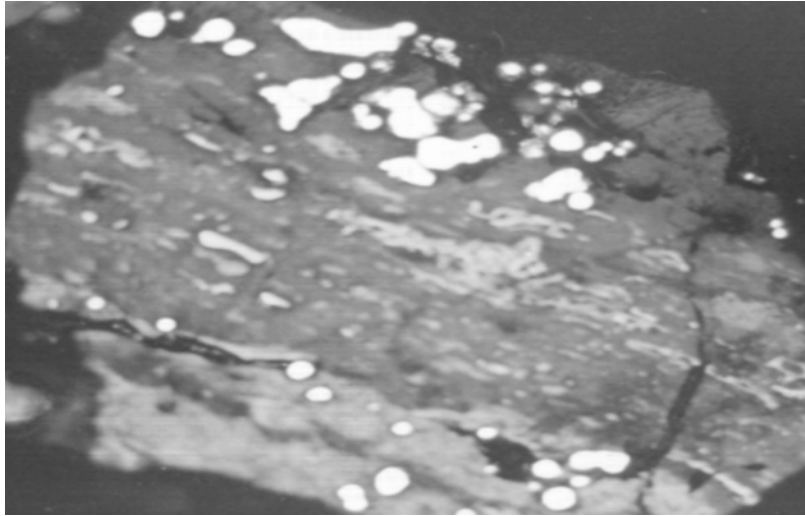
En los mantos superiores sucede lo contrario, ya que se tiende a disminuir la presencia de dichos macerales, pero se observa una tendencia al aumento de macerales inertes (Ver *Grafica 49,50*), los cuales están constituidas por restos vegetales que han sufrido alteración y oxidación (Ver *Fotomicrografía 3 y 4*), debido a un rápido ascenso del nivel del mar en el cual se dieron las condiciones favorables para el desarrollo de ambientes parálisis pero con menor preservación de la materia orgánica correspondiente a un Late Lowstand. Seguido a esto se observa un aumento en el contenido de pirita (Ver *Fotomicrografía 5*) en algunos mantos de la parte superior característico de un transgressive.



Fotomicrografía No 3. Manto Uno; Fusinita, sección El Triunfo. Aumento 20X

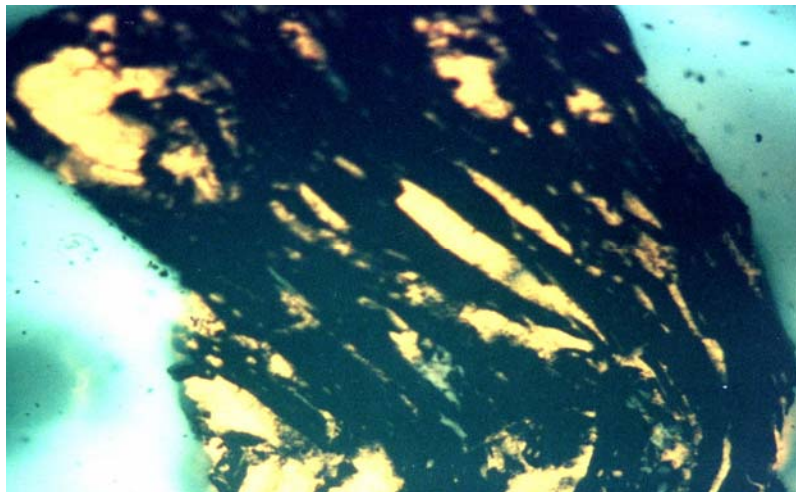


Fotomicrografía No 4. Manto 5; Macrinita, semifusinita, micrinita, textinita, sección El Triunfo. Aumento 20X.

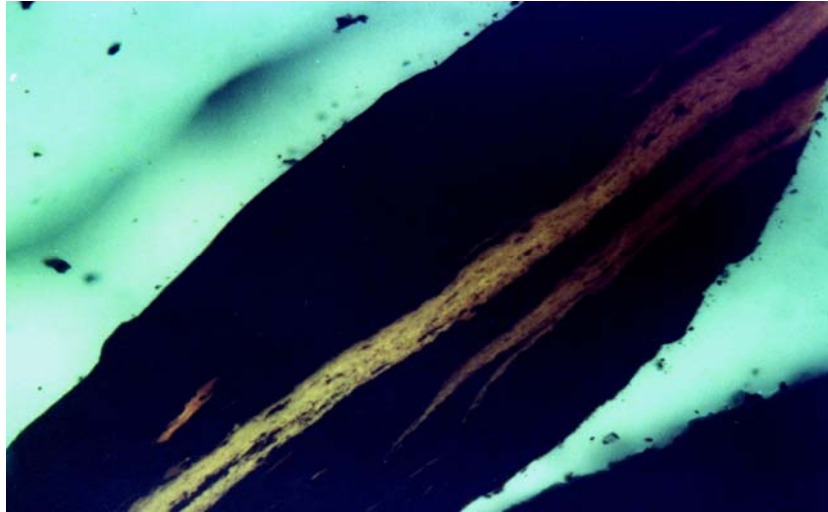


**Fotomicrografía No 5. Manto Veta Chica; Framboides de Pirita, sección El Triunfo.
Aumento 20X.**

En cuanto a la liptinita e inertes (*Ver Fotomicrografías 4, 6 y 7*) se puede observar una disminución gradual de base a techo del manto uno al manto siete (*Ver gráfica 49, 50*), y un aumento del manto nueve en adelante, lo cual ayuda a corroborar que los mantos de la parte inferior de la Formación presentan mejores características de coquización.



**Fotomicrografía No 6. Manto 1; Exudatinita, sección El Triunfo. (Luz Azul).
Aumento 20X.**



Fotomicrografía No 7. Manto 1; Resinita, sección El Triunfo. (Luz Azul). Aumento 20X.

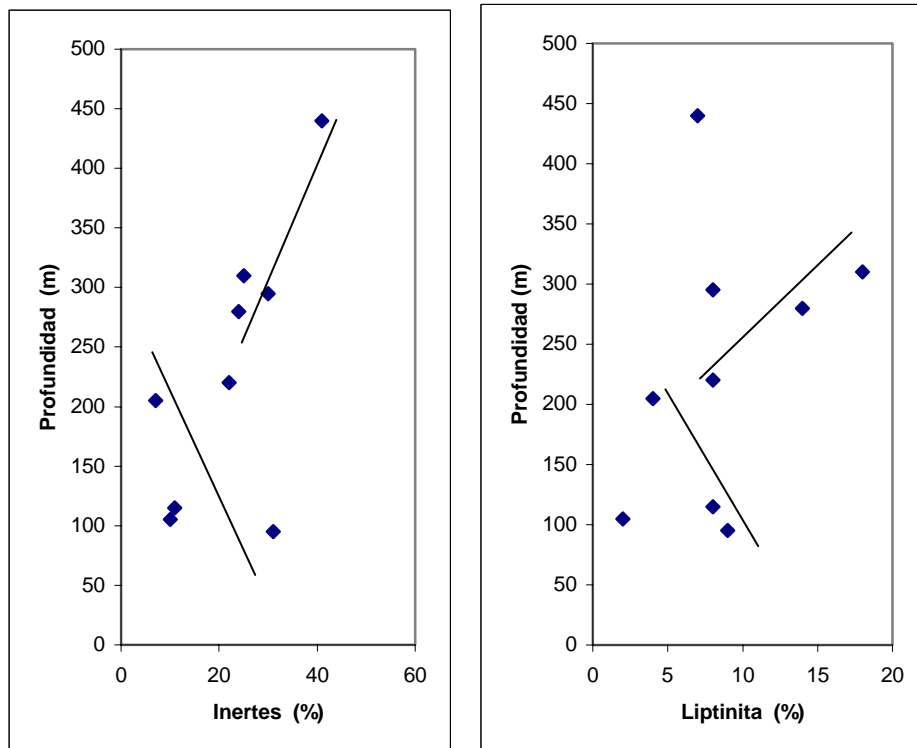


Figura 49. Tendencia de Inertes y Liptinita con la profundidad. Sección Montecristo.

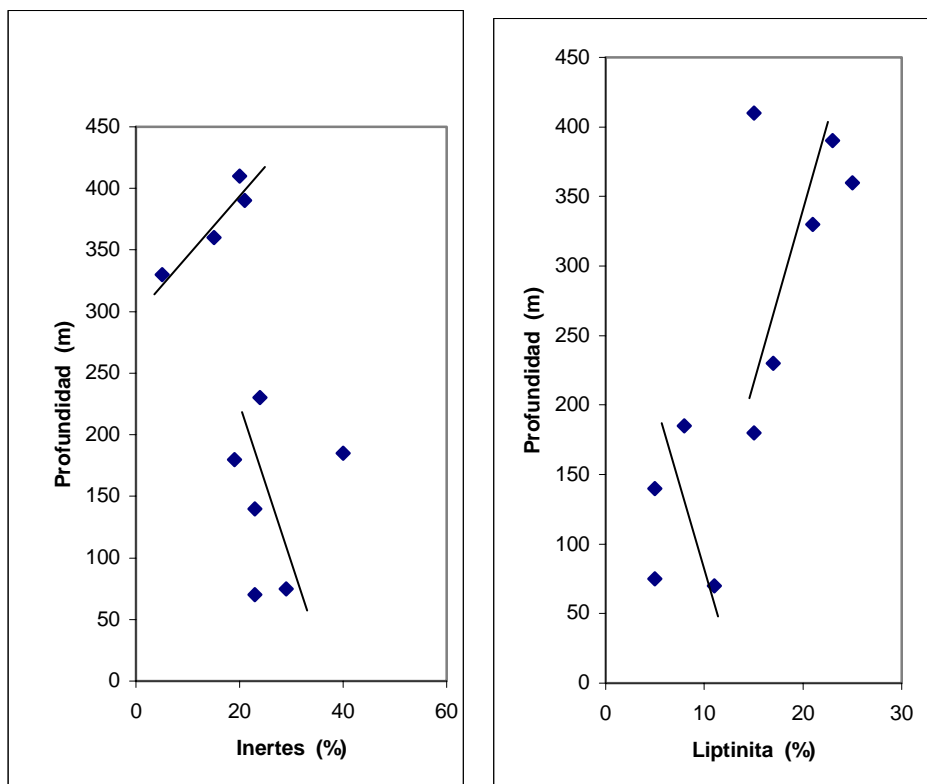


Figura 50. Tendencia de Inertes y Liptinita con la profundidad. Sección El Triunfo.

Existe una forma adicional para caracterizar los carbones, conociendo su composición petrográfica (inertes: 2/3 semifusinita, fusinita, macrinita, micrinita, esclerotinita) y reflectancia de vitrinita, parámetros mediante los cuales podemos determinar el índice de Hinchamiento (FSI), Dilatación, Fluidez y precio.

La figura 51, muestra el índice de hinchamiento (FSI), en función de la reflectancia de vitrinita R_o y la composición petrográfica (inertes). En esta figura se puede demostrar que para determinado valor de R_o , los valores del índice de hinchamiento se incrementan a medida que el contenido de inertes disminuye.

Teniendo en cuenta estos parámetros podemos decir que los carbones de la base de la Formación Guaduas, comprendidos por los mantos 1, 2, 3, 6, 7,9 y Ciscuda presentan índices de hinchamiento entre 4 y 8 mostrando figuras características de carbones de rango coquizable, de los cuales los mantos 2, 3, 6,7 se consideran de mejor calidad por el alto índice de hinchamiento, valores de Ro y menor contenido de inertes. Los mantos de la parte superior de la formación (Vidriosa, depósito, 7 bancos y veta chica) presentan índices de hinchamiento muy bajos debido a su alto contenido de inertes y bajo Ro característicos de carbones térmicos como se puede observar en la *figura 51*.

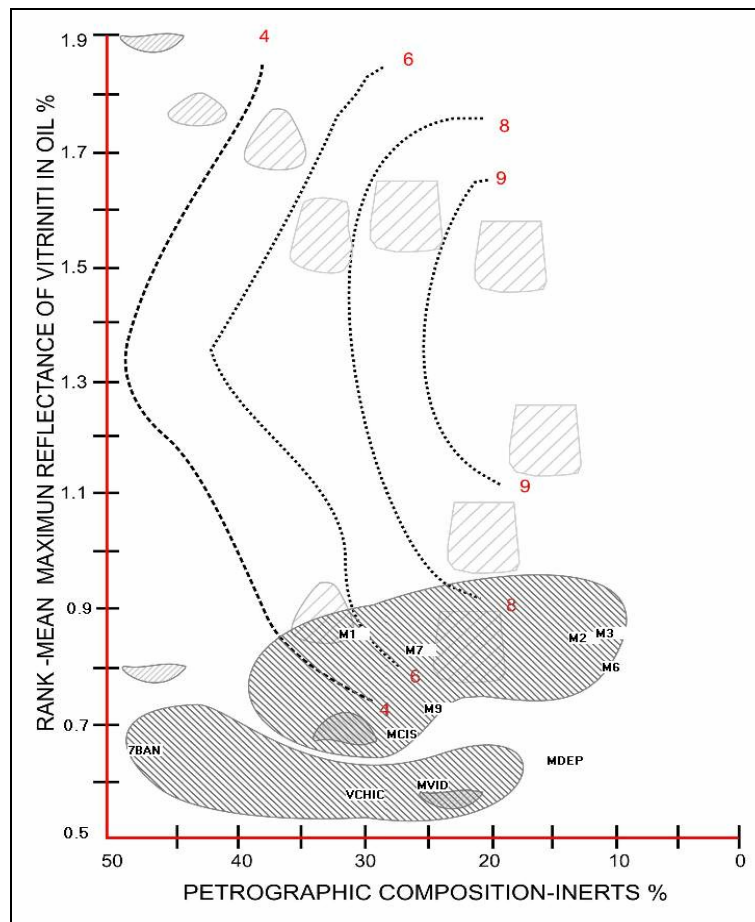


Figura 51. Índice de Hinchamiento en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita. Tendencia parte superior; carbones coquizables, inferior; carbones térmicos. Tomado de Pearson. D. 1998

La figura 52, muestra la dilatación de los carbones, en función de la composición petrográfica (inertes) y la reflectancia de vitrinita R_o . En esta figura se puede observar que los carbones de la base de la Formación Guaduas 1, 2, 3, 6, 7,9 y Ciscuda presentan valores altos de dilatación (0-100) o se acercan a la curva ideal, característicos de carbones coquizables. Los carbones de la parte superior de la formación (Vidriosa, depósito, 7 bancos y veta chica), debido a su alto contenido de inerte y bajo R_o presentan valores de dilatación muy bajos característicos de carbones térmicos, como se puede observar en la gráfica.

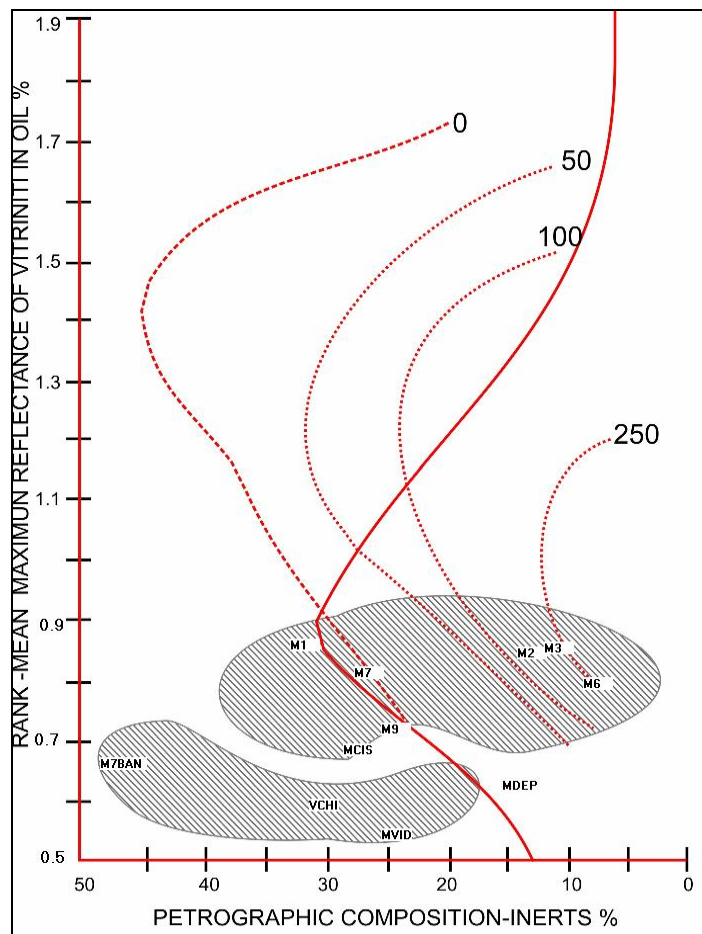


Figura 52. Dilatación en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita. Tendencia parte superior; carbones coquizables, inferior; térmicos. Tomado de Pearson. D. 1998

La figura 53 muestra las curvas de isofluidez de los carbones, en función de la composición petrográfica (inertes) y la reflectancia de vitrinita R_o . En esta figura se puede observar que los carbones de la base de la Formación Guaduas 1,2,3,6,7,9 y Ciscuda presentan valores altos de fluidez (DD/M) o se acercan a la curva ideal, característicos de carbones coquizables. Los carbones de la parte superior de la formación (Vidriosa, depósito, 7 bancos y veta chica), debido a su alto contenido de inerte y bajo R_o presentan valores de fluidez muy bajos característicos de carbones térmicos, como se puede observar en la gráfica.

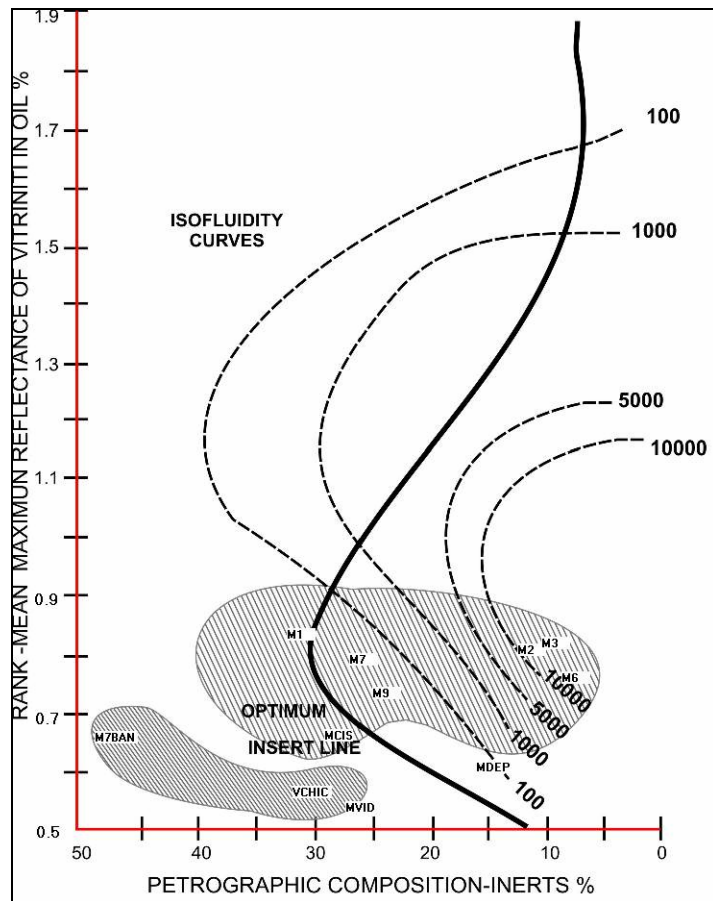


Figura 53. Fluidez en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita. Tendencia parte superior; carbones coquizables, inferior; térmicos. Tomado de Pearson. D. 1998

La figura 54 muestra los precios en dólares por tonelada en función del Ro y la composición petrográfica, dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Precio} = 32.24 + 2.3 (\text{FSI}) + 13.4 (\text{Ro}) - 1.24 (\text{Cenizas}).$$

En base a esto, podemos decir que los carbones de la base de la Formación Guaduas (1, 2, 3, 6, 7,9 y ciscuda), por presentar menor contenido de inertes y mayor Ro oscilan entre 40 y 55 dólares por tonelada, por ser catalogados como carbones coquizables.

Los carbones de la parte superior (Vidriosa, depósito, 7 bancos y veta chica) por presentar alto contenido de inertes y bajo Ro su valor oscila por debajo de los 40 dólares tonelada.

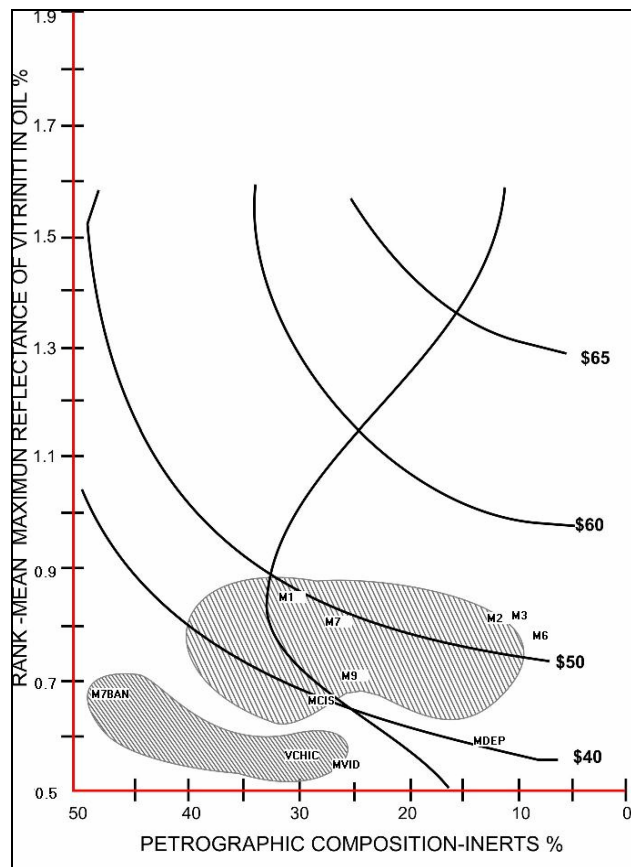


Figura 54. Precios del carbón en función de la composición petrográfica y la reflectancia de vitrinita. Tendencia parte superior; carbones coquizables, parte inferior carbones térmicos. Tomado de Pearson. D. 1998

Los análisis geoquímicos realizados a los carbones de la Formación Guaduas incluyen; análisis proximales (Materia volátil, Humedad, Cenizas, Índice de hinchamiento) (ASTM 1982), análisis de Carbono Orgánico Total (TOC).

Estos análisis nos permiten evaluar las características de los carbones de la Formación Guaduas en términos de madurez termal y ambientes de depositación en base a su posición estratigráfica.

10.3 RESULTADOS DE LOS ANALISIS PROXIMALES

SECCION MONTECRISTO

| <i>MANTO</i> | <i>M.V</i> | <i>INCHAM.</i> | <i>CENIZAS</i> | <i>HUM.</i> |
|-----------------------|------------|----------------|----------------|-------------|
| Manto 7 Bancos | 33,3 | 1.5 | 8,9 | 0,915 |
| | | | | |
| Manto vidriosa | 35,95 | 1 | 8,85 | 0,985 |
| | | | | |
| Manto Ciscuda | 29,72 | 2,5 | 11,49 | 0,42 |
| | | | | |
| Manto nueve | 26,6 | 2,33 | 5,18 | 0,7 |
| | | | | |
| Manto siete | 28,45 | 8,66 | 5,99 | 1,32 |
| | | | | |
| Manto seis | 32,46 | 4,67 | 3,86 | 0,96 |
| | | | | |
| Manto tres | 28,79 | 5,16 | 3,65 | 0,72 |
| | | | | |
| Manto dos | 30,27 | 5,5 | 6,57 | 0,6 |
| | | | | |
| Manto uno | 25,63 | 4,67 | 1,35 | 1,1 |

Tabla 5. Resultados de los análisis proximales para los mantos de la sección Montecristo.

SECCION EL TRIUNFO

| <i>MANTO</i> | <i>M.V</i> | <i>INCHAM.</i> | <i>CENIZAS</i> | <i>HUM</i> |
|-----------------------|------------|----------------|----------------|------------|
| Veta Chica | 34,64 | 2,75 | 6,51 | 1,15 |
| | | | | |
| Manto 7 Bancos | 30,8 | 1,25 | 8,68 | 0,69 |
| | | | | |
| Manto Depósito | 33,55 | 1,67 | 7,22 | 0,66 |
| | | | | |
| Manto Vidriosa | 38,5 | 1,67 | 9,84 | 0,61 |
| | | | | |
| Manto Ciscuda | 27,85 | 5,5 | 8,8 | 0,79 |
| | | | | |
| Manto siete | 29,15 | 6 | 1,3 | 0,61 |
| | | | | |
| Manto seis | 30,28 | 4,5 | 8,75 | 0,38 |
| | | | | |
| Manto cinco | 28,81 | 4,5 | 3,18 | 0,72 |
| | | | | |
| Manto dos | 32,2 | 4 | 6,35 | 0,57 |
| | | | | |
| Manto uno | 25,02 | 5,5 | 3,27 | 0,47 |

Tabla 6. Resultado de los análisis proximales para los mantos de la sección El Triunfo.

10.3.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS PROXIMALES

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis de materia volátil en la Formación Guaduas, los carbones de la base (mantos: uno, dos, tres, seis, siete, nueve, y ciscuda) se clasifican como carbones altos en volátiles, de rango bueno, mientras que los de la parte superior (mantos: vidriosa, depósito, siete bancos y veta chica) se clasifican como carbones altos en volátiles de rango pobre.

Los análisis de índice de hinchamiento muestran que los mantos de la parte inferior (mantos: uno, dos, tres, seis, siete, nueve y ciscuda) presenta valores entre 4 y 8 característicos de carbones coquizables (*Ver Tablas 3 y 4*), lo cual se puede relacionar con el alto contenido de macerales de textinita y desmocolinita desarrollados en un ambiente de Middle Lowstand. Mientras que en los de la parte superior (mantos: vidriosa, depósito, siete bancos y veta chica) los valores oscilan entre 1 y 3 característico de carbones térmicos, con mayor contenido de inertes desarrollados en un ambiente de Late Lowstand-Transgressive.

Los contenidos de ceniza presentan un rango aceptable (<10) para todos los mantos en general. Cabe resaltar que el manto ciscuda a pesar de que presenta buenas características de coquización sus niveles de cenizas son muy altos (>10) razón por la cual se utiliza como carbón de mezcla (*Ver Tablas 3 y 4*). De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar un aumento del contenido de cenizas a medida que ascendemos estratigráficamente, lo cual es debido a la influencia fluvial que va teniendo la Formación hacia el tope, por la disminución del espacio de acomodación y la interacción con sedimentos continentales.

10.4 RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE CARBONO ORGANICO TOTAL

| Nombre Manto | TOC |
|-----------------------|------------|
| | |
| Manto 7 Bancos | 73,39 |
| | |
| Manto Vidriosa | 76,905 |
| | |
| Manto Ciscuda | 81,771 |
| | |
| Manto Siete | 80,31 |
| | |
| Manto Seis | 79,378 |
| | |
| Manto Dos | 80,918 |
| | |
| Manto Uno | 76,928 |

Tabla 7. Resultado de los análisis de TOC.

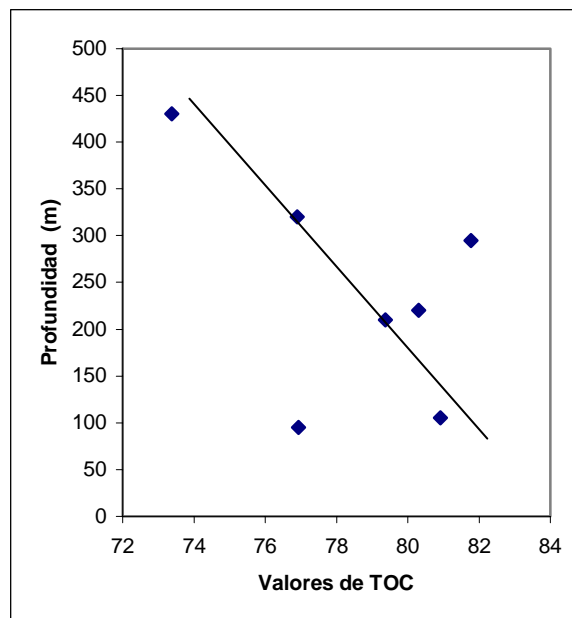


Figura 55. Variación de TOC con la profundidad.

10.4.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE CARBONO ORGANICO TOTAL

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 5. Se observa una clara tendencia a la disminución de los valores de TOC a medida que ascendemos estratigráficamente en la Formación Guaduas (*Ver Tabla 5, Figura 55*). Esto se puede asociar con el ambiente de depositación de los carbones ya que los mantos de la parte inferior por pertenecer a un Middle Lowstand presentan mejores condiciones de preservación de materia orgánica; mientras los de la parte media- superior por pertenecer a un Transgressive-Early Highstand el aporte y conservación de materia orgánica fue menor.

CONCLUSIONES

- Los mantos de carbón coquizables de la Formación Guaduas (mantos uno al nueve) se depositaron en la parte inferior, en ambientes parálisos desarrollados durante un Middle Lowstand y presentan las mejores características en cuanto a calidad de coquización, espesor y continuidad de los mantos, ya que se dieron las condiciones propicias para la acumulación y preservación de la materia orgánica, constituyéndose en un ambiente favorable como guía exploratoria en una secuencia sedimentaria. Esto sugiere que en las demás áreas carboníferas de la Sabana de Bogotá se debe enfatizar la búsqueda de mantos de carbón coquizable, hacia la parte inferior de la Formación Guaduas, como se ha venido realizando en el Sinclinal de Chequa Lenguaque y la zona de Paz del Río.
- Los mantos de carbón de la parte intermedia de la Formación Guaduas (mantos Ciscuda, vidriosa, depósito, 7 Bancos y Veta Chica), se depositaron en ambientes de Late Lowstand a Transgressive y tienden a ser espesos pero discontinuos, con alto contenido de pirita y menor poder de coquización.
- Los mantos de la parte superior de la Formación comprendidos entre los 500 y 700m fueron depositados en un ambiente de Early Highstand a Middle Highstand, son relativamente delgados y discontinuos.
- De acuerdo a la composición petrográfica e índice de hinchamiento los mantos con mejores características de coquización son los 2, 3, 6 y 7 ya que presentan mayor cantidad de macerales reactivos (desmocolinita, textinita y liptinitas) y menor cantidad de macerales no reactivos (fusinita, semifusinita y minerales).

- Los mantos de la parte intermedia de la Formación Guaduas (Vidriosa, depósito, 7 bancos y Veta Chica) por presentar altos contenidos de macérales no reactivos (fusinita y semifusinita) y menores índices de hinchamiento se consideran con poco poder de coquización.
- El manto Ciscuda a pesar de que presenta un buen índice de hinchamiento y reflectancia de vitrinita no se considera con buen poder de coquización ya que presenta los valores más altos de ceniza y altos contenidos de inertes.

REFERENCIAS CITADAS

BOHACS, K. M. and SUTER, J.R., 1997, Sequence stratigraphics distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples, AAPG Bulletin, Vol. 81, No.10, P.1612-1639.

FABRE, A. 1983. La Subsistencia de la Cuenca del Cucuy (Cordillera Oriental de Colombia) Durante el Cretáceo y el Terciario Inferior Primera parte Estudio.

GARCIA, G. M. 2004, Organic Matter Variation in a Transgressive System Tracks: An Example of the Almond Formation, Rock Springs Uplift, Wyoming (U.S.A). Boletín de Geología, Vol. 26, No.43, P.84-101.

GER-ICP 1988, Modelamiento Estructural Cordillera Oriental. ECOPETROL.

HORN, M.C. 1988. Quebrada del Mochuelo, Type Locality of the Bogotá Formation: A Sedimentological, Petrological and Palinological Study.

HUBACH, E. 1957 Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional. No.5. P 93-112.

JULIVERT, M., 1963, Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras. Boletín UIS. Vol. 13-14.

POSAMENTIER; H,W. JERVEY. M.T and VAIL; P.R, 1988. Eustatic Controls on Clastic Deposition 1-Conceptual Framework. Sea Level Changes –An Integrated Approach, SEPM No 42 P 109-124.

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

PEREZ G, BLANCO, C., GARCIA G. 1985, Caracterización de los Carbones Colombianos Zona Checua-Lenguazaque. Boletín Geológico, Vol. 28 Ingeominas.

SARMIENTO G, 1994, Visión Regional de la Formación Guaduas Publicación Especial del Ingeominas No. 20.

ULLOA, C., CARO, P.E, y RODRIGUEZ. E, 1988 Excursión Geológica Bogotá-Villavicencia-Acacias, INGEOMINAS Bogotá.

VAN DER HAMMEN, 1958, Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico Vol. 6 No.2 P 67-128. INGEOMINAS Bogotá.

WALKER. G.R, 1979, Facies Models. Department of Geology McMaster University Hamilton, Notario, Canadá.

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

ANEXOS

| <i>Manto uno</i> | <i>Manto Dos</i> | <i>Manto Tres</i> | <i>Manto Seis</i> | <i>Manto Siete</i> | <i>Manto Nueve</i> | <i>Manto Ciscuda</i> | <i>Manto Vidriosa</i> | <i>Manto 7 Bancos</i> |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 0,892 | 0,809 | 0,835 | 0,788 | 0,856 | 0,7 | 0,652 | 0,44 | 0,57 |
| 0,863 | 0,801 | 0,891 | 0,801 | 0,794 | 0,702 | 0,647 | 0,46 | 0,57 |
| 0,841 | 0,789 | 0,816 | 0,741 | 0,827 | 0,723 | 0,691 | 0,48 | 0,57 |
| 0,876 | 0,818 | 0,855 | 0,823 | 0,766 | 0,74 | 0,743 | 0,49 | 0,58 |
| 0,885 | 0,794 | 0,896 | 0,768 | 0,759 | 0,807 | 0,761 | 0,49 | 0,58 |
| 0,879 | 0,881 | 0,843 | 0,784 | 0,857 | 0,743 | 0,77 | 0,5 | 0,58 |
| 0,874 | 0,869 | 0,858 | 0,854 | 0,843 | 0,778 | 0,741 | 0,5 | 0,59 |
| 0,815 | 0,881 | 0,864 | 0,799 | 0,76 | 0,744 | 0,74 | 0,51 | 0,59 |
| 0,793 | 0,824 | 0,814 | 0,818 | 0,785 | 0,753 | 0,692 | 0,51 | 0,59 |
| 0,878 | 0,825 | 0,856 | 0,82 | 0,859 | 0,689 | 0,773 | 0,51 | 0,6 |
| 0,904 | 0,843 | 0,911 | 0,824 | 0,83 | 0,716 | 0,723 | 0,51 | 0,6 |
| 0,831 | 0,802 | 0,854 | 0,852 | 0,815 | 0,734 | 0,763 | 0,51 | 0,6 |
| 0,859 | 0,89 | 0,873 | 0,79 | 0,796 | 0,74 | 0,607 | 0,52 | 0,6 |
| 0,828 | 0,813 | 0,852 | 0,834 | 0,843 | 0,761 | 0,604 | 0,52 | 0,6 |
| 0,879 | 0,813 | 0,832 | 0,814 | 0,876 | 0,746 | 0,688 | 0,52 | 0,6 |
| 0,857 | 0,827 | 0,878 | 0,822 | 0,879 | 0,668 | 0,61 | 0,53 | 0,6 |
| 0,903 | 0,807 | 0,865 | 0,813 | 0,809 | 0,697 | 0,771 | 0,53 | 0,6 |
| 0,893 | 0,809 | 0,839 | 0,79 | 0,828 | 0,647 | 0,707 | 0,54 | 0,61 |
| 0,845 | 0,831 | 0,865 | 0,787 | 0,83 | 0,687 | 0,709 | 0,55 | 0,61 |
| 0,864 | 0,795 | 0,825 | 0,799 | 0,801 | 0,689 | 0,636 | 0,55 | 0,61 |
| 0,902 | 0,86 | 0,864 | 0,757 | 0,897 | 0,716 | 0,665 | 0,55 | 0,62 |
| 0,913 | 0,854 | 0,869 | 0,769 | 0,765 | 0,748 | 0,608 | 0,56 | 0,62 |
| 0,844 | 0,783 | 0,829 | 0,783 | 0,878 | 0,695 | 0,687 | 0,57 | 0,63 |
| 0,91 | 0,889 | 0,912 | 0,794 | 0,719 | 0,703 | 0,782 | 0,58 | 0,65 |
| 0,894 | 0,849 | 0,857 | 0,803 | 0,817 | 0,723 | 0,706 | 0,6 | 0,65 |
| 0,857 | 0,866 | 0,842 | 0,822 | 0,829 | 0,75 | 0,659 | 0,6 | 0,65 |
| 0,873 | 0,877 | 0,788 | 0,713 | 0,803 | 0,709 | 0,679 | 0,6 | 0,65 |
| 0,814 | 0,821 | 0,844 | 0,761 | 0,777 | 0,764 | 0,668 | 0,61 | 0,65 |
| 0,834 | 0,867 | 0,895 | 0,852 | 0,782 | 0,744 | 0,638 | 0,63 | 0,71 |
| 0,891 | 0,891 | 0,837 | 0,798 | 0,757 | 0,737 | 0,669 | 0,64 | 0,79 |
| 0,919 | 0,829 | 0,871 | 0,8 | 0,793 | 0,748 | 0,719 | 0,6 | 0,68 |
| 0,83 | 0,879 | 0,853 | 0,839 | 0,811 | 0,735 | 0,63 | 0,61 | 0,65 |
| 0,85 | 0,823 | 0,823 | 0,856 | 0,816 | 0,699 | 0,658 | 0,59 | 0,63 |
| 0,864 | 0,892 | 0,844 | 0,802 | 0,795 | 0,739 | 0,677 | 0,53 | 0,64 |
| 0,8662941 | 0,8382647 | 0,854412 | 0,802059 | 0,81329 | 0,72571 | 0,690382 | 0,542353 | 0,61971 |

Anexo 1. Lecturas de Ro para los mantos de la sección Montecristo.

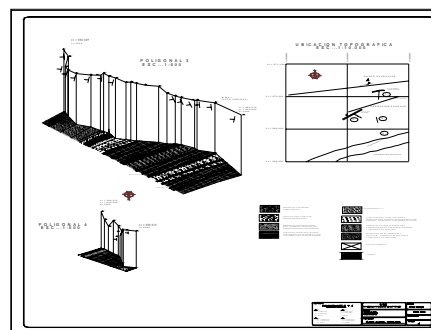
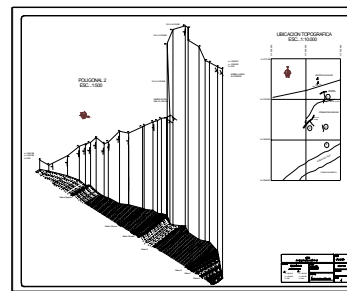
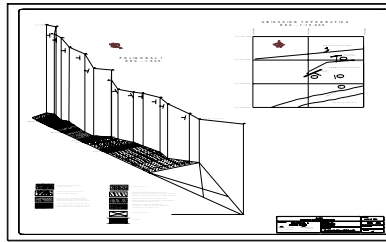
| Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Manto | Veta | Manto |
|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Uno | Dos | Cinco | Seis | Siete | Ciscuda | Depósito | Manto 7 Bancos | Chica | Vidriosa |
| 0,822 | 0,6 | 0,7 | 0,75 | 0,63 | 0,67 | 0,71 | 0,682 | 0,575 | 0,576 |
| 0,816 | 0,63 | 0,75 | 0,78 | 0,64 | 0,68 | 0,666 | 0,634 | 0,626 | 0,588 |
| 0,878 | 0,64 | 0,73 | 0,76 | 0,64 | 0,69 | 0,667 | 0,566 | 0,626 | 0,572 |
| 0,768 | 0,64 | 0,73 | 0,75 | 0,64 | 0,69 | 0,695 | 0,586 | 0,536 | 0,575 |
| 0,798 | 0,64 | 0,77 | 0,8 | 0,65 | 0,69 | 0,649 | 0,648 | 0,605 | 0,562 |
| 0,777 | 0,64 | 0,7 | 0,73 | 0,65 | 0,69 | 0,608 | 0,656 | 0,617 | 0,503 |
| 0,83 | 0,65 | 0,76 | 0,74 | 0,67 | 0,7 | 0,695 | 0,655 | 0,598 | 0,529 |
| 0,846 | 0,65 | 0,69 | 0,76 | 0,67 | 0,7 | 0,624 | 0,705 | 0,609 | 0,556 |
| 0,794 | 0,68 | 0,7 | 0,8 | 0,67 | 0,71 | 0,667 | 0,596 | 0,591 | 0,572 |
| 0,786 | 0,68 | 0,73 | 0,82 | 0,67 | 0,71 | 0,589 | 0,75 | 0,571 | 0,562 |
| 0,753 | 0,69 | 0,66 | 0,74 | 0,67 | 0,71 | 0,665 | 0,62 | 0,654 | 0,517 |
| 0,792 | 0,69 | 0,74 | 0,82 | 0,68 | 0,72 | 0,64 | 0,666 | 0,636 | 0,559 |
| 0,801 | 0,7 | 0,7 | 0,76 | 0,68 | 0,73 | 0,648 | 0,69 | 0,599 | 0,505 |
| 0,825 | 0,7 | 0,7 | 0,77 | 0,69 | 0,73 | 0,65 | 0,66 | 0,561 | 0,611 |
| 0,732 | 0,7 | 0,72 | 0,78 | 0,69 | 0,73 | 0,672 | 0,696 | 0,628 | 0,53 |
| 0,784 | 0,7 | 0,74 | 0,75 | 0,69 | 0,73 | 0,677 | 0,65 | 0,603 | 0,568 |
| 0,777 | 0,7 | 0,74 | 0,74 | 0,7 | 0,74 | 0,653 | 0,673 | 0,575 | 0,513 |
| 0,759 | 0,71 | 0,73 | 0,76 | 0,7 | 0,74 | 0,646 | 0,649 | 0,625 | 0,564 |
| 0,788 | 0,71 | 0,72 | 0,77 | 0,7 | 0,74 | 0,633 | 0,597 | 0,632 | 0,552 |
| 0,798 | 0,71 | 0,74 | 0,72 | 0,7 | 0,75 | 0,635 | 0,696 | 0,574 | 0,572 |
| 0,805 | 0,71 | 0,64 | 0,79 | 0,71 | 0,75 | 0,67 | 0,677 | 0,593 | 0,544 |
| 0,773 | 0,73 | 0,74 | 0,76 | 0,72 | 0,76 | 0,604 | 0,684 | 0,603 | 0,543 |
| 0,797 | 0,73 | 0,7 | 0,73 | 0,73 | 0,76 | 0,691 | 0,623 | 0,628 | 0,598 |
| 0,801 | 0,73 | 0,7 | 0,76 | 0,73 | 0,76 | 0,613 | 0,642 | 0,689 | 0,498 |
| 0,822 | 0,74 | 0,67 | 0,77 | 0,74 | 0,77 | 0,632 | 0,59 | 0,579 | 0,563 |
| 0,762 | 0,74 | 0,76 | 0,78 | 0,74 | 0,77 | 0,678 | 0,68 | 0,569 | 0,577 |
| 0,738 | 0,75 | 0,69 | 0,75 | 0,75 | 0,77 | 0,688 | 0,613 | 0,598 | 0,561 |
| 0,757 | 0,76 | 0,7 | 0,84 | 0,78 | 0,78 | 0,722 | 0,605 | 0,559 | 0,58 |
| 0,73 | 0,77 | 0,77 | 0,74 | 0,77 | 0,82 | 0,713 | 0,585 | 0,561 | 0,536 |
| 0,862 | 0,78 | 0,78 | 0,77 | 0,78 | 0,83 | 0,645 | 0,618 | 0,608 | 0,549 |
| 0,86 | 0,77 | 0,77 | 0,74 | 0,7 | 0,76 | 0,665 | 0,573 | 0,624 | 0,559 |
| 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,74 | 0,77 | 0,6 | 0,637 | 0,614 | 0,589 |
| 0,822 | 0,78 | 0,72 | 0,79 | 0,75 | 0,8 | 0,52 | 0,599 | 0,644 | 0,58 |
| 0,751 | 0,76 | 0,7 | 0,78 | 0,74 | 0,74 | 0,737 | 0,607 | 0,604 | 0,646 |
| 0,79218 | 0,7041 | 0,7215 | 0,7662 | 0,70029 | 0,73794 | 0,65491 | 0,64141 | 0,60335 | 0,55909 |

Anexo 2. Datos de Ro para los mantos de la sección El Triunfo.

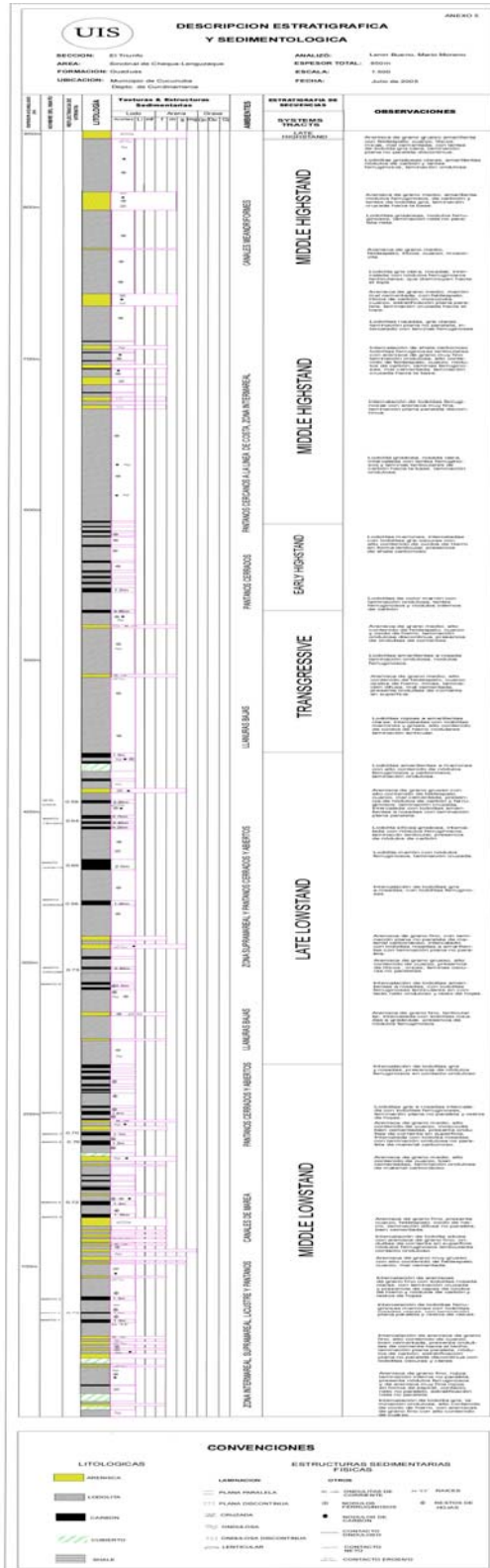
| Punto | Real (m) | | Inclinación Poligonal (°) | Azimut (°) Poligonal | Rumbo Poligonal (°) | Buzamiento Capas (°) | Rumbo Capas(°) |
|--------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | Distancia Horizontal | Vertical | | | | | |
| Δ0 | | | | | | | |
| Δ1 | | | | | | | |
| Δ2 | 15,47 | 3,29 | 12 | 185 | S5W | 25SE | N51E |
| Δ3 | 28,36 | 6,02 | 12 | 180 | NS | 25 SE | N45E |
| Δ4 | 14,17 | 9,92 | 35 | 195 | S15W | 25SE | N44E |
| Δ5 | 17,4 | 11,74 | 34 | 163 | S17E | 25SE | N40E |
| Δ6 | 8,96 | 7,25 | 39 | 150 | S30E | 14SE | N27E |
| Δ7 | 14,65 | 6,22 | 23 | 155 | S25E | Lodolita | Cubierta |
| Δ8 | 20,54 | 2,52 | 7 | 207 | S27W | 14SE | N23E |
| Δ9 | 20,35 | 1,42 | 4 | 224 | S44W | Cubierto | Cubierto |
| Δ10 | 16,73 | 2,35 | 8 | 146 | S34E | 29SE | N27E |
| Δ11 | 30,86 | 8,26 | 15 | 208 | S28W | Arenisca | Anterior |
| Δ12 | 20 | 27,52 | 54 | 42 | N42E | 20SE | N42E |
| Δ13 | 20,68 | 3,64 | 10 | 203 | S23W | 38SE | N44E |
| Δ14 | 10,03 | 4,25 | 23 | 186 | S6W | Lodolita | anterior |
| Δ15 | 14,9 | 6,95 | 25 | 229 | S49W | 38SE | N36E |
| Δ16 | 9,44 | 3,45 | 20 | 160 | S20E | Lodolita | anterior |
| □ | | | | | | | |
| Δ17 | | | | | | | |
| Δ18 | 7,99 | 15,02 | 62 | 180 | NS | 34SE | N25E |
| Δ19 | 13,1 | 9,17 | 35 | 180 | NS | 25SE | N28E |
| Δ20 | 6,69 | 0,58 | 5 | 175 | S5E | Lodolita | Anterior |
| Δ21 | 20,92 | 1,83 | 5 | 218 | S38W | Lodolita | Anterior |
| Δ22 | 18,03 | 8,41 | 25 | 183 | S3W | Lodolita | Anterior |
| Δ24 | 4,52 | 6,96 | 57 | 180 | NS | 26SE | N72E |
| Δ25 | 18,34 | 1,6 | 5 | 137 | S43E | Lodolita | Anterior |
| Δ26 | 20,79 | 2,92 | 8 | 85 | N85E | Lodolita | Anterior |
| Δ27 | 97,26 | 5,09 | 3 | 60 | N60E | Sobre la Vía | La Pluma |
| Δ28 | 4,24 | 4,24 | 45 | 115 | S65E | 28SE | N85E |
| Δ29 | 9,58 | 0,5 | 3 | 125 | S55E | 34SE | N88E |
| Δ30 | 6,08 | 1,18 | 11 | 137 | S43E | Lodolita | Anterior |
| Δ31 | 6,29 | 3,34 | 28 | 145 | S35E | Lodolita | Anterior |
| Δ32 | 14,04 | 1,22 | 5 | 125 | S55E | 34SE | N60E |
| Δ33 | 3,09 | 1 | 18 | 98 | S72E | 34SE | N60E |
| Δ34 | 20,94 | 4,83 | 13 | 135 | S45E | 26SE | N65E |
| Δ35 | 13,14 | 1,15 | 5 | 162 | S18E | Lodolita | Anterior |
| Δ36 | 20,61 | 7,09 | 19 | 112 | S68E | Lodolita | Anterior |
| Δ37 | 6,35 | 1,35 | 12 | 132 | S48E | Lodolita | Anterior |
| Δ38 | 13,73 | 6,4 | 25 | 187 | S7W | 26SE | N65E |

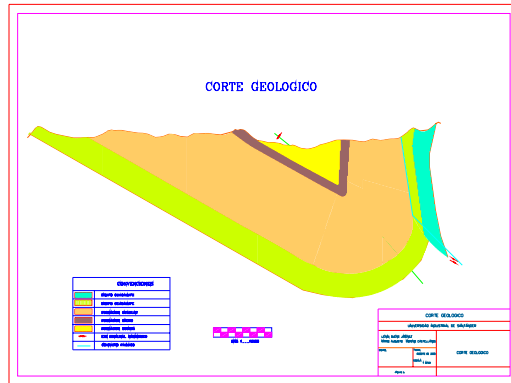
| | | | | | | | |
|-----|-------|-------|----|-----|------|----------|----------|
| Δ39 | 10,03 | 6,76 | 34 | 115 | S65E | 26SE | N65E |
| Δ40 | 7,69 | 0,26 | 2 | 137 | S43E | Lodolita | Anterior |
| Δ41 | 9,22 | 5,99 | 33 | 134 | S56E | 26SE | N60E |
| Δ42 | 20,37 | 5,08 | 14 | 118 | S62E | 26SE | N62E |
| Δ43 | 29 | 5,63 | 11 | 128 | S52E | 28SE | N52E |
| Δ44 | 14,59 | 1,79 | 7 | 179 | S1E | 28SE | N52E |
| Δ45 | | | | | | | |
| Δ46 | 29,27 | 34,8 | 50 | 150 | S30E | 28SE | N52E |
| Δ47 | 15,16 | 4,06 | 15 | 147 | S33E | 38SE | N46E |
| Δ48 | 1,96 | 3,01 | 57 | 109 | S71E | 38SE | N46E |
| Δ49 | 12,33 | 5,49 | 24 | 162 | S18E | 30SE | N30E |
| Δ50 | 5,61 | 0,78 | 8 | 165 | S15E | 33SE | N30E |
| Δ51 | 7,79 | 0,27 | 2 | 167 | S13E | 33SE | N30E |
| Δ52 | 12,6 | 2,22 | 10 | 193 | S13W | 33SE | N30E |
| Δ53 | 10,12 | 1,42 | 8 | 155 | S35E | Lodolita | Anterior |
| Δ54 | 8,77 | 0,61 | 4 | 158 | S22E | Lodolita | Anterior |
| Δ55 | 4,94 | 1,6 | 18 | 157 | S23E | Lodolita | Anterior |
| Δ56 | 3,97 | 0,48 | 7 | 225 | S55E | Lodolita | Anterior |
| Δ57 | 11,62 | 2,04 | 10 | 177 | S3E | Lodolita | Anterior |
| Δ58 | 5,79 | 7,97 | 54 | 163 | S17E | 27SE | N54E |
| Δ59 | 6,52 | 2,9 | 24 | 182 | S2W | Lodolita | Anterior |
| Δ60 | 3,78 | 1,3 | 19 | 86 | N86E | 33SE | N50E |
| Δ61 | 7,94 | 5,56 | 35 | 138 | S42E | 33SE | N50E |
| Δ62 | 12,17 | 3,95 | 18 | 157 | S33E | 45SE | N56E |
| Δ63 | 9,11 | 0,79 | 5 | 179 | S1E | 45SE | N56E |
| Δ64 | 5,61 | 2,86 | 27 | 205 | S25W | 45SE | N56E |
| Δ65 | 15,85 | 10,29 | 33 | 235 | S55W | 45SE | N56E |
| Δ66 | 9,74 | 6,32 | 33 | 205 | S25W | 25SE | N43E |
| Δ67 | | | | | | | |
| Δ68 | 10,9 | 2,31 | 12 | 158 | S22E | 33SE | N51E |
| Δ69 | 0,12 | 3,69 | 88 | 162 | S24E | 33SE | N57E |
| Δ70 | 9,8 | 4,99 | 27 | 288 | N72E | Arenisca | Anterior |
| Δ71 | 7,32 | 2,66 | 20 | 248 | S68W | 30SE | N58E |
| Δ72 | 9,18 | 5,96 | 33 | 220 | S40W | 30SE | N58E |
| Δ73 | 8,66 | 3,15 | 20 | 210 | S30W | 30SE | N55E |
| Δ74 | 9,5 | 4,23 | 24 | 277 | N83E | Lodolita | Anterior |
| Δ75 | 11,15 | 2,58 | 14 | 220 | S40W | 32SE | N50E |
| Δ76 | 11,93 | 1,25 | 6 | 225 | S45W | Arenisca | Anterior |

Anexo 3. Datos de la poligonal obtenidos en campo.

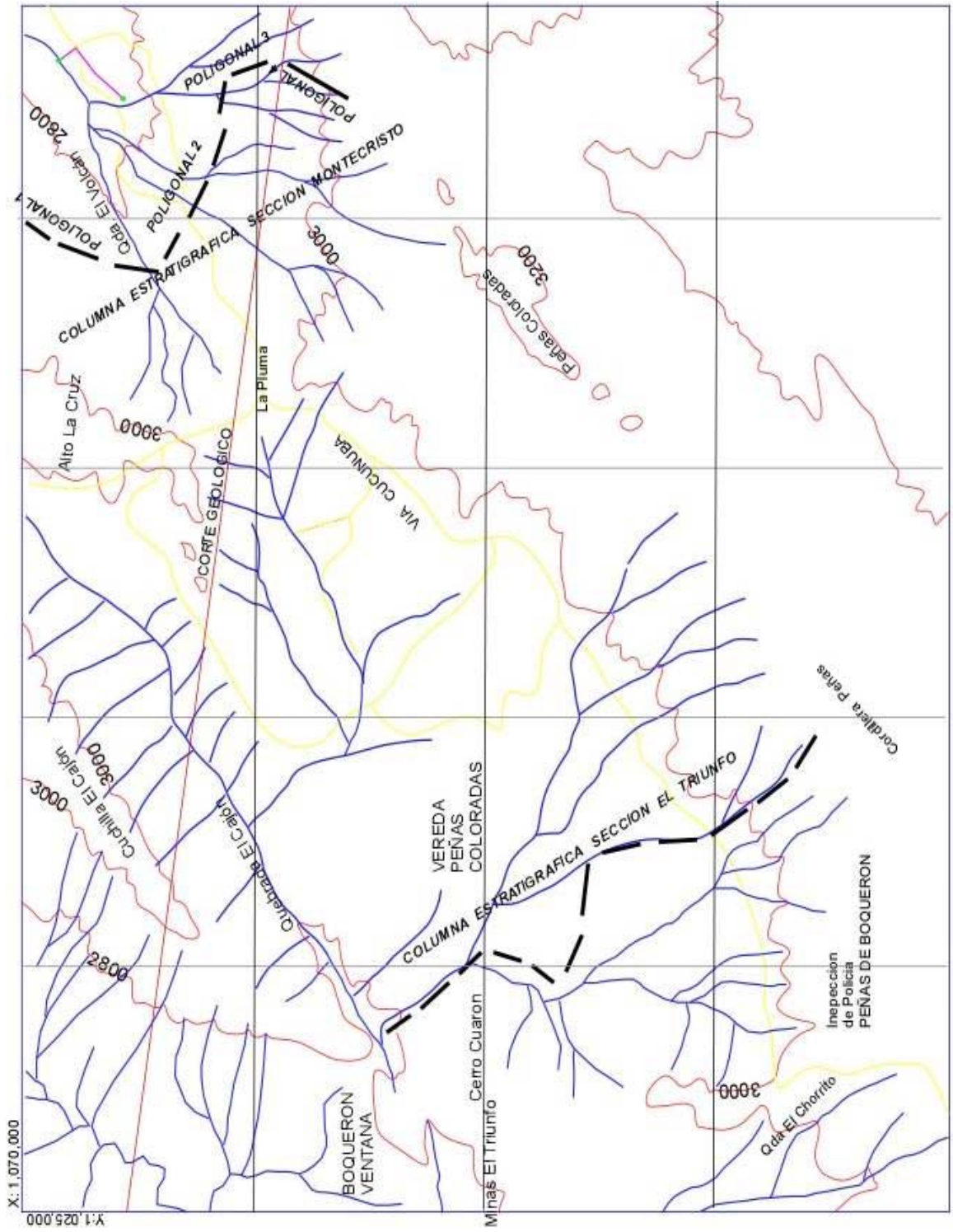


ANEXO 4. Poligonales





ANEXO 6. Corte Geológico



X: 1.070.000
Y: 1.025.000

ANEXO 7. MAPEA DE UBICACION. ESCALA 1:25000