

**ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS EN LA
CUENCA DE BOGOTÁ, COLOMBIA**

**LAURA LUCIA DE LOS ANGELES RINCON VILLABONA
ANA MARIA ROCHA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2007**

**ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS EN LA
CUENCA DE BOGOTÁ, COLOMBIA**

**LAURA LUCIA DE LOS ANGELES RINCON VILLABONA
ANA MARIA ROCHA GONZALEZ**

Proyecto de Grado para optar el titulo de Geóloga

Director

MARIO GARCIA GONZALEZ, PhD.

Profesor Titular

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

2007

DEDICATORIA

A DIOS por brindarme la vida y por darme la oportunidad de estar disfrutando junto con mi familia esta meta.

En especial dedico este logro a mi hijo JOSE ALEJANDRO personita que me impulsa a seguir adelante por su amor, ternura, cariño, inteligencia e inocencia.

A mi madre TRINA a quien considero una mujer muy valiosa por ser mi amiga y consejera, que por su amor, confianza, sacrificios y apoyo incondicional hizo posible la realización de este logro.

A mi padre RITO que por su amor y ejemplo me enseñó a ser una persona honesta, responsable y leal quien por sus valiosos consejos y su gran apoyo me impulsó a seguir adelante logrando así esta meta.

A JOSE MANUEL que con su amor, cariño, ayuda y comprensión se ha convertido para mí en una persona muy importante y a quien seguiré amando y compartiendo junto con nuestro hijo el resto de mi vida.

A mis hermanos OMAR YEZID y FREDDY ALEXANDER con quienes he compartido gran parte de mi vida y a quienes quiero con todo mi corazón. A mis sobrinitos GERMAN YEZID, MARÍA FERNANDA Y JUAN DIEGO a quienes adoro. A mis tíos y demás familiares por ser tan especiales conmigo.

A ANA MARÍA que mas que una compañera en la realización de esta tesis fué una amiga incondicional.

A todos mis amigos de carrera universitaria con quienes realmente compartí buenos momentos. A YESID que se encuentra allá en el cielo y finalmente a todas las personas que me han ayudado a crecer como persona.

LAURA

DEDICATORIA

A DIOS por darme la vida, salud, sabiduría y permitirme llegar a este punto de mi desarrollo integral como profesional y ser humano.

A mi madre EDILMA la mujer más importante en mi vida y mi mayor inspiración, quien con sus sabios consejos me infundió ese espíritu de lucha y combatividad que se necesita para lograr cualquier objetivo.

A mi padre ARMANDO por su inmenso amor, comprensión y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

A mis hermanos DANIEL quien con su apoyo y nobleza me ayudo en los momentos difíciles dándome ánimo y coraje para salir adelante y SEBASTIAN por su gran cariño.

A JUAN JAIRO por su amor, apoyo, comprensión, quien me enseñó que la vida vale realmente cuando tienes el valor de enfrentarla y sobretodo por estar a mi lado en los buenos y malos momentos siempre con una palabra dulce y una frase reconfortante.

A LAURA por su apoyo tolerancia, paciencia y amistad, incondicional.

A mi familia que de una u otra forma hicieron este sueño realidad y hoy celebran conmigo.

A ustedes dedico con amor y cariño el triunfo logrado y recuerden que no es mío solamente, es de todos juntos....

ANA MARIA

AGRADECIMIENTOS

Las autoras de esta tesis presentan sus agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander, institución de excelencia académica e integral, por la formación profesional recibida durante la carrera universitaria.

A la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander por la formación académica y los conocimientos recibidos durante la carrera universitaria.

Al grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones de la Universidad Industrial de Santander y a COLCIENCIAS, por la financiación y realización de este proyecto de investigación proyecto 1102-06-17634 RC 325-2005).

Al Doctor Mario García González, por su apoyo constante, asesorías, observaciones y sugerencias durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestros profesores de carrera universitaria por brindarnos sus conocimientos para nuestra formación tanto profesional como personal, y en especial al profesor Carlos García Ramírez por sus sabios consejos y palabras de aliento en los momentos difíciles.

Al Señor Alberto García por su paciencia y colaboración durante la digitalización de mapas y columnas estratigráficas.

A nuestros amigos Leidy Niz y Manuel Ojeda por brindarnos su amistad y cariño a lo largo de la carrera.

CONTENIDO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
TRABAJOS ANTERIORES	3
INTRODUCCION	5
1. OBJETIVOS	6
1.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
2. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	8
2.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.	8
2.2 CLIMA Y MORFOLOGIA	9
3. METODOLOGIA	11
3.1 CARTOGRAFÍA	11
3.2 FOTOGEOLOGÍA	11
3.3 TRANSVERSAS	12
3.4 TRAZO DE CONTACTOS	12
3.5 POLIGONALES	12
3.6 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	14
3.7 PROYECCIÓN DE LA POLIGONAL	14
3.8 CALCULO DE LOS ESPESORES	15
3.9 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DETALLADAS	15
4. MARCO GEOLOGICO REGIONAL	17
4.1 MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL	22
4.1.1 <i>La Megasecuencia Sinrift del Triásico-Barremiano.</i>	22
4.1.2 <i>La Megasecuencia Cretácea tras-arco.</i>	22
4.1.3 <i>La Acresión de la Cordillera Occidental a finales del Cretácico:</i>	23
4.1.4 <i>En la Cuenca de los llanos, las Megasecuencias pre-Andinas de Foreland.</i>	24
5. MARCO GEOLOGICO LOCAL	27
5.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	27
5.2 ESTRATIGRAFÍA	32
5.2.1 <i>Grupo Caqueza</i>	33
5.2.2 <i>Formación Fómeque</i>	33
5.2.3 <i>Formación Une</i>	34
5.2.4 <i>Formación Chipaque</i>	34
5.2.5 <i>Grupo Guadalupe</i>	34
5.2.6 <i>Formación Guaduas</i>	35
5.2.7 <i>Formación Cacho</i>	37
5.2.8 <i>Formación Bogotá</i>	37
5.2.9 <i>Formación La Regadera</i>	37
5.2.10 <i>Formación Usme</i>	38
5.2.11 <i>Formación Tiltatá</i>	38
6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL SINCLINAL CHECUA LENGUAZAQUE	39

7. RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTRATIGRAFICO	43
7.1 DESCRIPCION DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS	43
7.1.1 <i>Sección Triunfo</i>	43
7.1.2 <i>Sección Montecristo</i>	53
7.1.3 <i>Sección Lenguazaque</i>	65
8. DESCRIPCIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS	76
11. ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS	107
11.1 MARCO TEÓRICO DE LA ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS	107
11.2 ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS	114
12. DISCUSION DE RESULTADOS	126
13. CONCLUSIONES	130
REFERENCIAS CITADAS	132
ANEXOS	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del departamento de Cundinamarca. En el recuadro de la derecha se muestra la imagen satelital de la zona estudiada.	10
Figura 2. Modelo secuencial de desarrollo tectónico regional para la Cordillera Oriental, el Valle medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos. Tomado de Cooper et al. 1995.	18
Figura 3 La imagen muestra la evolución tectónica sugerida para la cordillera oriental desde el Mesozoico, indicando la incipiente inversión de las cuencas del Mesozoico durante el Paleozoico. Tomado de Sarmiento, 2001.	20
Figura 4. Cuencas extensionales desarrolladas durante el Mezozoico en el área de la Cordillera Oriental. Tomado de Sarmiento, 2001.	21
Figura 5. Sección estratigráfica del Cretácico y el Terciario. Tomado de Sarmiento, 2001.	26
Figura 6. Principales Rasgos Tectónicos en Cundinamarca. Tomado de Ingeominas (2004).	31
Figura 7. Columna generalizada para la Sabana de Bogotá. Modificada de ESRI, 1994; Ulloa y Rodríguez, 1991.	32
Figura 8. Mapa geológico del Área Carbonífera Checua – Lenguazaque (Modificado de Acosta & Ulloa, 1997)	41
Figura 9. Columna estratigráfica, sección el Triunfo.	52
Figura 10. Columna estratigráfica, sección Montecristo.	64
Figura 11. Columna estratigráfica, sección Lenguazaque.	74
Figura 12. Resumen de las Facies sedimentarias de la Formación Guaduas.	91
Figura 13. Sucesión de facies producidas en un ambiente de Frente de Playa (shore face) y de un ambiente de Depósitos de playa (foreshore) mostrando en el perfil vertical las principales estructuras sedimentarias. Tomado de Diessel, 1992.	94
Figura 14. Se observa el perfil vertical con las principales estructuras y su respectivo ambiente de depositación. Donde el Spit Platform corresponde a los Depósitos de Playa (Foreshore). Característico por presentar una estructura tabular y una laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo. Tomado de Diessel, 1992.	94
Figura 15. Sucesión de facies para un canal de río meandriforme. Mostrando una secuencia granodecreciente y sus respectivas estructuras. Fajardo A. & Ramon, J.C. 2003	97
Figura 16. Asociación facial y ambientes sedimentarios interpretados para el estudio de la Formación Guaduas.	99
Figura 17. Correlación Estratigráfica, Triunfo (Izquierda), Montecristo (Mitad), Lenguazaque (Derecha) . Nótese la continuidad de algunas arenas y mantos de carbón. Se muestran los límites de secuencias (SB) con las líneas de color rosado y MFS: Máxima Superficie de Inundación señalada por la línea de color verde. El Datum corresponde a la línea roja mostrada en la figura trazada sobre el manto conocido como Siente Bancos.	106
Figura 18. Geometría depositacional. Tomado de Possamentier; Allen (1999).	108

Figura 19. Relación de la tasa de cambio del nivel base para determinar el espesor y la geometría de los carbones. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.	112
Figura 20. Tasa de producción de turba Vs Tasa de acomodación. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.	114
Figura 21. El primer segmento de la Formación Guaduas está enmarcada por un <i>Middle Highstand System Track</i> depositado durante un relativo ascenso del nivel del mar formando Cintas y los primeros Mantos de carbón de la formación Guaduas. Tomado de: http://strata.geol.sc.edu/terminology.html	115
Figura 22. Durante un Late Highstand System Track, representado en la figura como un SMST, correspondiente a una pequeña regresión forzada. Se observa el primer límite de secuencias (SB1) donde se forman delgados canales debido a un pequeño descenso del nivel del mar Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html .	115
Figura 23. En un relativo ascenso del nivel del mar, durante un Transgressive System Track se depositan las Arenas Guía representadas por el segmento 3. Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html	116
Figura 24. Ascenso relativo del nivel del mar donde se depositan Cintas de carbón representadas por un <i>Early y Middle Highstand</i> correspondiente a un HST. Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html .	117
Figura 25. La figura representa un FSST correspondiente a un <i>Late Highstand</i> donde el nivel del mar comienza a descender erosionando canales para su posterior sedimentación durante un ascenso del nivel del mar. Se observa el segundo límite de secuencias (SB2). Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html .	117
Figura 26. Lento ascenso del nivel del mar, el cual favoreció la acumulación y preservación de materia orgánica característico de un <i>Middle Lowstand</i> , representado por el segmento 5 y el segmento 10. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.	118
Figura 27. Depositación de canales durante un <i>Late Lowstand</i> donde se continúa el ascenso del nivel del mar dando lugar a un incremento en el espacio de acomodación en el cual se acumulan canales debido a las altas tasas de sedimentación presentes. Este estado es representado por los Segmentos 6 y 11. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.	119
Figura 28. Durante un LST se erosionan los canales debido a un descenso del nivel del mar con posterior sedimentación de material aluvial . Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html .	119
Figura 29. TST. Transgressive System Track. Rápido ascenso del nivel del mar en el cual el espacio de acomodación es reducido y por lo tanto la preservación de materia orgánica es mínima, representado por el Segmento 7. Se observa la máxima superficie de inundación (mfs) Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html .	120
Figura 30. Durante la Transgresión la preservación de materia orgánica es mínima debido a que los depósitos de turba son inundados por un ascenso continuo del nivel del mar. Tomado de Bohacs y Suter, 1997 .	121
Figura 31. La figura representa un HST, correspondiente a un <i>Early Highstand y Middle Highstand</i> , evidenciado por un ascenso continuo del nivel del mar dando lugar a la formación de carbones representados por el segmento 8. Tomado de http://strata.geol.sc.edu/terminology.html .	122
Figura 32. Durante un <i>Early Highstand</i> La tasa de ascenso del nivel del mar se hace lenta, generando condiciones favorables para la acumulación y preservación de materia orgánica, dando lugar a la formación de mantos de carbones relativamente espesos aunque con abundantes intercalaciones de lodolitas fósiles carbonosas. Tomado de Bohacs y Suter, 1997	122
Figura 33. Durante un <i>Middle Highstand</i> el mar se estabiliza a niveles relativamente altos, lo cual favorece la acumulación y preservación de materia orgánica dando lugar a la formación de potentes niveles de lodolitas fósiles carbonosas. Tomado de Bohacs y Suter, 1997	123

Figura 34. La figura representa un SMST correspondiente a un *Late Highstand* evidenciado por un descenso del nivel del mar dando lugar a la depositación de areniscas de grano medio, las cuales presentan un contacto erosivo en su parte inferior. El triangulo indica el tercer limite de secuencias (SB3) Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>. 123

Figura 35. Durante un *Late Highstand* el mar desciende dando lugar a la depositación de canales de areniscas de grano medio Tomado de Bohacs y Suter, 1997. 124

LISTA DE FOTOGRAFIAS

- Foto 1. La fotografía muestra el eje del Sinclinal Checua Lenguaque cuya dirección es NE-SW Tomada sobre el tope de la Formación Cacho en cercanías al Municipio de Cucunubá. 42
- Foto 2. Afloramiento del paquete potente conocido como la Arenisca La Guía mostrando su geometría tabular, cuyo espesor es aproximadamente de 6 metros indicado por la flecha. La fotografía fue tomada cerca al sitio conocido como el Cuarón. 45
- Foto 3. Panorámica de la Arenisca la Guía en la sección del Triunfo. La primera pendiente que sobresale de izquierda a derecha, es el tope de la Formación Guadalupe y la segunda corresponde a la Arenisca la Guía. 45
- Foto 4. Mantos delgados y continuos, en medio de potentes niveles de lodolitas físis carbonosas y delgados niveles de arena. La escala de referencia es de 1 metro. Afloramiento ubicado sobre el margen izquierdo de la Quebrada Honduras. 46
- Foto 5. Canal de arena de grano grueso de 6 metros de espesor y 18 metros de largo. Ubicado sobre la carretera destapada que conduce al Mortiño. 48
- Foto 6. Se observa la laminación planoparalela en el canal. Ubicado sobre la carretera destapada que conduce al Mortiño. 49
- Foto 7. Potente canal meandriforme de 2 metros de espesor y 16 metros de longitud aproximadamente. Se encuentra en contacto erosivo con lodolitas rojizas. Ubicado cerca conocido como El Jardincito de la sección del Triunfo. 50
- Foto 8. Lodolitas con lentes de arenisca cuarzosa intercaladas con areniscas de grano muy fino con presencia de nódulos ferruginosos. 54
- Foto 9. Icnofosil hallado en lodolitas grises, el cual se encuentra perpendicular a la estratificación de las capas Ubicado al margen derecho de la Quebrada Palacios. 56
- Foto 10. Afloramiento del Manto de carbón 5 cuyo espesor es de 70 cm en contacto neto con lodolitas físis carbonosas. 57
- Foto 11. Se marca el detalle del contacto erosivo entre cintas de carbón y lodolitas físis carbonosas. 58
- Foto 12. Panorámica de los mantos medios de carbón correspondientes al Mantos 6 de 1m, Manto 7 de 1,15 m, Manto 8 de 1,20 m, Manto 9 de 40 cm, presentes en la sección de Montecristo. La flecha indica un espesor de 72 metros. 60
- Foto 13. Laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo observada en la Arenisca Guía. Afloramiento ubicado en la sección Lenguaque, en la Vereda Ramada Cucunubá en cercanías a la mina conocida como el Tesorito (Manto 3). 66
- Foto 14. Panorámica de la Arenisca la Guía. Ubicada en la sección Lenguaque, en la Vereda Ramada Cucunubá sobre la carretera que conduce a la mina conocida como el Tesorito (Manto 3). 67
- Foto 15. Panorámica de canal de río meandriforme con estructura masiva, con dimensiones de 5 metros de espesor y 45 metros de longitud Localizado en la Sección de Lenguaque ubicado sobre un camino que lleva al Municipio de Cucunubá. 72

Foto 16. Se marca el detalle de lodolitas grises con lentes de areniscas cuarzosas. Afloramiento ubicado en la sección de Montecristo, en cercanías a la mina Montecristo (Manto 2).	77
Foto 17. Detalle de las Areniscas Guía. Se observa la laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo característico de la Facies 2. Localizada en la Sección Montecristo.	78
Foto 18. Se observa la estructura tabular de la Arenisca La Guía. Localizada en la Sección Montecristo, ubicado en cercanías de la Mina Montecristo (Manto 2).	79
Foto 19. Se observan delgadas cintas de carbón cuyos espesores varían de 10 a 20 cm en contacto neto con lodolitas grises oscuras. Afloramiento ubicado en la sección Lenguazaque.	80
Foto 20. Detalle de Areniscas lodosas de color blanco a ocre con laminación flaser. Sección Montecristo.	81
Foto 21. Moldes de bivalvos mineralizados en siderita parcialmente disueltos al tope de los canales de marea, presentes en la Sección Montecristo.	82
Foto 22. Se observa el detalle de los canales amalgamados ubicados en la sección Montecristo. Formando cuerpos de centenas de metros de extensión lateral.	82
Foto 23. Lodolitas físciles carbonosas suprayaciendo e infrayaciendo cintas de carbón en contacto neto. Localizada en la sección de Lenguazaque.	83
Foto 24. Moldes de hojas bien preservadas presentes en las lodolitas físciles carbonosas, cuyas dimensiones son 10 cm de largo y 5 cm de ancho. Encontradas en la sección de Montecristo en cercanías a la Quebrada Palacios.	84
Foto 25. Manto de carbón de color negro brillante en contacto neto con lodolitas físciles carbonosas correspondiente al Manto 1 de la sección de Lenguazaque. La flecha indica un espesor de 90 cm.	85
Foto 26. Manto de carbón de color negro opaco en contacto neto con lodolitas físciles carbonosas correspondiente al Manto 17 de la sección del Triunfo. La flecha indica un espesor de 70 cm.	86
Foto 27. Canal de arenisca de grano grueso. La flecha indica un espesor de 3 metros. Ubicado sobre la carretera destapada que conduce al Mortiño en la Sección el Triunfo.	87
Foto 28. Lodolitas abigarradas cuyos colores varían entre rojo, amarillo, azul y violeta. Localizadas en la sección el Triunfo en cercanías al sitio conocido como el Mortiño.	88
Foto 29. Potente canal meandriforme. Se encuentra en contacto erosivo con lodolitas rojizas. La flecha indica aproximadamente 2 metros de espesor. Ubicado cerca conocido como El Jardincito de la sección del Triunfo.	88
Foto 30. Potente nivel Lodolitas rojizas encontradas hacia el tope de la Formación Guaduas. Ubicadas en la Sección de Lenguazaque.	89
Foto 31. Afloramiento del Manto 11 sobre la Quebrada Honduras ubicado en la Sección Triunfo, el cual tiene 2 m de espesor aproximadamente.	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Encabezado utilizado para las secciones estratigráficas de Triunfo, Montecristo y Lenguazaque de la Formación Guaduas.	16
Tabla 2. Nomenclatura y Correlación para los Mantos y Cintas de carbón de las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque.	75
Tabla 3. Resultado de análisis de Ceniza para las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque y porcentaje de Azufre para la sección de Montecristo, Cortés, Jiménez, 2007.	98
Tabla 4. Resultado de análisis de Cenizas y Azufre para la sección Triunfo. Gallo, Mónica. 2006	98

RESUMEN

TITULO: ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA DE BOGOTÁ, COLOMBIA. *

AUTORAS: RINCON VILLABONA Laura L, ROCHA GONZALEZ Ana M. **

PALABRAS CLAVES: Formación Guaduas, Extensión lateral, Nivel base, Systems tracks, Estratigrafía de secuencias, Mantos de carbón, Espacio de acomodación.

La Formación Guaduas de edad Maastrichtiano a Paleoceno presente en la cuenca de la sabana de Bogotá consiste en una secuencia sedimentaria de 1000 metros de espesor en el flanco occidental del Sinclinal Checua –Lenguazaque en donde se describieron tres columnas estratigráficas correspondientes a las secciones del Triunfo, Montecristo y Lenguazaque.

El análisis de la estratigrafía de secuencias se puede emplear en los segmentos inferiores y medios de la Formación Guaduas en donde se presentan facies indicativas de ambientes parállicos. La Formación Guaduas comienza con la depositación de una parasecuencia correspondiente a un estado de Middle High Stand y termina con un Middle Low Stand, representados por los segmentos uno al cinco, en los cuales se depositaron los mantos de carbón inferiores y medios de la Formación Guaduas. Posteriormente se encuentra una secuencia completa que comienza y termina con presencia de canales formados durante los estados de Late High Stand. Suprayaciendo se presenta una parasecuencia de Middle Low Stand para terminar con un Late Low Stand. El segmento superior de la Formación Guaduas con un espesor de 300 a 400 m. presenta una secuencia fluvial en donde la estratigrafía de secuencias no se puede utilizar ya que su depositación tuvo lugar en un ambiente lejano de la línea de costa sin influencia marina.

Los mantos de carbón de los ambientes parállicos se formaron durante los estados de Middle Low Stand, Early y Middle High Stand, de otra parte los limites de la secuencia corresponde a inconformidades asociadas a la formación de canales durante los estados de Late High Stand cuando el nivel base comienza a descender.

Se propone una nomenclatura unificada de los mantos de carbón para la Formación Guaduas en el Sinclinal Checua-Lenguazaque.

* Tesis

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

ABSTRACT

TITLE: SEQUENCE STRATIGRAPHY OF THE GUADUAS FORMATION IN THE BOGOTA BASIN, COLOMBIA.*

AUTHORS: RINCON VILLABONA Laura L, ROCHA GONZALEZ Ana M. **

KEYWORDS: Guaduas Formation, expanding laterally, sea-base-level, systems tracks, sequence stratigraphy, coal-bearing, accommodation space

The Guaduas Formation of Maestrichtian to Paleocene age, in the Bogotá basin, is a sedimentary sequence of a 1000 m thick. This formation was studied in the Checua-Lenguazaque Syncline, where three stratigraphic sections: Triunfo, Montecristo and Lenguazaque, were measured and described.

The sequence stratigraphy analysis was used for the lower and middle segments of the Guaduas Formation, whose thickness spans from 600 to 700 m. The lower and middle segments present facies of paralic environments. The Guaduas Formation starts with the deposition of a parasequence of a Middle High Stand and ends with a Middle Low Stand stage, represented by segments one to five, where middle and lower coal seams were deposited. Following is a complete sequence that begins and ends with the presence of channels formed during a Late High Stand stages. Overlying is a parasequence that start with a Middle Low Stand and ends in a Late Low Stand stages. The uppermost segment of the Guaduas Formation, with 300 to 400 m in thickness, presents a fluvial sequence where the sequence stratigraphy analysis its not useful since its deposition took place in a fluvial environment without marine influence.

The coal seams of paralic environments were formed during the Middle Low Stand, Early and Middle High Stand stages. On the other hand, the sequence boundaries limits correspond to unconformities associated to the formation of channels during the Late High Stand stages when the sea-base level descended.

A unified stratigraphy nomenclature of coal seams was proposed for the Guaduas Formation at the Checua-Lenguazaque Sinclinal.

* Thesis

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

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios estratigráficos de la Formación Guaduas desarrollados por Sarmiento (1992 a, b) realizan la interpretación de los ambientes de sedimentación de esta formación con base en la descripción de una columna estratigráfica levantada a lo largo de la quebrada las Peñas, presentando una descripción detallada de litología con un buen control bioestratigráfico. Este modelo es esencialmente unidimensional por basarse únicamente en una columna. El presente estudio se basa en tres columnas estratigráficas que se localizan en el flanco oeste del sinclinal y se encuentran con varios kilómetros de separación entre ellas. De esta manera se propone un modelo estratigráfico bidimensional que permite establecer con mejor aproximación el modelo de sedimentación de carbones y demás litologías de la Formación Guaduas.

El presente trabajo muestra un modelo de la estratigrafía basado en el concepto de la estratigrafía de secuencias la cual se puede aplicar a zonas costeras con influencia de las variaciones del nivel del mar como es el caso de la Formación Guaduas. De esta manera se identificaron de una manera clara los ciclos de sedimentación o parasecuencias que se da como consecuencia de las variaciones eustáticas del nivel del mar durante el Maestrichtiano Superior al Paleoceno Inferior.

Es importante resaltar que nuestro modelo estratigráfico se basa en un modelo bidimensional que permite discutir la correlación de tres columnas, la variación lateral de facies y la identificación de parasecuencias de la Formación Guaduas, De otra parte el modelo unidimensional de Sarmiento (1992) postula esencialmente un evento regresivo lento con fluctuaciones menores durante la

deposición de la Formación Guaduas, sin reconocer las fluctuaciones del nivel del mar observadas en este trabajo.

TRABAJOS ANTERIORES

Los principales trabajos realizados para esta zona son:

Gallo M. 2006. Asesoría geológica a las labores de explotación en las minas de carbón la trinidad (Sutatausa, Cundinamarca). Practica Industrial, Escuela de Geología Universidad Industrial de Santander.

Bueno L. y Moreno M. 2005. Estratigrafía, Petrografía Y Geoquímica de la ocurrencia de carbones coquizables de la Formación Guaduas en la cuenca de Bogota. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander.

Vega, M. 2004. Cartografía Geológica y caracterización de los mantos de carbón de la Formación Guaduas en los municipios de Tausa y Cucunubá. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander.

Valenzuela A. 2002. El Potencial de Generación de Gas y Petróleo de los Carbones de la Formación Guaduas, Colombia. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander.

Díaz. S, M. 1999. Gas asociado a mantos de carbón de la Formación Guaduas en el Sinclinal Checua-Lenguazaque, Colombia. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander.

Sarmiento G. 1994. Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. (Maastrichtiano-paleoceno, Colombia) Publicación Geológica Especial del INGEOMINAS. N° 20, Bogota.

Sarmiento G. 1992. Estratigrafía y medios de Depósito de la Formación Guaduas, Boletín Geológico Vol. 32. Pags. 3-44, Bogotá.

Pérez, F., Valderrama, G., Blanco, G., González, I., García, f. 1987. Bogotá. Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua–Lenguazaque. *Boletín Geológico*. Vol 28, No. 2. Ingeominas.

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

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

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

INTRODUCCION

El presente estudio se realizó en el flanco occidental del sinclinal Checua-Lenguazaque en la Formación Guaduas presente en la cuenca de la sabana de Bogotá, donde se describieron detalladamente tres columnas estratigráficas a escala 1:1000 y se documentaron la posición estratigráfica de los diferentes mantos de carbón dentro de esta formación, de tal forma que se pudo establecer la distribución vertical y la extensión lateral de los mantos de carbón y potentes niveles de arenas, con el fin de reconstruir los ambientes de depósito.

El presente trabajo se desarrollo dentro del proyecto de investigación: Geoquímica y Estratigrafía de los yacimientos de Gas asociado a carbón en la Cuenca de Bogota. Bajo la dirección del profesor Mario García González. El propósito de este trabajo fue determinar la estratigrafía de los mantos de carbón para así poder documentar la posición estratigráfica de cada uno de los diferentes mantos de carbón presentes en le sinclinal de Checua–Lenguazaque.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer el marco estratigráfico de la Formación Guaduas empleando la metodología de la estratigrafía de secuencias.
- Establecer la relación entre las parasecuencias de la Formación Guaduas y sus respectivos ambientes de depósito.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Medir y describir tres columnas estratigráficas a detalle a escala 1:1000 de las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque de la Formación Guaduas.
- Establecer patrones de estacamiento, las relaciones del espacio de acomodación y las tasas de acumulación.
- Establecer la distribución vertical lateral de los diferentes mantos de carbón y niveles de arenas que se encuentran en la Formación Guaduas, mediante la correlación estratigráfica de las tres columnas levantadas.
- Documentar la posición estratigráfica de los diferentes mantos de carbón y niveles potentes de arenas dentro de la Formación Guaduas, empleando los conceptos de estratigrafía de secuencias.

- Establecer la nomenclatura unificada de los mantos y cintas de carbón en las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque de la Formación Guaduas.
- Reconstruir los ambientes de depósito de los principales mantos de carbón mediante la interpretación de facies.
- Realizar cortes balanceados de las secciones Triunfo y Lenguazaque a escala 1:1000.
- Realizar la fotogeología del área comprendida por las planchas 209-II-A-1, 209-II-A-3, 209-II-C-1, 209-I-D-2, Y 209-I-B-4 a escala 1:10.000.

2. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.

El área en la cual se realizó el trabajo de campo, está localizada a unos 85 Km al noroeste del Bogotá ([Figura1](#)) y se extiende desde el sur de la población de Sutatausa hasta la vereda La Ramada Cucunubá. Geográficamente se encuentra dentro de las coordenadas, X:=1.022.500, Y:=1.065.000, X=1.022.500, Y=1.075.000, X=1.030.000, Y=1.075.000, X=1.030.000, Y=1.080.000, X=1.037.500, Y=1.080.000, X= 1.037.500, Y=1.065.000, desde Bogotá como centro de las coordenadas y tiene como localidades vecinas a los municipios Lenguaque al nororiente, Sutatausa al nor.-occidente, Ubaté al norte y Suesca al sur. El área de trabajo suma un total 187.5 m² y está ubicada dentro de las planchas 209-II-A-1, 209-II-A-3, 209-II-C-1, 209-I-D-2, Y 209-I-B-4, a escala 1:10000 del instituto Geográfico “Agustín Codazzi”(1981).

La región aquí estudiada se encuentra ubicada al noroeste del departamento de Cundinamarca, sobre el flanco noroccidental del Sinclinal volcado de Checua - Lenguaque, en zonas aledañas al municipio de Úbate, que geográficamente se localiza al norte del departamento de Cundinamarca y limita por el norte con los municipios de Susa y Fúquene, por el Oriente con Lenguaque, Cucunubá, por el sur con Sutatausa y por el occidente con Carmen de Carupa.

Las principales vías de acceso son la carretera pavimentada que comunica a Bogotá con Ubaté, la cual continúa al norte hasta la localidad de Chiquinquirá - Barbosa Santander y une la vía Bogotá - Bucaramanga, así como la pavimentada Ubaté – Cucunubá.

Igualmente, se encuentran carreteras en menor estado de conservación que se conectan a los diferentes frentes de labor minera con las vías principales que comunican a Cucunubá, Ubaté, Tausa y Sutatausa.

2.2 CLIMA Y MORFOLOGIA

Sobre este territorio se distinguen dos regiones definidas: una plana o ligeramente ondulada, al occidente perteneciente al valle de Ubaté, y otra montañosa al oriente con alturas superiores a los 3.200 mts sobre el nivel del mar en la cual se forman grandes escarpes, en los que por la conformación topográfica se presentan los pisos térmicos frío y páramo. Aproximadamente a 85 Km. al noreste del distrito capital, esta el municipio de Ubaté, regado por las aguas de los ríos Suta y Ubaté, Además en varias fuentes de menor caudal. Dentro de su jurisdicción se encuentran parte de las lagunas de Cucunubá y Palacio.

El clima es variable debido a que la altura de la zona varía entre 2.800 y 3.200 MSN., encontramos dos pisos térmicos: cálido y templado. El drenaje más importante que baña la zona es la Quebrada El Cajón y la Quebrada El Volcán al centro, al cual llegan afluentes procedentes de Peñas Coloradas, Cuchilla. El Cajón y la Vereda de Peñas Coloradas. Hacia el centro de la zona de estudio se encuentran mantos y cintas de carbón explotables. La vegetación varía también por el cambio de clima; hacia las partes plana la vegetación es principalmente de bosques de pino, eucaliptos y arbustos, los cultivos son escasos, si se presentan son de Uchuvas Y papa en su mayoría. En la parte más alta, la vegetación está casi restringida a bosque, arbustos y frailejones.

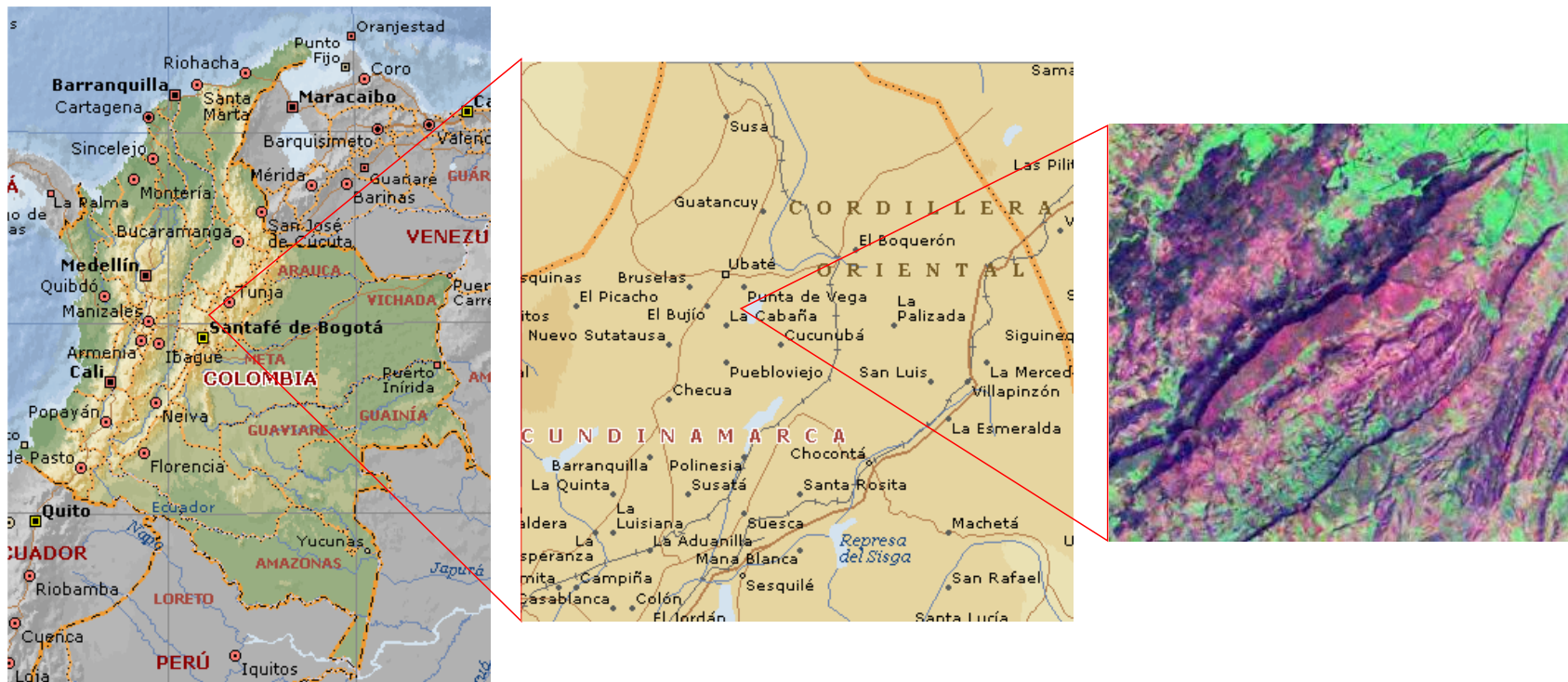


Figura 1. Ubicación geográfica del departamento de Cundinamarca. En el recuadro de la derecha se muestra la imagen satelital de la zona estudiada.

3. METODOLOGIA

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

3.1 CARTOGRAFÍA

Se definieron unidades geomorfológicas a partir del mapa topográfico por la concentración de curvas de nivel si se trataba de niveles duros como las formaciones Guadalupe y Cacho, indicando un relieve pronunciado y por la baja densidad de ellas si se trataba de niveles blandos como las formaciones Chipáque, Guaduas y Bogotá, indicando un relieve más suave. Definiéndolas como cartografiables en una escala 1:25000 (ver Anexo 1).

Se determinó la continuidad lateral de dichas unidades en campo y se definieron los límites tanto superior como inferior de dichas unidades (contactos geológicos).

3.2 FOTOGEOLOGÍA

Previo al trabajo de campo se realizó el análisis fotogeológico del área; con el siguiente orden establecido: vías de transporte, drenajes, zonas urbanas, zonas rurales, cálculo de la escala, contactos entre niveles blandos, niveles duros y sus respectivos datos estructurales. Posterior al trabajo de campo se trazó de una manera más precisa los contactos entre las diferentes unidades geológicas y sus respectivos datos estructurales local y regionalmente. El trabajo concluyó con la realización del mapa fotogeológico del área

La interpretación fotogeológica se realizó utilizando las fotografías aéreas N° 000143, N° 000144, N° 000145, vuelo número C-2612, y las fotos N°000130, N°000131, N° 000132, vuelo número C-2612. La escala de las fotografías es 1:40000. (ver Anexo 2).

3.3 TRANSVERSAS

Se seleccionó la zona de mejor exposición del terreno la cual nos permitió hacer el levantamiento de la sección estratigráfica, (Ver Anexos 3, 4, 5).

De acuerdo al rumbo general de la estructura el cual predominantemente es Noreste, se realizaron tres transversas perpendiculares a dicho rumbo en dirección sureste, con el fin de medir el espesor real de las unidades presentes en el área, ya que en dicha dirección se ascendió estratigráficamente en la secuencia.

3.4 TRAZO DE CONTACTOS

Se realizó el trazo de contactos desde un punto en donde se tenía una visión panorámica general del área, teniendo en cuenta expresiones geomorfológicas, cambio de pendiente, cambios en la vegetación, cambios de coloración de las rocas aflorantes y evidencias topográficas como el cambio en la densidad de las curvas de nivel, el fuerte quiebre que dan las curvas de las mismas o el encuentro de dos quebradas que traían lineamientos similares. Se tuvo en cuenta las reglas de las “v” para el trazo de dichos contactos.

3.5 POLIGONALES

A partir de la información general de la zona de estudio, se buscaron los mejores lugares para el levantamiento de las poligonales.

La primera poligonal realizada en Montecristo, se escogió como sitio de inicio La mina de Montecristo en la vereda El Espino a 10 m de la Quebrada Pueblo viejo por estar cerca de la base de Montecristo y por presentar una exposición general excelente (ver Anexo 6). Para la segunda poligonal realizada en la sección del Triunfo se tomó como punto de partida el sitio conocido como San Francisco sobre la Quebrada La Chorrera (ver Anexo 7) y para la tercera poligonal levantada en la sección denominada Lenguaque se tomó como punto de partida el sitio conocido como La Ramada Cucunubá cerca de la mina La Cisquera (ver Anexo 8).

Para la realización de estas tres poligonales (Montecristo, Triunfo y Lenguaque) se tomaron medidas en el terreno con la ayuda de una cinta métrica, la brújula y el GPS.

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.

El método utilizado fue, dos personas aproximadamente de la misma estatura, en el primer delta, se ubica la primera persona con la brújula y la punta de la cinta en 0.00 metros y la segunda persona se ubica en el segundo delta con el otro extremo de la cinta, midiendo la distancia que hay entre los dos puntos, luego con la brújula nivelada se lanzan visuales a la persona dos para medir el ángulo de inclinación y azimuth, esto datos se van recolectando en la cartera de campo con una descripción detallada de la litología presente entre cada par de deltas, con las

muestras de rocas marcadas. Después cambian de lugar y se repite el mismo proceso.

Continuamos con la poligonal en varios puntos hasta completar la secuencia a la cual posteriormente se le determinó el espesor.

3.6 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Durante la realización de las columnas estratigráficas de las secciones (Montecristo, Triunfo y Lenguaque) se tomaron los siguientes parámetros:

- Toma de fotografías y bosquejos de los afloramientos.
- Geometría de las capas presentes (tabular, lenticular).
- Actitud de las capas: Toma del rumbo y buzamiento.
- Litología: Descripción con lupa de mano
- Identificación de fósiles.
- Determinación de espesores con ayuda de la vara de Jacob

3.7 PROYECCIÓN DE LA POLIGONAL

Para la proyección de la poligonal se realizaron los siguientes cálculos:

- 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 trazo 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.

3.8 CALCULO DE LOS ESPESORES

Para el cálculo de espesores primero se balanceo el corte con el método de Kink, (Dutch. S) de la siguiente manera:

- A partir del perfil se tomaron los deltas en los que variara el buzamiento.
- Se trazó el buzamiento respectivo para cada delta.
- Se trazaron líneas perpendiculares al buzamiento y se prolongaban hasta que esta se interceptaban.
- Se traza una línea que pase por el punto medio de las líneas interceptadas, denominada línea de corte.
- Se trazaron líneas paralelas al buzamiento del primer punto hasta la línea de corte, y así sucesivamente hasta terminar con todos los datos de buzamientos medidos para cada delta.
- El corte balanceado se realizó con el fin de mantener siempre las líneas de buzamiento paralelas.
- Se traza una perpendicular a dichos buzamientos para determinar los espesores reales de la columna a escala 1:1000.

3.9 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DETALLADAS

El levantamiento de las columnas estratigráficas fue hecho a partir de los datos recogidos en las poligonales.

Conociendo estas medidas se procedió a realizar la columna estratigráfica (Tabla 1), indicando los deltas, numeración de los mantos y cintas de carbón vistos en campo y sus respectivos espesores, el nombre del manto, el tipo de roca presente,

las estructuras sedimentarias, los contacto entre las capas, la presencia de fósiles, bioturbación, facies sedimentarias, ambientes, ciclos y estratigrafía de secuencias.

Tabla 1. Encabezado utilizado para las secciones estratigráficas de Triunfo, Montecristo y Lenguaque de la Formación Guaduas.

DELTAS	ESPESOR ACUMULADO(m)	NUMERACION DEL MANTO	NOMBRE MANTO	LITOLOGIA						ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS	BIO-TURBACION	ASOCIACION DE FACIES	AMBIENTES	CICLOS	ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS (SYSTEMS TRACTS)	OBSERVACIONES
				LODO		ARENA		GRAVA								
				Aal	Lim	mf	f	m	g							

4. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La Cordillera Oriental se encuentra limitada al este por la sutura del borde llanero, que es un sistema de fallas que limitan el escudo de Guyana y la provincia central, el cual coincide aproximadamente con el frente cabalgante del piedemonte llanero, la provincia central esta compuesta de rocas metamórficas pre-Cámbricas y del Paleozoico temprano que suprayacen las Cordilleras Central y Oriental. Al oeste se encuentra limitada por el valle del Magdalena.

La mayoría de los eventos tectónicos que influenciaron el desarrollo de las cuencas colombianas esta ciertamente ligada a la evolución del margen activo del Oeste de Suramérica. A continuación se presentan los principales eventos evolutivos de la Cordillera Oriental ([Figura 2](#)).

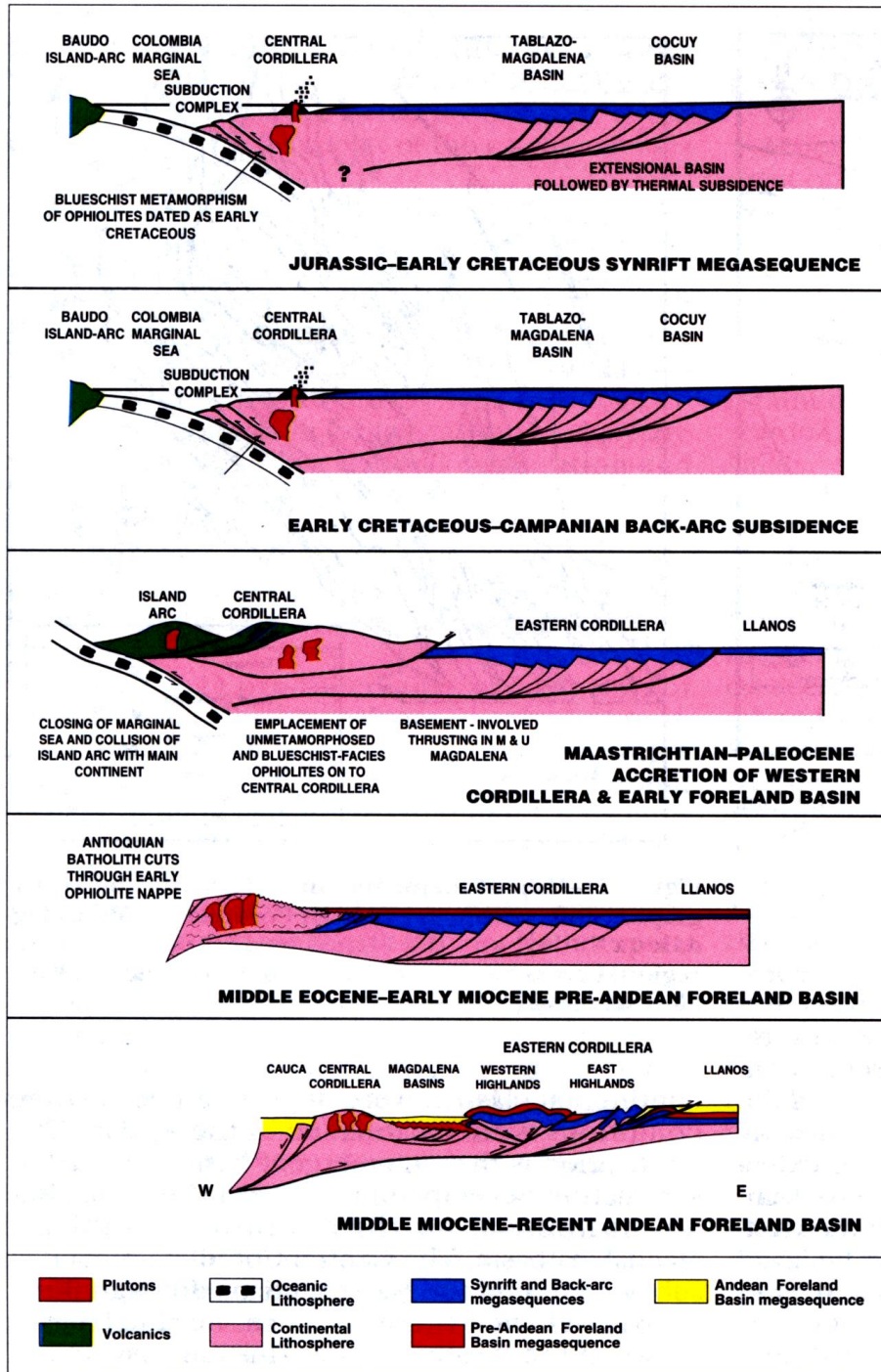


Figura 2. Modelo secuencial de desarrollo tectónico regional para la Cordillera Oriental, el Valle medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos. Tomado de Cooper et al. 1995.

Durante el Triásico-Jurásico y Cretácico temprano, Colombia fue afectada por un rift relacionado a la separación de Norte y Suramérica en el proto-Caribe (Jaillard et al 1990). Maze (1984) propuso un mecanismo alternativo para la extensión en un back-arc, el cual da la naturaleza oblicua a la zona de subducción. Ambos mecanismos probablemente contribuyeron a la extensión.

Se establecieron los depocentros a través de la Cordillera Oriental y el Magdalena superior con cuencas marginales en los llanos y la cuenca del Putumayo. En la Cordillera Oriental se desarrollaron dos rift, la cuenca del Cocuy en el este y la cuenca Tablazo-Magdalena en el oeste, Fabre 1985

Cretácico tardío-Paleoceno temprano: deformación resultado de la acresión final de la Cordillera Occidental. Esto determina un significativo cambio en los ambientes depositacionales de marino a continental en una incipiente cuenca de foreland. Solo hubo levantamiento y deformación en la Sierra Nevada Del Cocuy. La cantidad de deformación compresional generada durante la acresión puede haber estado limitada con la convergencia oblicua de las placas Nazca y Suramericana hasta los 49 m.a.

La hipótesis de Cooper et al. 1995 de una incipiente cuenca de foreland aunque es la más aceptada, es discutida por algunos autores (e.g. Van der Hammen, 1961; Roeder y Chamberlain, 1995; Restrepo-Pace *et al.*, 1999a,b; Gomez *et al.*, 1999) ([Figura 3](#)), que han sugerido la posibilidad de un sobrecabalgamiento y/o una incipiente inversión de las cuencas extensionales Mesozoicas en el área de la cordillera oriental, Sarmiento (2001). ([Figura 4](#)).

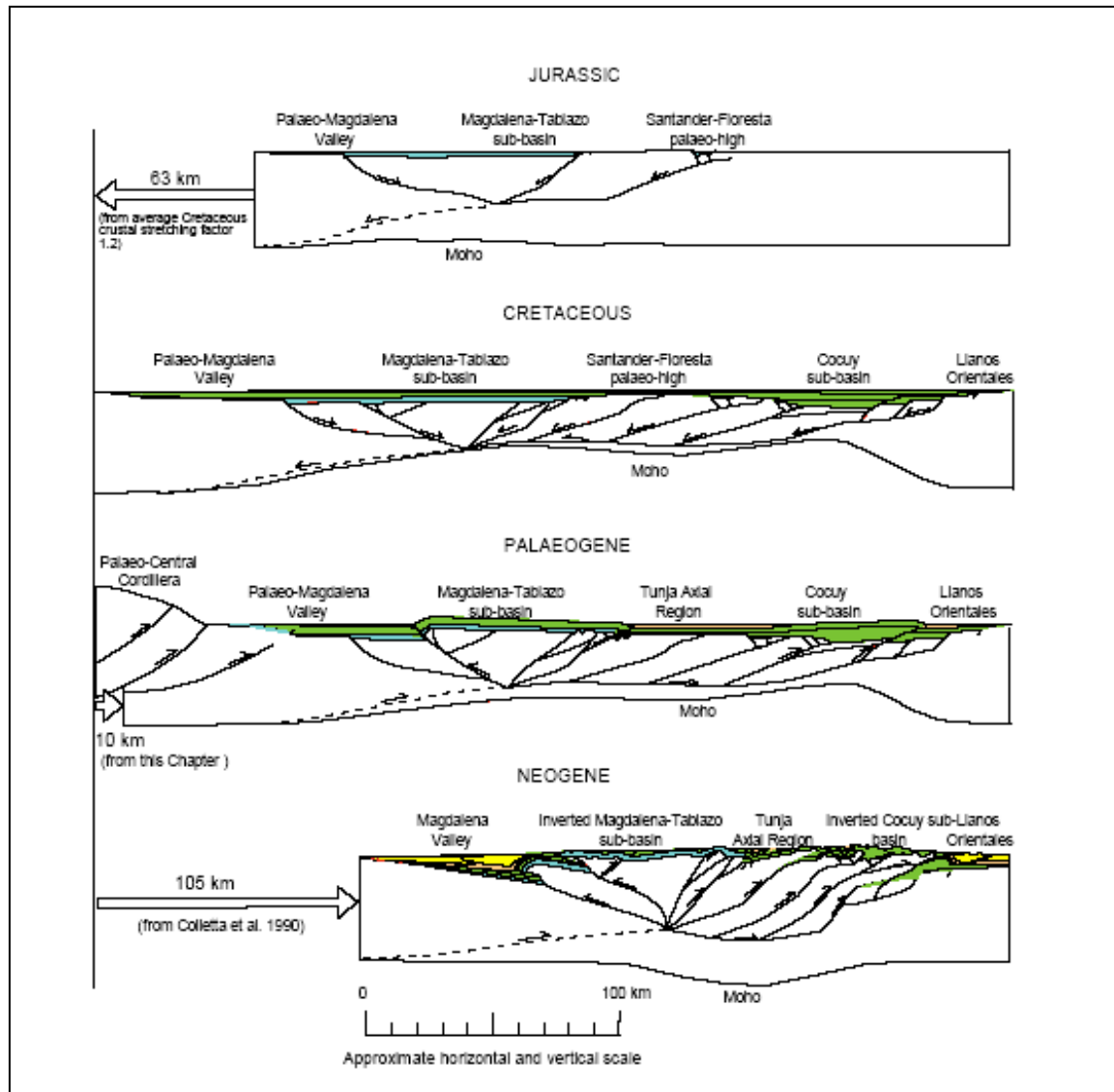


Figura 3 La imagen muestra la evolución tectónica sugerida para la cordillera oriental desde el Mesozoico, indicando la incipiente inversión de las cuencas del Mesozoico durante el Paleozoico. Tomado de Sarmiento, 2001.

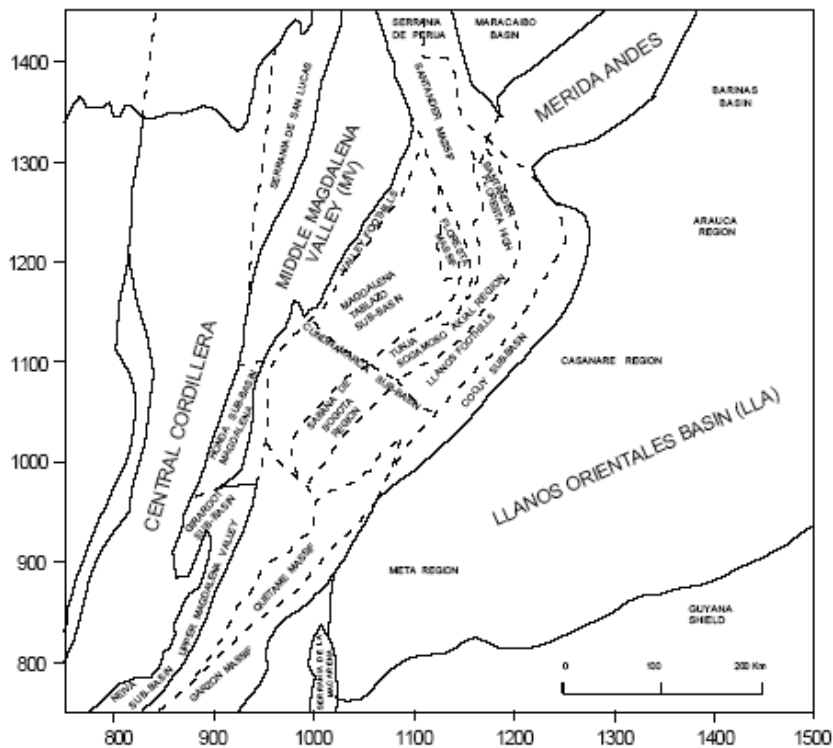


Figura 4. Cuencas extensionales desarrolladas durante el Mesozoico en el área de la Cordillera Oriental. Tomado de Sarmiento, 2001.

Eoceno Medio: deformación que produce fallas y cabalgamientos en el Valle Medio del Magdalena. Estas fallas son truncadas y cubiertas inconfortablemente por clásticos del Eoceno superior. Esta deformación puede estar relacionada con el incremento en la tasa de convergencia entre los 49 y 42 m.a.

Oligoceno tardío-Mioceno temprano: hay cambios en los movimientos de las placas tectónicas, esto no causó deformación en la Cordillera Oriental o Los Llanos. La deformación de esta edad se encuentra en el Valle del Cauca y en el Valle del Magdalena donde la reactivación de la estructura del Eoceno medio crearon una inconformidad en el Oligoceno superior.

Mioceno medio: colisión del terreno Chocó con el margen noroeste de Suramérica, lo cual probablemente contribuyó a iniciar la deformación de la Cordillera Oriental.

Mioceno tardío-Plioceno: la mayor deformación de la Cordillera Oriental y el piedemonte llanero comenzó hace aproximadamente 10.5 m.a. y resultó de la colisión de Panamá; durante esta fase de deformación la cordillera fue levantada y erodada; antiguas fallas extensionales fueron invertidas y nuevas estructuras compresionales se desarrollaron en el flanco oeste de La Cordillera Oriental y en el Valle del Magdalena; pliegues del Eoceno medio se reactivaron.

4.1 MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

La evolución Mesozoica y Cenozoica del Valle Medio del Magdalena, Cordillera Oriental y la cuenca de los llanos esta atada a la tectónica del margen occidental de Suramérica. Análisis estratigráficos convencionales de la cuenca se han basado en correlaciones lito-estratigráficas con control bioestratigráfico limitado. La sucesión sedimentaria esta dividida en 5 megasecuencias, Cooper (1995), cada una relacionada con un periodo discreto de deformación.

4.1.1 La Megasecuencia Sinrift del Triásico-Barremiano.

Fue dominada por sedimentos clásticos continentales hasta la transgresión que estableció condiciones marinas. La megasecuencia sinrift incluye dos secuencias Cretácicas que aumentan en espesor dramáticamente hacia los bloques yacentes de las principales fallas que controlan la cuenca. Sedimentos clásticos marinos fueron estancados en la cuenca del Cocuy por el alto intracuenca de Santander. La cuenca oeste Tablazo –Magdalena fue dominada por lodolitas con menor depositación de abanicos submarinos.

4.1.2 La Megasecuencia Cretácea tras-arco.

Fue depositada en una cuenca detrás de la zona de subducción andina. En el Cretácico marino una transgresión marina estableció una plataforma silisiclástica marina somera, sobre un área amplia, incluyendo el alto intracuenca de

Santander. El levantamiento relativo continuado del nivel del mar, combinado con un upwelling anóxico, resultó en la depositación de una sucesión de lodolitas marinas, cherts y fosfatos, que son prolíficas rocas fuentes en los llanos y el Valle Medio del Magdalena. La secuencia suprayacente del Santoniano-Maastrichtiano temprano, comprende una serie de cuarzo arenitas de alta energía derivadas del escudo de Guyana. Las secuencias están ampliamente distribuidas, comprendiendo una serie de ciclos mayores de progradación, agradación y retrogradación de la línea de costa. Las areniscas son las unidades reservorio más antiguas en la cuenca de los llanos y el piedemonte.

4.1.3 La Acresión de la Cordillera Occidental a finales del Cretácico:

Resultó en un cambio en la depositación marina a no marina (el límite K90/T10) y el desarrollo de la cuenca pre-Andina de foreland. La cuenca pre-Andina de foreland está dividida en dos megasecuencias por la deformación del Eoceno medio en el valle del Magdalena, un resultado de cambios de la dirección y tasas de subducción.

Durante el Maastrichtiano Tardío- Paleoceno Temprano, planicies costeras paralicas y arcillolitas de planicie costera con capas de carbón de la formación Guaduas fueron depositadas (Laverde, 1979; Fabre, 1985a; Sarmiento, 1992, 1993). El límite inferior de la formación Guaduas ([Figura. 5](#)), fue definido por una superficie de inundación generalizada (Sarmiento, 1993), el ascenso de una regresión general y el cambio de ambientes marinos costeros a planicies aluviales son registrados. Las facies hacia el norte son más marinas (Catatumbo Fm, Fabre, 1985a; Sarmiento, 1993). Sarmiento (1993) reconoció cuatro pequeñas secuencias dentro de la Formación Guaduas. Cada secuencia con una superficie de inundación marina y cambia de ambiente marino costero a planicie aluvial. Basado en los cambios de espesor Sarmiento (1993) sugiere que fallas controlan la sedimentación, con la mayoría de los bloques hundidos localizados en el flanco occidental de la Cordillera. La Formación Guaduas es limitada en el tope por una

inconformidad (Sarmiento, 1993), la cual es interpretada como una truncación en el incremento erosional hacia el este.

En la cordillera oriental la Formación Guaduas es conformable sobre el grupo Guadalupe o sus unidades equivalentes. Sin embargo, Guillande (1988) reporta que localmente en el Valle superior del Magdalena la formación Guaduas yace inconformablemente sobre rocas más antiguas del Jurásico a Cretácico Superior, sugiriendo un evento de deformación en el Cretácico Tardío en esta área. El ciclo finaliza con una inconformidad local debido a una leve exhumación de algunas áreas, probablemente relacionada a la deformación inicial de la pila sedimentaria. La sutil exhumación y erosión es resultado de la inversión inicial de las fallas normales a los bordes de la cuenca durante el Paleoceno Temprano (Fajardo-Peña, 1998). Evidencia de esta deformación es la inconformidad al tope de la formación Guaduas.

Durante el Paleoceno Tardío en la región de los llanos orientales y la Cordillera Oriental la sedimentación empezó después del periodo de erosión (Sarmiento, 1993). Cambios abruptos en el grosor de la Formación Guaduas sugieren el movimiento de algunas fallas durante el tiempo representado por la inconformidad (Céspedes y Peña, 1995).

4.1.4 En la Cuenca de los llanos, las Megasecuencias pre-Andinas de Foreland.

Contienen arenas fluviales maduras ricas en cuarzo derivadas del escudo de Guyana (Formación Mirador). En contraste en el valle medio del Magdalena, arenas fluviales líticas y feldespáticas derivadas de la Cordillera Central, son dominantes. En la cuenca de los llanos y la Cordillera Oriental, el suministro de sedimento fue del este.

En el Mioceno medio, un levantamiento global en el nivel del mar, coincidió con la primera deformación significativa y levantamiento en la Cordillera Oriental. que dió

inicio a la megasecuencia de la cuenca andina de foreland. Las lodolitas marinas cubrieron más hacia el este el escudo de la Guyana. El aumento del contenido de arena hacia el oeste, documenta la emergencia parcial inicial de la Cordillera Oriental y el resultante aislamiento de los llanos y el valle medio del Magdalena. El episodio es la depositación de una secuencia clástica continental de grano grueso y de gran espesor derivada de la Cordillera Oriental durante la deformación y levantamiento que provocó que la roca fuente generara hidrocarburo. La deformación Andina dentro de la Cordillera Oriental está dominada por la inversión de fallas extensionales del pre-Cretácico, resultando pliegues mayores con longitudes de onda de 10km, que se desarrollaron sobre fallas planas profundas de despegue. Pliegues de corta longitud de onda se desarrollaron solo donde las fallas profundas de despegue llegan dentro de la cobertura suprayacente.

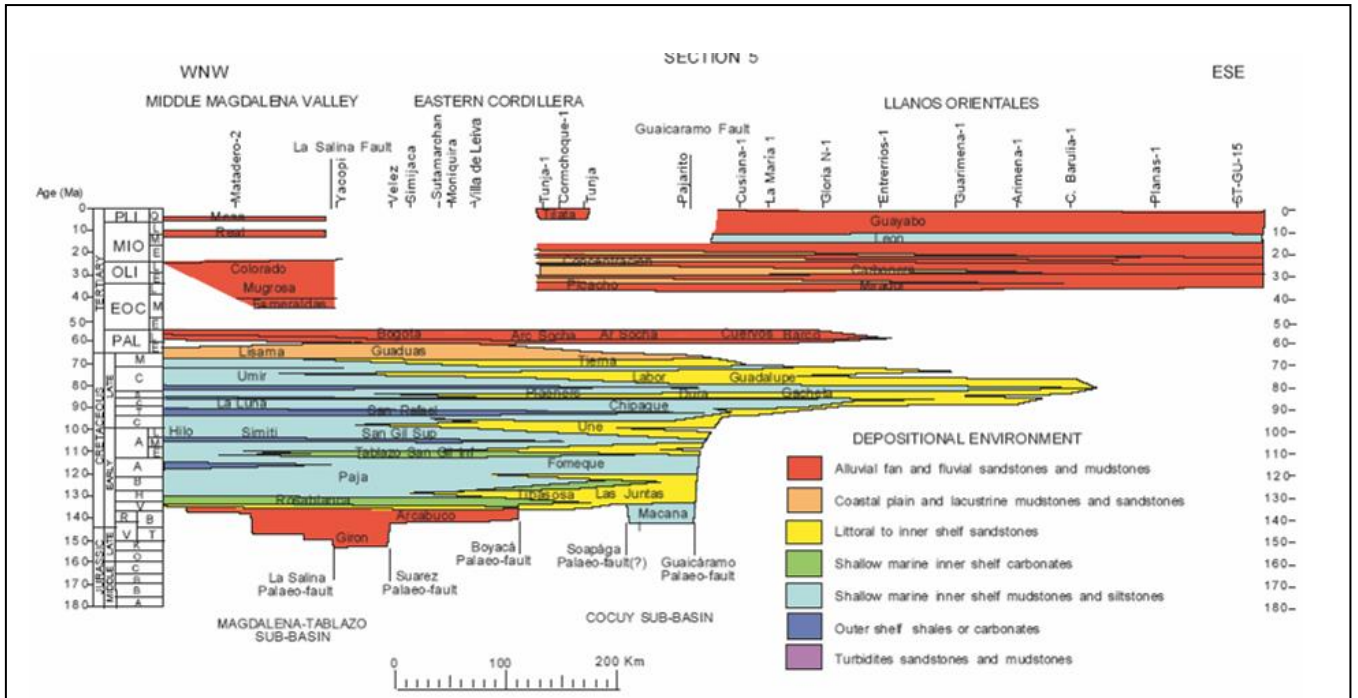


Figura 5. Sección estratigráfica del Cretácico y el Terciario. Tomado de Sarmiento, 2001.

5. MARCO GEOLOGICO LOCAL

5.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

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.

La cuenca de la sabana de Bogotá está caracterizada por cabalgamientos con rumbo NNE-SSW, cabalgamientos menores de vergencia oriental y fallas de transferencia de rumbo WE. Los sistemas de fallas de convergencia oriental, occidental y de transferencia que afectan el área tienen un gran control sobre las estructuras.

Los principales rasgos estructurales del área son los siguientes [\(Figura 6\)](#):

Amplios sinclinales de tectónica relativamente sencilla, con su núcleo ocupado por el terciario y entre ellos áreas cretácicas de tectónica mucho más apretada, entre los que se destacan el sinclinal Checua-Lenguazaque, sinclinal de Río Frío, sinclinal de Neusa sinclinal de Carupa y el sinclinal de Teusaca-Suesca. En general, en casi todos los sinclinales, el flanco oriental es abrupto mientras que el occidental es suave.

Sinclinal Checua – Lenguazaque. Presenta una estructura asimétrica de rumbo SW – NE cuyo flanco occidental presenta buzamientos entre 20° y 65° y cuyo flanco oriental tiene inclinaciones mayores y frecuentes inversiones.

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

Anticlinales estrechos, alargados y tectónicamente complejos como el anticlinal de Zipaquirá, Anticlinal de Nemocón-Tibita, anticlinal de Tausa , anticlinal de Carupa y el Anticlinal de Suesca.

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.

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°.

Fallas longitudinales que corresponden principalmente a esfuerzos compresivos, originando por lo general, cabalgamientos que afectan principalmente a los flancos occidentales de los anticlinales y orientales de los sinclinales. Entre las principales fallas se pueden destacar la falla de Cucunubá, falla de Nemocón falla de Carupa, la falla de Monte de Osos y la falla de Aposentos.

Además, se presentan fallas transversales que dislocan las estructuras en diferentes bloques. Entre las principales estructuras cabe mencionar la falla de Pajarito, la falla de Peñas, la falla de Ojo de Agua, la falla de Tasajeras la falla de Chuscal, la falla el Principito, la falla la Vieja, etc.

Dentro de las principales fallas de vergencia oriental se encuentran las fallas de Chocontá, Teatinos y El Boquerón.

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.

5.2 ESTRATIGRAFÍA

A continuación se describen las unidades estratigráficas pertenecientes a la cuenca de la Sabana de Bogotá de la más antigua a la más reciente con base en la columna estratigráfica generalizada (Figura 7).

EDAD			EPOCA	ESRI- 1994 Sabana de Bogotá	ESPESOR (mts)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
AÑOS	ERA	PERIODO							
1,8	CENOZOICO	TERCIARIO	CUATERNARIO						
5,3			NEOGENO	MIOCENO	PLIOCENO	1	TILATA	100	Capas de arenas, arcillas blancas Arenas aluviales y gravas. Guijarros redondeados, arenas de grano medio a grueso.
					Tardío				
					Medio				
23,8			PALEOGENO	OLIGOCENO	Tard				
					Temp.	USME	1550	Arcillas intercaladas con areniscas de grano medio con estratificación cruzada. Shales con areniscas conglomeráticas con contenido de Feoolítico	
33,7			PALEOGENO	EOCENO	Tard.	REGADERA	105	Areniscas blancas conglomeráticas Areniscas amarillentas de grano me con shales amarillentos.	
					Med		800	Shales gris y amarillo intercalados con areniscas grises oscuras.	
					Temp.	BOGOTÁ		Areniscas blancas con laminación cruzada, conglomerados hacia la base.	
57,9			PALEOGENO	PALEOGENO	Tard	CACHO		Arcillolitas grises con mantos de carbón y areniscas. Arcillolitas grises y varicoloreadas intercaladas con areniscas conglomeráticas.	
60,9					Temp.		1000		
65,9						GUADUAS			
71,3			MESOZOICO	CRETACEO	TARDIO	Maastrichtiano			
87						Campaniano	GUADALUPE	875	Cuarzoarenitas blancas fisiles. Limolitas silíceas blancas y chert. Limolitas silíceas en capas finas con Chert gris y rosado.
						Santoniano			
	Coniaciano								
96	Turoniano	CHIPAQUE				1075	Cuarzoarenitas finas, grises con shales negros, laminación ondulosa, localmente caliza lumaquética. Limolitas silíceas negras, chert y fosfatos. Shales negros en capas medias, areniscas glauconíticas verdes.		
98,9	Cenomaniano								
112,2	TEMPRANO	Albiano			LINE	600	Cuarzoarenitas de grano fino a medio, blancas con estratificación cruzada, intercaladas con arcillolitas carbonosas. Cuarzoarenitas grises micáceas con shales negros.		
		Aptiano			FOMEQUE	500			
		Barremiano							
132	Hauteriviense						ntercalación de limolitas y arcillolitas de colores verdes y morados. Areniscas de color gris oscuro, localmente calcáreas con calizas y margas.		
142	PRE-CRETACEO	Valanginiano	GRUPO CAQUEZA	2700					
		Berriasiano							
					5000				

Figura 7. Columna generalizada para la Sabana de Bogotá. Modificada de ESRI, 1994; Ulloa y Rodríguez, 1991.

5.2.1 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: 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. Su espesor varía entre 80 y 350 m.

Lutitas de Macanal: Está 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: Consta de areniscas de grano fino que varía 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. Espesor 400m.

5.2.2 Formación Fόμεque

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).

5.2.3 Formación 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). Su edad varía de Albiano Superior Cenomaniano. Espesor: 500 m en cercanías de Une y 850 m cerca de Villavicencio.

5.2.4 Formación 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: es marino, de aguas poco profundas y circulación restringida. Espesor es de 1075 m.

5.2.5 Grupo Guadalupe

Esta unidad se destaca por un prominente escarpe que se resalta a lo largo de la topografía la cual se divide en tres formaciones: Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna. (GUERRERO Y SARMIENTO 1996). Espesor 875 m.

Arenisca Dura: 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 *thalasinoïdes* hacia la base de las capas principalmente. Hacia el Euroeste la unidad varía a facies más arcillosas.

Plaeners: Está constituida predominantemente por lodolita, arenita de grano muy fino, fino, medio y limolita. 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 Campaniano superior a Maastrichtiano inferior (FOLMI et al, 1992; PEREZ Y SALAZAR, 1978). Su espesor varía entre 50 y 105 m.

Labor Y Tierna: 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.

5.2.6 Formación Guaduas

La zona trabajada durante la fase de campo, es la formación Guaduas de gran importancia económica debido a los carbones coquizables que la conforman; varios autores han referenciado esta formación haciendo las siguientes caracterizaciones:

El primero en definir la Formación Guaduas fue HETTNER (1982), quien denominó Guaduas (Guaduasschichten; Stufe der Guaduasschichten) a todos los materiales que en la región de Bogotá se encuentran por encima de la Formación Guadalupe (Guadalupeschichten de HETTNER).

Más tarde la Formación es redefinida por Sarmiento (1994) donde Guaduas está limitada en su parte inferior por la Formación Guadalupe en contacto neto, y en la parte superior por la Arenisca Cacho en contacto erosivo. El la cual se diferenciaron nueve segmentos teniendo en cuenta características morfológicas.

Segmento 1: se caracteriza por una intercalación de lodolitas y arcillolitas en la parte inferior y lodolitas y areniscas de grano muy fino en la parte superior.

Segmento 2: esta constituido principalmente por areniscas de grano fino en su base y lodolitas asociadas a los primeros mantos de carbón explotables.

Segmento 3: este segmento predominantemente arenítico, se distingue fácilmente en el paisaje en el paisaje porque da lugar a una franja escarpada equivalente a la arenisca la guía descrita por (HUBACH, 1975).

Segmento 4: la característica más notable es la presencia de una gran cantidad de mantos que conforman el segundo sector productor de la región.

Segmento 5: conformado por lodolitas gris azulosas verdosas y rojizo. Los fenómenos erosivos tan acentuados en el área se dan principalmente en este segmento y es corriente encontrar profundas cárcavas

Segmento 6: comprende el tercer conjunto productor de carbón, con mantos explotables y sin embargo con respecto a las unidades inferiores, de menor espesor y con mayor cantidad de intercalaciones arcillosas.

Segmento 7: se encuentran dispersos niveles carbonosos y hacia la parte superior los últimos mantos de carbón de la formación que por su espesor no son explotables.

Segmento 8: conjunto arenítico mas destacado de la parte superior, no solo por su espesor sino por la expresión morfológica fácilmente diferenciable a lo largo de la topografía en todo el sector.

Segmento 9: corresponde al ultimo segmento de la formación, el cual esta constituido por arcillolitas de colores rojizos y azulosos intercalados con conjuntos de arenitas en menor proporción,

Según HETTNER (1982.), se le asigna una edad Maestrichtiano superior a Paleoceno inferior. Su espesor es de 1000 metros.

5.2.7 Formación Cacho

Forma parte de los flancos de los sinclinales de Guachetá y Albarracín; consta de 88 m de arenisca cuarzosa de grano grueso a conglomerático, de color rojizo-amarillento, en estratos de 1,5 a 3 m, con estratificación cruzada e intercalaciones de arcillolitas rojizas, ferruginosas. A su vez aflora en Cundinamarca donde forma unos escarpes relativamente fuertes que se destacan en el terreno. De acuerdo con lo expuesto por Van Der Hammen (1957) se le asigna una edad Paleoceno Inferior, con base en estudios palinológicos. Espesor 100 metros.

5.2.8 Formación Bogotá

Hubach, E. (1957) define esta Formación como un conjunto de areniscas y arcillas limitadas en su base por la arenisca El Cacho y en su techo por la base de la arenisca La Regadera. Aflora y forma los núcleos de los sinclinales de Guachetá y Albarracín, constituidos por arcillas abigarradas e intercalaciones lenticulares de areniscas arcillosas, de grano fino a medio, amarillentas, friables, con ocasionales cintas de carbón. Otro afloramiento se observa en la carretera Tunja-Arcabuco, compuesta por arenisca friable, arcillas violáceas, areniscas de grano medio a grueso, ferruginosa. Hoorn (1988), le asigna una edad del Paleoceno Tardío a Eoceno Temprano.

5.2.9 Formación La Regadera

Compuesta por areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, con intercalaciones de arcillolitas pardo claras. El contacto inferior es aparentemente concordante con la Formación Bogotá en el área, pero en algunos sectores de Cundinamarca reposa discordantemente sobre diferentes niveles de la Formación Bogotá. Hubach (1957) la considera de edad Eoceno.

Van Der Hammen (1957) la considera de edad Eoceno Superior de acuerdo con estudios palinológicos.

5.2.10 Formación Usme

Unidad propuesta por Hubach (1957) y posteriormente redefinida por Julivert (1963), en ella se distinguen dos partes, una basal predominantemente lodolítica con intercalaciones de arenitas finas y una parte superior, compuesta por arenitas cuarzosas de grano grueso y conglomerados de cuarzo.

El espesor estimado para la unidad es de 500m. La edad de la Formación Usme no ha sido establecida claramente, aunque podría corresponder al Oligoceno-Mioceno o ser solamente Mioceno (De Porta, 1974). La parte inferior presenta condiciones de depósito de plataforma interna, mientras que la superior, podría representar barras de arena, las cuales representarían la salida del mar y el retorno a ambientes continentales.

5.2.11 Formación Tilatá

Se presenta como un conjunto formado por capas de gravas, arcillas, arenas y esporádicos lignitos. Su espesor calculado en el área de Paipa es de 150 m. Esta formación yace discordantemente sobre todas las formaciones comprendidas entre la Bogotá y la Une (RENZONI y OSPINA, 1969).

Van Der Hammen (1957), considera que la mayor parte de la unidad es de edad Plioceno, aunque los horizontes superiores podrían ser de edad Pleistoceno. Hubach (1957), menciona para la base de la unidad floras tropicales, de nivel del mar, mientras que Van Der Hammen (1957), encontró en su parte media flora tropical, por lo cual se puede asumir, que el depósito es sincrónico con el levantamiento de los Andes.

6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL SINCLINAL CHECUA LENGUAZAQUE

Los pliegues presentes en el sinclinal Checua- Lenguazaque fueron causados por la orogenia en el Paleógeno que causó el plegamiento y levantamiento de la Cordillera Oriental. Los ejes en general cabecean a ambos extremos del pliegue principal sin que hayan sido afectados por fallas longitudinales de gran desplazamiento. Se presentan algunas fallas de menor desplazamiento, longitudinales y transversales que localmente pueden complicar la estructura general ([Figura 8](#)).

Geológicamente, el área carbonífera está conformada por el Sinclinal Checua - Lenguazaque, el cual continúa en el departamento de Boyacá donde presenta su cierre estructural; dentro de esta estructura se encuentran los mantos de carbón de interés económico.

Teniendo en cuenta la principal estructura geológica del área y la continuidad de los niveles carboníferos de la Formación Guaduas en ambos flancos de la misma, se ha considerado dividirla en dos sectores en el departamento de Cundinamarca, el primero correspondiente al flanco occidental de la estructura y el segundo al flanco oriental, los cuales, respectivamente se han denominado Sector Cogua-Sutatausa- Guachetá y Sector Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón (Ingeominas, 2004).

El sinclinal de Checua – Lenguazaque (ver foto 1) es una estructura asimétrica, que presenta una dirección general de N 40° E, el cual se extiende por más de 60 kilómetros, y se desarrolla desde el borde norte de la Sabana de Bogotá hasta el valle de Samacá donde pierde la continuidad por acción de las fallas. Su flanco oriental se encuentra más inclinado que el occidental. En el flanco occidental los

estratos se encuentran siguiendo un rumbo general N40 E con buzamientos que van desde 20° en la parte sur, hasta 70° al norte del sector. Los buzamientos de los estratos del flanco oriental son más fuertes llegando hasta 85°, siendo frecuentes las inversiones, todas estas características nos llevan a concluir que el sinclinal Chequa-Lenguazaque es asimétrico hacia el este. Por presentar una tectónica más complicada y buzamientos cercanos a la vertical en 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.

Estructuralmente el área de trabajo sobre la Formación Guaduas está ubicada en el sector Cogua-Sutatausa-Guachetá correspondiente al sector occidental del sinclinal Checua-Lenguazaque, y ocupa una extensión aproximada de 500 Km², dentro de la cual se encuentran las localidades de Ubaté, Guachetá, Tausa, Sutatausa y Lenguazaque.

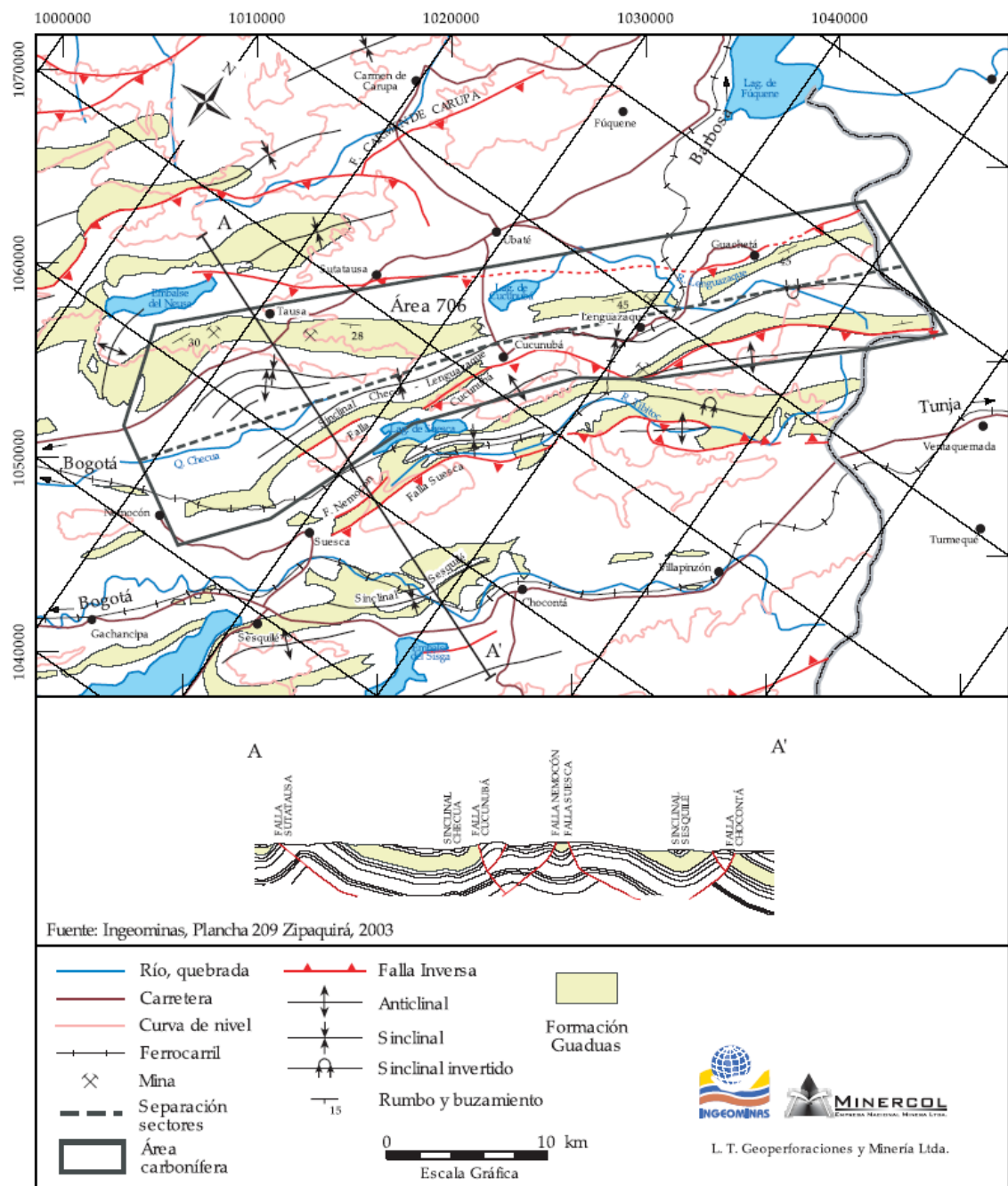


Figura 8. Mapa geológico del Área Carbonífera Checua – Lenguazaque (Modificado de Acosta & Ulloa, 1997)



Foto 1. La fotografía muestra el eje del Sinclinal Checua Lenguazaque cuya dirección es NE-SW Tomada sobre el tope de la Formación Cacho en cercanías al Municipio de Cucunubá.

7. RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTRATIGRAFICO

7.1 DESCRIPCION DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

7.1.1 Sección Triunfo

La sección se levantó cerca al punto conocido como San Francisco con coordenadas X=1.025.845, Y=1.068.240, sobre la Quebrada la Chorrera y finalizó en el sitio con coordenadas X= 1,026,832, Y= 1,066,577. (Ver columna estratigráfica Figura 9 y a escala 1:1000 en el Anexo 9). La siguiente descripción se realizó de base a tope en la Formación Guaduas con las siguientes características:

En los primeros 20 metros se observan lodolitas grises claras con laminación planoparalela y lentes de areniscas cuarzosas bien cementadas las cuales presentan laminación interna inclinada, intercaladas con delgados niveles de 15 cm de espesor aproximadamente de arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino, de color blanca, bien cementada, con laminación ondulosa y nódulos ferruginosos al tope (siderita). En este segmento predominan las capas de lodolitas, encontrándose en contacto onduloso con los niveles arenosos.

Los siguientes 24 metros continúan con paquetes más gruesos de lodolitas físciles grises con laminación planoparalela y alto contenido de materia orgánica, las cuales se encuentran en contacto neto con los primeros mantos de carbón como Manto 1 de 60 cm, Manto 2 de 1 m, Manto 3 de 1.60 m y Manto 4 de 35 cm de los cuales solo los tres primeros son económicamente explotables. Las lodolitas que subyacen los mantos de carbón presentan restos de tallos, raíces y lentes de

carbón y se encuentran intercaladas con delgados niveles de areniscas de grano muy fino, bien cementadas y con presencia de nódulos de siderita.

A partir de los 50 metros hasta los 83 metros se observa una secuencia granocreciente de areniscas cuarzosas de grano muy fino a areniscas cuarzosas de grano medio pasando por areniscas cuarzosas de grano fino, encontrándose en las primeras laminación planoparalela inclinada y, por el contrario las otras son blancas, tabulares, bien seleccionadas con laminación ondulosa. Intercaladas con delgados niveles de areniscas con laminación flaser. Los contactos son gradacionales. Los niveles de areniscas se encuentran intercalados con potentes niveles de lodolitas grises con laminación lenticular

Hacia el tope de esta secuencia desde los 83 metros hasta los 89 metros se observa un potente nivel de arenisca cuarzosa de grano fino blanca, tabular (ver estructura tabular en la Foto 2), con laminación planoparalela a inclinada, bien seleccionada y cementada. Esta arena es sobresaliente por su fuerte topografía (Foto 3), ya que presenta un espesor de 6 m y una extensión lateral que supera las centenas de metros. Esta arenisca es denominada según (HUBACH, 1975) como "Arenisca La Guía" Esta arenisca se encuentra en contacto neto con la capa infrayacente y suprayacente.

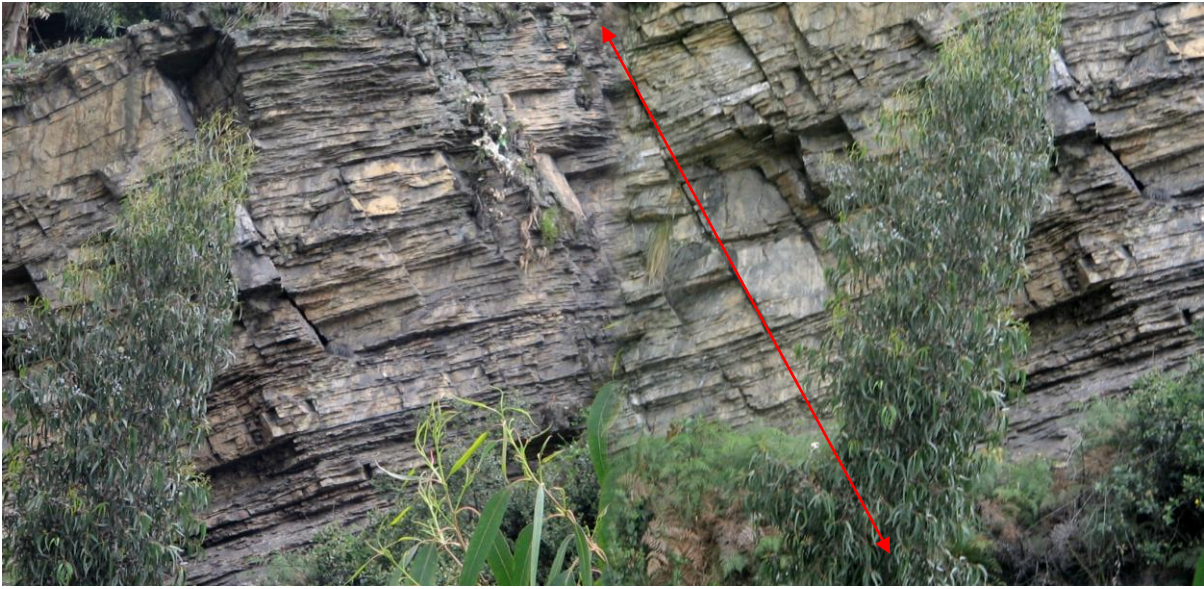


Foto 2. Afloramiento del paquete potente conocido como la Arenisca La Guía mostrando su geometría tabular, cuyo espesor es aproximadamente de 6 metros indicado por la flecha. La fotografía fue tomada cerca al sitio conocido como el Cuarón.



Foto 3. Panorámica de la Arenisca la Guía en la sección del Triunfo. La primera pendiente que sobresale de izquierda a derecha, es el tope de la Formación Guadalupe y la segunda corresponde a la Arenisca la Guía.

A partir de los 99 metros hasta los 200 metros se encuentran los mantos medios de carbón tales como Manto 5 de 1.70 m, Manto 7 de 1.50 m, Manto 11 de 2 m y Manto 12 de 1.20 m los cuales son económicamente explotables por su gran espesor y continuidad lateral, (Ver nomenclatura de los mantos de carbón en la tabla 2). Así como también una serie de mantos y cintas de carbón de menor espesor, algunos de los cuales no son explotados (Foto 4). Estos mantos se encuentran intercalados con potentes niveles de lodolitas fósiles de color gris oscuro con laminación ondulosa y laminación lenticular, bandeamiento claro–oscuro y lodolitas fósiles carbonosas las cuales presentan moldes de hojas de gran tamaño (20 cm de largo aproximadamente), tallos y raíces y laminación planoparalela, asociadas generalmente a mantos y cintas de carbón en contacto neto. Las lodolitas grises se encuentran intercaladas con delgados niveles de areniscas de grano muy fino a fino cuyos espesores varían entre 20 y 30 cm aproximadamente, presentando laminación ondulosa y nódulos de siderita al tope.



Foto 4. Mantos delgados y continuos, en medio de potentes niveles de lodolitas fósiles carbonosas y delgados niveles de arena. La escala de referencia es de 1 metro. Afloramiento ubicado sobre el margen izquierdo de la Quebrada Honduras.

Siguiendo este nivel y hasta los 238 metros, se observa una secuencia granocreciente de areniscas cuarzosas de grano muy fino a areniscas cuarzosas de grano grueso. Las primeras son blancas, moderadamente cementadas, presentando granos subredondeados a redondeados intercaladas con lodolitas grises con laminación lenticular. Las areniscas cuarzosas de grano grueso son blancas a amarillas, moderadamente cementadas, moderada a mal seleccionadas con estratificación interna inclinada y ondulitas al tope formando una serie de canales intercaladas con delgadas capas de lodolitas con laminación ondulosa.

Desde los 238 metros hasta los 300 metros la secuencia se hace grano decreciente pasando de arenas de grano grueso a areniscas de grano fino con características composicionales muy similares a la anterior solo que estos son más delgados, continuos y con presencia de bivalvos disueltos en el tope de las areniscas de grano fino. Hacia el tope de esta secuencia los niveles lodosos predominan presentando laminación ondulosa. Los contactos son erosivos.

Desde los 300 hasta los 320 metros se observan canales de areniscas de grano muy fino, cuyos espesores varían entre 8 a 20 cm, amarillas, laminación inclinada, con presencia de nódulos de siderita, conchas de bivalvos disueltos y ondulitas al tope, intercalados con delgados niveles de lodolitas con laminación ondulosa.

Entre los 342 y los 404 metros se encuentran una serie de mantos y cintas de carbón correspondientes a los mantos superiores tales como Manto 17, Manto 18 de 1 m y Manto 19 de 1.40 metros de espesor el cual se encuentra intercalado por lodolitas fósiles carbonosas. (Ver nomenclatura de los mantos de carbón en la tabla 2). En este intervalo se observan potentes niveles de lodolitas grises con laminación lenticular y laminación ondulosa intercaladas con delgados niveles de areniscas de grano muy fino con laminación flaser y abundantes nódulos de siderita. Al tope de este intervalo encontramos una serie de cintas de carbón y lodolitas fósiles carbonosas intercalado con delgados niveles de arenisca de grano muy fino con nódulos de siderita.

A partir de los 433 metros se encuentra un canal de 6 metros de espesor y 18 metros de largo aproximadamente (Foto 5). Este canal corresponde a una arenisca cuarzosa de grano grueso, mal seleccionada, con un alto contenido de matriz, moderadamente cementada, con laminación planoparalela (Foto 6) el cual se encuentra en contacto erosivo con las lodolitas que lo suprayacen.



Foto 5. Canal de arena de grano grueso de 6 metros de espesor y 18 metros de largo. Ubicado sobre la carretera destapada que conduce al Mortiño.



Foto 6. Se observa la laminación planoparalela en el canal. Ubicado sobre la carretera destapada que conduce al Mortiño.

Desde los 436 metros hasta los 540 metros hay un predominio de arcillolitas abigarradas variando desde rojas, blancas, grises azuladas y amarillas con lodolitas rojizas y marrones, con laminación ondulosa y laminación lenticular intercaladas por una secuencia granodecreciente de delgados niveles de areniscas de grano medio, bien seleccionadas con laminación ondulosa y nódulos ferruginosos al tope, a areniscas de grano muy fino blancas, color de alteración rojizo moderadamente seleccionadas. Los contactos entre las arenas y las lodolitas es onduloso.

Desde los 540 hasta los 589 metros se encuentran una serie de mantos delgados y cintas de carbón no explotables en medio de lodolitas físis carbonosas con abundantes restos vegetales con laminación ondulosa paralela.

Continuando esta secuencia y hasta los 635 metros, se presentan unos canales de arenisca cuarzosa de grano muy fino con laminación ondulosa los cuales disminuyen de espesor y se hacen menos compactas y más limpias hacia el tope,

intercalado con delgados niveles de lodolitas bandeadas claro oscuro y laminación ondulosa. Los contactos son gradacionales.

Entre los 635 y los 707 metros se tiene una intercalación de potentes niveles de lodolitas rojizas y limonitas con alto contenido de materia orgánica con arcillolitas blancas y delgados niveles de arenisca cuarzosa de grano muy fino con nódulos ferruginosos.

A partir de los 707 y hasta los 728 metros se presenta una serie de canales meandriformes de gran tamaño, los cuales tienen hasta 16 metros de largo y 2 metros de profundidad aproximadamente (Foto 7), con estructura masiva, de grano fino, no muy compactos con alto contenido de matriz, laminación ondulosa difusa y estratificación en artesa intercalados con delgadas capas de lodolitas rojizas, verdosas y arcillolitas blancas.



Foto 7. Potente canal meandriforme de 2 metros de espesor y 16 metros de longitud aproximadamente. Se encuentra en contacto erosivo con lodolitas rojizas. Ubicado cerca conocido como El Jardincito de la sección del Triunfo.

Entre los 728 y los 876 metros se observan lodolitas rojizas con presencia de lentes de carbón intercaladas con arcillolitas blancas, delgados niveles de areniscas de grano muy fino con nódulos de siderita y capas de carbón de color marrón las cuales van aumentando su espesor hacia el tope de la secuencia. En el metro 850 se encuentra un potente paquete de arenisca de grano muy fino, amarilla, muy alterada, cuyo espesor es de 2 metros aproximadamente, con

laminación ondulosa y laminación en artesa. En esta zona ya no se encuentran mantos ni cintas de carbón pero si algunas capas de lodolitas fósiles carbonosas con alto contenido de arcilla lo que le da un tono de color naranja al terreno.

De los 876 a los 893 metros se encuentra una secuencia granodecreciente de areniscas cuarzosas de grano medio, amarillas, moderadamente seleccionadas con alto contenido de matriz arcillosa a areniscas cuarzosas de grano muy fino, amarillas, moderadamente seleccionadas, con un alto contenido de matriz arcillosa y laminación plano paralela difusa. Los canales de arenas son muy cíclicos aunque no presentan grandes espesores y se encuentran intercalados con potentes niveles de lodolitas marrones y rojizas, con laminación planoparalela difusa, nódulos de siderita y bioturbación moderada.

Finalmente entre los 893 y los 943 metros se una secuencia granodecreciente de areniscas de grano medio a muy fino, amarillas a marrones, bastante alteradas, intercaladas de lodolitas rojizas y arcillolitas.

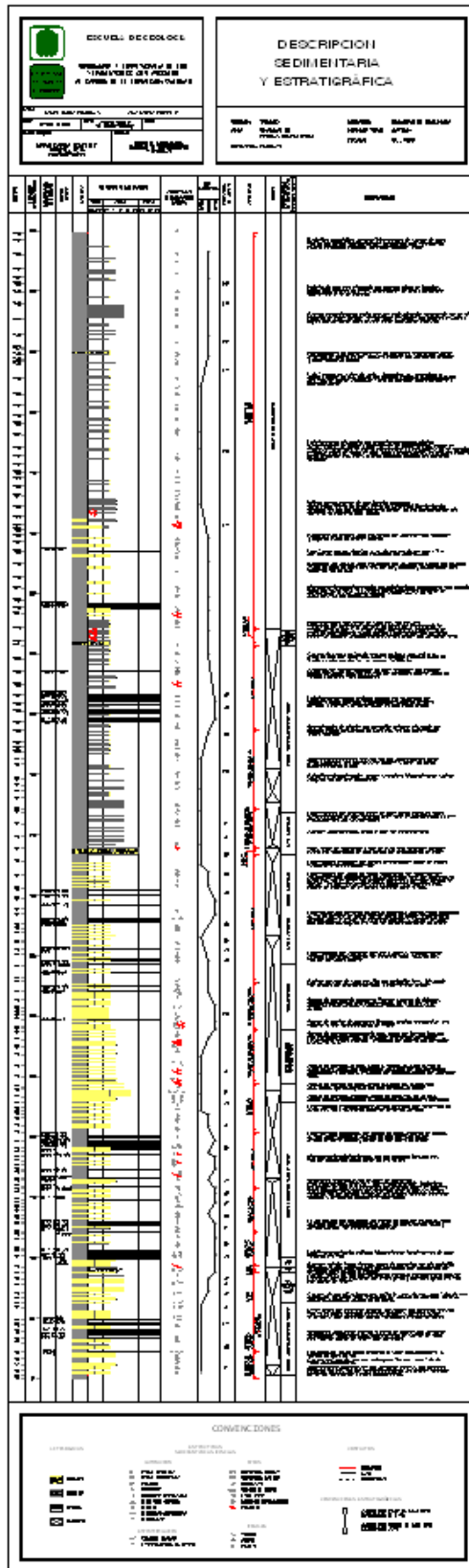


Figura 9. Columna estratigráfica, sección el Triunfo.

7.1.2 Sección Montecristo

El contacto inferior entre la formación Guaduas y el Grupo Guadalupe es neto y concordante, pero se encuentra cubierto en esta sección.

La sección estratigráfica se inició pasando la Quebrada Pueblo Viejo cerca al punto conocido como El Espino con coordenadas $X = 1.030.224$ $Y = 1.070.778$ y finalizó en la vereda Charalá en el sitio con coordenadas $X = 1.030.425$ $Y = 1.069.122$ (Ver columna estratigráfica Figura 10 y a escala 1:1000 en el Anexo 10).

La descripción se realiza de base a tope de la Formación Guaduas:

Los primeros 17 metros conforman un paquete de lodolitas grises claras intercaladas con areniscas cuarzosas de grano fino, blancas con laminación planoparalela, seguido de un nivel de lodolitas grises con laminación lenticular de lentes areno cuarzosos, con intercalación de areniscas de grano muy fino, rojas (Foto 8), cuyos espesores varían de 5 a 10 cm. Las areniscas le suprayacen a las lodolitas en contacto erosivo. Los siguientes 10 metros inicia con el primer manto de carbón denominado Manto 1 con un espesor de 40 cm, lo suprayace lodolitas de color gris oscuro con laminación ondulosa, laminación flaser y presencia de lentes de arena de color gris claro intercalados con areniscas cuarzosas de grano muy fino cuyos espesores varían de 5 a 10 cm, blancas, cuyo color de alteración es rojizo, se encuentran bien cementadas y hacia el tope hay presencia de ondulitas. Baja bioturbación. La base de las areniscas presentan contactos ondulosos con respecto a las lodolitas. En los siguientes 15 metros se encuentran areniscas cuarzosas de grano fino, blancas, color de alteración rojizo, bien seleccionadas, bien calibradas, granos subredondeados y laminación ondulosa difusa intercaladas con areniscas lodosas y lodolitas grises con laminación ondulosa difusa, moderada a alta bioturbación.



Foto 8. Lodolitas con lentes de arenisca cuarzosa intercaladas con areniscas de grano muy fino con presencia de nódulos ferruginosos.

A partir del metro 40 hasta los 44 metros se encuentra una secuencia granocreciente de canales aislados de areniscas de grano muy fino a fino, blancas, color de alteración amarillo y marrón, presentan baja bioturbación, granos redondeados, esféricos, bien seleccionados intercaladas con lodolitas grises con laminación ondulosa difusa, las cuales a su vez contienen el Manto 2 de 1 metro de espesor y es explotado por La Mina de Montecristo. Las areniscas le suprayacen en contacto erosivo a las lodolitas.

En el metro 48 le suprayace en contacto neto al canal de arenisca de grano muy fino unas areniscas cuarzosas tabulares de grano fino, blancas, color de alteración amarillo y gris, bien seleccionada, granos redondeados esféricos, bien calibrada y cementada. Presentando un espesor de de 2,06 metros, laminaciones

planoparalela e inclinada, intercalada con delgados niveles de lodolitas grises con laminación planoparalela. Esta arenisca es denominada según (HUBACH, 1975) como “Arenisca La Guía”

Desde el metro 50,6 hasta los 65 metros se encuentra un paquete de areniscas lodosas, de color blanco, color de alteración amarillo a naranja, cemento ferruginoso, granos subredondeados, buena selección, laminación ondulosa y laminación inclinada, nódulos de siderita y ondulitas al tope. Baja bioturbación, intercalados con lodolitas grises, lodolitas fósiles carbonosas y delgados niveles de arenisca de grano muy fino. Los contactos de las arenas son ondulosos en su base con respecto a las lodolitas. Se encuentra el Manto 3 (90 cm), la cinta 1 (15 cm) y el Manto 4 (70 cm) intercalados con capas de lodolitas fósiles carbonosas.

Desde el metro 77 hasta el metro 84, areniscas lodosas de color amarillo con laminación ondulosa difusa intercaladas con lodolitas grises con presencia de lentes de carbón y lodolitas fósiles carbonosas con presencia de moldes de hojas, icnofósiles (Foto 9) y tallos. Entre los niveles de las lodolitas fósiles carbonosas se encuentra en contacto neto el Manto 5 (70 cm) y cinco cintas de carbón (Foto 10) las cuales presentan un contacto erosivo con la capa suprayacente (Foto 11).



Foto 9. Icnofosil hallado en lodolitas grises, el cual se encuentra perpendicular a la estratificación de las capas Ubicado al margen derecho de la Quebrada Palacios.



Foto 10. Afloramiento del Manto de carbón 5 cuyo espesor es de 70 cm en contacto neto con lodolitas fósiles carbonosas.



Foto 11. Se marca el detalle del contacto erosivo entre cintas de carbón y lodolitas fósiles carbonosas.

A partir de los 84 metros hasta los 117 metros se inicia una secuencia granocreciente de canales de areniscas de grano fino, rojizas, bien seleccionadas, cemento ferruginoso, granos subredondeados, laminación ondulosa y nódulos de siderita al tope, seguido de canales de areniscas cuarzosas de grano medio, grises, color de alteración amarillo, bien seleccionados, bien cementados, granos subangulares, laminación ondulosa, flute cats, estratificación en artesa, nódulos de siderita, moldes de bivalvos disueltos y ondulitas al tope. Bioturbación baja. Los canales suprayacen en contacto onduloso a unas areniscas lodosas de color amarillo con laminación ondulosa difusa. Los canales van siendo mas grandes a medida que se asciende estratigráficamente cuyas dimensiones son de 9,38 a 12 metros y en su máximo anchor son de 70cm y 1 metro respectivamente.

Desde los 117 hasta los 121 metros hay presencia de areniscas de grano fino, blancas, bien seleccionadas, bien cementadas, granos subredondeados, laminación ondulosa, calcos de carga. Presentan baja bioturbación y estructura tabular. Intercalada con lodolitas arenosas con laminación flaser y flute cats en la

base. Las areniscas en su base presentan contactos ondulados con las lodolitas arenosas.

Entre los 121 metros hasta los 204 metros se encuentran los mantos medios de carbón (Foto 12) como el Manto 6 de 1 m de espesor, Manto 7 de 1,15 m, Manto 8 de 1,20 m, Manto 9 de 40 cm, el manto 10 de 1,70 m (Ver nomenclatura de mantos de carbón en la Tabla 2), los cuales son económicamente explotables por su gran espesor y continuidad lateral. Dentro de este intervalo también se encuentran una serie de mantos y cintas de carbón de menor espesor, algunos de los cuales no son explotados. En este intervalo se encuentran potentes niveles de lodolitas grises con laminación ondulosa intercalados con lodolitas físciles carbonosas con moldes de hojas y delgados niveles de arenisca de grano fino a muy fino cuyos espesores son de 5 a 10 cm, bien cementadas. Las lodolitas van siendo más rojizas al ascender estratigráficamente, con presencia de lentes y bandas de carbón con laminación ondulosa intercaladas con lodolitas físciles carbonosas con moldes de hojas y delgados niveles de areniscas cuarzosas de grano medio, bien seleccionadas, y granos subredondeados.



Foto 12. Panorámica de los mantos medios de carbón correspondientes al Mantos 6 de 1m, Manto 7 de 1,15 m, Manto 8 de 1,20 m, Manto 9 de 40 cm, presentes en la sección de Montecristo. La flecha indica un espesor de 72 metros.

Desde los 205 metros hasta los 228 metros se encuentran canales de areniscas de grano fino, amarillas, bien calibradas, bien seleccionadas, granos subangulares a subredondeados. Presencia de nódulos ferruginosos al tope, laminación ondulosa y baja bioturbación, intercalados con niveles de lodolitas grises azuladas. Los canales de areniscas le suprayacen en contactos ondulosos a las lodolitas.

A partir de los 228 metros hasta los 281 hay un predominio de lodolitas rojizas intercaladas con niveles de lodolitas físciles carbonosas cuyos espesores varían de 30 a 40 cm y delgados canales de areniscas de grano muy fino y fino, amarillas, bien seleccionadas, bien calibradas, con granos subredondeados, laminación ondulosa y nódulos ferruginosos al tope, cuyos espesores varían de 10 a 20 cm. Baja bioturbación. Las lodolitas le infrayacen en contacto onduloso a las areniscas. En este paquete se encuentran tres cintas de carbón cuyos espesores son de 5 cm, 10 cm, y 17cm respectivamente.

Entre los 292 metros hasta los 353 metros se encuentran una serie de mantos y cintas de carbón correspondientes a los mantos superiores tales como Manto 12 de 70 cm, Manto 13 de 70 cm y Manto 14 de 1,20 m (Ver nomenclatura de mantos de carbón en la tabla 2), este último se encuentra intercalado por varias capas de lodolitas físciles carbonosas. Dentro de este intervalo hay predominio de lodolitas rojizas a amarillentas, intercaladas con lodolitas físciles carbonosas y delgados niveles de areniscas de grano fino, seguido de areniscas de grano muy fino y fino, con laminación ondulosa, nódulos de siderita con baja bioturbación.

Desde los 353 metros hasta los 400 metros se encuentra un paquete granocreciente de canales de areniscas de grano muy fino a grano medio. Las areniscas de grano muy fino, presentan un color de alteración rojizo, moderadamente seleccionadas. Poco contenido de cemento. Granos subredondeados. Al tope presenta ondulitas y nódulos ferruginosos. Baja bioturbación. Las areniscas de grano medio, presentan colores de alteración amarillo a rojizo, bien seleccionadas, bien compactas, granos subredondeados, laminación ondulosa y nódulos ferruginosos al tope. Poca bioturbación. Los canales de areniscas se encuentran intercalados con potentes niveles de lodolitas marrones y rojizas las cuales presentan laminación planoparalela a inclinada y nódulos ferruginosos. En este paquete se encuentran esporádicos niveles de carbón marrón los cuales varían entre 10 y 20 cm.

A partir de los 400 hasta los 450 metros predominan las lodolitas grises y rojizas con laminación ondulosa y laminación lenticular, intercaladas con delgados niveles de carbón de color marrón cuyos espesores varían entre 10 y 20 cm alternantes con areniscas de grano muy fino y fino, con laminación ondulosa. Baja bioturbación y nódulos de siderita al tope.

Entre los 455 metros hasta los 500 metros, se encuentran las últimas cintas y mantos de carbón no explotables de esta formación presentando una secuencia granocreciente de areniscas de grano muy fino a areniscas de grano fino, las

cuales presentan un color de alteración rojizo, moderadamente calibradas, buena selección, laminación ondulosa difusa, baja bioturbación intercaladas con lodolitas marrones con lentes de carbón, delgados niveles de carbón marrón, lodolitas físciles carbonosas, cintas y mantos de carbón que varían entre 10 y 50cm de espesor. Se encuentran moldes de hojas y troncos en la base de algunos mantos de carbón. Los mantos de carbón infrayacen y suprayacen a niveles de lodolitas físciles carbonosas en contacto neto.

Desde los 503 metros hasta los 519 metros, tenemos una secuencia granodecreciente de areniscas de grano grueso a areniscas de grano fino. Las areniscas de grano grueso son de color naranja se encuentran muy alteradas, presentan un espesor de 10 cm aproximadamente intercaladas con lodolitas y delgados niveles de carbón marrón de 20 cm de espesor, bioturbación moderada. Las areniscas de grano fino, son amarillas a marrones, laminación ondulosa discontinua y estratificación en artesa, los espesores varían entre 15 y 20 cm, intercaladas con lodolitas. Baja Bioturbación. Seguido tenemos unas lodolitas que son suprayacidas en contacto onduloso con un potente nivel de 10,52 metros de areniscas cuarzosas de grano muy fino, amarillas, bien seleccionadas, granos subangulares, laminación ondulosa paralela continua y laminación inclinada, con poca porosidad, bioturbación nula.

A partir del metro 519 hasta los 600 metros se observan potentes niveles de areniscas lodosas y lodolitas marrones, bastante alteradas con nódulos ferruginosos intercaladas con delgados niveles de areniscas de grano muy fino y fino, amarillas, color de alteración marrón a rojizas. Bien seleccionada, bien cementada, cuyos espesores varían entre 5 y 20 cm, laminación planoparalela difusa.

En el metro 600 un potente nivel de 12,75 metros de arenisca cuarzosa de grano fino, amarilla, color de alteración marrón, bien seleccionada, bien calibrada, alto contenido de cemento, poca matriz, granos subredondeados, laminación

planoparalela, inclinada y estratificación en artesa. Poca Bioturbación. Le suprayace en contacto neto a unas lodolitas.

Desde los 613 metros hasta los 726 metros se encuentran potentes niveles de lodolitas marrones, verdosas y rojizas intercaladas con lodoareniscas de color marrón con laminación planoparalela. Se encuentran alternadas con delgados niveles de areniscas de grano fino y muy fino, cuyos espesores varían entre 15 y 20 cm. La roca no es muy compacta y presenta matriz arcillosa. Baja a moderada bioturbación. En el tope encontramos areniscas de grano muy fino, amarillentas, mal cementadas. Alta porosidad, bien seleccionadas. Granos subangulares a subredondeados. Baja bioturbación.

A partir de los 728 metros hasta los 753 metros encontramos areniscas de grano medio, amarillentas, moderadamente seleccionadas, alto contenido de matriz arcillosa y alta porosidad, intercaladas con lodolitas grises y marrones.

Desde los 754 metros hasta el tope de la Formación Guaduas en el metro 806 se encuentran potentes niveles de lodolitas marrones a rojizas y arcillolitas con franjas rojizas y grises, laminación planoparalela difusa intercaladas por niveles de areniscas de grano fino y muy fino, amarillentas, cuyo color de alteración es naranja, moderadamente seleccionadas, moderadamente compactas y bioturbación baja a media.

El contacto con las areniscas conglomeráticas de la Formación Cacho no pudo ser observado porque se encuentra cubierto por derrumbes de pendiente.

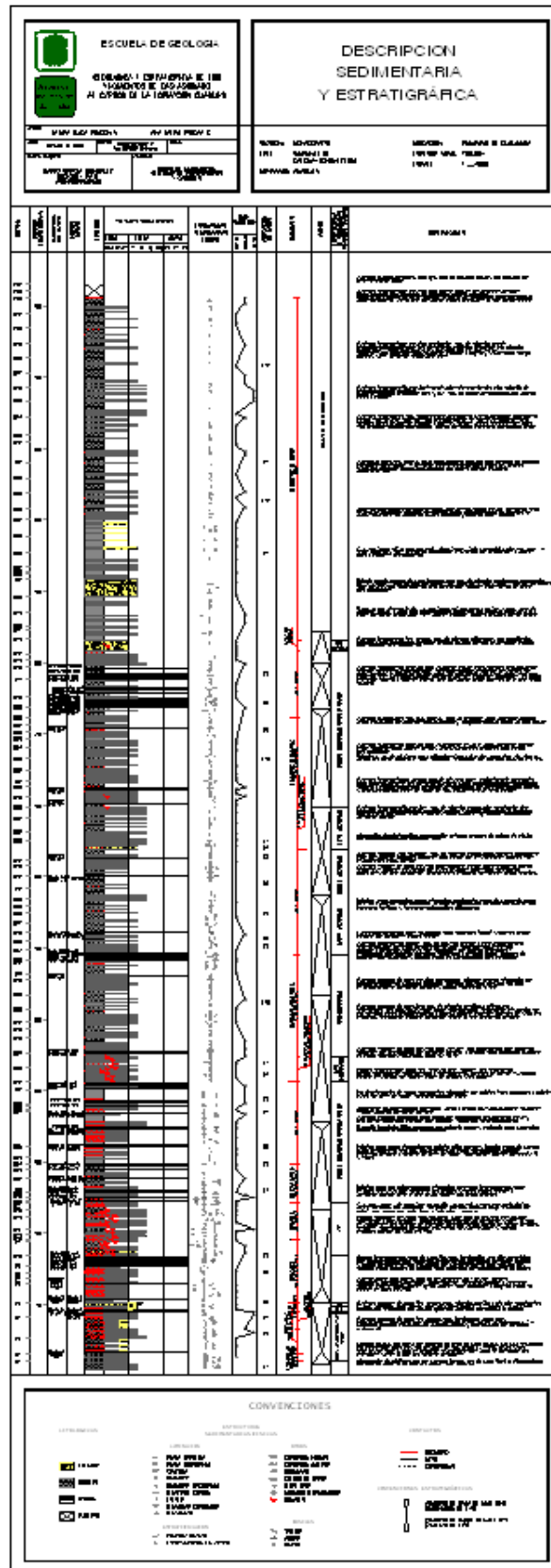


Figura 10. Columna estratigráfica, sección Montecristo.

7.1.3 Sección Lenguazaque

Esta sección se comenzó en la Mina la Cisquera, con coordenadas X= 1.034.194, Y=1.075.844, en la vereda Ramada Cucunubá cerca al contacto con la Formación Guadalupe y se terminó con coordenadas X= 1.034.438, Y=1.074.536. (Ver columna estratigráfica Figura 11 y a escala 1:1000 en el Anexo 11)

La siguiente secuencia se describió de base a techo la cual presenta las siguientes características de la Formación Guaduas.

En los primeros 10 metros se observan una intercalación de lodolitas grises con laminación ondulosa y lentes areno cuarzosos con delgados niveles de 10 a 15 cm de espesor de arenisca cuarzosa de grano muy fino, amarillas, laminación ondulosa, nódulos de siderita, ripples de oscilación.

A partir de los 20 y hasta los 54 metros en medio de lodolitas fisiles carbonosas, se encuentra el primer manto de carbón denominado Manto 1 de 90 cm, a los 12 m de este se encuentra el Manto 2 de 50 cm de espesor y a 20 cm de este el Manto 3 de 70 cm de los cuales son económicamente explotables (Ver nomenclatura de mantos de carbón en la tabla 2).

Entre lo 54 y los 83 metros se presenta una intercalación de delgados niveles de lodolitas grises con laminación lenticular, con areniscas cuarzosas, tabulares, blancas de grano fino y muy fino, bien seleccionada y calibrada con laminación inclinada y laminación flaser.

Seguido de un potente nivel de arenisca cuarzosa de grano fino, blanca, tabular, con laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo (se observa la laminación planoparalela en la Foto 13) bien seleccionada y cementada, con granos redondeados. Esta arena es sobresaliente por su fuerte topografía (Ver Foto 14) y presenta un espesor de 4 metros. Esta arenisca de estructura tabular es conocida

según (HUBACH, 1975) como “Arenisca La Guía” Presenta contacto neto en la base con lodolitas.



Foto 13. Laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo observada en la Arenisca Guía. Afloramiento ubicado en la sección Lenguazaque, en la Vereda Ramada Cucunubá en cercanías a la mina conocida como el Tesorito (Manto 3).



Foto 14. Panorámica de la Arenisca la Guía. Ubicada en la sección Lenguazaque, en la Vereda Ramada Cucunubá sobre la carretera que conduce a la mina conocida como el Tesorito (Manto 3).

De los 87 y hasta los 102 metros se presentan potentes niveles de lodolitas grises con delgados niveles de areniscas de grano muy fino, con nódulos de siderita al tope, intercalada con arcillolitas de color gris claro con laminación planoparalela. Baja bioturbación.

A partir de los 105 y hasta los 135 metros se observa una secuencia granodecreciente de areniscas cuarzosas de grano medio, fino a muy fino, moderadamente seleccionada a bien seleccionada, bien cementada, con baja bioturbación, y laminación ondulosa, intercalada con delgadas capas de lodolita gris clara con laminación lenticular. Los contactos son erosivos con las lodolitas.

Entre los 136 y los 177 metros se encuentran los mantos medios de carbón asociados a lodolitas fisiles carbonosas las cuales presentan lentes de carbón y restos vegetales. Estos mantos de carbón corresponden al Manto 4 de 35 cm, al Manto 5 de 30 cm, Manto 6 de 40 cm, Manto 7 de 1,20 m de espesor de los cuales solo el Manto 7 es económicamente explotable.(Ver nomenclatura de mantos de

de carbón en la Tabla 2) Intercalados con lodolitas con laminación lenticular y delgados niveles de arenisca cuarzosa con laminación ondulosa, alta bioturbación y nódulos de siderita al tope. Los niveles arenosos empiezan a predominar al tope de la secuencia.

Los siguientes 30 metros corresponden a una secuencia granocreciente de areniscas cuarzosas de grano muy fino a fino, blancas, bien seleccionada, con granos subangulares a subredondeados, laminación ondulosa difusa y ondulitas de corriente. Hacia el tope la secuencia se vuelve granodecreciente, encontrándose un manto de carbón de 40 cm el cual corresponde al Manto 8 y dos cintas de 8 y 7 cm respectivamente, intercalada con potentes capas de limonitas grises, con laminación lenticular y delgados niveles de areniscas de grano fino low de 2 cm de espesor aproximadamente.

A partir del metro 210 hasta el metro 220 se encuentran delgados niveles de areniscas lodosas con laminación flaser intercalados con potentes niveles de lodolitas grises

Entre los 223 y los 225 metros se encuentra una arenisca cuarzosa, de grano fino low, bien calibrada y cementada con laminación planoparalela, no presenta bioturbación. El contacto con la capa infrayacente es neto y ondulado al tope. Seguido y hasta los 348 metros se observa una serie de mantos y cintas de carbón correspondientes a los mantos superiores, tales como Manto 11 de 50 cm, Manto 12 de 60 cm, Manto 13 de 1.8 m y Manto 15 de 1.20 m, los cuales son económicamente explotables, observando también mantos y cintas de carbón de menor espesor correspondientes a los Mantos 10 y 14 de 30 cm y 60 cm de espesor y 5 cintas de carbón que varían entre 5 y 15 cm.(Ver nomenclatura de mantos de carbón en la Tabla 2). En medio de los mantos de carbón se observan intercalaciones de lodolitas gris clara con lodolitas fósiles carbonosas con moldes de hojas, tallos y restos vegetales y algunas capas de areniscas grises de grano

muy fino, bien cementadas y seleccionadas con alta bioturbación, las cuales se encuentran en contactos erosivos con las lodolitas.

Entre los 348 y los 376 metros se presenta una intercalación de potentes niveles de lodolitas rojizas con lentes de carbón y delgados niveles de areniscas cuarzosas de grano muy fino cuyos espesores varían de 5 a 10 cm, bien seleccionadas, bien calibradas, con nódulos de siderita y ripples de oscilación. En medio de las lodolitas se encuentra el Manto 16 cuyo espesor es de 40 cm y las cintas 11 y 12 de carbón de 3 y 5 cm no explotables respectivamente.

De los 376 hasta los 429 metros se observa una secuencia granodecreciente de arenisca de grano medio cuyos espesores varían de 3 a 5 cm a areniscas de grano fino a muy fino, bien calibradas, bien seleccionadas, con granos subredondeados, con laminación ondulosa difusa, nódulos de siderita, y esporádicos niveles de lodolitas físciles carbonosas en contacto onduloso. En medio de los niveles de areniscas se encuentran potentes niveles de lodolitas grises con laminación lenticular. Hacia el tope hay ausencia de nódulos de siderita.

Entre los 429 y los 485 metros se tiene unas intercalaciones de lodolitas grises claras, rojizas y amarillas con lodolitas físciles carbonosas y delgadas capas de arenisca cuarzosa de grano muy fino, con laminación ondulosa. Los niveles de lodolitas físciles carbonosas se hacen más gruesos hacia el tope encontrándose en medio de dos mantos de carbón, los cuales corresponden al Manto 17 de 40 cm y al Manto 18 de 30 cm.

Seguido y hasta los 503 metros, se encuentran unos canales de arenisca de grano muy fino, no muy profundos pero continuos, cuyos espesores varían de 5 a 10 cm, bien seleccionados, con baja a moderada bioturbación, nódulos de siderita y ripples de oscilación, intercalada con lodolitas grises claras con laminación lenticular y nódulos de siderita.

Continuando esta secuencia y hasta los 574 metros, se encuentran los últimos mantos y cintas de carbón de la Formación Guaduas correspondientes a los Mantos 19, 20, 21 y 22 cuyos espesores varían entre 30 y 40 cm los cuales no son económicamente explotables, intercalados con potentes niveles de lodolitas grises claras con esporádicos niveles de areniscas de grano muy fino, moderadamente calibradas, bien seleccionadas, con laminación ondulosa difusa, moderada bioturbación, nódulos de siderita y niveles de lodolitas fósiles carbonosas de 30 a 50 cm de espesor que se encuentran en medio de los mantos de carbón. Finalizando este paquete la secuencia se hace más lodosa hacia el tope y los niveles arenosos son muy escasos.

El cambio de lodolitas rojizas y grises a potentes areniscas marca el inicio de esta secuencia la cual va de los 574 hasta los 587 metros y esta conformada por potentes niveles de arenisca cuarzosa de grano muy fino, de color blanco, bien seleccionada con laminación ondulosa, moderadamente cementada, intercalada con laminas de arcilla de color blanco azulado con laminación lenticular y areniscas amarillas, bastante alteradas con nódulos de siderita al tope, cuyos espesores varían de 30 a 35 cm.

Seguido por una corta secuencia granocreciente hasta los 594 metros de arenisca de grano muy fino a arenisca de grano medio. Las primeras son bien seleccionadas, con moderada bioturbación, granos subangulares a subredondeados, intercalados con arcillolitas y las areniscas de grano medio son amarillas, mal seleccionadas, granos angulares a subangulares intercaladas con lodolitas amarillas, posteriormente hasta los 654 metros se encuentran potentes niveles de lodolitas de color marrón a rojizo intercalado con niveles de 30 cm aproximadamente de carbón de color marrón y delgados niveles de arenisca cuarzosa de grano muy fino, mal seleccionada, con ripples de oscilación y nódulos de siderita.

Entre los 654 y los 659 metros se encuentra un potente canal (Ver Foto 15) de arenisca cuarzosa de grano fino low, blanca, color de alteración amarillo, moderadamente cementada, bien seleccionada, baja bioturbación, laminación planoparalela a inclinada, estratificación en artesa y se encuentra en contacto neto con la capa infrayacente. Este canal presenta una profundidad de 5 metros y una longitud de 45 metros



Foto 15. Panorámica de canal de río meandriforme con estructura masiva, con dimensiones de 5 metros de espesor y 45 metros de longitud Localizado en la Sección de Lenguazaque ubicado sobre un camino que lleva al Municipio de Cucunubá.

De los 659 a los 774 metros predominan las lodolitas rojizas y marrones con nódulos de siderita intercaladas con esporádicos y delgados niveles de areniscas de grano muy fino a grano fino, moderadamente cementadas, con laminación planoparalela, nódulos de siderita y bioturbación baja a media. Los contactos entre las arenas y lodos son gradacionales.

Entre los 776 y los 781 metros se observan unas areniscas de grano medio amarillas, moderadamente seleccionadas y cementadas con bioturbación baja, con laminación planoparalela, nódulos ferruginosos y ripples de oscilación.

Finalmente hasta los 808 metros la secuencia termina con esporádicos y delgados niveles de areniscas de grano fino a muy fino cuyos espesores varían de 10 a 15 cm, con laminación planoparalela y nódulos ferruginosos intercalados con potentes niveles de lodolitas de color rojizo con arcillolitas en contacto erosivos.

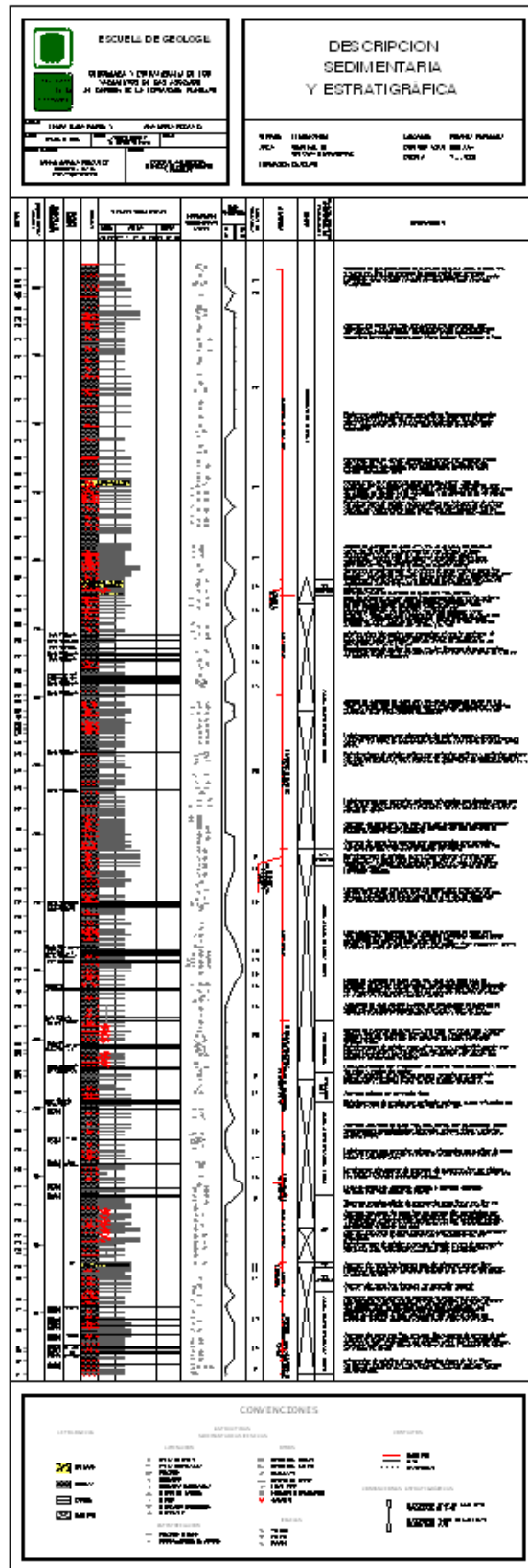


Figura 11. Columna estratigráfica, sección Lenguazaque.

Tabla 2. Nomenclatura y Correlación para los Mantos y Cintas de carbón de las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguaque.

Sección Triunfo			Sección Montecristo			Sección Lenguaque		
N° Manto	Nombre manto	Espesor	N° Manto	Nombre manto	Espesor	N° Manto	Nombre manto	Espesor
Manto 1		60 cm	Manto 2	Montecristo	1 m	Manto 1	La Cisquera	90 cm
Manto 2		1 m	Manto 3		90 cm	Manto 2	Tesoro	50 cm
Manto 3		1, 60 m				Manto 3	Tesorito	60 cm
Manto 5	Veta Grande		Manto 4		70 cm			
Manto 7	La Quinta	1, 50 m	Manto 8	La Quinta	1, 20 m	Manto 6	Las Quintas	40 cm
Manto 11	La Ciscuda	2 m	Manto 10	La Ciscuda	1, 70 m	Manto 7	Uno veinte	1,20 m
Manto 12	Veta Chica	30 cm	Cinta 13		20 cm	Manto 11	Veta Chica	50 cm
Manto 17	Vidriosa		Manto 12	La Vidriosa	70 cm	Manto 12	Vidriosa	60 cm
Manto 18	Deposito	1 m	Manto 13	Deposito	70 cm	Manto 13	Depósito	1,8 m
Manto 19	Siete Bancos	1, 20 m	Manto 14	7 Bancos	1,20 m	Manto 15	7 Bancos	1,20 m

8. DESCRIPCIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS

Con base en la descripción de las tres columnas estratigráficas levantadas en campo de las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguaque, se reconocieron 12 facies sedimentarias en este trabajo, las cuales fueron nombradas de acuerdo a su régimen hidrodinámico y al tipo de procesos físicos/ orgánicos evidenciados en la roca, con el fin de dar una primera visión de las características del medio de depósito. La descripción de las facies sedimentarias están sintetizadas en la Figura 12.

Las facies definidas se describen a continuación:

8.1 FACIES SEDIMENTARIAS

Facies1: Intercalación de lodolitas gris oscuro a gris claro con laminación lenticular (Foto 16) y areniscas cuarzosas de grano muy fino a fino de color blanco a amarillo, con laminación ondulosa, bien cementadas, con nódulos de siderita al tope de 3 cm aproximadamente y espesores que varían entre 5 y 15 cm. Presentan ripples de oscilación y contactos ondulosos con las lodolitas.

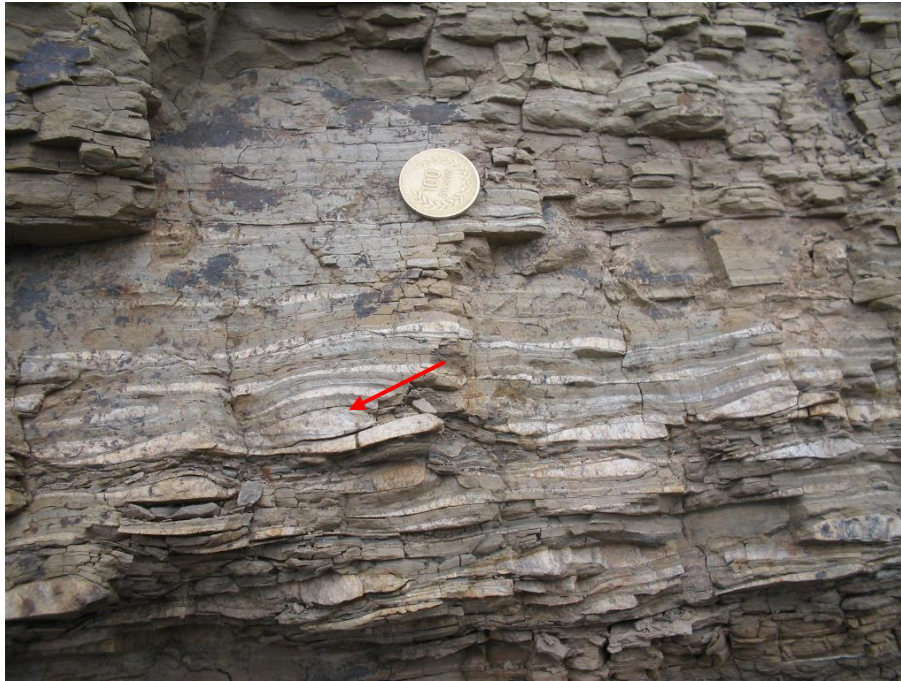


Foto 16. Se marca el detalle de lodolitas grises con lentes de areniscas cuarzosas. Afloramiento ubicado en la sección de Montecristo, en cercanías a la mina Montecristo (Manto 2).

Facies 2: Arenisca cuarzosa de grano fino de color blanco con laminación planoparalela inclinada (Se observa la laminación planoparalela inclinada en la Foto 17), presenta estructura tabular (Foto 18), bien seleccionada, baja bioturbación, granos redondeados y esféricos. Se observan ripples de oscilación. El espesor varía de 3 a 6 m con una extensión lateral que alcanza centenas de metros. El contacto con la facies infrayacente es erosivo, mientras que el contacto con la facies suprayacente es onduloso.



Foto 17. Detalle de las Areniscas Guía. Se observa la laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo característico de la Facies 2. Localizada en la Sección Montecristo.



Foto 18. Se observa la estructura tabular de la Arenisca La Guía. Localizada en la Sección Montecristo, ubicado en cercanías de la Mina Montecristo (Manto 2).

Facies 3: Lodolita gris oscuro con laminación planoparalela asociadas a delgadas cintas de carbón cuyos espesores varían de 4 a 20 cm, los contactos entre las lodolitas y las cintas de carbón son netos. (Foto 19)



Foto 19. Se observan delgadas cintas de carbón cuyos espesores varían de 10 a 20 cm en contacto neto con lodolitas grises oscuras. Afloramiento ubicado en la sección Lenguazaque.

Facies 4: Areniscas lodosas de color blanco a ocre con laminación flaser (Foto 20) y pequeños fragmentos de carbón, los contactos con las facies infrayacentes son gradacionales.



Foto 20. Detalle de Areniscas lodosas de color blanco a ocre con laminación flaser. Sección Montecristo.

Facies 5: Secuencia granocreciente de areniscas de grano fino con laminación ondulosa a areniscas de grano medio con laminación cruzada, amarillas, moderadamente cementadas, mal seleccionadas, con moldes de bivalvos mineralizados en siderita parcialmente disueltos (ver moldes de bivalvos en la Foto 21), nódulos de siderita, ripples de oscilación y flute casts. Aparecen constituyendo niveles de 0.2 a 2 m de espesor, separadas por superficies generalmente erosivas o bien de limolitas que desaparecen lateralmente, estos niveles de arenisca tienden a amalgamarse (Foto 22), formando cuerpos de centenas de metros de extensión lateral. Los espesores de esta facies varían de base a tope aumentando sus dimensiones hacia el tope lo cual coincide con un aumento en la granulometría observada.



Foto 21. Moldes de bivalvos mineralizados en siderita parcialmente disueltos al tope de los canales de marea, presentes en la Sección Montecristo.



Foto 22. Se observa el detalle de los canales amalgamados ubicados en la sección Montecristo. Formando cuerpos de centenas de metros de extensión lateral.

Facies 6: Lodolitas fósiles carbonosas de color gris oscuro a negro, brillo opaco, con lentes de carbón y laminación ondulosa. (Ver lodolitas fósiles carbonosas en la Foto 23). Se observan estructuras orgánicas correspondientes a hojas (Foto 24), tallos y raíces bien preservados, los niveles varían de 10 a 30 cm de espesor. Los contactos con las facies infrayacentes y suprayacentes son netos.



Foto 23. Lodolitas físis carbonosas suprayaciendo e infrayaciendo cintas de carbón en contacto neto. Localizada en la sección de Lenguaque.



Foto 24. Moldes de hojas bien preservadas presentes en las lodolitas físciles carbonosas, cuyas dimensiones son 10 cm de largo y 5 cm de ancho. Encontradas en la sección de Montecristo en cercanías a la Quebrada Palacios.

Facies 7: Mantos de carbón de color negro, brillantes cuyos espesores varían de 1,0 a 1,70 m. se encuentran en contacto neto con lodolitas físciles carbonosas. (Foto 25)

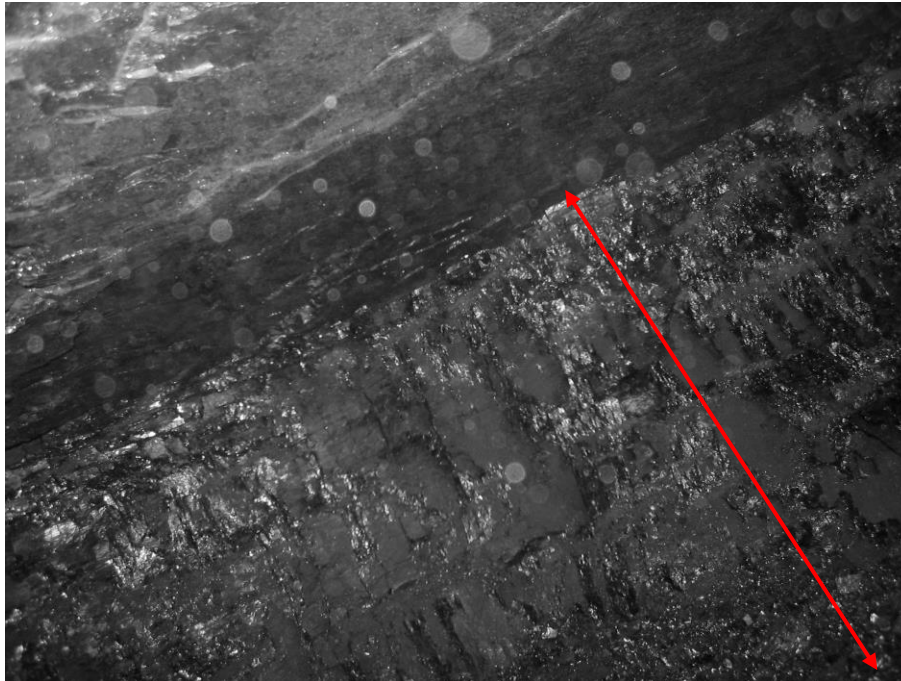


Foto 25. Manto de carbón de color negro brillante en contacto neto con lodolitas físcles carbonosas correspondiente al Manto 1 de la sección de Lenguazaque. La flecha indica un espesor de 90 cm.

Facies 8: Mantos de carbón de color negro, opacos cuyos espesores varían de 1,5 0 m a 2,20 m intercalados en contacto neto con delgados niveles de lodolitas físcles carbonosas con espesores que varían entre 20 y 30 cm. (Foto 26).



Foto 26. Manto de carbón de color negro opaco en contacto neto con lodolitas fósiles carbonosas correspondiente al Manto 17 de la sección del Triunfo. La flecha indica un espesor de 70 cm.

Facies 9: Arenisca cuarzosa blanca de grano grueso a muy grueso, con laminación planoparalela, mal seleccionada, con granos subangulares, alto contenido de matriz, el contacto con la facies infrayacente es erosivo. Este nivel presenta 6 metros de espesor y 18 metros de largo aproximadamente. (Foto 27).



Foto 27. Canal de arenisca de grano grueso. La flecha indica un espesor de 3 metros. Ubicado sobre la carretera destapada que conduce al Mortiño en la Sección el Triunfo.

Facies 10: Lodolitas abigarradas (Foto 28), cuyos colores varían entre rojo azul y violeta, con laminación ondulosa, presentan pequeños nódulos de siderita de 2 cm de diámetro aproximadamente.



Foto 28. Lodolitas abigarradas cuyos colores varían entre rojo, amarillo, azul y violeta. Localizadas en la sección el Triunfo en cercanías al sitio conocido como el Mortiño.

Facies 11. Areniscas de grano fino de color amarillo, con estratificación cruzada en artesa, moderadamente seleccionadas y cementadas, con estructura masiva cuyo espesor varía de 2 a 10 metros. (Foto 29).



Foto 29. Potente canal meandriforme. Se encuentra en contacto erosivo con lodolitas rojizas. La flecha indica aproximadamente 2 metros de espesor. Ubicado cerca conocido como El Jardincito de la sección del Triunfo.

Facies 12: Lodolitas rojizas con intercalaciones de delgadas capas de arenisca lodosas con laminación planoparalela y delgados niveles de carbón de color marrón de 0.3 a 1 m aproximadamente, intercaladas con arcillolitas de color violetas en contacto ondulado. (Foto 30).



Foto 30. Potente nivel Lodolitas rojizas encontradas hacia el tope de la Formación Guaduas. Ubicadas en la Sección de Lenguazaque.

FOTO	FACIES SEDIMENTARIAS		FOTO	FACIES SEDIMENTARIAS	
	Nº	DESCRIPCIÓN		Nº	DESCRIPCIÓN
	1	lodolitas con laminación lenticular con niveles delgados de areniscas con nódulos de siderita		7	Mantos de carbón brillantes
	2	Arenisca cuarzosa tabular, laminación planoparalela inclinada		8	Mantos de carbón opacos
	3	Cintas de carbón con espesores de 4 a 20 cm		9	Arenisca cuarzosa de grano grueso a muy grueso
	4	Areniscas lodosas con laminación flaser		10	Lodolitas abigarradas con nódulos de siderita



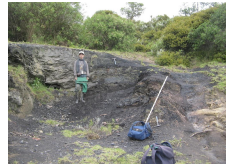

	5	<p>Secuencia granocreciente de canales areniscas de grano fino a medio, con laminación cruzada, nódulos de siderita.</p>		11	<p>Areniscas con estratificación cruzada en artesa</p>
	6	<p>Lodolitas Fisiles carbonosas con lentes de carbón</p>		12	<p>Lodolitas rojizas con areniscas lodosas y carbón de color marrón</p>

Figura 12. Resumen de las Facies sedimentarias de la Formación Guaduas.

9. ASOCIACION DE FACIES E INTERPRETACION DE AMBIENTES

La interpretación de los ambientes sedimentarios se ha llevado a cabo desde el análisis de 10 asociaciones de facies diferenciadas cuya descripción e interpretación están sintetizadas en la Figura 16. Las asociaciones citadas están numeradas del 1 al 10 y se trata de aquellas que consideramos más importantes por su aparición mas frecuente y por sus características generales. Igualmente cada una de ellas se presenta con más frecuencia en algunas de las zonas diferenciadas.

Las asociaciones faciales definidas se describen a continuación:

ASOCIACION FACIAL 1.

Esta constituida por la Facies 1, 3, 7 las cuales se disponen de la siguiente manera: hacia la base se encuentra la facies 1, esta se interpreta como depósitos de mud flat (llanuras de inundación), donde se depositan materiales lodosos con un bajo aporte de arena, formando lodolitas con laminación lenticular. Este tipo de materiales se depositan en zonas muy tranquilas reflejando fluctuaciones constantes pero en condiciones de relativa baja energía que permiten la acumulación de limos y arenas transportadas por las corrientes de marea y la decantación del material en suspensión. Seguido por un aumento en el contenido de materia orgánica que permite la formación de delgados depósitos de turba que originan cintas de carbón representadas por la Facies 3 que corresponde a una zona de Pantanos de aguas salobres a frescas (brackish to Fresh waters), posteriormente se depositaron los primeros mantos de carbón representados por la Facies 7 las cuales presentan bajos contenidos de ceniza y azufre (Ver Tabla 3), lo que explica que estos mantos se desarrollaron en zonas de Pantanos Restringidos los cuales son áreas protegidas del influjo de detritos en donde el

material orgánico permanece en un medio reductor. Esta asociación facial se extiende desde la parte más distal a la más proximal de la zona supramareal.

ASOCIACION FACIAL 2.

Esta se encuentra representada por las intercalaciones de la Facies 2 y 4, donde la base presenta mayor ocurrencia de la Facies 4, en la parte intermedia predomina la Facies 2 la cual aumenta su espesor hacia el tope.

Este conjunto hacia la base indica un ambiente de Frente de playa (shore face) el cual se encuentra en la parte intermedia de la zona intramareal, esta zona esta constituida por materiales principalmente arenosos donde la proporción de limo es muy baja produciéndose laminación flaser seguido por una mayor influencia de la Facies 2; las cuales se desarrollan en costas bajas, presentando laminación planoparalela inclinada característica de un medio en el que existe transporte de material principalmente arenoso con un elevado flujo energía y con frecuentes ripples de oscilación debido a la influencia del oleaje. La bioturbación presente es baja debido a la alta tasa de sedimentación. Finalizando esta asociación se encuentra un potente nivel de areniscas tabulares, de grano fino, correspondiente a la Facie 2 indicando un ambiente de Depósitos de playa (Fore shore) situados hacia la parte mas proximal de la zona intramareal característicos por ser blancas, presentar estratificación inclinada de bajo ángulo, laminación planoparalela, ser bien seleccionadas y presentar bajo contenido de arcilla y ripples de oscilación indicando corrientes bidireccionales de la influencia del oleaje (Ver perfil vertical de las principales estructuras sedimentarias en los ambientes de Frente de playa (shore face) y Depósitos de playa (Fore shore) en las Figuras 13 y 14).

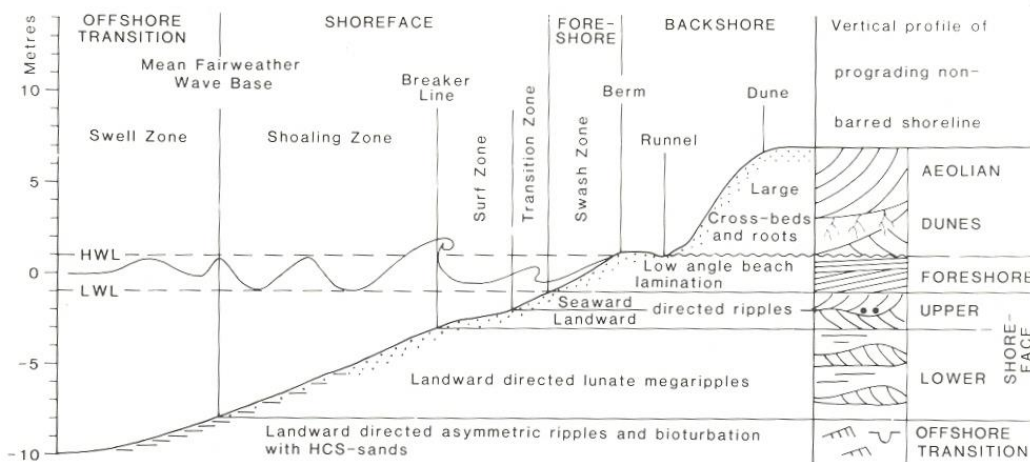


Figura 13. Sucesión de facies producidas en un ambiente de Frente de Playa (shore face) y de un ambiente de Depósitos de playa (foreshore) mostrando en el perfil vertical las principales estructuras sedimentarias. Tomado de Diessel, 1992.

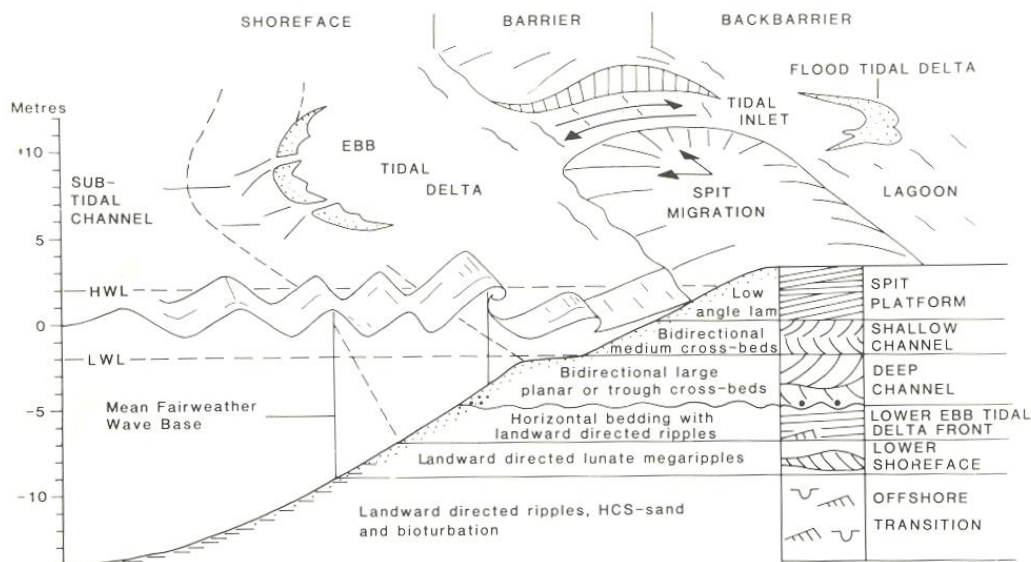


Figura 14. Se observa el perfil vertical con las principales estructuras y su respectivo ambiente de depositación. Donde el Spit Platform corresponde a los Depósitos de Playa (Foreshore). Característico por presentar una estructura tabular y una laminación planoparalela inclinada de bajo ángulo. Tomado de Diessel, 1992.

ASOCIACION FACIAL 3

Corresponde a la intercalación de la Facies 3 y 6 indicando un ambiente de pantanos de aguas salobres a frescas (Brackish to Fresh Water) característico de un ambiente de mayor oxigenación y menor preservación del material orgánico donde se observa que los mantos y cintas de carbón no son continuos lateralmente.

ASOCIACION FACIAL 4

Está representado por la intercalación de las Facies 4 y 5. Determinando un ambiente de canales de marea con un régimen de flujo alto con condiciones de agua salada a salobre por la presencia de bivalvos disueltos, finalizando con un régimen de flujo lento en el cual se depositan canales de marea de grano fino poco profundos. Este ambiente se presenta en la parte intermedia de la zona intramareal característico de un relleno arenoso con abundante contenido de matriz, laminación flaser, selección moderada, lentes de arcilla y limo y por presentar abundancia de bioturbación.

ASOCIACION FACIAL 5

Está representado hacia la base por la Facies 1 y hacia el tope por la intercalación de las Facies 3, 6 y 7 correspondiente a los mantos medios de carbón tales como los Mantos 7, 11 y 12 de la sección del Triunfo, los Mantos 8 y 10 de la sección de Montecristo y los Mantos 6, 7 y 11 de la sección Lenguazaque con grandes espesores y buena continuidad lateral, económicamente explotables (Ver correlación de los mantos de carbón en la Tabla 2). Esta asociación indica un ambiente reductor, con abundante vegetación y condiciones necesarias para que se pudieran preservar moldes de hojas, tallos y restos de raíces. Todas estas características se presentan en un pantano de aguas frescas a salobres (Fresh water brackish) de amplia extensión y finalizando con un consecuente ambiente de pantano costero (Salt Marsh) influenciado por las mareas en la cual se depositó el manto denominado La Ciscuda presentando un alto contenido de cenizas y azufre como se muestra en las tablas 3 y 4. Este ambiente es característico de una zona

supramareal, en donde la energía del medio es baja y es influenciada por las mareas.

ASOCIACION FACIAL 6

Esta asociación está representada por la intercalación de las Facies 1 y 4. Es una secuencia grano-decreciente en la cual predomina los niveles de arenas, hacia la base con una estructura de estratificación tipo flaser que se forma en un ambiente de supramareal de llanura de inundación. Encima se presentan unas lodolitas con laminación lenticular formadas por lentes de arena en medio de lodolitas. También se observan las estructuras de ondulitas de la llanura de inundación también denominada llanura mixta.

ASOCIACION FACIAL 7

Representada por la intercalación de Facies 10 con la Facies 4. Formada en las llanuras aluviales y/o costeras expuestas durante el descenso del nivel base de erosión lo cual ocasiona la oxidación de las arcillas. Tornándose rojizas sin buena preservación de materia orgánica.

ASOCIACION FACIAL 8

Constituido por la intercalación de las Facies 3, 6 y 8. En esta asociación se encuentra una serie de mantos de carbón correspondientes a los mantos superiores tales como el Manto 17, Manto 18 y Manto 19 ubicados en la sección el Triunfo, el Manto 12 de 70 cm, Manto 13 y Manto 14 correspondientes a la sección de Montecristo y el Manto 12, Manto 13 y Manto 15 localizados en la sección de Lenguaque (Ver correlación de Mantos de carbón en la Tabla 2) los cuales son delgados, continuos con abundantes intercalaciones de lodolitas carbonosas. El alto contenido de cenizas y Azufre como se muestra en las tablas 3 y 4, indica que el crecimiento de turba estuvo expuesto a la influencia marina característica de ambientes de pantanos costeros (Salt Marsh). Durante la acumulación de esta asociación se restablecen las condiciones favorables para la conservación y preservación de mantos de carbón, algunos de ellos con espesores que permiten

su explotación. Este grupo se encuentra constituido por mantos de carbón intercalados con lodolitas físciles carbonosas formando grandes espesores de hasta tres metros. Esto debido quizás a una mayor velocidad de hundimiento de la cuenca que modificaba las características de depositación del carbón.

ASOCIACION FACIAL 9

Constituido por la Facies 9 característico de un canal aluvial con arenas lodosas con baja selección alta contenido de matriz arcillosa poca cementación de carácter masivo. Con limitada continuidad lateral acuñándose hacia el NE.

ASOCIACION FACIAL 10

Constituido por la Facies 11 hacia la base y la Facies 12 al tope, esta asociación se caracteriza por presentar una secuencia granodecreciente, así como por una serie de estructuras que pasan de estratificación en artesa debido a la migración de los ripples a laminación planoparalela y finalizando con potentes niveles lodosos, este canal muestra una superficie basal que presenta un carácter erosivo que se debe a la excavación producida por el canal en su divagación. Característica de un canal de río meandriforme con depósitos de tipo point bar en donde se presenta la secuencia descrita anteriormente en la Figura15.


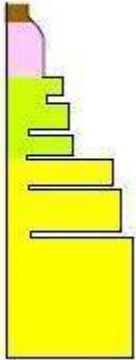



	Estructuras	Interpretación hidrodinámica	Depósito	Tamaño de Grano
Suelos		Sedimentación por suspensión	Llanura de inundación	
Laminación compleja		Régimen de flujo bajo y sedimentación por suspensión	Natural levee	
Estructuras de acreción lateral				
Estratificación cruzada en artesa		Régimen de flujo bajo	Canal meandriforme	

Figura 15. Sucesión de facies para un canal de río meandriforme. Mostrando una secuencia granodecreciente y sus respectivas estructuras. Fajardo A. & Ramon, J.C. 2003

Tabla 3. Resultado de análisis de Ceniza para las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguaque y porcentaje de Azufre para la sección de Montecristo, Cortés, Jiménez, 2007.

TRIUNFO		MONTECRISTO			LENGUAZAUQUE	
Nombre del manto	% Ceniza	Nombre del Manto	% Ceniza	%Azufre	Nombre del manto	% Ceniza
Manto1	1.999	Manto 2 (Montecristo)	2.434	0.572	Manto 1 (La Cisquera)	5.986
Manto 2	3.879	Manto 3	5.173	0.556	Manto 2 (Tesoro)	9.785
Manto 3	5.856				Manto 3 (Tesorito)	7.745
Manto 5 (Veta Grande)	4.723	Manto 4	9.175	0.538		
Manto 7 (La Quinta)	8.42	Manto 8 (La Quinta)	10.524	0.88	Manto 6 (Las Quintas)	8.782
Manto 11(La Ciscuda)	10.045	Manto 10 (La Ciscuda)	8.146	1.572	Manto 7 (La 1.20)	7.35
Manto 12(Veta Chica)	6.874	Cinta 13	4.127	0.827	Manto 11 (Veta Chica)	5.796
		Manto 12 (La Vidriosa)	4.176	1.035		
Manto 18 (Deposito)	4.951	Manto 13 (Deposito)	14.524	1.173	Manto 13 (Deposito)	4.236
Manto 19 (Siete Bancos)	6.892	Manto 14 (Siete Bancos)	13.161	2.249	Manto 15 (Siete Bancos)	8.012

Tabla 4. Resultado de análisis de Cenizas y Azufre para la sección Triunfo. Gallo, Mónica. 2006

SECCION TRIUNFO		
Nombre del manto	% Ceniza	%Azufre
Manto 11(La Ciscuda)	12,68	0.97
Manto 17 (Vidriosa)	25,97	2,53
Manto 18 (Deposito)	12,76	1,32

ASOCIACION FACIAL	ASOCIACION DE FACIES	AMBIENTES DE DEPOSITO
1	Facies 1 Facies 3 Facies 7	Mud flat (Llanura de inundación) Brackish to fresh waters Pantanos Restringidos
2	Facies 4 Facies 2	Shore Face (Frente de Playa) Fore Shore (Depósitos de Playa)
3	Facies 3 Facies 6	Brackish to Fresh Water
4	Facies 4 Facies 5	Canales de marea
5	Facies 1 Facies 3 Facies 6 Facies 7	Fresh Water Brackish Salt Marsh
6	Facies 1 Facies 4	Llanura de inundación
7	Facies 10	Llanura aluviales
8	Facies 3 Facies 6 Facies 8	Salt Marsh
9	Facies 9	Canal aluvial
10	Facies 11 Facies 12	Depósitos de Point Bar

Figura 16. Asociación facial y ambientes sedimentarios interpretados para el estudio de la Formación Guaduas.

10. CORRELACION ESTRATIGRAFICA

A partir de la correlación estratigráfica de las tres secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque, se establecieron 15 segmentos teniendo en cuenta las características o propiedades de las diferentes litologías que componen los estratos que coinciden con sus características genéticas. El datum que se tomó fue el del Manto de carbón correspondiente al Manto 19 de la sección del Triunfo, correlacionable con el Manto 14 de la sección de Montecristo y al Manto 15 de la sección de Lenguazaque (Ver correlación de Mantos de carbón en la Tabla 2) ya que este es el intervalo más representativo de la zona por presentar una buena extensión lateral y características propias como la sucesiva intercalación con lodolitas físis carbonosas formando un paquete de hasta tres metros de espesor que permiten diferenciarlo de otros mantos. Los segmentos serán descritos de base a techo como se observa por la intercalación de colores en la Figura 17 y en el Anexo 12.

Segmento 1

El notable contraste litológico entre cintas y mantos de carbón intercalados con lodolitas grises con laminación lenticular en contacto neto se tomó como criterio para definir este segmento. Se presentan los Mantos 1, 2, 3 y 4 de la Sección Triunfo, el Manto 1 de la Sección Montecristo y los Mantos 1,2 y 3 de la Sección Lenguazaque. (Ver correlación de Mantos de carbón en la Tabla 2).

Segmento 2

El criterio tomado para definir este segmento se realizó a partir de la geometría y estructuras físicas presentes, representado por las intercalaciones de areniscas cuarzosas con laminación flaser con mayor ocurrencia hacia la base y areniscas cuarzosas tabulares con laminación planoparalela inclinada con mayor ocurrencia hacia el tope. Se observa que en la correlación del segmento disminuye el espesor

en la sección intermedia (Montecristo). En este segmento no hay presencia de mantos de carbón.

Segmento 3

Potente nivel de arenisca cuarzosa de grano fino blanca, tabular, con laminación planoparalela inclinada, bien seleccionada y cementada, granos redondeados esféricos. Esta arena es sobresaliente por su fuerte topografía y su continua extensión lateral que supera las centenas de metros. La cual se encuentra en contacto neto con la capa infrayacente y suprayacente. En este segmento no se presentan mantos ni cintas de carbón.

Segmento 4

Este segmento se encuentra evidenciado por la geometría de las capas conformado por canales que disminuyen su espesor hacia el NW en la sección del Triunfo. Estos canales son granocrecientes conformados por areniscas cuarzosas de grano fino seguido de areniscas cuarzosas de grano medio. Los canales suprayacen en contacto erosivo a unas areniscas lodosas de color amarillo con laminación flaser. Las dimensiones de los canales aumentan a medida que se asciende estratigráficamente. No se presentan mantos ni cintas de carbón.

Segmento 5

Este segmento se definió a partir de los mantos de carbón de gran espesor y continuidad lateral correspondientes a los mantos medios tales como el Manto 5, Manto 7, Manto 11 y Manto 12 de la sección del Triunfo. (Ver afloramiento del Manto 11 en la Foto 31). En la sección de Montecristo encontramos algunos de los equivalentes de estos mantos como el Manto 6, Manto 7, Manto 8, Manto 9 y Manto 10, los cuales son económicamente explotables. En la sección de Lenguaque, corresponden al Manto 5, Manto 6, Manto 7, de los cuales solo el Manto 7 es económicamente explotable. (Ver correlación de Mantos de carbón en la Tabla 2).



Foto 31. Afloramiento del Manto 11 sobre la Quebrada Honduras ubicado en la Sección Triunfo, el cual tiene 2 m de espesor aproximadamente.

Segmento 6

Este segmento está constituido por canales de areniscas cuarzosas de grano fino, delgadas intercaladas con niveles de lodolitas grises azuladas. Estos canales le suprayacen en contactos ondulados a las lodolitas. A partir de la geometría de las capas y el cambio de color en las lodolitas se definió este segmento.

Segmento 7

El cambio de litofacies muestra el fin del segmento anterior pasando de canales de areniscas a un predominio de lodolitas y arcillolitas abigarradas con laminación planoparalela intercaladas con delgadas capas de arenisca de grano muy fino. Las lodolitas le infrayacen en contacto ondulado a las areniscas. En este segmento se encuentran delgadas cintas de carbón en las secciones Triunfo y Montecristo correlacionables con los Mantos 9, 10 y 11 de la Sección Lenguaque.

Segmento 8

Lodolitas rojizas a amarillentas con laminación ondulosa intercaladas con lodolitas físciles carbonosas asociadas a Cintas y Mantos de carbón denominados Mantos Superiores tales como el Manto 17, Manto 18 y Manto 19 de la sección del Triunfo, de los cuales se correlacionan con el Manto 12, Manto 13 y Manto 14 en la sección de Montecristo y de igual forma se correlacionan con el Manto 12, Manto 13 y el Manto 15 de la sección de Lenguaque. (Ver correlación de Mantos de carbón en la Tabla 2). Se caracterizan por presentar sucesivas intercalaciones con lodolitas físciles carbonosas. Finalizando con una secuencia de lodolitas marrones y rojizas con laminación ondulosa intercaladas con delgadas capas de areniscas de grano muy fino y ausencia de Mantos de carbón, aunque las lodolitas presentan algo de materia orgánica.

Segmento 9

El cambio de granulometría fue el criterio para definir este segmento pasando de lodolitas y arcillolitas abigarradas con laminación planoparalela a un predominio de delgados canales de areniscas de grano medio con laminación ondulosa intercaladas con lodolitas grises con laminación planoparalela. El contacto es erosivo con la facies infrayacente. En este segmento no se presentan mantos ni cintas de carbón.

Segmento 10

Este segmento se caracteriza por presentar lodolitas verdosas y rojizas alternadas con cintas de carbón marrones y delgados niveles alternantes de areniscas de grano muy fino y fino, con laminación ondulosa. Seguido de las últimas cintas y Mantos de carbón de la Formación Guaduas correspondientes a los Mantos 20, 21 y 22 de la sección el Triunfo correlacionables con los Mantos 15, 16, 17, 18, 19 y 20 de la sección de Montecristo y de igual forma se correlacionan con los Mantos 17, 18, 19, 20, 21 y 22 de la sección de Lenguaque. Característicos por ser delgados por lo tanto no son económicamente explotables aunque se observa en la correlación estratigráfica que presentan buena continuidad lateral intercalados

con lodolitas físciles carbonosas y lodolitas marrones con lentes de carbón y laminación ondulosa.

Segmento 11

Este segmento se definió por el cambio de lodolitas abigarradas a un potente nivel de areniscas cuarzosas de grano muy fino, amarillas, bien seleccionadas, granos subangulares, laminación ondulosa paralela continua, con poca porosidad, bioturbación nula. No se presentan mantos ni cintas de carbón en este segmento.

Segmento 12

Este segmento se caracteriza por presentar potentes niveles de lodolitas rojas y lodolitas físciles carbonosas con laminación ondulosa intercalados con delgados niveles de arenisca cuarzosa de grano muy fino con nódulos ferruginosos, laminación planoparalela difusa y areniscas lodosas. Presenta las Cintas de carbón 24, 25 y 26 de la sección del Triunfo, las cuales no se presentan en las secciones Montecristo y Lenguaque.

Segmento 13

Este segmento está constituido por un potente nivel de arenisca cuarzosa de grano fino, amarilla, color de alteración marrón, masiva, moderadamente seleccionada y calibrada, alto contenido de cemento, poca matriz, granos subredondeados, suprayaciendo en contacto neto con unas lodolitas. Presenta estratificación cruzada en artesa. Poca Bioturbación. A partir de este segmento no se observan Mantos ni Cintas de carbón.

Segmento 14

Este segmento se definió por presentar potentes niveles de lodolitas marrones, verdosas y rojizas intercaladas con con arcillolitas blancas y lodo-areniscas de color marrón con laminación planoparalela. Se encuentran alternadas con delgados niveles granodecipientes de areniscas de grano fino a muy fino, con laminación planoparalela cuyos espesores varían entre 15 y 20 cm.. En el tope

encontramos areniscas de grano muy fino, amarillentas, mal cementadas. Alta porosidad, bien seleccionadas. Granos subangulares a subredondeados. Baja bioturbación. Las lodolitas presentan lentes de carbón y algunas capas de carbón de color marrón aumentando su espesor hacia el tope de la secuencia. En esta zona ya no se encuentran Mantos ni Cintas de carbón económicamente explotables pero si algunas capas de lodolitas físis carbonosas con alto contenido de arcilla lo que le da un tono naranja al paisaje.

Segmento 15

Secuencias granodecrecientes de areniscas cuarzosas de grano medio, fino a muy fino, moderadamente seleccionadas, con un alto contenido de matriz arcillosa y porosidad con laminación plano paralela difusa. Intercaladas con lodolitas marrones a rojizas y arcillolitas con franjas rojizas y grises, con laminación planoparalela difusa.

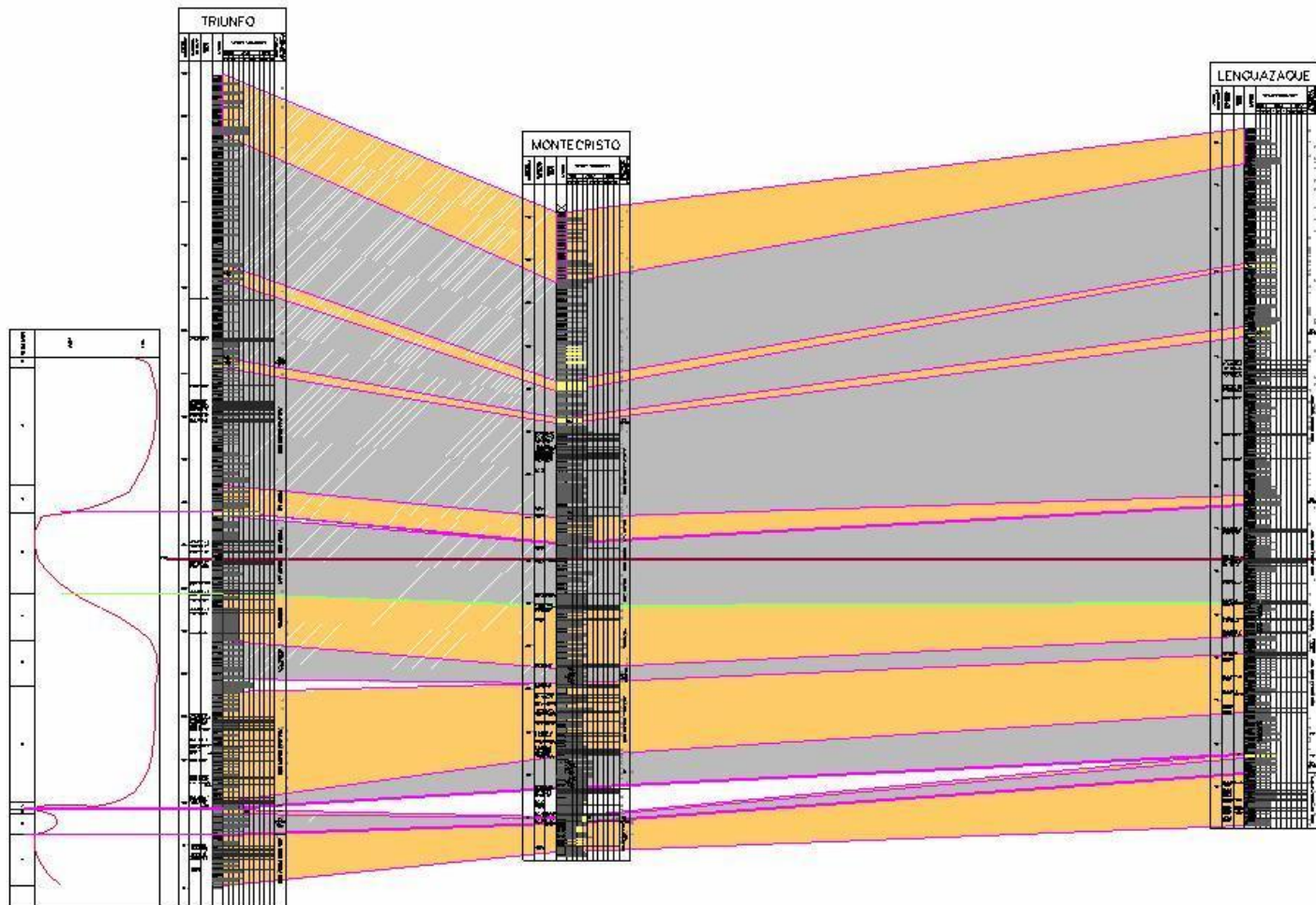


Figura 17. Correlación Estratigráfica, Triunfo (Izquierda), Montecristo (Mitad), Lenguaque (Derecha) . Nótese la continuidad de algunas arenas y mantos de carbón. Se muestran los límites de secuencias (SB) con las líneas de color rosado y MFS: Máxima Superficie de Inundación señalada por la línea de color verde. El Datum corresponde a la línea roja mostrada en la figura trazada sobre el manto conocido como Siente Bancos.

11. ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS

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

11.1 MARCO TEÓRICO DE LA ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS

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. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

CICLO EUSTÁTICO: Intervalo de tiempo durante el cual ocurre una subida y una caída eustática del nivel del mar. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

NIVEL RELATIVO DEL MAR: Es la posición del mar relativo a un nivel fijo en el fondo del mar: esta definición toma en cuenta dos componentes: eustacia y movimientos verticales del fondo del mar (tectonismo y/o compactación de sedimentos). (POSAMENTIER; H,W , 1988)

ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS: Comprende la textura, fábrica, carácter de estratificación, espesor de los sets de estratificación y otros atributos físicos dentro de una facies. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

ESPACIO DE ACOMODACION: El espacio de acomodación es el volumen entre la superficie terrestre y la superficie del nivel base, el cual está disponible para la acumulación de sedimentos. El incremento en el espacio de acomodación provee el potencial para la preservación de un gran volumen de sedimento e incrementa

la proporción y la diversidad de los elementos geomorfológicos originalmente preservados. Cuando el espacio de acomodación disminuye se presenta un alto grado de canibalismo, truncaciones y amalgamamientos de los elementos geomorfológicos que originalmente existían en el ambiente. El espacio de acomodación es determinado por la combinación del movimiento del nivel del mar (eustacia) y el movimiento del fondo marino (subsistencia tectónica). (POSAMENTIER; H,W , 1988) (Figura 18)

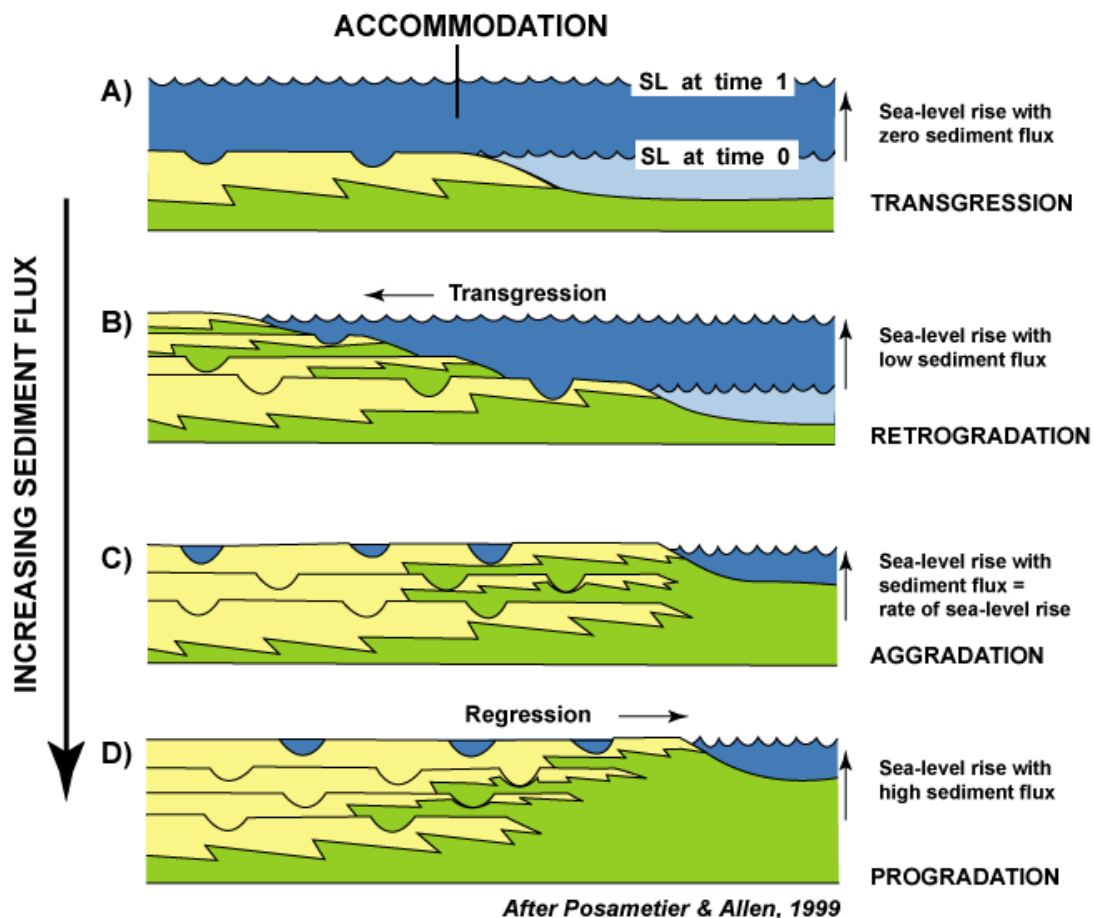


Figura 18. Geometría depositacional. Tomado de Possamentier; Allen (1999).

NIVEL BASE: el nivel base es una superficie continua, abstracta, no horizontal, ondulatoria que sube y baja respecto a la superficie terrestre; o una superficie

potenciométrica de energía que describe la energía necesaria para mover la superficie terrestre a una posición donde los gradientes, el suministro de sedimento y la acomodación estén equilibrados. El nivel base es una superficie imaginaria por debajo de la cual ocurre sedimentación y por encima erosión; las variaciones verticales se asocian y relacionan con las variaciones del nivel del mar, la tectónica y la subsidencia. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

CICLOS DE NIVEL BASE: Un ciclo de nivel base es identificado en el registro geológico por medio de la combinación de rocas y superficies estratigráficas de discontinuidad. Durante un ciclo de nivel base se presenta un límite máximo y un límite mínimo a lo largo de todo un perfil geomorfológico; así, durante un ciclo de nivel base, los sitios de acumulación de sedimentos o los sitios geográficos en los cuales ocurría la erosión o del *bypass* de sedimentos se mueven pendiente arriba o pendiente abajo. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

SECUENCIA GENETICA: Una secuencia genética corresponde a una unidad estratigráfica que contiene los sedimentos acumulados en un ambiente depositacional durante un ciclo completo de nivel base. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

CICLOS ESTRATIGRAFICOS: Una ciclo estratigráfico corresponde al registro de un ciclo completo del nivel base, sin importar la escala. Los ciclos estratigráficos son el resultado de cambios unidireccionales en el nivel base. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

SECUENCIA DEPOSITACIONAL: Una secuencia depositacional se encuentra enmarcada entre dos puntos de inflexión.

PARASECUENCIA: Una parasecuencia es una parte de una secuencia genética limitada estratigráfica y geomorfológicamente. (POSAMENTIER; H,W , 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. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

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 delgados a relativamente espesos, buena continuidad lateral y buena preservación. 2) ***Late Lowstand*** caracterizado por presentar mantos de buen espesor pero con poca continuidad lateral. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

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. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

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 delgados a relativamente espesos, buena continuidad lateral y buena preservación. 3) **Late Highstand** caracterizado por la ausencia de carbones. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

CICLO DE PRIMER ORDEN: Ciclo de cambio eustático o relativo del nivel del mar con una duración de 100 a 200 millones de años. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

CICLO DE SEGUNDO ORDEN: Ciclo de cambio eustático o relativo del nivel del mar con una duración de 10 a 80 millones de años. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

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. (POSAMENTIER; H,W , 1988)

La metodología utilizada para determinar la Estratigrafía de Secuencias de la Formación Guaduas fue la siguiente:

El primer paso consistió en definir las sucesiones de facies y establecer la correlación de las columnas estratigráficas, analizando la preservación de los elementos geomorfológicos (cambios ocurridos en textura, carácter de estratificación, espesor de los sets de estratificación y otros atributos físicos dentro de una facies). Luego se estableció los ciclos de variación en el nivel base, en frecuencias de corto término. Posteriormente se identificó los cambios en espesor, simetría y proporción de facies en una serie de ciclos de corto término para definir el patrón de apilamiento de los ciclos y establecimiento de las tendencias unidireccionales a una frecuencia mayor (ciclos de intermedio y/o largo término).

Finalmente se determinó la ocurrencia y geometría de los mantos de carbón y los canales de arena dentro de la secuencia estratigráfica donde se tuvo en cuenta la relación entre la tasa de acomodación y el nivel relativo del mar, lo cual es reflejado por patrones de estacamiento de línea de costa las cuales registran la combinación de subsidencia, nivel base y acumulación de sedimento que controlan la acumulación de turba. Estos parámetros fueron ajustados y combinados al modelo de Modelo de Bohacs y Suter, 1997 (Figura 19) y al de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

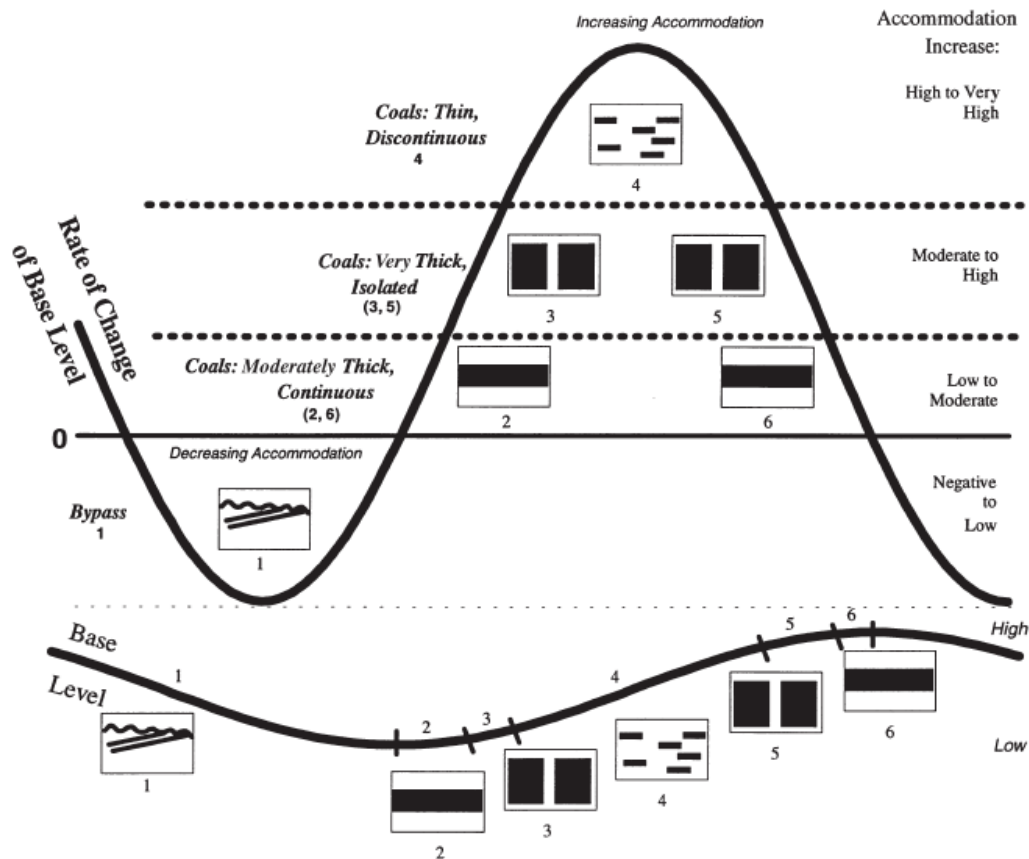


Figura 19. Relación de la tasa de cambio del nivel base para determinar el espesor y la geometría de los carbonos. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.

Bohacs (1997), examina los efectos del nivel del mar en marcos parálicos y propone un modelo para la ocurrencia y distribución de rocas carbonosas dentro

de una secuencia depositacional que integra acomodación, agua subterránea, flujo superficial y cambios en la línea de costa.

Para establecer este modelo se tienen en cuenta ciertos parámetros:

- ◆ La acumulación de cantidades significantes de materia orgánica terrígena es análoga a la acumulación de recursos en rocas marinas y es controlada por:
 - Productividad orgánica primaria
 - Preservación de la materia orgánica
 - Dilución por materia mineral
 - Subsistencia.

- ◆ El espesor de la turba no es directamente controlada por la acomodación o por la cantidad absoluta de turba producida, pero sí por el radio de la tasa de acomodación y la tasa de producción de turba (Figura 20). Este balance determina si una depositación local en un ambiente acumula o erosiona turba y si acumula establece como será su espesor.

- ◆ Para predecir la ocurrencia y geometría dentro de una secuencia estratigráfica se tiene en cuenta la relación entre la acomodación y el nivel relativo del mar, lo cual es mejor revelado por patrones de estancamiento de parasecuencias de línea de costa, las cuales registran la combinación de subsistencia, nivel base y acumulación de sedimento que controlan la acumulación de turba.

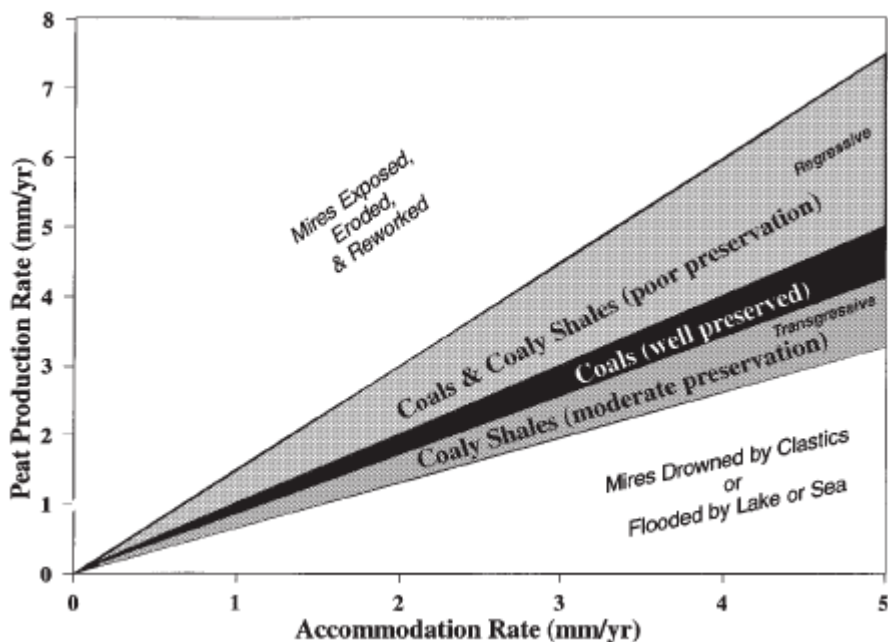


Figura 20. Tasa de producción de turba Vs Tasa de acomodación. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.

11.2 ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS DE LA FORMACION GUADUAS

A partir de las características sedimentarias, la disposición vertical y horizontal de los estratos y la relación de estos con los distintos segmentos anteriormente nombrados, se desarrollo un armazón con el fin de establecer la estratigrafía secuencial para la Formación Guaduas, de este modo se han podido separar una secuencia y media, con episodios completos de subidas y bajadas del nivel del mar, finalizando con un ambiente principalmente fluvial en el que las variaciones del nivel del mar no tienen efecto.

La transición del Grupo Guadalupe con el primer segmento de la Formación Guaduas está enmarcada por un *Middle Highstand System Track* (Figura 21) formados por un relativo ascenso del nivel del mar evidenciando una secuencia progradante, acumulando sedimentos finos y los primeros mantos de carbón de la formación, seguido se identifica el primer límite de secuencia (SB1) correspondiente a inconformidades asociadas a la formación de canales que se

forman durante los estados de *Late High Stand* cuando el nivel base comienza a descender. (Figura 22). En la Figura 17 se marca el primer límite de secuencia (SB1).

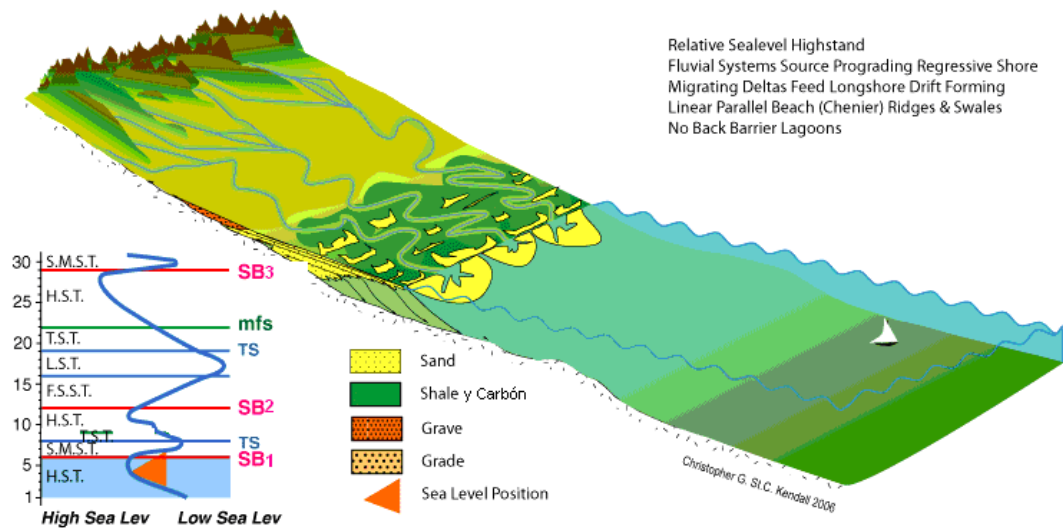


Figura 21. El primer segmento de la Formación Guaduas está enmarcada por un *Middle Highstand System Track* depositado durante un relativo ascenso del nivel del mar formando Cintas y los primeros Mantos de carbón de la formación Guaduas. Tomado de: <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>

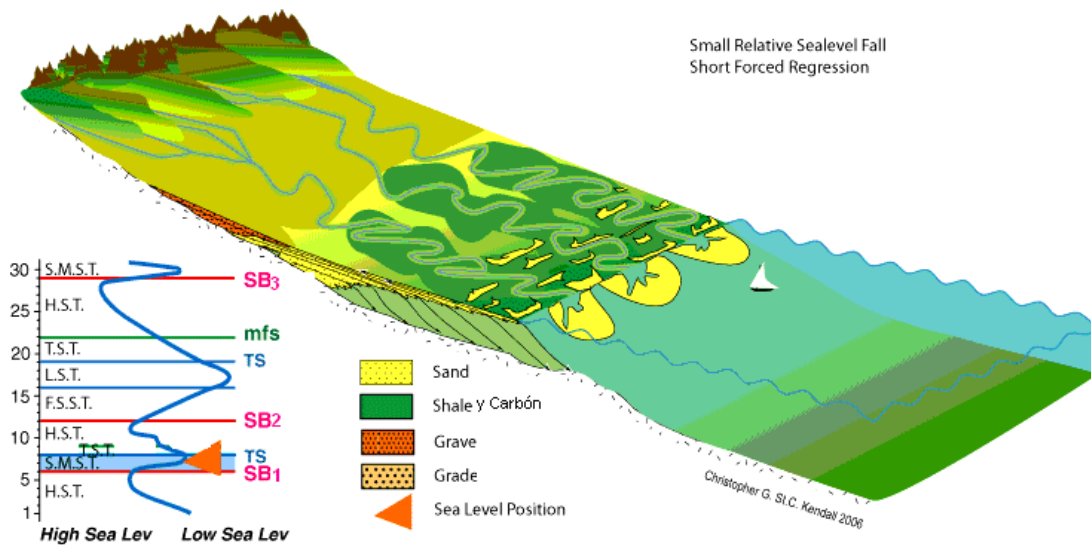


Figura 22. Durante un Late Highstand System Track, representado en la figura como un SMST, correspondiente a una pequeña regresión forzada. Se observa el primer límite de secuencias (SB1) donde se forman delgados canales debido a un pequeño descenso del nivel del mar Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

El segmento 3 es característico de un *Transgressive System Track* donde se evidencia un ascenso interrumpido del nivel del mar, con altas tasas de acomodación las cuales permitieron que se depositaran las Arenas Guía características por presentar una geometría tabular y un gran espesor (Figura 23)

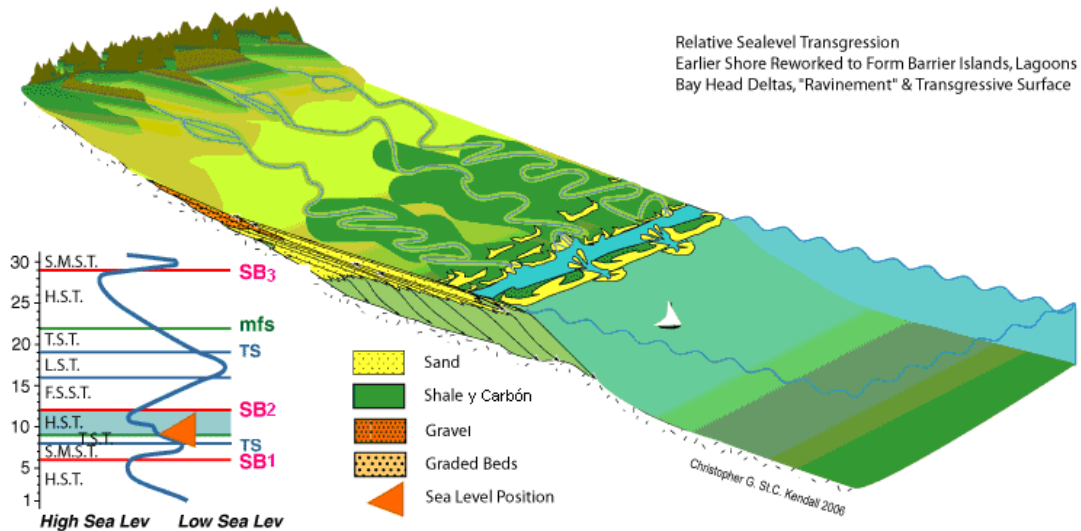


Figura 23. En un relativo ascenso del nivel del mar, durante un *Transgressive System Track* se depositan las Arenas Guía representadas por el segmento 3. Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>

Continuando este ascenso se depositan una serie de cintas de carbón representadas por un *Early y Middle higstand* correspondiente a un HST (Figura 24). Seguido a estos estados se presenta el segundo límite de secuencias (SB2) representado por un descenso del nivel del mar durante un *Late higstand* característico de un FSST (Figura 25) donde se forman canales de marea que suprayacen en contacto erosivo a unas areniscas lodosas de color amarillo con laminación flaser, características del segmento 4. En la Figura 17 se observa el segundo límite de secuencia (SB2).

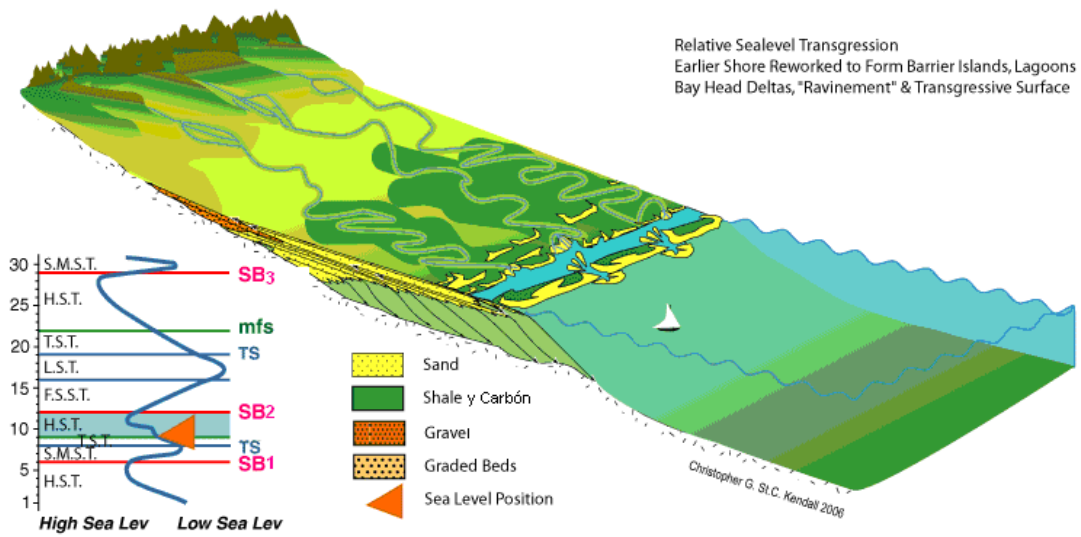


Figura 24. Ascenso relativo del nivel del mar donde se depositan Cintas de carbón representadas por un *Early* y *Middle Higstand* correspondiente a un HST. Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

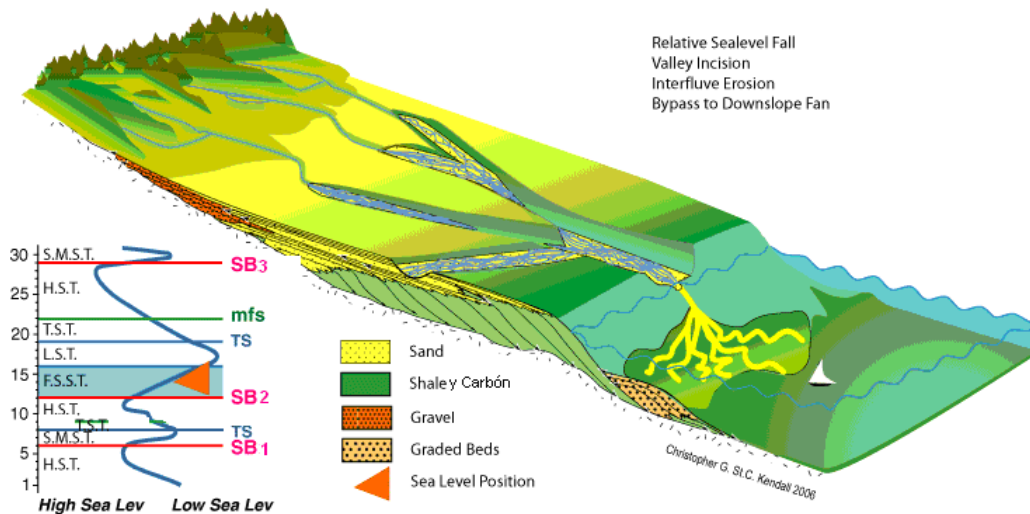


Figura 25. La figura representa un FSST correspondiente a un *Late Higstand* donde el nivel del mar comienza a descender erosionando canales para su posterior sedimentación durante un ascenso del nivel del mar. Se observa el segundo límite de secuencias (SB2). Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

Durante un *Middle Lowstand* (Figura 26) se acumulan carbones relativamente delgados a gruesos, continuos y bien preservados representados por el segmento 5 correspondientes a los mantos medios conocidos en la sección del Triunfo tales

como Manto 5, Manto 7, Manto 11 y Manto 12. En la sección de Montecristo encontramos algunos de los equivalentes de estos mantos conocidos como el Manto 6, Manto 7, Manto 8, Manto 9, Manto 10, en la Sección de Lenguaque, se correlacionan con el Manto 5, Manto 6, Manto 7 evidenciando un aumento del nivel del mar y un avance de la línea de costa. (Ver correlación de Mantos de Carbón en la Tabla 2) Posteriormente en el *Late Lowstand* (Figura 27) se continúa el ascenso del nivel del mar dando lugar a un incremento del espacio de acomodación en el que se acumulan canales, debido a las altas tasas de sedimentación presentes, característico del segmento 6. El *Middle Lowstand* y el *Late Lowstand* según el modelo propuesto por Bohacs and Suter, 1997 corresponden a un *Lowstand Sistem Track* (Figura 28).

Middle Lowstand

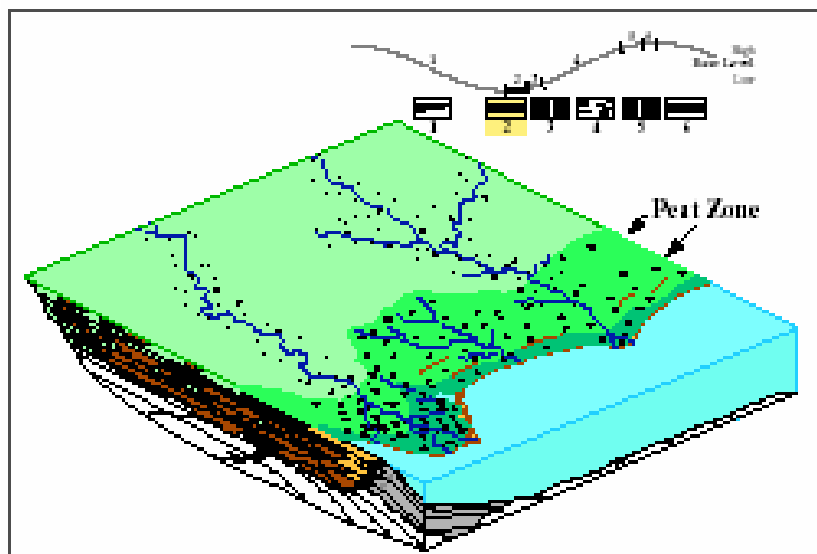


Figura 26. Lento ascenso del nivel del mar, el cual favoreció la acumulación y preservación de materia orgánica característico de un *Middle Lowstand*, representado por el segmento 5 y el segmento 10. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.

Late Lowstand

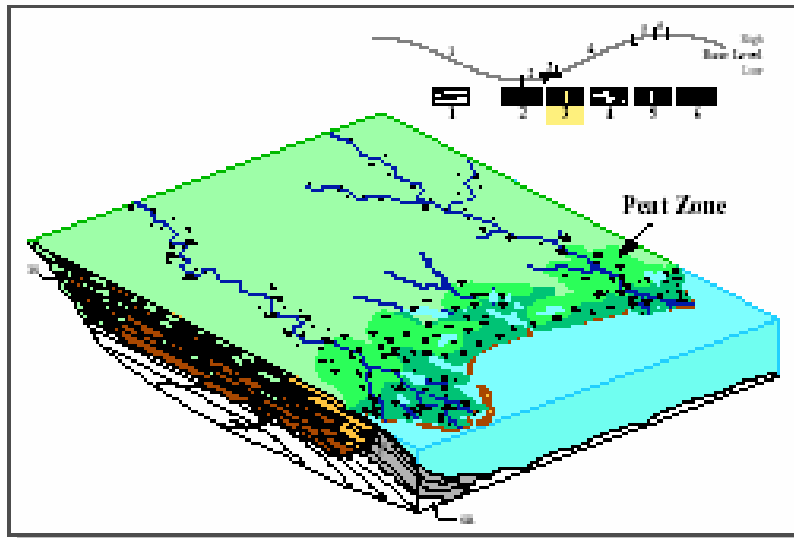


Figura 27. Deposición de canales durante un *Late Lowstand* donde se continúa el ascenso del nivel del mar dando lugar a un incremento en el espacio de acomodación en el cual se acumulan canales debido a las altas tasas de sedimentación presentes. Este estado es representado por los Segmentos 6 y 11. Tomado de Bohacs y Suter, 1997.

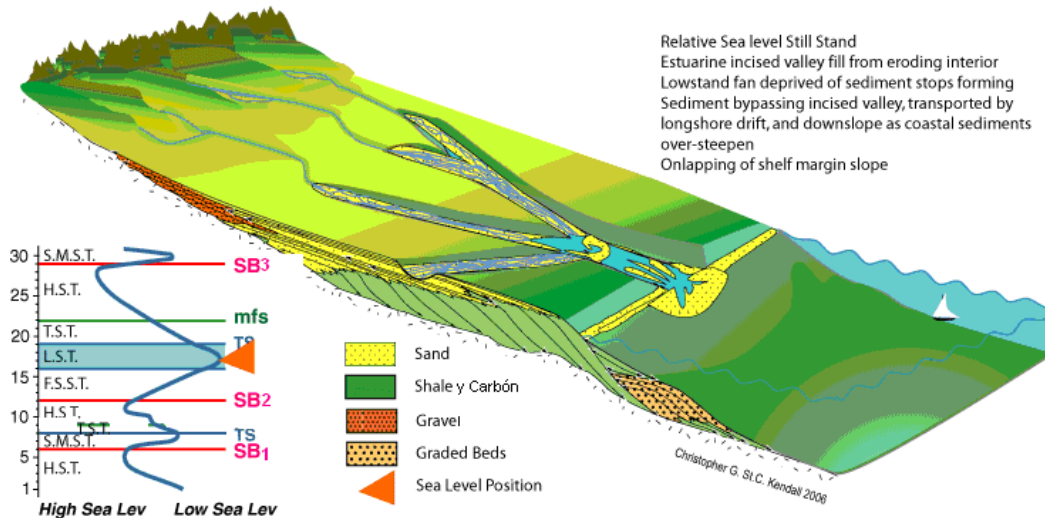


Figura 28. Durante un LST se erosionan los canales debido a un descenso del nivel del mar con posterior sedimentación de material aluvial. Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

Posteriormente se presentó una *Trasgresión* (Figura 29 y 30) representado por un rápido ascenso del nivel del mar en el cual el espacio de acomodación es reducido y por lo tanto la preservación de materia orgánica es mínima, dando lugar a la formación de mantos de carbón delgados, restringidos y dispersos encontrándose potentes niveles de lodolitas carbonosas. Característico del segmento 7 de la Formación Guaduas. Se presenta la máxima superficie de inundación (mfs), es decir el máximo avance de la línea de costa hacia el continente. En la Figura 17 se observa la máxima superficie de inundación (mfs).

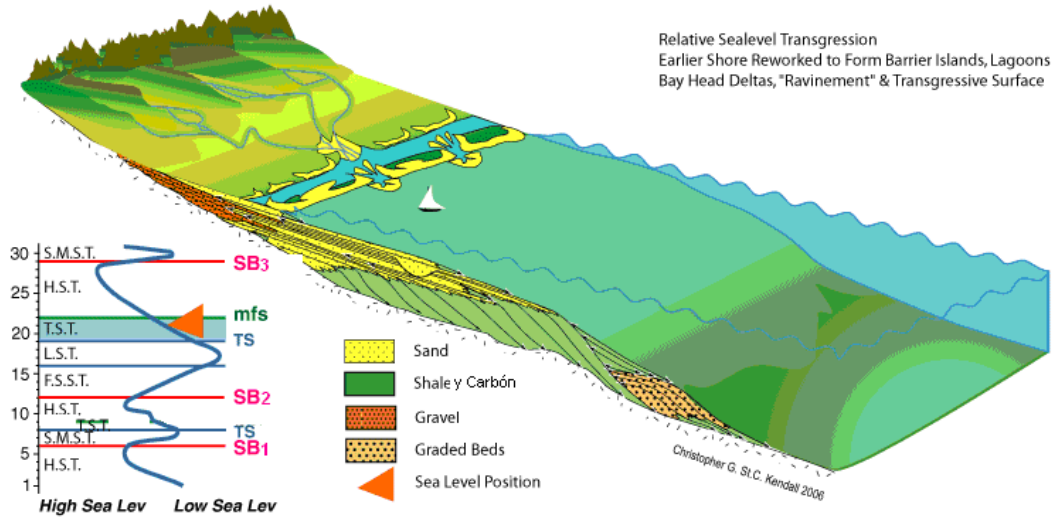


Figura 29. TST. Transgressive System Track. Rápido ascenso del nivel del mar en el cual el espacio de acomodación es reducido y por lo tanto la preservación de materia orgánica es mínima, representado por el Segmento 7. Se observa la máxima superficie de inundación (mfs) Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>. |

Transgressive

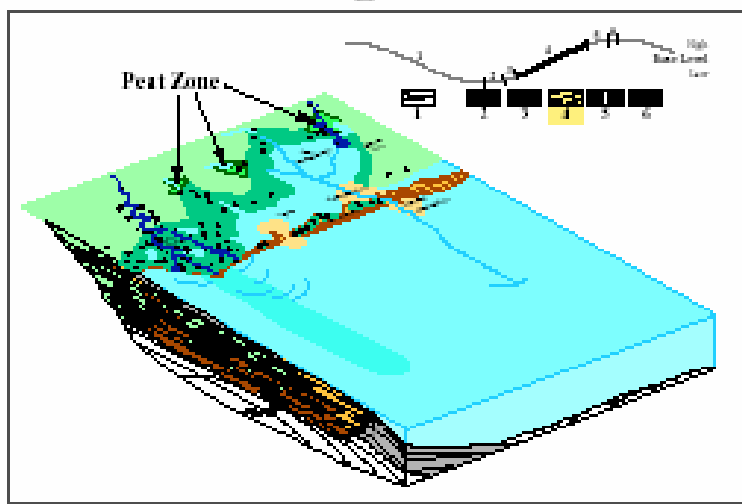


Figura 30. Durante la Transgresión la preservación de materia orgánica es mínima debido a que los depósitos de turba son inundados por un ascenso continuo del nivel del mar. Tomado de Bohacs y Suter, 1997 .

El segmento 8 representado por los mantos 17, Manto 18 y Manto 19 en la Sección del Triunfo, de los cuales se correlacionan con el Manto 12, Manto 13 y Manto 14 en la sección de Montecristo y de igual forma se correlacionan con el Manto 12, Manto 13 y Manto 15 de la sección de Lenguaque, (Ver correlación de Mantos de Carbón en la Tabla 2) característicos de un HST (Figura 31) correspondiente según el modelo propuesto por Bohacs y Suter, 1997 a un *Early Higstand* (Figura 32) y un *Middle Higstand* (Figura 33) en donde aumenta el nivel mar generando condiciones favorables para la acumulación y preservación de carbones debido a las altas tasas de acomodación y aporte de material orgánico. Depositando mantos de carbón delgados y continuos intercalados con abundantes niveles de lodolitas carbonosas.

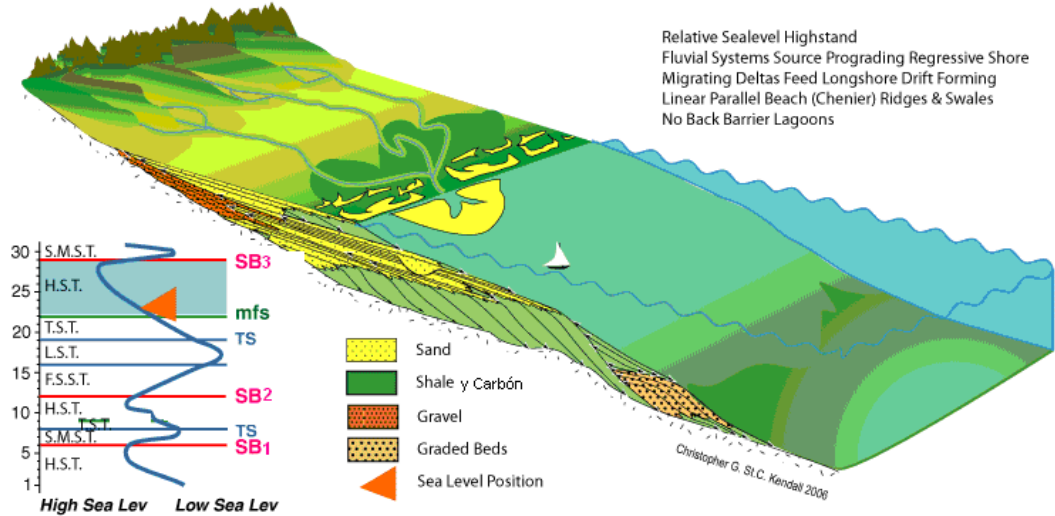


Figura 31. La figura representa un HST, correspondiente a un *Early Higstand* y *Middle Higstand*, evidenciado por un ascenso continuo del nivel del mar dando lugar a la formación de carbones representados por el segmento 8. Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

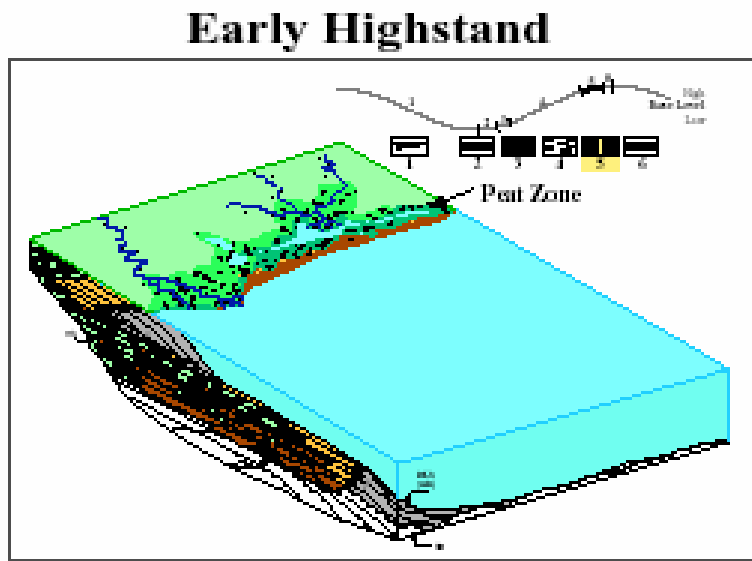


Figura 32. Durante un *Early Higstand* La tasa de ascenso del nivel del mar se hace lenta, generando condiciones favorables para la acumulación y preservación de materia orgánica, dando lugar a la formación de mantos de carbones relativamente espesos aunque con abundantes intercalaciones de lodolitas fósiles carbonosas. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

Middle Highstand

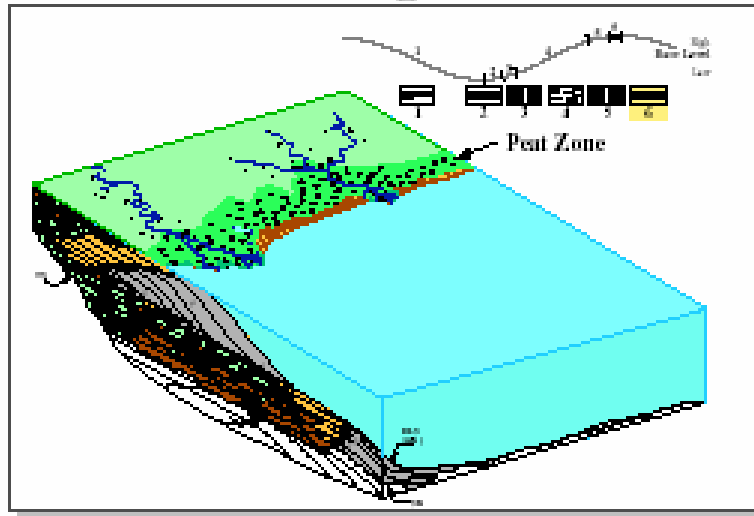


Figura 33. Durante un *Middle Highstand* el mar se estabiliza a niveles relativamente altos, lo cual favorece la acumulación y preservación de materia orgánica dando lugar a la formación de potentes niveles de lodolitas fósiles carbonosas. Tomado de Bohacs y Suter, 1997

Posteriormente se evidencia el tercer límite de secuencias (SB3) durante un *Late Highstand* (Figura 34 y 35) característico de un descenso relativo del nivel del mar depositando canales de areniscas de grano medio, las cuales presentan un contacto erosivo en su parte inferior correspondientes al segmento 9. En la Figura 17 se observa el tercer límite de secuencia (SB3).

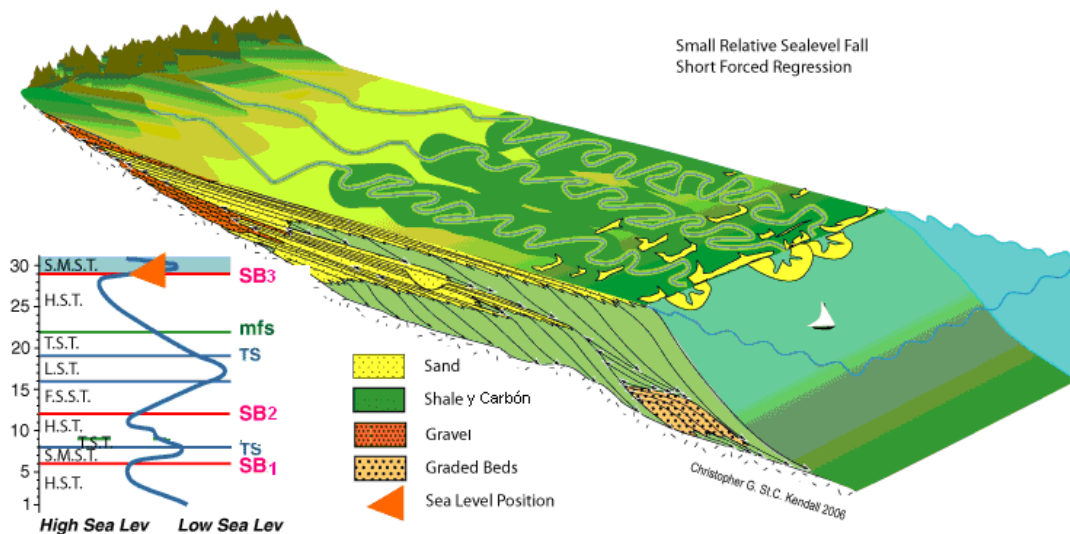


Figura 34. La figura representa un SMST correspondiente a un *Late Highstand* evidenciado por un descenso del nivel del mar dando lugar a la depositación de areniscas de grano medio, las cuales presentan un contacto erosivo en su parte inferior. El triángulo indica el tercer límite de secuencias (SB3) Tomado de <http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>.

Late Highstand

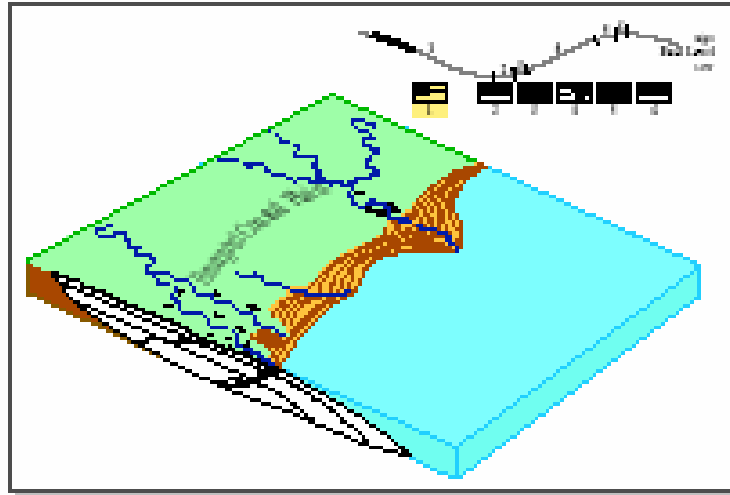


Figura 35. Durante un *Late Highstand* el mar desciende dando lugar a la depositación de canales de areniscas de grano medio Tomado de Bohacs y Suter, 1997.

El segmento 10 es representado por un *Middle Lowstand* (Figura 26), evidenciado por el aumento del nivel del mar y el avance de la línea de costa, acumulando carbones relativamente delgados y continuos con alto contenido de lodolitas fósiles carbonosas, representados por los Mantos 20, 21 y 22 de la Sección el Triunfo correlacionables con los Mantos 15, 16, 17, 18, 19 y 20 de la Sección de Montecristo y los Mantos 17, 18, 19, 20, 21 y 22 de la sección de Lenguazaque. El segmento 11 es evidenciado por un *Late Lowstand* (Figura 27), el cual se continúa el ascenso del nivel del mar dando lugar a un incremento del espacio de acomodación en el que se acumulan canales debido a las altas tasas de sedimentación clásticas presentes. Los segmentos 10 y 11 corresponden a un LST.

A partir del segmento 12 hasta el segmento 15 de la Formación Guaduas no es correcto utilizar la estratigrafía de secuencias puesto que el ambiente depositacional es fluvial no paralico en donde no hay influencia de los cambios relativos del nivel del mar resultado de la acresión final de la cordillera occidental

lo que determinó un significativo cambio en los ambientes de marino a continental, por lo tanto las fluctuaciones del nivel del mar no tienen ningún efecto.

12. DISCUSION DE RESULTADOS

El presente estudio se basó en la elaboración de tres columnas estratigráficas a detalle (escala 1:1000), localizadas sobre el flanco occidental del sinclinal Checua Lenguazaque. De las cuales se tuvo un buen control de estructuras sedimentarias (físicas y químicas presentando abundantes datos de bioperturbación), geometrías y contactos entre las unidades. De esta manera se propuso un modelo estratigráfico bidimensional que permite establecer con mejor aproximación los modelos de sedimentación de carbones y las demás litologías de la Formación Guaduas.

Sarmiento (1992a) presenta uno de los trabajos más completos de la Formación Guaduas, teniendo en cuenta un buen control bioestratigráfico. Sin embargo el autor presenta un modelo unidimensional por basarse exclusivamente en el análisis de una columna estratigráfica en la cual hace referencia a 52 mantos de carbón (mayores de 20 cm). En el presente trabajo se midieron y describieron tres columnas estratigráficas lo cual permitió plantear un modelo bidimensional. Como resultado de este trabajo se identificaron 20 mantos y 31 cintas de carbón a las cuales se les asignó una nomenclatura unificada para los diferentes mantos y cintas de carbón en cada una de las secciones estratigráficas.

Comparando las descripciones de las columnas estratigráficas realizadas en este informe con la de Sarmiento (1992a) se encuentran algunas diferencias de interpretación como en el caso del estrato denominado "Arenas la Guía" que dicho autor la considera como canal, por el contrario en este informe se identifico que la Arenisca la Guía presenta una geometría tabular con laminación planoparalela inclinada características del segmento 3 correspondiente a un ambiente de Frente de Playa (Foreshore) .

Sarmiento (1992a) propone para la Formación Guaduas un evento regresivo lento con fluctuaciones menores, que comenzó con la depositación del miembro superior de la Grupo Guadalupe, (Formación Arenisca Labor y Tierna) seguido por la depositación de la Formación Guaduas. Este modelo de sedimentación no tiene en cuenta las variaciones del nivel del mar como tampoco el análisis de la depositación de las parasecuencias o ciclos. Por el contrario presenta una evolución secuencial, caracterizada por procesos de continentalización de los medios de depósito afectados por la acción de la dinámica costera y el restablecimiento de las condiciones bajas a transaccionales de acumulación, circunstancias causantes de la abundante preservación de materia orgánica en las lodolitas o representada en la formación de mantos de carbón

Sarmiento (1992a). plantea un progresivo cambio de ambientes sedimentarios que evolucionan en sentido vertical desde mar somero es isla barrera (Grupo Guadalupe) a laguna costera (segmento 1), llanura intermareal que pasa progresivamente a pantanos costeros, responsable de la formación de los primeros mantos de carbón (segmento 2), lagos conectados con el mar y afectados por sucesivas invasiones de depósitos de desborde (segmento 3), canales de ríos meandriformes y llanuras aluviales (segmento 4), llanuras bajas (segmento 5), canales de ríos meandriformes con planicies de inundación, responsables de la formación del tercer grupo de mantos (segmento 6), nuevamente planicies de inundaron con abundante oxidación con esporádicas manifestaciones de influencia costera (segmento 7), finalizando con llanuras aluviales bajas y presencia de ríos meandriformes (segmento 8 y 9).

Por el contrario en este informe se presenta una repetición secuencial de ambientes sedimentarios los cuales se interpretaron a partir de la asociación de facies determinadas, para las cuales se asignaron los siguientes ambientes: asociación facial 1 corresponde a llanuras de inundación que pasa progresivamente a una zona de pantanos de agua salobre a dulce y finaliza con pantanos restringidos en los cuales se depositan los primeros mantos de carbón

con bajos contenidos de ceniza. Asociación facial 2 indica un ambiente de Frente de Playa (Shoreface) a Depósitos de Playa (Foreshore) para las arenas denominadas la Guía características por presentar una geometría tabular y laminación planoparalela de bajo ángulo. Asociación facial 3 corresponde a pantanos de agua salobre a fresca, responsable de la formación de cintas y mantos de carbón muy delgados. Asociación facial 4 canales de marea, asociación facial 5 pantanos de agua dulce a salobre, responsable de la depositación del segundo conjunto productor de carbones, asociación facial 6 llanuras de inundación, asociación facial 7 llanuras aluviales, asociación facial 8 corresponde a un ambiente de pantanos costeros en los cuales se depositaron los mantos superiores característicos por presentar sucesivas intercalaciones con lodosotas físciles carbonosas, asociación facial 9 corresponde a canales aluviales.

El estudio estratigráfico de la Formación Guaduas de Bueno y Moreno, (2005) hace un análisis generalizado de la estratigrafía de secuencias de la Formación Guaduas con base en las características petrográficas y geoquímicas de los mantos de carbón. Este trabajo identificó tres límites de secuencias y tres parasecuencias correspondientes a un Middle, Late Lowstand y Transgressive para la primer parasecuencia, a un Early y un Middle Highstand para la segunda parasecuencia y la tercer parasecuencia corresponde a depósitos fluviales. En el presente informe con base en la asociación facial y en el análisis de la estratigrafía de secuencias se identificaron cinco parasecuencias (ver figura 17) separadas por tres límites de secuencias correspondientes a SB1, SB2 y SB3, a inconformidades asociadas a la formación de canales que se forman durante los estados de Late High Stand cuando el nivel base comienza a descender. La primer parasecuencia presenta un espesor aproximado de 40 a 60 m y corresponde a un Middle Highstand en donde se encuentran los primeros mantos de carbón económicamente explotables. La segunda parasecuencia se encuentra hasta los 90-140 metros aproximadamente y corresponde a un Late Highstand, Transgressive y a un Highstand System Track (HST) en la cual no se presentan mantos ni cintas de carbón. La tercer parasecuencia se encuentra hasta los 375-

440 m aproximadamente y corresponde a un Middle Low Stand, Late Lowstand, Transgressive, representado por los mantos medios, Early y Middle Highstand representado por los mantos superiores de la Formación Guaduas. correspondientes a los Mantos 17, Manto 18 y Manto 19 en la sección del Triunfo, correlacionables con el Manto 12, Manto 13 y Manto 14 en la sección de Montecristo y el Manto 12, Manto 13 y Manto 15 de la sección de Lenguaque característicos por ser delgados y continuos lateralmente (Ver correlación de los mantos de carbón en la Tabla 2). La cuarta parasecuencia se encuentra hasta los 520-620 metros aproximadamente y corresponde a un Late Highstand, Middle y Late Lowstand en la cual se encuentran las últimas cintas de carbón. La quinta parasecuencia se encuentra hasta el tope de la Formación Guaduas y corresponde a depósitos fluviales en donde no se aplica la estratigrafía de secuencias.

Bueno y Moreno, (2005) presentan un estudio de la estratigrafía de secuencias de la Formación Guaduas mostrando una secuencia depositacional representada por una curva sinusoidal en la cual la amplitud y la frecuencia es constante donde comienza y termina en un Late Highstand depositando los mantos de carbón inferiores y medios en un Middle Lowstand y los mantos superiores en un Late Lowstand. Por el contrario el modelo propuesto en el presente trabajo muestra que los cambios en el nivel del mar no son constantes, por lo tanto esa curva sinusoidal presenta frecuencias y amplitudes variables, indicando secuencias mas largas o mas cortas dentro de un mismo evento.

13. CONCLUSIONES

Se estableció una nomenclatura unificada de los mantos y cintas de carbón en las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguaque de la Formación Guaduas.

Mediante el análisis realizado por estratigrafía de secuencias para los segmentos uno al once de la Formación Guaduas cuyo espesor es de 600 a 700 m, donde comienza con la depositación de una parasecuencia correspondiente a un Middle High Stand representado por el segmento uno en el cual se depositan los mantos de carbón inferiores de la formación económicamente explotables. Seguida de una secuencia completa que comienza y termina con presencia de canales formados durante los estados de Late High Stand en el cual se depositan los mantos medios y superiores de la Formación Guaduas económicamente explotables. Suprayaciendo se presenta una parasecuencia de Middle Low Stand para terminar con un Late Low Stand. El segmento superior de la Formación Guaduas con un espesor de 300 a 400 m. presenta una secuencia fluvial en donde la estratigrafía de secuencias no se puede utilizar ya que su depositación tuvo lugar en un ambiente lejano de la línea de costa sin influencia marina.

Los mantos de carbón de los ambientes parálicos se formaron durante los estados de Middle Low Stand correspondientes a los mantos medios algunos de los cuales son económicamente explotables por presentar un gran espesor y buena continuidad lateral, durante los estados de Early y Middle High Stand se formaron los mantos superiores correspondientes a los Mantos 17, Manto 18 y Manto 19 en la sección del Triunfo correlacionables con el Manto 12 y el Manto 13 en la sección de Montecristo y los Mantos 12, Manto 13 y Manto 15 en la sección de Lenguaque, característicos por ser delgados y continuos lateralmente (ver correlación de mantos de carbón en la Tabla 2). Por otra parte se forman canales

cuando el nivel base comienza a descender durante el estado de Late High Stand indicando tres límites de secuencias (SB) diferenciando cinco parasecuencias en este estudio, mientras en el trabajo propuesto por Moreno, M. Bueno, L, 2005 hacen referencia a tres límites de secuencias y tres parasecuencias.

Sarmiento presenta un evento regresivo constante durante la Formación Guaduas, el cual es errado, ya que a partir del modelo propuesto en este estudio se determinó que la Formación Guaduas estuvo influenciada por relativos ascensos y descensos del nivel del mar hasta el segmento 11, seguido por un retiro de la línea de costa donde la estratigrafía de secuencias no es pertinente emplearla.

Los contactos casi netos de los carbones característicos de los mantos inferiores y medios y su intercalación con otras litologías de diferente régimen indican cambios rápidos en el nivel base y una rápida depositación de los carbones. Los mantos inferiores corresponden al Manto 1, Manto 2, Manto 3 y Manto 4 en la sección del Triunfo; Manto 1, Manto 2, Manto 3 y Manto 4, en la sección del Montecristo y Manto 1, Manto 2 y Manto 3 en la sección de Lenguaque y los mantos medios corresponden a Manto 7, Manto 11, Manto 12 en la sección del Triunfo; Manto 8, Manto 10, Cinta 13, en la sección del Montecristo y Manto 6, Manto 7 y Manto 11 en la sección de Lenguaque (ver correlación de mantos de carbón en la Tabla 2

El modelo propuesto por Bohacs para la distribución de mantos de carbón de ambientes parálidos dentro de una secuencia depositacional muestra una curva sinusoidal donde la amplitud y la frecuencia es constante, por el contrario el modelo propuesto en el presente trabajo muestra que los cambios en el nivel del mar no son constantes, por lo tanto esa curva sinusoidal presenta frecuencias y amplitudes variables. Indicando secuencias más largas o más cortas dentro de un mismo evento. Este modelo solo se aplica a carbones en ambientes parálidos que están hidrológicamente conectados con el mar, donde las fluctuaciones de este determinan la ocurrencia y distribución de acumulación de turba, como es el caso de la Formación Guaduas entre los segmentos 1 a 11.

REFERENCIAS CITADAS

BOHACS K., SUTER J., 1997. Sequence Stratigraphic Distribution Of Coaly Rocks: Fundamental Controls And Paralic Examples. *AAPG. Bulletin*, V81, No. 10. p. 1612-1639.

BUENO. L, MORENO. M, 2005, Estratigrafía, Petrografía Y Geoquímica de la ocurrencia de carbones coquizables de la Formación Guaduas en la cuenca de Bogota.

COOPER M.A.; F.T. ADDISON; R. ALVAREZ; M. CORAL; R. H. GRAHAM; A. B. HAYWARD; S. HOWE; J. MARTINEZ; J. NAAR; R. PEÑAS; A.J. PULHAM; A. TABORDA. 1995. Basin Development and Tectonic History of The Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *Boletín AAPG* V.79/10. pag. 1421-1443.

CORTES, Y, MENDEZ, M. 2007. Geoquímica de los Yacimientos de Gas asociados a carbón en la Cuenca de Bogotá. Tesis de Grado Universidad Industrial de Santander.

CROSS, T.A. Controls on Coal Distributon in Trangressive-Regresive Cycles, Upper Cretaceous, Western Interior, U.S.A.

DIAZ. S, M. 1999. Gas asociado a mantos de carbón de la Formación Guaduas en el Sinclinal Checua-Lenguazaque, Colombia.

DIESSEL, F.K. (1992). Coal – Bearing Depositional Systems. Springer Verlag, Berlin. 721 p.

DUTCH, S, Construct a Fold Cross-Section Using the Kink Method. University de Wisconsin.

ETAYO, F., RENZONI G., BARRERO, D. 1969. Contornos Sucesivos del Mar Cretáceo en Colombia. Primer Congreso Col. Geol. Mem. 217-252. Bogotá.

ETAYO, S, F., BARRERO, D., LOZANO, H., ESPINOSA, A. GONZÁLEZ, H., ORREGO, A., BALLESTEROS, I., FORERO, H., RAMÍREZ, C., ZAMBRANO, F., DUQUE, H., VARGAS, R., NÚÑEZ, A., ALVAREZ, J., ROPAÍN, C., CARDOZO, E., GALVIS, N., SARMIENTO, L., ALBERS, J., CASE, J., SINGER, D., BOWEN, R., BERGER, B., COX, D., AND HODGES, C., 1983, Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia: Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas, no. 14, 235 p.

FABRE, A., 1983a, La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario Segunda Parte: Esquema de evolución tectónica: Geología Norandina, No. 8, p. 22–27.

FABRE, A., 1983b, La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario primera parte estudio cuantitativo de la subsidencia: Geología Norandina, No. 8, p. 35–59.

GALLO, M. 2006. Asesoría geológica a las labores de explotación en las minas de carbón la trinidad (Sutatausa, Cundinamarca). Practica Empresarial C.I Carbones Del Caribe S.A. Tesis Universidad Industrial de Santander.

GOMEZ, E., 2001, Tectonic control son the Late Cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of the Middle Magdalena Valley Basin. Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia [Ph.D. thesis]: Ithaca, New Cork, Cornell University, 619 p.

GOMEZ, E., JORDAN, T. E., ALLMENDINDER, R. W., CARDOZO, 2005b, Development of the Colombian foreland basin system as a consequence of diachronous exhumation of the northern Andes: GSA, V 117, p. 1272-1292.

GUILLANDE, R., 1988, Evolution Meso-Cenozoique d'une vallée et intercordillère andine: La Haute Vallée du Rio Magdalena (Colombie): Ph. D. Tesis, Université Pierre et Marie Curie, v. 88-26. p. 358.

HERRERA B., Mateus, E. 1977. Censo Minero del Sinclinal Chencua Lenguaque. (Cundinamarca). Informe 1728, Ingeominas, Bogotá,.

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

HUBACH, E. 1951. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Servicio Geológico Nacional, informe No 785. Publicado en 1958, Boletín Geológico Instituto Geológico Nacional, Vol. 5, No 2. p. 93-112.

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

JULIVERT, M., 1963a. – Estratigrafía y sedimentología de la parte inferior de la Formación Guaduas al S de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental). Boletín Geológico UIS., nº 12, p. 85-99.

JULIVERT, M., 1963b, Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras. Boletín Geológico UIS. Vol. 13 y 14. nº 13, p. 5 – 102.

INGEOMINAS, 2004. El Carbón Colombiano. Recursos, Reservas y Calidad. Publicaciones especiales de Ingeominas. Bogotá.

LANGE, J. P, 2003, Stratigraphy, Depositional Environments and Coalbed Methane Resources of Cherokee Group Coals (Middle Pennsylvanian)—Southeastern Kansas, Kansas Geological Survey, University of Kansas.

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

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

PEREZ, F., VALDERRAMA, G., BLANCO, G., GONZÁLEZ, L., GARCÍA, F. Bogotá. 1987. Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua – Lenguazaque. *Boletín Geológico*. Vol 28, No. 2. Ingeominas.

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 109-124.114.

READING, H.G. 1975. Sedimentary Environments and Facies. Elsevier, New York.

RENZONI, G., 1962. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. Bol. Geol.. Serv. Geol.. Nal. X (1-3). 59-79 Bogotá.

SARMIENTO, L.F., 1989, Stratigraphy of the Cordillera Oriental, West of Bogotá, Colombia [M.S. thesis]: Chapel Hill, University of South Carolina, 102 p.

SARMIENTO G. 1992. Estratigrafía y medios de Depósito de la formación Guaduas, Boletín Geológico Vol. 32 Pags, 3-44.

SARMIENTO PEREZ, G. 1994. Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*. No. 20. Santa Fe de Bogotá.

SARMIENTO ROJAS L. F. 2001. Mesozoic Rifting And Cenozoic Basin Inversion History Of The Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models. *Ecopetrol*.

ULLOA, C.; RODRÍGUEZ, E. 1979. Geología del Cuadrángulo K12 - Guateque. Boletín Geológico, Ingeominas, Vol. XXII, No 1. p. 3 - 56.

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

VALENZUELA A. 2002. El Potencial de Generación de Gas y Petróleo de los Carbones de la Formación Guaduas, Colombia.

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.

VEGA, M., 2004. Cartografía Geológica y caracterización de los mantos de carbón de la Formación Guaduas en los municipios de Tausa y Cucunubá.

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

<http://earth.google.es/>

<http://strata.geol.sc.edu/terminology.html>

<http://homepage.mac.com/uriarte/precesion.html>

<http://homepage.mac.com/uriarte/inclinacion.html>

<http://www.ahorausacom/CyTMilank.htm>

ANEXOS

Anexo 1. Mapa Geológico del Sinclinal Checua Lenguazaque a escala 1:25000

Anexo 2. Fotogeología de la zona a Escala 1:40000.

Anexo 3. Mapa de recorridos y transversas de la sección Triunfo a escala 1:5000

Anexo 4. Mapa de recorridos y transversas de la sección Montecristo a escala 1:5000

Anexo 5. Mapa de recorridos y transversas de la sección Lenguazaque a escala 1:5000

Anexo 6. Poligonal de la sección de Montecristo a escala 1:1000

Anexo 7. Poligonal y corte balanceado de la sección Triunfo 1:1000

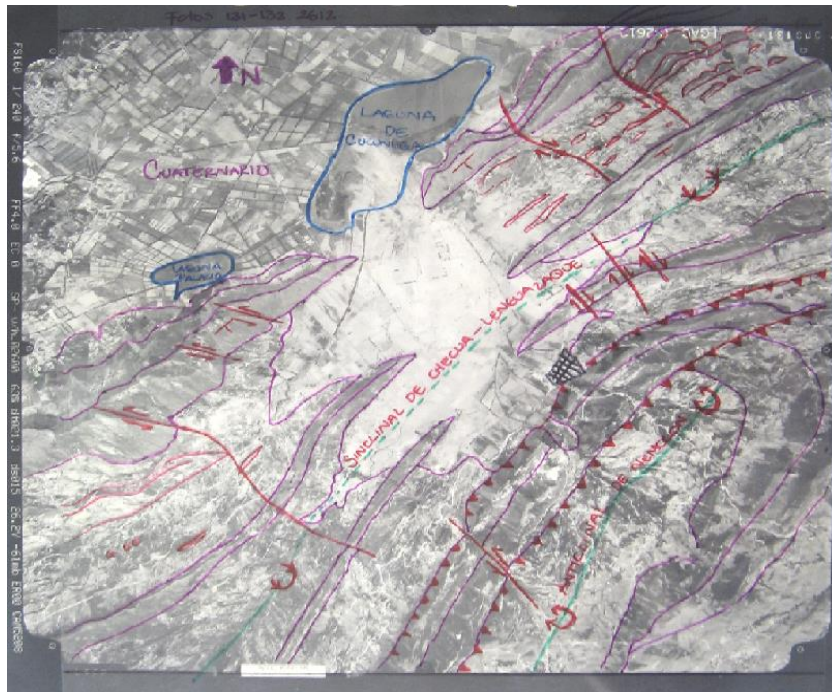
Anexo 8. Poligonal y corte balanceado de la sección Lenguazaque 1:1000

Anexo 9. Columna Estratigráfica de la Sección Triunfo a escala 1:1000

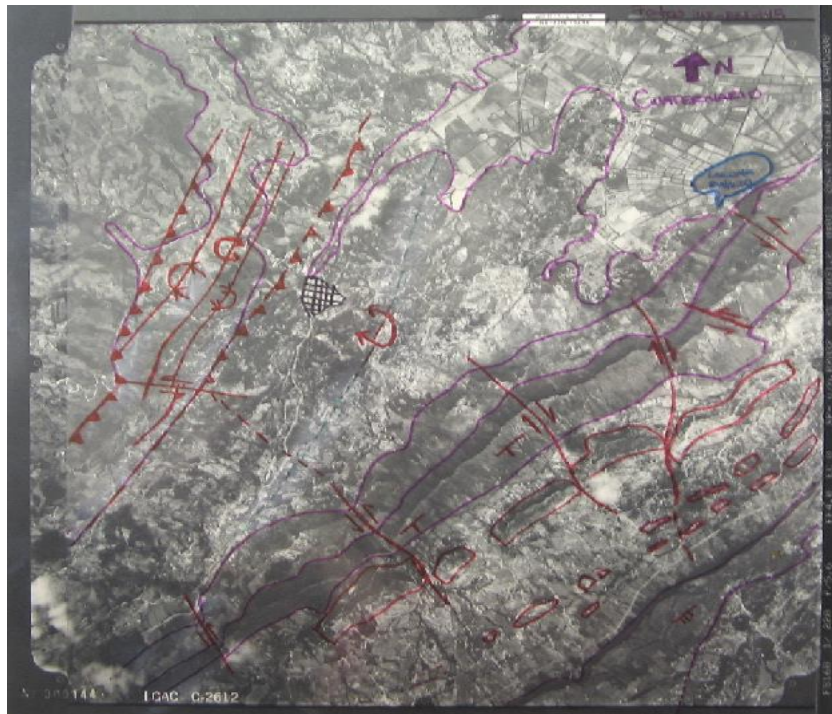
Anexo 10. Columna Estratigráfica de la Sección Montecristo a escala 1:1000

Anexo 11. Columna Estratigráfica de la Sección Lenguazaque a escala 1:1000

Anexo 12. Correlación Estratigráfica por segmentos en las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque a escala 1:1000

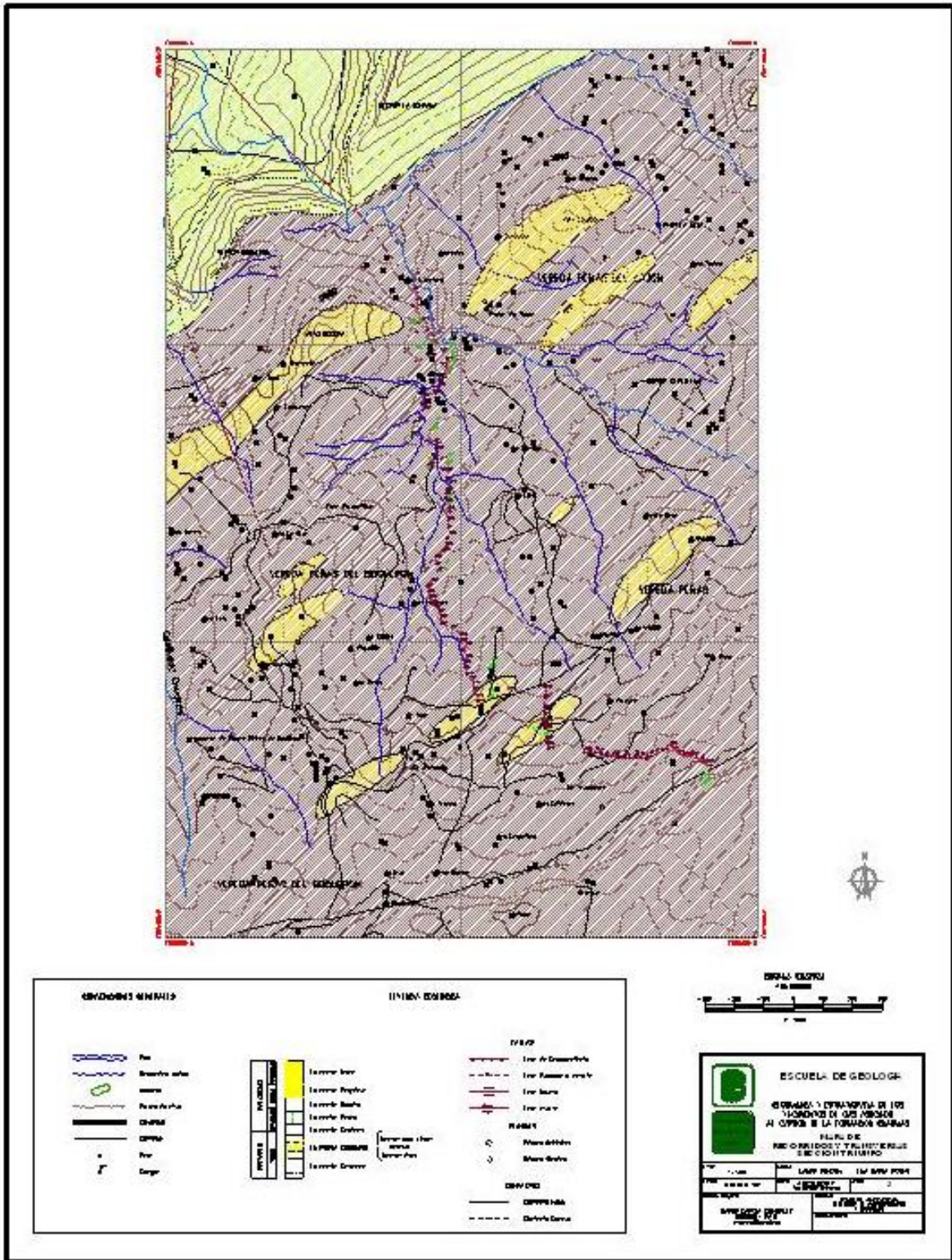


VUELO C-2612. FOTOS NUMEROS 130-131-132. ESCALA 1: 40000

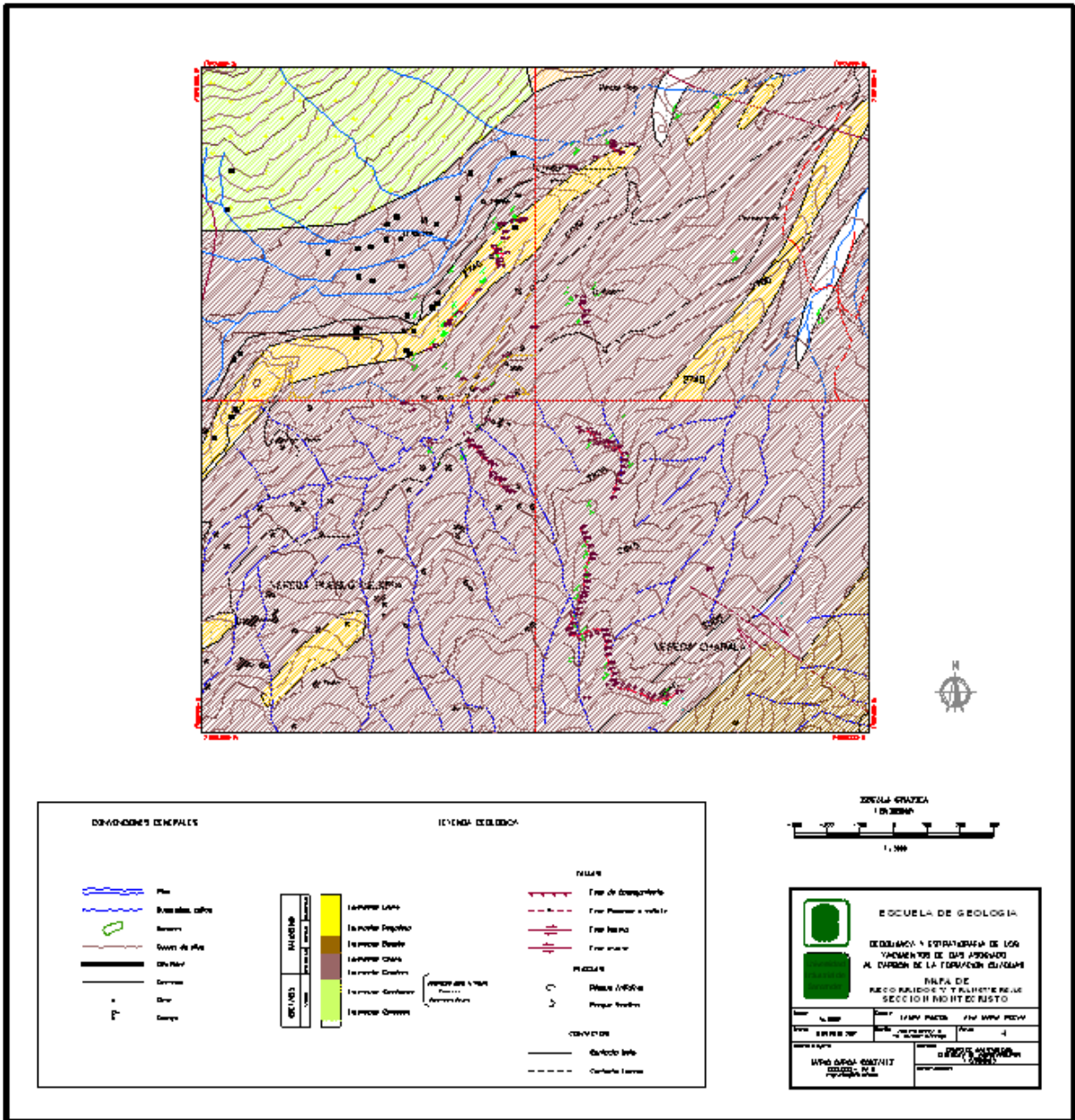


VUELO C-2612. FOTOS NUMEROS 143-144-145. ESCALA 1: 40000

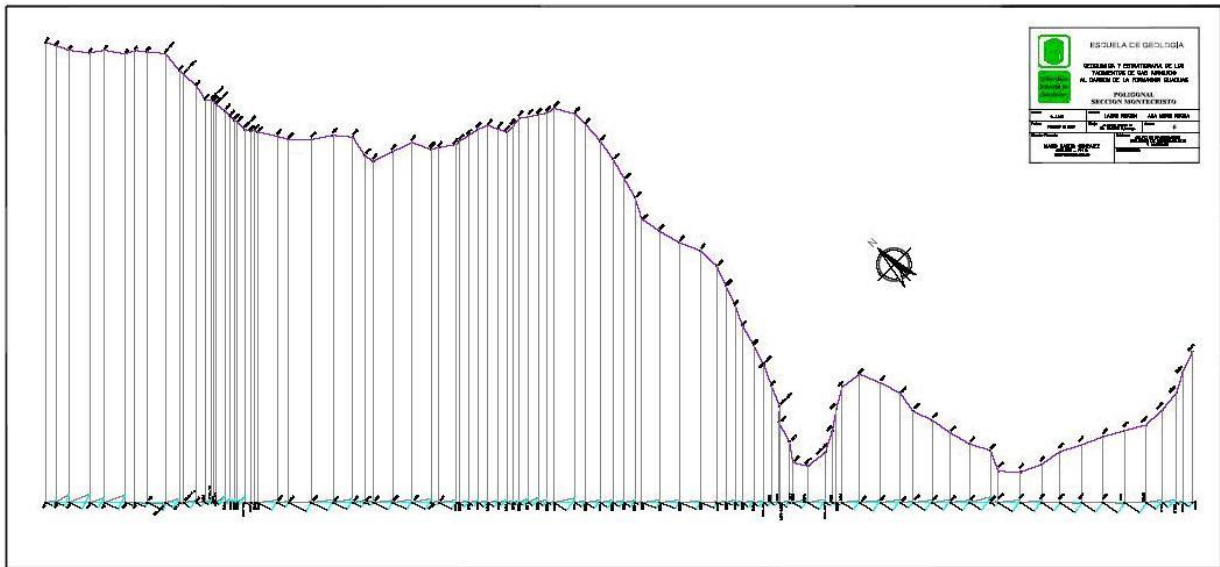
Anexo 2. Fotogeología de la zona a Escala 1:40000.



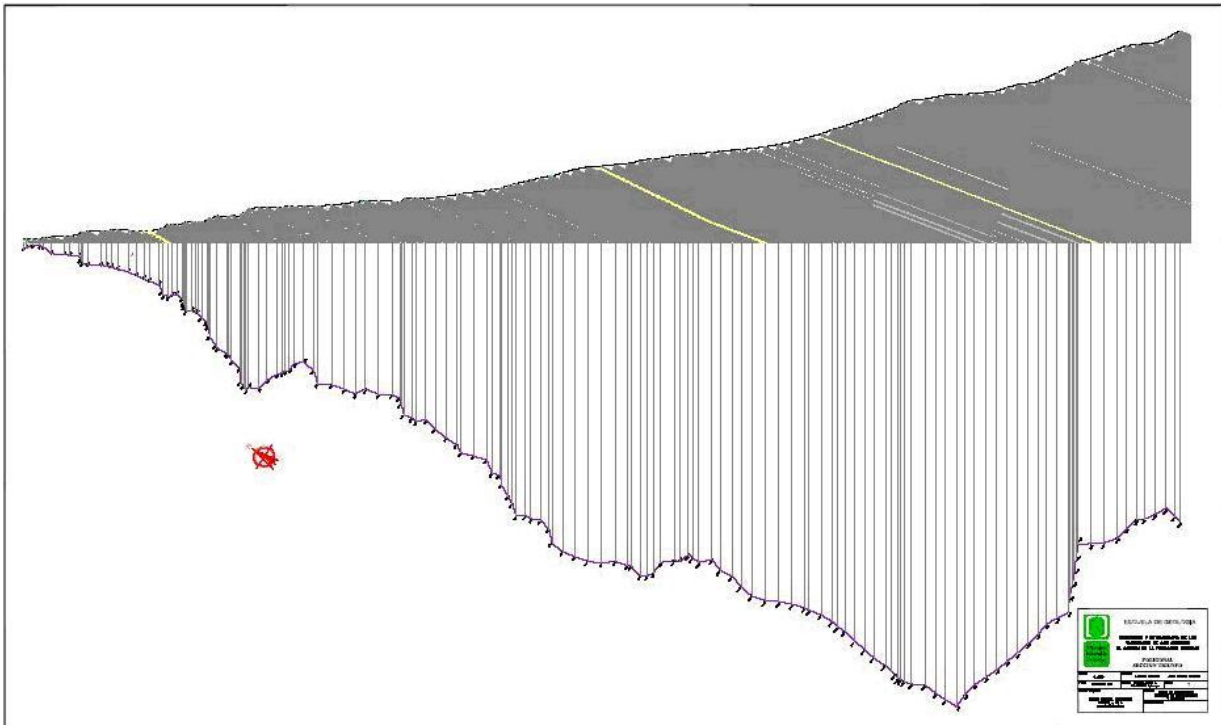
Anexo 3. Mapa de recorridos y transversas de la sección Triunfo



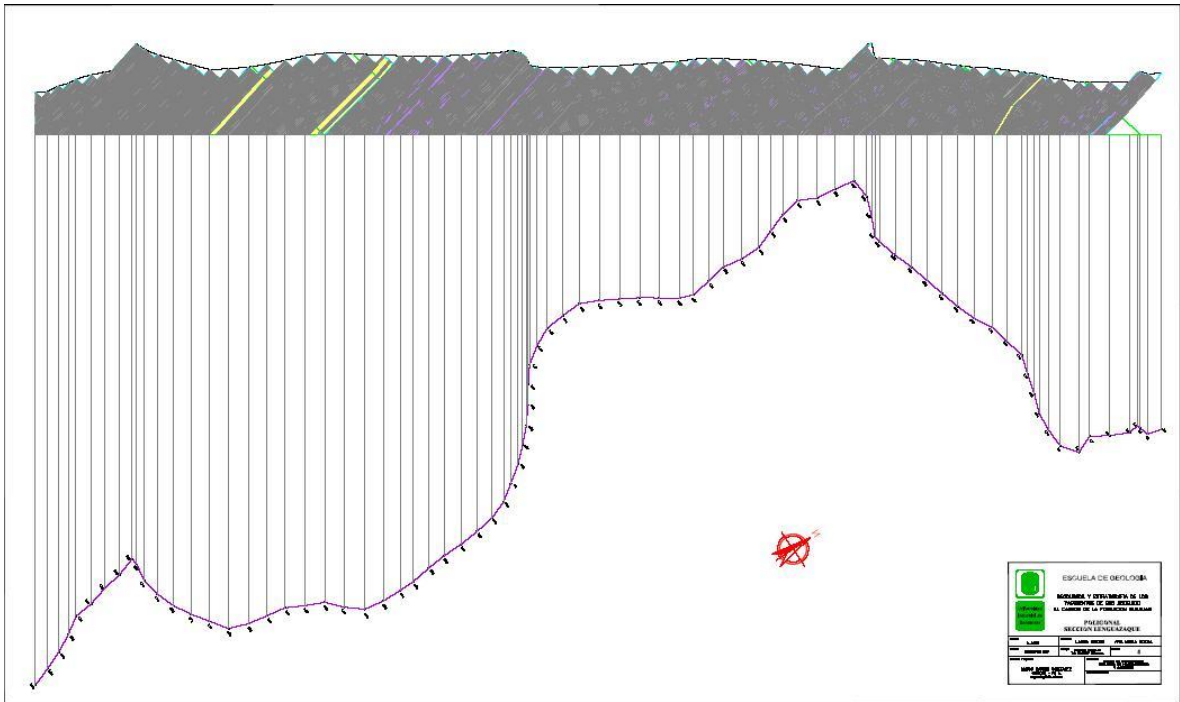
Anexo 4. Mapa de recorridos y transversas de la sección Montecristo



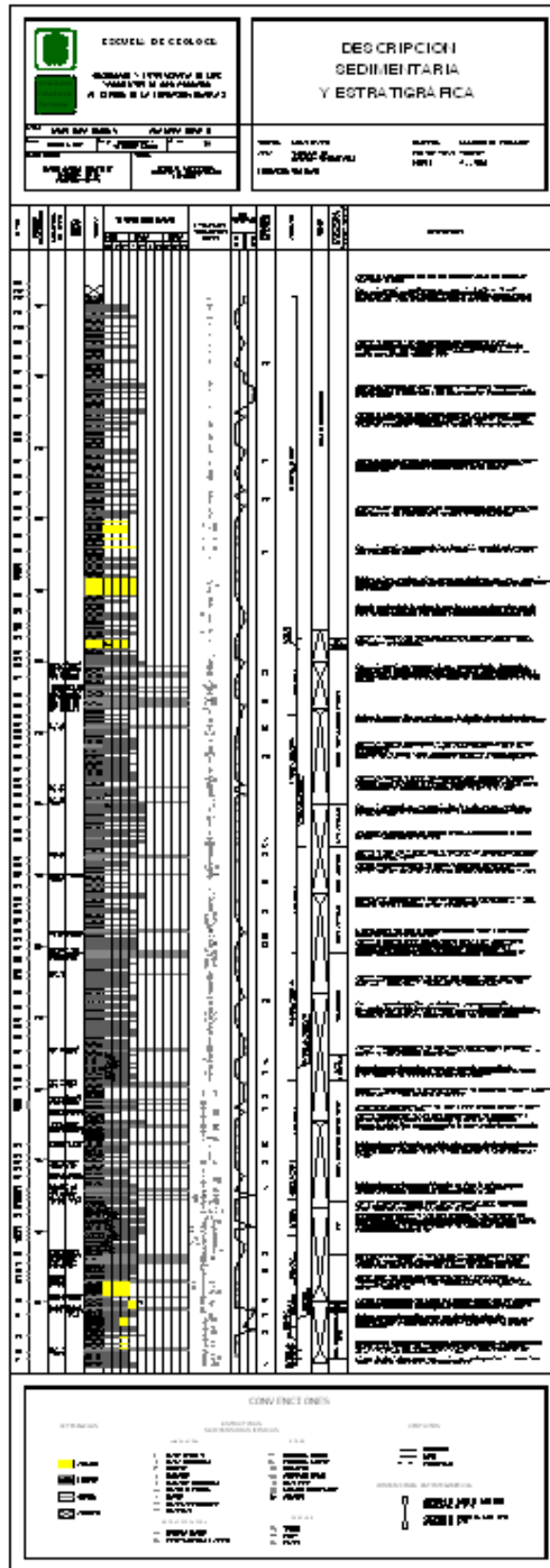
Anexo 6. Poligonal de la sección de Montecristo



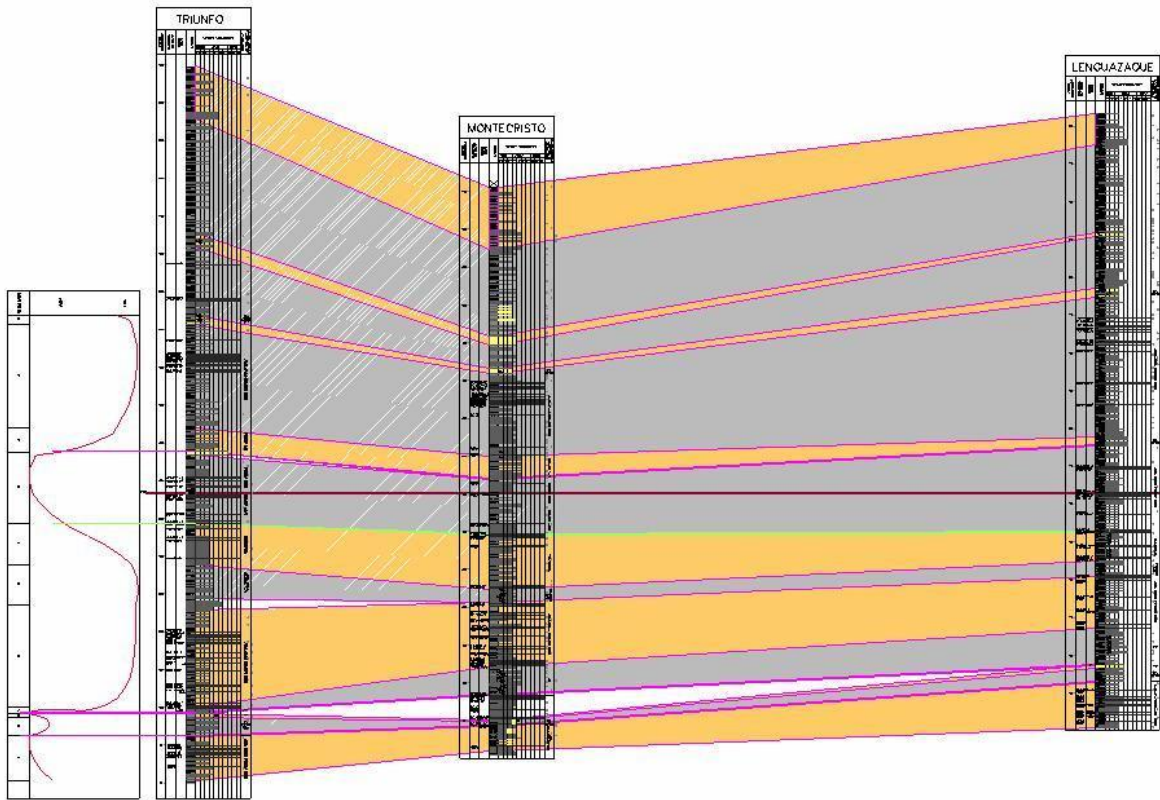
Anexo 7. Poligonal y corte balanceado de la sección Triunfo



Anexo 8. Poligonal y corte balanceado de la sección Lenguazaque



Anexo 10. Columna Estratigráfica de la Sección Montecristo



Anexo 12.Correlación Estratigráfica por segmentos en las secciones Triunfo, Montecristo y Lenguazaque