

**REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y
QUIMICA**

**ESTRATIGRAFIA Y MEDIOS DE DEPOSITO DE LA FORMACION
GUADUAS**

Por:

**GUSTAVO SARMIENTO PEREZ
Geólogo**

BOGOTA, 1991

BOL. GEOL., VOL. 32, N° 1-3.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	5
1. INTRODUCCION	5
1.1. LOCALIZACION.....	6
1.2. METODO DE TRABAJO.....	6
2. MARCO GEOLOGICO	6
3. ESTRATIGRAFIA	9
3.1. GRUPO GUADALUPE.....	9
3.1.1. SEGMENTO 1.....	9
3.1.2. SEGMENTO 2.....	12
3.2. FORMACION GUADUAS.....	12
3.2.1. SEGMENTO 1.....	13
3.2.2. SEGMENTO 2.....	14
3.2.3. SEGMENTO 3.....	17
3.2.4. SEGMENTO 4.....	18
3.2.5. SEGMENTO 5.....	20
3.2.6. SEGMENTO 6.....	23
3.2.7. SEGMENTO 7.....	25
3.2.8. SEGMENTO 8.....	29
3.2.9. SEGMENTO 9.....	29
4. INTERPRETACION AMBIENTAL	31
4.1. INTERPRETACION AMBIENTAL DE LOS SEGMENTOS 1 Y 2 DEL GRUPO GUADALUPE.....	32
4.2. INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA FORMACION GUADUAS.....	35
4.2.1. SEGMENTO 1. Laguna costera y zona intermareal.....	35
4.2.2. SEGMENTO 2. Zona supramareal y lacustre.....	36
4.2.3. SEGMENTO 3. Rios, desbordes y ambiente lacustre.....	36
4.2.4. SEGMENTO 4. Zona de pantanos cerrados, pantanos abiertos.....	37
4.2.5. SEGMENTO 5. Llanuras bajas.....	38
4.2.6. SEGMENTO 6. Canal del río meandriforme y llanura aluvial; zona intermareal, supramareal y pantanos.....	39
4.2.7. SEGMENTO 7. Llanuras bajas, zona intermareal.....	39
4.2.8. SEGMENTO 8. Canal de meandro.....	40
4.2.9. SEGMENTO 9. Canales meandriformes y llanuras aluviales.....	41
5. CONCLUSIONES	41
5.1. ANALISIS.....	41
5.2. INTERPRETACION.....	42
6. AGRADECIMIENTOS	43
7. BIBLIOGRAFIA	43

FIGURAS

1. Areas Carboníferas en Colombia y área carbonífera de Checua-Lenguazaque.....	7
2. Mapa Geológico del área de Peñas del Boquerón de Sutatausa.....	8
3. Sección columnar: Segmentos 1 y 2 del Grupo Guadalupe y Segmentos 1, 2 y 3 de la Formación Guaduas.....	10

Página

4. Panorámica del Grupo Guadalupe.....	14
5. Panorámica de la Formación Guaduas.....	14
6. Arcillolitas y capas delgadas de arcillolita limonitizada cerca a la base de la Formación Guaduas.....	16
7. Arcillolitas con lentes planos de limolita de cuarzo	16
8. Estratificación ondulosa y lenticular conectada (metro 67).....	16
9. Ondulitas asimétricas y linguoidales (metro 91.5).....	16
10. a) Conjunto de capas medias de lodolitas con estratificación interna lenticular (metro 128) , b) Sección delgada mostrando estratificación lenticular.....	16
11. a) Sección delgada de una limolita. b) Láminas planas paralelas de limolita clara y oscura	22
12. a) Conjunto de capas de arenita localizadas en el techo del segmento 3. b) Sección delgada de estas arenitas.....	22
13. Sección columnar: Segmentos 4, 5 y 6 de la Formación Guaduas.....	21
14. Capa formada por nódulos limoníticos de forma subelíptica.....	22
15. Concreciones irregulares de Siderita siguiendo el mismo nivel estratigráfico.....	22
16. Relleno de Canal	26
17. Estratificación lenticular a ondulosa (metro 545).....	26
18. Paisaje entre el segmento 6 y el segmento 7.....	26
19. Sección columnar: Segmentos 7, 8 y 9 de la Formación Guaduas.....	27
20. a) Lodolita con laminación lenticular y ondulosa (metro 758). b) Lodolitas y arenita en capas muy delgadas con estratificación ondulosa (metro 759).....	30
21. a) Conjunto de capas de arenita del segmento 8.....	30
b) Sección delgada de las arenitas del segmento 8.....	30
22. Bandas de colores que definen las capas de lodolita del segmento 9	30
23. Sección delgada de uno de los niveles arenosos del segmento 9.....	30
24. Interpretación Ambiental esquemática de la parte superior del Grupo Guadalupe y de la Formación Guaduas.....	33

Página

25. Mapa Generalizado y cortes esquemáticos mostrando los ambientes y facies mayores de un sistema Isla de barrera-laguna	34
26. Perfiles generalizados de una playa y de una zona cerca a la playa	35
27. Esquematización de las 2 secuencias meandriformes del segmento 8.	40

ANEXO

Columna Estratigráfica.....	(entre 44 y 45)
-----------------------------	-----------------

RESUMEN

La parte superior del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas en el área de Sutatausa, registran el último evento regresivo del mar cretácico. Se observa un progresivo cambio de ambientes sedimentarios que evolucionan en sentido vertical desde mar somero e isla de barrera a laguna costera, llanura intermareal, pantanos costeros, lagos, canales de ríos y llanuras aluviales con esporádicas manifestaciones de la influencia costera.

La excelente exposición de la sección permitió hacer un reconocimiento detallado de los rasgos estratigráficos y la definición de los segmentos. A través de la descripción se deduce la 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 transicionales de acumulación, circunstancias causantes de la abundante preservación de materia orgánica en las lodolitas o representada en la formación de mantos de carbón (52 mayores de 20 cm).

1. INTRODUCCION

La Formación Guaduas fue descrita originalmente por Hettner en 1892 (En DE PORTA, 1974) para definir una secuencia de arcillolitas multicolor, intercalada con limolitas y areniscas.

El término fue adoptado en el área del norte de Bogotá y aplicado a la formación que contenía los carbones, hasta tal punto que Hubach (1957) redefine la formación para esta área y propone como localidad tipo la zona ubicada en inmediaciones de Guatavita, presentando una descripción generalizada de sus características litológicas. Sin embargo, la estratigrafía de la Formación Guaduas y su interpretación ambiental no habían sido llevadas a cabo detalladamente, permaneciendo desconocida a pesar de los innumerables estudios que se han realizado en general enfocados hacia las características industriales y comerciales de los depósitos de carbón (ADARO, 1978; BLANCO *et al*, 1977; DURAN *et al*, 1981; PEREZ *et al*, 1987). Tan sólo Laverde (1979) intenta hacer una descripción de algunos aspectos litoestratigráficos y propone unos modelos de interpretación ambiental.

La secuencia estratigráfica que a continuación se presenta constituye una importante sección de referencia de la Forma-

ción Guaduas donde son muy claras las relaciones estratigráficas con las unidades infrayacente (Grupo Guadalupe) y supra-yacente (Formación Cacho) y una exposición de la unidad que corresponde al 95% del total. Se hace una evaluación de los aspectos estratigráficos tanto de la parte superior del Grupo Guadalupe como de la Formación Guaduas hasta el techo con la Formación Cacho. Ambas unidades han sido subdivididas en segmentos informales, con el fin de facilitar las descripciones y teniendo en cuenta cambios litológicos fácilmente reconocibles que se manifiestan en modificaciones del paisaje y se pueden seguir al menos en el área cartografiada. El Grupo Guadalupe ha sido subdividido en dos segmentos, mientras que la Formación Guaduas será descrita en 9 segmentos en la primera parte de este trabajo. En la segunda parte se presentará la interpretación ambiental segmento por segmento y aunque algunos datos fueron obtenidos del análisis preliminar de la Palinología estos resultados aparecen en el informe posterior (en este volumen).

El análisis ambiental es el resultado del estudio y evaluación de los rasgos litoestratigráficos, pero su coherencia fue verificada con el aporte del significado ambiental con macro o microfósiles marcadores.

1.1. LOCALIZACION

El área de estudio esta ubicada en el Flanco Occidental del Sinclinal de Checua-Lenguazaque (BLANCO *et al*, 1977, McLAUGHLIN y ARCE, 1975), cuyo eje presenta una orientación NE, al igual que el tren estructural general de la zona.

En general, teniendo en cuenta la Formación Guaduas como una de las unidades productoras de carbón en Colombia, se presenta la ubicación de la zona de trabajo con relación a las demás localidades productoras y lo correspondiente al área carbonífera de Checua - Lenguazaque (Fig.1).

Se llega al área por la carretera Bogotá- Zipaquirá - Ubaté, desviando por el carretable de penetración a la zona carbonífera, que parte del sitio Tierra Negra; 5 kilómetros más adelante se inicia la Inspeccion de Policía de Peñas del Boquerón de Suta, región donde fue realizada la cartografía y donde se levantaron las columnas estratigráficas. La sección de la parte alta del Grupo Guadalupe se estudió en el Boquerón de Sutatausa, 2 km hacia Ubaté del sitio Tierra Negra (Fig. 2).

1.2. METODO DE TRABAJO

Se realizó una cartografía a escala 1:10.000 teniendo en cuenta aspectos geomórficos tales como contrastes mayores producidos por los niveles arenosos. Igualmente se pudieron seguir las zonas que presentaban diferentes tonalidades de meteorización, dadas por los contenidos variables de materia orgánica. Durante la cartografía se seleccionó la zona de mejor exposición que posteriormente permitió hacer el levantamiento de la sección estratigráfica en forma continua. Igualmente se escogieron los sitios que ofrecían alternativas en el momento de realizar columnas estratigráficas de referencia.

Se inició posteriormente la ejecución de la columna estratigráfica a escala 1:100

y el muestreo para las preparaciones palinológicas siguiendo una poligonal con brújula y cinta. Se escogió como sitio la Quebrada de las Peñas y los diferentes afloramientos de los canales de erosión que llegan a ella bastante desarrollados en el área. La exposición general es excelente pese a que en algunos sitios está parcialmente enmascarada por la meteorización, principalmente hacia la parte superior de la secuencia, donde se hicieron dos levantamientos paralelos para confirmar espesores y descripciones litológicas.

Se colectaron además de las muestras de arcillas algunos mantos de carbón para observar las variaciones palinológicas a lo largo de estos. Se tomaron muestras para petrografía con el objeto de analizar los componentes mineralógicos de las siliciclásticas.

Se considera este informe como la culminación de los aspectos estratigráficos; investigaciones posteriores apuntaron hacia el enfoque de la sistemática palinológica y de la aplicación palinoestratigráfica para verificar ambientes sedimentarios y cambios a lo largo del tiempo.

2. MARCO GEOLOGICO

Sobre un basamento Igneo-metamórfico y metasedimentario, asociado genéticamente al Escudo Guayanas (Mapa Geológico de Colombia, INGEOMINAS, 1988) cubierto por sedimentitas Paleozoicas, yace una espesa secuencia cretácica inicialmente transgresiva (ETAYO *et al*, 1969; RENZONI, 1962; FABRE, 1985) pero que a partir de los comienzos del Cretácico superior se hace regresiva. En el cretácico superior se observa la somerización de los ambientes sedimentarios, con un Grupo Guadalupe donde se repiten las condiciones de mar poco profundo a costero y la Formación Guaduas transicional con influencias costaneras en varios sectores y cada vez de menor intensidad, a las cuales están asociados los mantos de carbón, pero ya con un amplio dominio de las facies típi-

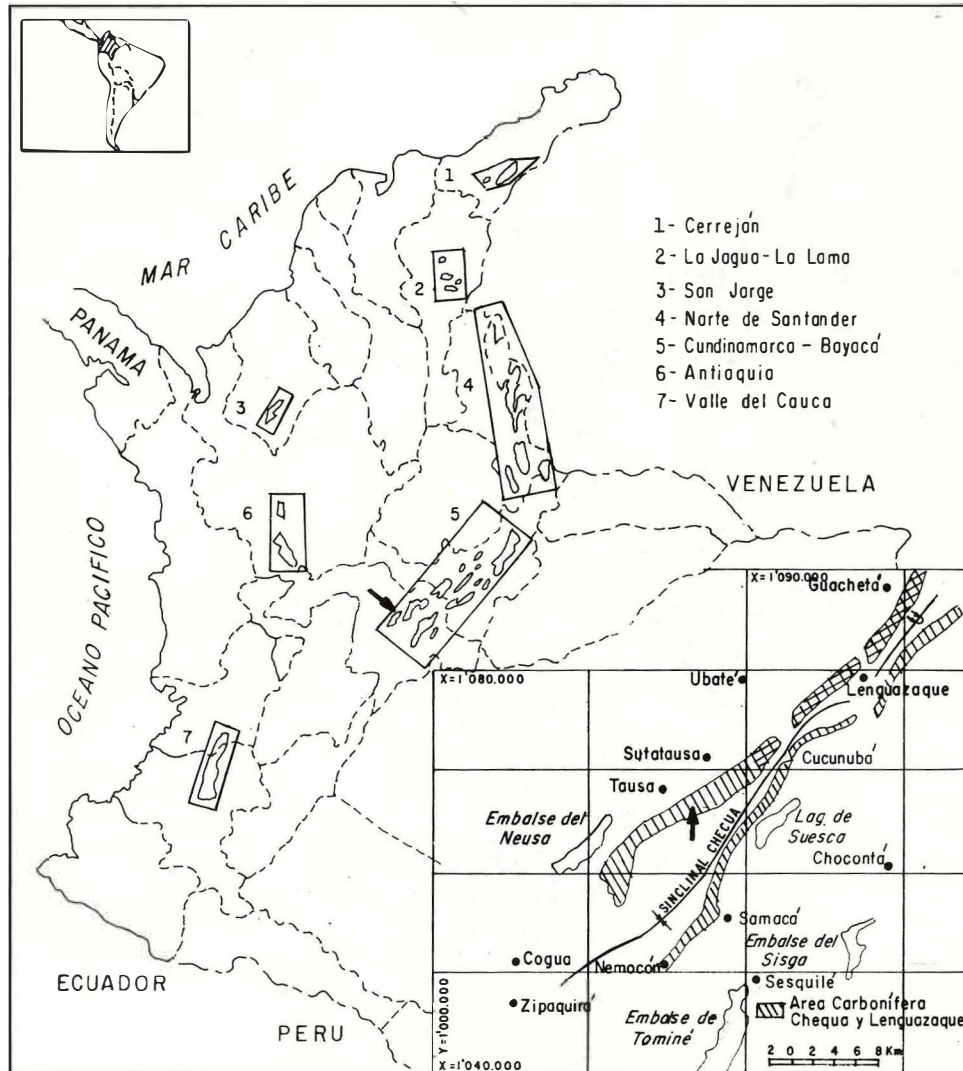


FIG. 1: Áreas carboníferas en Colombia y área carbonífera de Checa - Lenguazaque.

camente continentales que dan lugar a arcillas azulosas y rojizas.

La sedimentación terciaria en la parte central de la Cordillera Oriental durante el Paleoceno al Eoceno inferior sigue registrando las facies continentales de llanuras bajas con ríos meandriformes (HORN *et al*, 1987) interrumpida por el rápido evento de levantamiento, plegamiento y erosión de la fase preandina (VAN DER HAMMEN, 1958) en el Eoceno Medio.

Al finalizar el Terciario se formaron algunos depósitos en cuencas restringidas, localmente influenciadas por la dinámica costera después de lo cual prevalecieron en la cordillera fenómenos de levantamiento y erosión que dieron lugar a cuencas intramontañas en las que se acumularon secuencias principalmente lagunares como los depósitos de la Sabana de Bogotá entre el Terciario superior - Holoceno.

3. ESTRATIGRAFIA

3.1. GRUPO GUADALUPE

Se reconocieron los 135 m mas altos del Grupo Guadalupe correspondientes a la mayor parte de la Formación Labor y Tierna (RENZONI, 1962).

Esta sección fue descrita por la carretera troncal Zipaquirá - Ubaté en el sitio "Boquerón de Sutatausa", donde se encuentra un buen afloramiento que permite observar por lo menos 350 m. continuos de la secuencia estratigráfica.

En general esta parte del Grupo Guadalupe se destaca como un prominente escarpe, que resalta a lo largo de la topografía vía a Sutatausa. Por sus características estratigráficas se pueden diferenciar dos segmentos: El segmento 1 con alternancia de arenitas y lodolitas y el segmento 2 predominantemente arenítico (Fig. 3). En el anexo 1 se presenta la generalidad de la sección estratigráfica.

3.1.1. SEGMENTO 1 (inferior)

Considerado entre los 135 y los 70 m por debajo del contacto con la Formación Guaduas. La secuencia se inició a partir de un banco de arenitas de cuarzo de grano fino, sin estructuras diferenciables y con abundantes moldes de vertebras de peces hasta de 1 cm; suprayace al nivel de arenitas un conjunto de capas delgadas de lodolitas con laminación plana paralela discontinua a lenticular. Estas lodolitas presentan sectores donde son silíceas asociadas a abundantes moldes externos de *Siphogenerinoides* sp. o restos caolinitizados y moldes mal preservados de bivalvos. Intercaladas aparecen capas delgadas a medias de arenitas de cuarzo con abundantes pellets fosfáticos (30% aproximadamente). Las lodolitas pasan en contacto transicional rápido a arenitas de cuarzo con flaser de lodolitas, aspecto que se pierde hacia arriba cuando la secuencia cambia a una arenita fina de cuarzo moteada por bioturbación total, en bancos gruesos separados por capas delgadas de arenita de cuarzo con flaser de lodolitas, rasgo con el que termina este paquete. Suprayacen un conjunto de capas de lodolitas y bancos de arenita de cuarzo de grano medio con un contenido variable de pellets fosfáticos (5-20 %) con contacto neto ondulado. Sobre esta secuencia yace un conjunto de lodolitas con laminación plana paralela y discontinua lenticular donde se presentan *Siphogenerinoides* en baja proporción con relación a las descritas anteriormente. El siguiente conjunto son predominantemente arenitas con intercalaciones de limolitas y lodolitas. Las arenitas de cuarzo poseen alto contenido de pellets fosfáticos y de *Siphogenerinoides*, las lodolitas y las limolitas muestran laminación plana a ondulosa y discontinua. La última parte de este segmento está conformado por un conjunto de lodolitas con lentes gruesos de arenita de cuarzo de grano fino. Sobre este banco dos capas de arenita de cuarzo la primera con pellets fosfáticos y la segunda cuneiforme por lo menos en un sentido y en

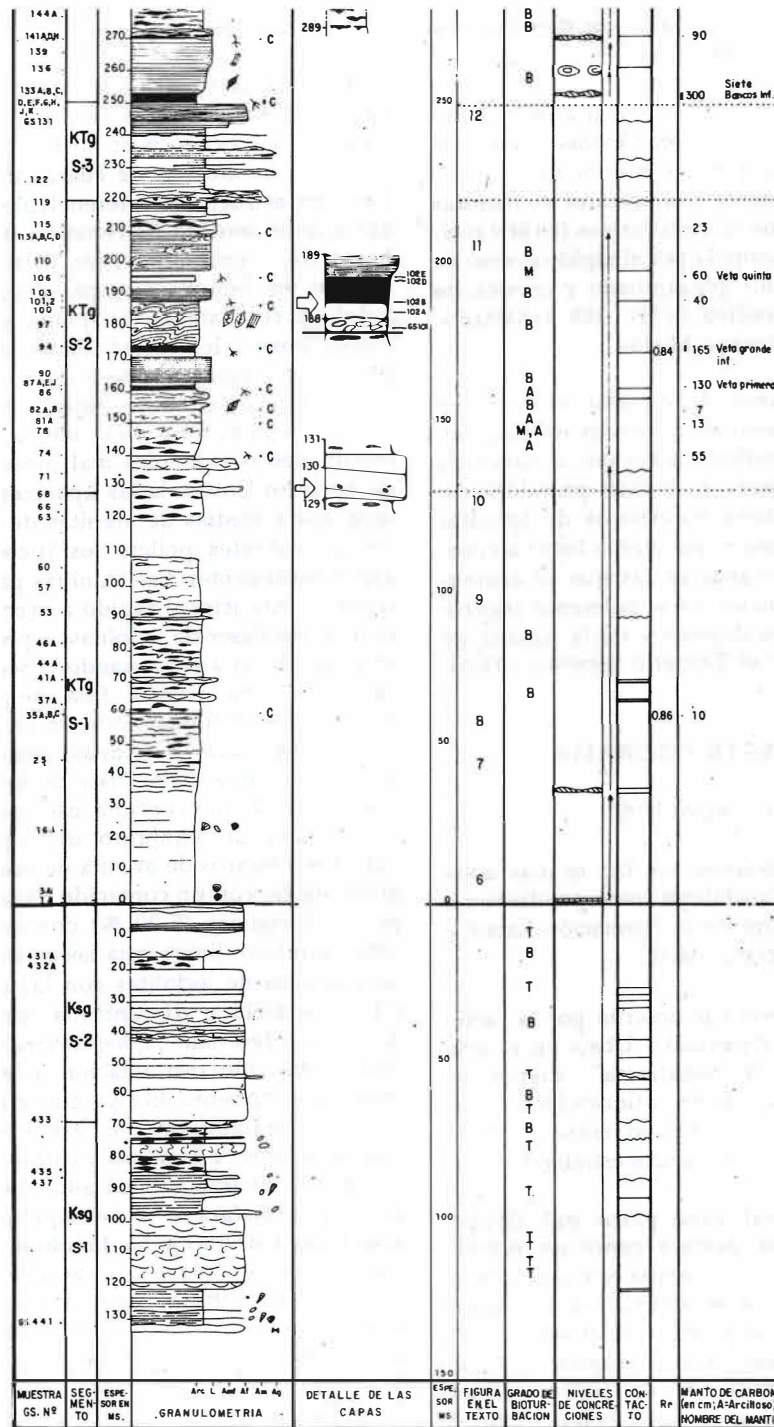
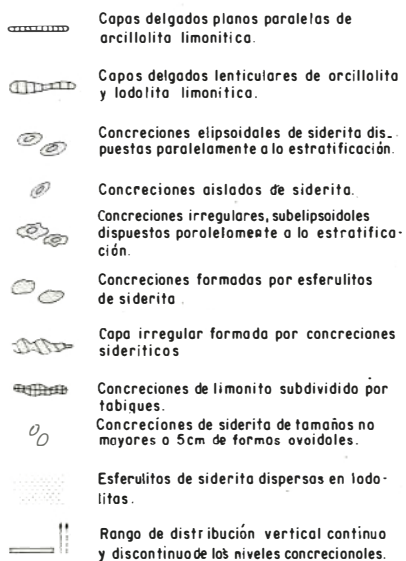


FIG. 3: Sección columnar: Segmentos 1 y 2 del Grupo Guadalupe y Segmentos 1, 2 y 3 de la Formación Guaduas

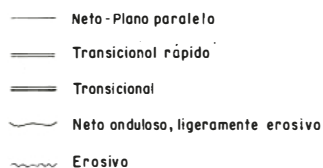
CONVENCIONES



NIVELES CONCRECIONALES Y CONCRECIONES



CONTACTOS



ABREVIATURAS

C	: Manta de Carbón
Arc	: Arcillolita
L	: Limolita
Amf	: Arenita de grano muy fino
Af	: Arenita de grano fino
Am	: Arenita de grano medio
Ag	: Arenita de grano gruesa
Tpc	: Formación Cocho
Ktg	: Formación Guaduas
Ksg	: Grupo Guadalupe
Rr	: Índice de reflectancia de la Vitrinita

GRADO DE BIOTURBACION

B	: Baja	: Afecta apenas la laminación
M	: Media	: Afecta visiblemente la laminación
A	: Alta	: Afecta notoriamente la laminación
T	: Total	: Destruye completamente la laminación

FOSILES



contacto marcadamente erosivo sobre lodolitas. Las lodolitas presentan un alto contenido de materia orgánica y terminan en contacto transicional con arenitas con flaser de lodolita algo bioturbadas.

3.1.2. SEGMENTO 2 (superior)

Este segmento está considerado entre 70 m y el contacto con la Formación Guaduas, se caracteriza por un conjunto de bancos muy gruesos de arenita y una intercalación de lodolita hacia la parte media a superior (Fig. 3).

En la base del primer banco se presentan ichnofósiles de gran tamaño (3-5 cm de diámetro por varios de longitud), el contacto es ondulado a ligeramente erosivo y está conformado por arenitas finas de cuarzo, totalmente bioturbadas dando un aspecto moteado; el banco es continuo en sus 9.5 m de espesor y no se observan variaciones granulométricas. Está separado del banco suprayacente por un nivel de ichnofósiles también voluminosos en tamaños y en contacto plano paralelo pero irregular al detalle. Este banco grueso está formado por arenita de cuarzo de grano fino a medio, inmadura texturalmente, totalmente bioturbado y termina en una superficie de estratificación plana paralela lisa. Separando bancos de arena de características similares a las descritas hay una capa cuneiforme grano creciente a partir de grano medio a conglomerática con intraclastos hasta el techo orientados, sobre la que aparecen capas delgadas de arenita muy fina de cuarzo con estratificación ondulosa no paralela. La base de los bancos que la suprayacen forman un contacto ligeramente ondulado erosivo.

Estos bancos muy gruesos de contactos planos paralelos son de arenita de cuarzo de grano fino predominantemente y están totalmente bioturbados en sus 12 m de espesor. Las arenitas de cuarzo que están encima conforman un conjunto de capas delgadas a medias con forma ondulosa, lenticular y cuneiforme con estructura

interna cruzada de ángulo bajo y ocasionalmente flaser de lodolita. Estas arenitas hacia la parte media pasan en contacto transicional a un conjunto de capas delgadas arenitas de grano muy fino a fino con flaser de lodolitas con ichnofósiles de los géneros *Planolites* y *Thalassinoides* (PEREZ y SALAZAR, 1979). El conjunto de bancos de arenita que la suprayacen solo difieren porque están totalmente bioturbados, aunque el banco superior es de grano fino. En contacto neto plano a ligeramente ondulado, se inicia una capa gruesa de arenita de cuarzo de grano muy fino con flaser de lodolita en la que gradualmente aumenta el contenido de lodo hasta que predomina la lodolita con lentes gruesos, arriba y abajo, y finos en la parte media, de arenita muy fina de cuarzo escasamente bioturbada con ichnofósiles paralelos a la estratificación no mayores a 3 mm de diámetro. La lodolita posee un alto contenido de materia orgánica. En la base el contenido de arena aumenta transicionalmente hasta una arenita muy fina con flaser de lodolita. Con un contacto plano paralelo a ligeramente ondulado se inicia el último conjunto de bancos de arenita de este segmento. Hacia la base se reconoce un conjunto de capas delgadas cuneiformes con estratificación ondulosa no paralela de grano fino a muy fino que rápidamente constituyen bancos y capas gruesas de arenita de cuarzo de grano fino totalmente bioturbadas con contactos planos paralelos.

3.2. FORMACION GUADUAS

El contacto inferior entre la Formación Guaduas y el Grupo Guadalupe en el área del Flanco E del Sinclinal de Checua es neto y concordante. Está marcado geomorfológicamente por el paso de un fuerte escarpe dado por el grueso paquete de areniscas a un paisaje suavemente ondulado y apreciablemente erosionado de arcillolitas (Fig. 4) La sección estratigráfica se levantó sobre la Quebrada de Peñas o en inmediaciones de ésta y se inició en el punto denominado Boquerón de La Ven-

tana. Se diferenciaron nueve segmentos teniendo en cuenta características morfológicas (Fig. 5), que coinciden con sus relaciones genéticas. Los segmentos serán descritos de abajo hacia arriba y la generalidad de la sección aparece representada en el anexo 1.

3.2.1. SEGMENTO 1

El contacto de este segmento con las areniscas superiores del Grupo Guadalupe (Formación Tierna - Labor) es neto, pero irregular en el detalle. Han sido agrupados los primeros 129 m aunque se tiene dos tipos de litologías predominantes: arcillolitas y lodolitas en los 60 m inferiores y lodolitas y arenitas de grano muy fino entre 60 y 129 m (Fig. 3).

Los primeros 32 m conforman un conjunto de arcillolitas gris claras no laminadas a tenuemente laminadas con abundantes niveles de arcillolitas limolitizadas en capas delgadas planoparalelas (5-15 cm) conformando el 5% del total acumulado (Fig. 6). Las arcillolitas se caracterizan por poseer un bajo contenido de materia orgánica la cual podría estar en trazas. A los 23 m sobre el contacto aparece intercalada una capa delgada (5 cm) de lodolitas fosilíferas, conformada por láminas medias no paralelas cuneiformes con abundantes conchas de bivalvos (95 % de una especie no identificada de la familia *Arcidae*, 5% de la Familia *Ostreidae*). Igualmente se encuentran restos de dientes de peces, espículas de equínidos, pellets fosfáticos (de tamaño máximo 5 mm) y fragmentos vegetales.

A partir de los 34 m hasta los 44 m se inicia la laminación lenticular en la arcillolita en forma transicional. Las lenticulas planas son de limolita de cuarzo (Fig. 7) de 1 mm las que hacia arriba van aumentando en tamaño (hasta 4 mm). Son igualmente frecuentes los niveles de arcillolita limonítica, pero ahora con formas lenticulares. Aparecen en la parte superior dos capas medias de limolitas arenosas de cuarzo con flaser de

arcillolita. Entre los 44 y 62 m predomina la arcillolita con lentes planos de limolita que hacia el techo va variando a arcillolitas con lentes frecuentes y de mayor espesor de limolita de cuarzo con baja bioturbación. En el m 59 se encuentra en contactos netos, el primer nivel del carbón de la Formación Guaduas de un espesor de 7 cm el cual parece ser muy continuo al menos por 1 km aproximadamente y en contacto transicional rápido sobre la lodolita.

Entre 62 y 71 m hay un predominio de las limolitas arenosas y arenitas de grano muy fino con estratificación ondulosa con restos visibles de materia orgánica en baja proporción (Fig. 8) y presentan efecto de baja bioturbación.

Entre 72 y 82 m hay una sucesión de lodolitas con lentes de limolita de cuarzo y arcillolitas limonitizadas en capas muy delgadas lenticulares en una proporción de 5% (uno cada 20 cm).

El paso es transicional a estratificación ondulada de limolitas de cuarzo y arenitas de grano fino con flaser de lodolitas (entre 82 y 92 m). Sobre las arenitas se pueden diferenciar ondulitas asimétricas de cresta derecha y ondulitas linguoides (Fig. 9).

Estas arenitas conforman conjuntos de capas muy delgadas con contactos erosivos, lenticulares en ambos sentidos y grano decrecientes con intraclastos en la base.

Entre 92 y 129 m se tiene un conjunto de lodolitas de bajo contenido de materia orgánica con lentes gruesos o planos sencillos y conectados de arenita de grano fino de cuarzo, (Fig. 10 a y b). Ocasionalmente capas delgadas de arenita de cuarzo cuneiformes con contactos erosivos y grano decreciente y arenitas de cuarzo con flaser de lodolita. Las capas muy delgadas de lodolita limonítica de forma lenticular son mas notorias donde predomina



FIG. 4: Panorámica del Grupo Guadalupe. El valle marca el contacto con la Formación Guaduas. Las areniscas son cortadas por la quebrada Cajón en el Boquerón de La Ventana.



FIG. 5: Panorámica de la Formación Guaduas.

a lodolita con lentes planos de arenita de cuarzo. Localmente se presentan estructuras convolutas y baja bioturbación.

3.2.2. SEGMENTO 2

Un conjunto de capas de arenita describen morfológicamente la continuidad areal de la base de este segmento que incluye al primer sector de mantos de carbón explotables en el área. El espesor agrupado corresponde al intervalo entre 129 y 220 m (Fig. 3).

La secuencia continúa entre 129 y 130.30 m con un conjunto de capas medias y gruesas de arenitas de cuarzo de grano fino con intraclastos en la base. El contacto basal es ondulado y erosivo sobre las lodolitas, las capas son convergentes con laminación interna plana paralela a inclinada tangencial. Sobre este conjunto una sucesión de lodolitas con lentes ondulados de limolita y arenita de grano muy fino de cuarzo que pasa rápidamente a arenitas con flaser de lodolita conformando un conjunto de capas delgadas y medias

entre 130 y 139 m que presentan pequeñas intercalaciones de lodolitas lenticulares hacia la base y, hacia la parte media, arenitas en estratificación interna inclinada con flaser de lodolita.

Este conjunto arenoso termina con una lodolita rica en materia orgánica suprayacida por un manto de carbón de 55 cm de espesor el cual posee restos escasos de raíces en la base. Sobre el carbón, entre 140 y 165 m, se tiene una sucesión de lodolitas con lentes planos a muy delgados de limolita-arena muy fina de cuarzo con capas muy delgadas de lodolita limonítica de forma lenticular. Estas lodolitas presentan de abajo hacia arriba baja a alta bioturbación y dos niveles muy delgados de carbón (13 y 7 cm) con restos de raíces en la base. Hacia el techo los niveles de lodolitas limonitizadas están caóticamente dispuestos.

Entre 155 y 160 m en contacto neto, un conjunto de lodolitas y arenitas de grano muy fino con laminación plano paralela con bioturbación que apenas afecta a la laminación y un nivel de lodolita altamente bioturbada interestratificada.

Entre 160 y 164.4 m aparece un banco de lodolita con alto contenido de materia orgánica que sirve como base a un manto de carbón (Veta primera) en contacto neto de 1,20 m de espesor con restos de raíces en la base. Entre 164.4 y 171 m un conjunto de lodolitas y limolitas con estratificación plana paralela a ligeramente ondulada definiendo láminas finas y gruesas con contenidos variables de materia orgánica originando un bandeamiento claro oscuro. Son abundantes las concreciones sideríticas que no interrumpen la laminación y las estructuras convolutas que localmente la afectan.

Sobre esta secuencia en contacto cubierto aparece el manto de carbón más espeso de este segmento, denominado por los mineros Vetagrande Inferior (1.65 m), que presenta ocasionalmente (observado en la mina) frecuentes intercalaciones de cristales aglutinados de

siderita en tamaños muy uniformes que varían entre 2 y 3 mm. Este manto de carbón se extiende regionalmente aunque varía el espesor.

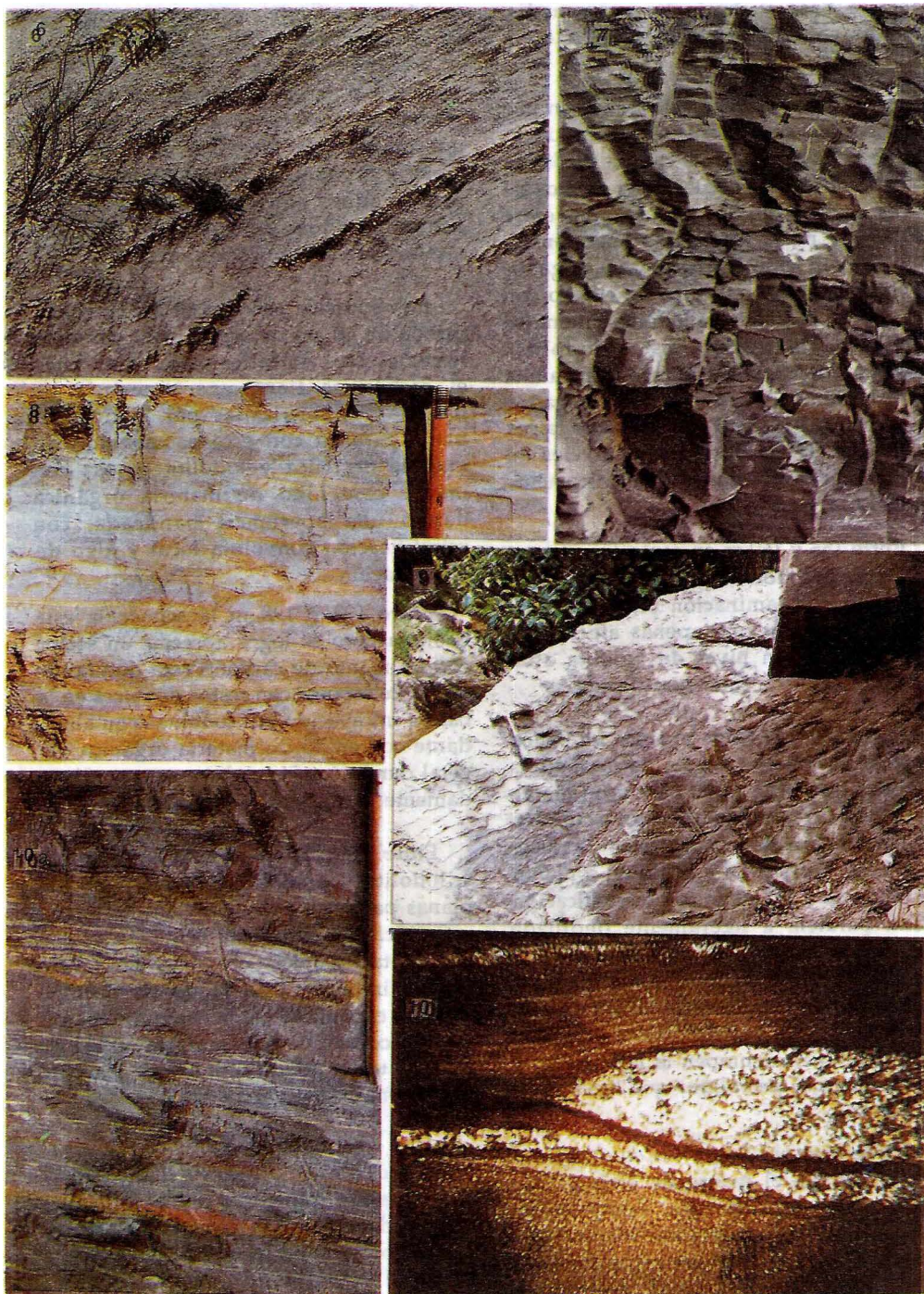
Sobre el manto de carbón entre 174.3 y 188 m la secuencia está conformada por un conjunto de lodolitas muy ricas en materia orgánica y restos de hojas bien preservadas con niveles frecuentes contorsionados de siderita que enmascaran la estratificación original.

Esta sucesión termina en un manto de carbón de 40 cm de espesor que presenta restos escasos de raíces en la base. Sobre el carbón se tiene una secuencia de limolitas caracterizadas por laminación plana paralela con escaso contenido de materia orgánica y lodolita limosa con mayor contenido de materia orgánica dando una apariencia bandeada, con estratificación convoluta local y algo de bioturbación.

Entre 192 y 198 m la secuencia está cubierta pero se logró apreciar un sector con un manto de carbón (Veta quinta) de 60 cm de espesor con restos de raíces en la base e infrayacido por lodolitas con abundante contenido de materia orgánica vegetal dando franjas carbonosas aproximadamente paralelas a la laminación.

Entre 198 y 210 m se alternan limolitas y lodolitas en láminas finas y medias planas paralelas localmente afectadas por estratificación convoluta (Fig. 11a y b) o con contactos micro erosivos, en la base de las limolitas. Esta secuencia termina con una capa de 85 cm la cual presenta un mayor contenido de materia orgánica hacia el techo donde se inicia en contacto transicional rápido una capa de carbón de 25 cm.

El techo del carbón es una lodolita muy delgada sobre la que descansa una capa media de arenita de cuarzo de grano muy fino. Suprayaciendo la arenita hasta 214 m se tiene una secuencia de limolitas y arenitas con estratificación ondulosa no



paralela que presenta granodecrecimiento entre los niveles ondulados de arenita de cuarzo.

Termina este conjunto con una sucesión de capas muy delgadas de arenita de cuarzo de grano fino con estratificación ondulada y al interior de cada capa inclinada de ángulo bajo.

Entre 216 y 219 m se repite la situación de limolitas y lodolitas limosas con estratificación plana paralela.

3.2.3. SEGMENTO 3

Este segmento predominantemente arenítico se distingue fácilmente en el paisaje porque da lugar a una franja escarpada; equivalente, parece ser, al conjunto denominado informalmente Arenisca La Guía (HUBACH, 1957) (Fig.3).

Se inicia en los 220 m acumulados, a partir de dos conjuntos de arenitas en contactos erosivos ondulados con intraclastos en la base, separadas por una capa delgada de limolita con laminación plana paralela. Las arenitas inferiores son de cuarzo, granodecrecientes de medio a fino, formando capas delgadas y medias cuneiformes en ambos sentidos y con estratificación interna no visible. El conjunto superior es de arenitas de cuarzo con intraclastos en la base de grano medio predominante que hacia arriba se hace más fino. La geometría es de capas gruesas a medias suavemente cuneiformes y convergentes. Entre 223 y 233.5 m un conjunto de limolitas y lodolitas con laminación plana paralela, con una intercalación hacia el techo de un banco de arenitas de grano grueso con intraclastos en la base, contacto erosivo granodecreciente

y dos capas delgadas de arenita de cuarzo de grano fino cuneiformes.

Entre 233.5 y 234.5 m intercalaciones de capas delgadas de arenitas de cuarzo de grano medio con estratificación cuneiforme, contactos ligeramente erosivos y lodolitas. En el techo una capa de lodolita es suprayacida en contacto irregular erosivo por un conjunto de 1.80 m de capas de arenita con intraclastos en la base. Las capas son delgadas y gruesas cuneiformes en ambos sentidos y granodecrecientes de medio a fino.

Entre 236 y 242 m intercalaciones de limolita lodosa en capas delgadas planas a paralelas con arenitas de cuarzo de contactos erosivos, en general de grano fino o medio cuneiformes.

En los siguientes 3 m un conjunto de capas delgadas y medias de arenitas de cuarzo de grano muy fino con estratificación plana paralela y en la base turboglifos, intercaladas con limolitas en capas delgadas con contactos ondulados erosivos.

Entre 243 y 250 m en contacto suavemente erosivo e irregular sobre lodolitas se desarrolla un conjunto de arenitas en capas medias a gruesas que tienden a separarse, ligeramente cuneiformes y convergentes (Fig. 12a). En sección delgada, estas arenitas cuarzosas presentan solo algunos minerales de turmalina y circón como accesorios; se observa en la mayoría de los cuarzos sobre crecimiento por diagénesis y los poros están rellenos de caolinita dando a la roca la característica de submadura texturalmente (Fig. 12b).

-
- FIG: 6: Arcillolitas y capas delgadas de arcillolita, limonitizadas cerca a la base de la Formación Guaduas.
- FIG. 7: Arcillolitas con lentes planos de limolita de cuarzo. Las flechas señalan capas delgadas limonitizadas.
- FIG. 8: Estratificación ondulosa y lenticular conectada (metro 67).
- FIG. 9: Ondulitas asimétricas de cresta derecha ondulosa y ondulitas linguoidales (metro 91.5).
- FIG. 10a: Conjunto de capas medias de lodolitas con estratificación interna lenticular. En la parte media interior una capa de arenita con flaser ondulosa bifurcada (metro 128).
- FIG. 10b): Sección delgada con aumento 10x, nicoles cruzados. Mostrando estratificación lenticular y variación en los tamaños del grano.

3.2.4. SEGMENTO 4

La característica más notable de este segmento es la gran cantidad de mantos de carbón que conforman el segundo sector productor de la región con los mantos más espesos; de estos, cinco están siendo explotados activamente. En general es muy abundante el contenido de materia orgánica en las lodolitas y son muchos los mantos de carbón con lenticulas de arcillolitas (solas) y de arcillolita o lodolita carbonosa. El límite superior fue definido por el cambio neto de color de las arcillolitas y lodolitas de gris a azuloso-rojizo claramente identificable por lo menos en la sección estudiada. Su espesor es de 140.5 m (Fig. 13).

El nivel arenítico descrito abajo termina abruptamente con una capa de lodolita con abundantes restos de raíces que es suprayacida por un manto de carbón, en cuya base se coloca la base de este segmento. Este carbón, de 3 m de espesor, posee intercalaciones arcillosas principalmente hacia la base (Manto Sietebancos Inferior). Sobre este carbón, hasta el metro 261 se distingue un conjunto de lodolitas con abundante cantidad de materia orgánica y restos de fósiles de tallos dispuestos en diferentes direcciones. La lodolita presenta una tenue laminación plana paralela y un alto porcentaje (10%) de nódulos sideríticos aproximadamente paralelos a la estratificación. Entre 261 y 264 m los nódulos de siderita son alargados pero formando franjas irregulares y aparecen entre limolitas de cuarzo con algo de materia orgánica y tenue laminación plana paralela; de ahí hasta los 270 m varía la forma de las concreciones sideríticas las cuales ahora son muy grandes e irregulares (hasta 80 x 40 cm). Se presenta además una baja bioturbación en la limolita. La limolita termina en un banco de carbón de 90 cm con escasos restos de raíces hacia la base.

Sobre una superficie ondulosa erosiva, entre 271 y 273, se registra una capa de

arenita muy fina de cuarzo con laminación flaser de lodolita. Entre este paquete y el metro 284 hay una sucesión de capas de lodolitas con laminación interna lenticular y bajo contenido de materia orgánica; los lentes son planos y de arenita fina de cuarzo. La laminación está turbada por madrigueras horizontales, de 4 a 5 mm de diámetro rellenas de arenita de cuarzo. También se observan, hacia la parte alta estructuras convolutas y en los 20 cm más altos, restos de finas raíces. Hacia arriba, sigue el manto de carbón Veta Grande Superior, espeso 2.40 m y caracterizado por alto contenido de pirita. Entre los 286.4 y los 293 m, se encuentra un conjunto de lodolitas con lentes de limolitas y arenita muy fina de cuarzo, con una baja bioturbación y numerosas capas de lodolita limonítica (cada 10 cm y de 3 cm en promedio de espesor) de formas onduladas no paralelas.

Otro rasgo que afecta la laminación son las estructuras convolutas de pequeña escala y locales. Las lodolitas laminadas son suprayacidas por lodolitas tenuemente lenticulares, con abundante materia orgánica; la laminación va desapareciendo hacia el manto de carbón que las suprayace mientras el contenido de materia orgánica aumenta y van apareciendo restos de raíces. El manto de carbón es de 42 cm; a 3 cm del contacto inferior aparece 1 cm con láminas de pirita. Sobre el carbón hay una capa media de lodolita con laminación interna lenticular de arenita muy fina. Hacia arriba aparecen capas muy delgadas de lodolitas con estratificación ondulada y lenticular intercaladas con limolitas y arenitas de cuarzo con láminas flaser de lodolita. En la base de las limolitas de cuarzo son frecuentes icnofósiles, las limolitas y arenitas pasan transicionalmente a las limolitas lodosas con láminas finas de lodolita y, en contacto transicional rápido, a un manto de 28 cm de carbón en el metro 296.5. Suprayacen el carbón, lodolitas con sombras de laminación, de bajo contenido de materia

orgánica y una capa gruesa formada por un conjunto de arenitas con flaser de lodolitas parcialmente cubiertas con abundante materia orgánica y capas delgadas limonitizadas, lenticulares. En el metro 306 se continúa la lodolita, con muchos restos vegetales, suprayacida por un manto de carbón de 35 cm. Por medio de un contacto ondulado erosivo entre los 306.5 m y los 308.5 m se pasa a lodolitas con estratificación interna lenticular que varía localmente a laminación ondulosa lenticular de arenitas de cuarzo y lodolitas. Dichas lodolitas son interrumpidas por 3 secuencias granodecrecientes desde los 308.5 y los 313.5. La primera de ellas de 0.80 m se inicia con un contacto erosivo y está formada por areniscas de grano fino de cuarzo con pocos intraclastos en la base, en capas cuneiformes en ambos sentidos y estratificación interna en láminas inclinadas; hacia el techo son lodolitas con restos vegetales y laminación lenticular. La segunda de 0.7 m se inicia, en un contacto erosivo, con arenitas de cuarzo de grano medio e intraclastos, en capas delgadas cuneiformes y estratificación interna inclinada; hacia el techo es ya una lodolita. La tercera secuencia, en contacto erosivo, se presenta con 0.80 m de arenita de cuarzo de grano medio con un 9% de intraclastos menores a 1 cm en capas delgadas a medias cuneiformes en ambos sentidos con estratificación interna inclinada; sobre estas arenas se tienen 3 m de lodolitas con laminación interna lenticular y hacia el techo una mayor abundancia de restos vegetales.

Esta secuencia es interrumpida, en contactos erosivos, por dos conjuntos de capas granodecrecientes de arenita media a lodolitas con escasos intraclastos en la base. Las arenitas se presentan en capas gruesas que tienden a separarse en delgadas y medias de geometría lenticular y con estratificación interna en láminas inclinadas, las lodolitas en láminas plano paralelas. Estos dos conjuntos abarcan hasta los 317 m donde se tienen 2 m cubiertos.

Entre el cubierto y el manto de carbón (Veta Quinta), que aflora en los 331 m, se reconoció un grueso paquete de lodolitas con laminación lenticular e intercalaciones de lodolita limonítica en capas plano paralelas, delgadas, de espesores que varían entre 2 y 10 cm. Hacia la parte media superior toman un aspecto lentiforme que coincide con la laminación de la lodolita ahora ondulosa no paralela y discontinua. Hacia la parte superior, las lodolitas limoníticas, poseen el aspecto de concreciones continuas de mayor espesor y poco abundantes; en este sector la lodolita presenta la laminación muy tenue con restos de raíces hacia el techo. El contacto con el manto de carbón de 1.60 m (Veta Quinta) es neto liso y paralelo.

Un conjunto de capas de lodolitas separa el manto descrito del siguiente manto de carbón (Veta Chica) de 1.20 m de espesor que aflora en 339 m. Las lodolitas presentan un alto contenido de restos vegetales carbonosos, principalmente hojas muy bien preservadas dispuestas en forma paralela a la laminación ligeramente ondulosa a irregular; además grandes concreciones sideríticas de forma elipsoidal de tamaño hasta de 30 x 40 cm.

Sobre el manto de carbón, hasta los 344 m, ocurre un conjunto de capas de lodolitas con escaso contenido de materia orgánica vegetal y con una franja de concreciones elipsoidales hacia la base.

Una secuencia de 2.30 m de arenitas de cuarzo en contacto erosivo con intraclastos en la base suprayace las lodolitas. Esta formada por areniscas granodecreciente de fino a muy fino en capas delgadas a medias, cuneiformes en ambos sentidos. En el techo, icnofósiles de 5 mm de diámetro sobre la capa. Sobre las arenitas una capa de arcillolita con abundantes restos de hojas, suprayacida por un manto de carbón de 0.35 m. Sobre el carbón una capa de lodolita con escasos restos de materia orgánica, suprayacida por limonitas con sombras de laminación y con escasos restos de materia orgánica.

Un nivel de nódulos limonitizados, muy alterados forman una capa continua. Los nódulos en su parte interna poseen un retículo de tabiques (Fig. 14), y cada celda microtabiques. Limolitas con sombras de laminación, continúa la secuencia desde los 350 m hasta los 352 m con una intercalación de carbón. Sobre éste, una lodolita al límite con limolita presenta una fina laminación que va desapareciendo hacia el contacto con el manto de carbón y se reconocen restos de raíces en los últimos 20 cm. Este manto de carbón (Manto Ciscuda) de 1.80 m. de espesor, presenta una continuidad muy grande, pues es explotado en diferentes minas interconectadas; en el sitio de La Pluma (ver Mapa Geológico, (Fig.2)) también fue estudiado. Incluye dos intercalaciones de arcilla carbonosa abajo y arriba. Sobre el Manto de La Ciscuda, hasta los 363 m se tiene un conjunto de arcillolitas carbonosas con tenue laminación, no paralela a ondulosa y cuatro intercalaciones delgadas de carbón.

El contenido de materia orgánica disminuye entre 363 y 372 m y aparecen intercaladas, generalmente siguiendo horizontes, concreciones sideríticas de formas muy irregulares, con tendencias a ser elipsoidales y de espesores variables (hasta de 50 cm de diámetro menor). Regularmente asociados a ellas restos o fragmentos de troncos carbonitizados y restos de raíces paralelas a la estratificación (Fig.15)

El material donde se intercalan dichos niveles concrecionales corresponde a una lodolita no laminada que hacia la parte superior involucra una abundante cantidad de pequeñas esferulitas rojas de siderita dispersas en la roca, o también formando concreciones elipsoidales.

A partir de 372.3 hasta los 390.5 m aparecen diversos mantos de carbón intercalados en lodolitas y arcillolitas con medio a alto contenido de materia orgánica. Localmente restos de hojas muy bien preser-

vados y dos niveles de concreciones sideríticas con formas arriñonadas, localmente muy baja bioturbación y yeso secundario radial. En la última parte de este conjunto los mantos delgados de carbón arcilloso son más comunes y cuando la arcillolita con alto contenido de materia orgánica abruptamente disminuye se inicia el siguiente segmento.

3.2.5. SEGMENTO 5

El cambio de color de arcillolitas grises y grises oscuras a lodolitas gris azulosas, verdosas y rojizas es neto y se puede seguir lateralmente lo que permite definir la base de este segmento. Los fenómenos erosivos tan acentuados en el área se dan principalmente en este segmento y es corriente encontrar profundas carcavas. Se intercalan algunos niveles carbonosos o de carbón arcilloso. Se colocó el techo del segmento allí donde terminan los materiales abigarrados. El espesor es entre los 390 y 498 m aproximadamente (Fig.13).

Se inicia con un conjunto de capas de lodolitas gris azulosas con un contenido casi nulo de materia orgánica y espeso 11 m. Se presentan varias intercalaciones, siguiendo generalmente líneas de estratificación, de concreciones sideríticas en forma aislada. Algunos de estos niveles están constituidos de esferulitas (de 1 mm) de siderita con una matriz arcillosa. Estas concreciones generalmente son elipsoidales pero de forma arriñonada. En diversos sectores, la lodolita contiene abundantes esferulitas de siderita dispersas en la roca. En la lodolita no se logró apreciar ningún rasgo sedimentario.

Entre 402 y 407 se tienen lodolitas grises con restos escasos de materia orgánica y tres capas delgadas de carbón arcilloso intercaladas. Hacia el contacto con los mantos de carbones, restos de raíces, presentan además, hacia la parte media superior yeso secundario y esferulitas de siderita, en la parte inferior

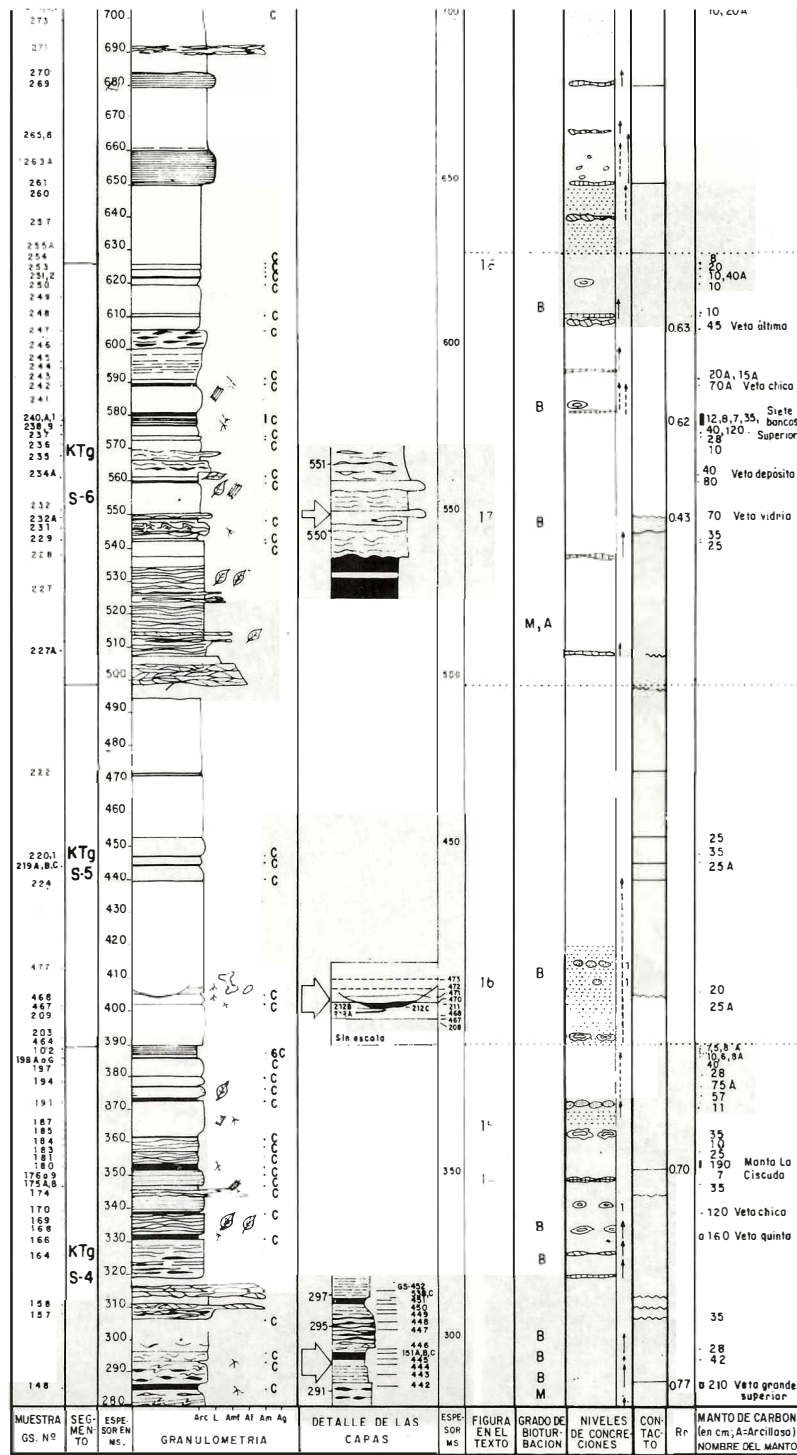
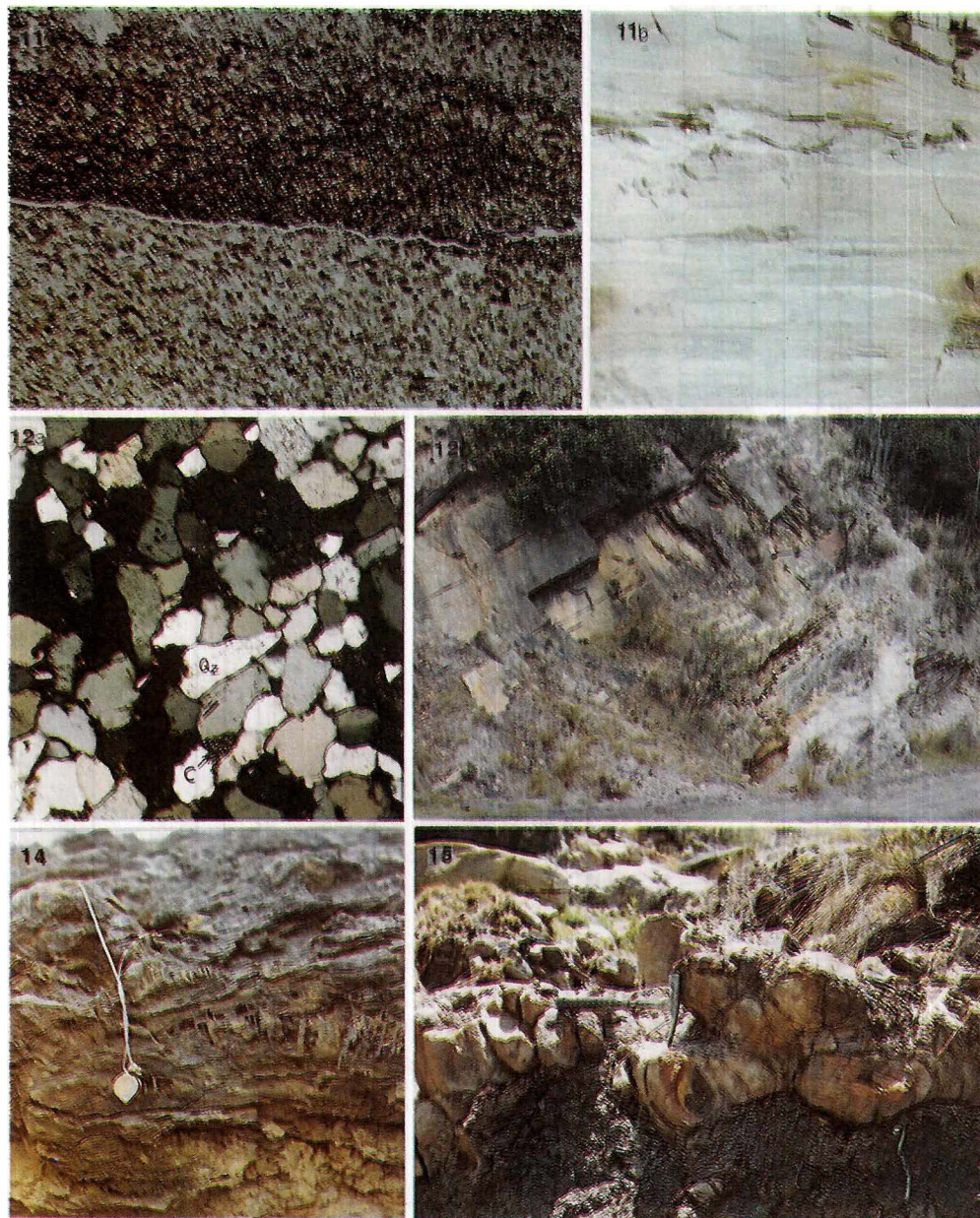


FIGURA 13: Sección columnar: Segmentos 4, 5 y 6 de la Formación Guaduas



niveles limonitizados ligeramente lenticulares. Suprayacen, hasta los 411.5 m un conjunto de lodolitas con muy escaso contenido de materia orgánica y algo de ella en la parte superior terminando en una capa de arcillolita gris oscura por el alto contenido de restos orgánicos.

Entre 405 y 411.5 m, lateralmente con respecto al corte descrito, se observó la ocurrencia de un canal de 6 m de profundidad por unos 100 m en sentido transversal con un depósito de arcillolita muy carbonosa en el fondo a lo largo de la cual se encuentran asociados restos de vertebrados (huesos y dientes). El relleno principalmente es de lodolitas con algo de materia orgánica e intercalaciones de capas delgadas de lodolita limonitizada (Fig.16). La ocurrencia de este canal coincide estratigráficamente con una estructura de derrumbe que afecta una secuencia de 10 m, en el área de la Pluma (para la ubicación ver mapa geológico, Fig. 2).

A partir de los 412 m, ocurren arcillolitas y lodolitas gris azulosas, gris verdosas, rojizas o con manchas rojizas; hacia la base se presenta un nivel de concreciones continuo estratigráficamente por varios metros y concreciones irregulares aisladas formadas por esferulitas de siderita mayores a 2 mm con formas subangulares a romboédricas. El primer paquete de lodolitas forma una secuencia continua desde 412 hasta 439 m y está constituido por capas de lodolitas gris azulosas con manchas rojizas con abundantes esferulitas de siderita (1 mm de diámetro) y de lodolitas rojizas con manchas azulosas; estas capas poseen espesores variables entre 50 cm y 120 cm dando al

terreno un aspecto bandeado con distintas tonalidades de colores. Las lodolitas no presentan rasgos texturales fácilmente definibles, pero sin embargo se pueden apreciar estructuras biogenéticas tenuemente desarrolladas; intercalados, aparecen dos niveles de concreciones sideríticas de formas elipsoidales a irregulares dispuestos paralelamente a la estratificación.

A partir de los 439 m hasta los 454 se presenta un intervalo con cuatro capas medias y delgadas de carbón y carbón arcilloso intercaladas en lodolitas y arcillolitas grises no laminadas con un bajo contenido de materia orgánica distribuida uniformemente. La capa más alta de carbón, de 25 cm, está suprayacida por una capa de 6 cm de una limolita calcárea con restos vegetales. Un nivel como este se observó en la Pluma, con características muy similares y parecen corresponder.

Entre los 454 m y los 495 m se tiene un grueso conjunto de lodolitas gris azulosas, manchadas de rojizo y rojizas con las mismas características de las antes descritas. Sólo poseen una intercalación de lodolitas con alto contenido de materia orgánica carbonosa entre 472.5 y 473 m.

3.2.6. SEGMENTO 6

Este segmento se ha establecido desde la base de un conjunto arenoso en los 498 m hasta la capa carbonosa más alta en los 626 m. Comprende el tercer conjunto productor de carbón, con mantos explotables y sin embargo, con respecto a los de las unidades inferiores de menor espesor y con mayor cantidad de intercalaciones arcillosas. Se explotan en el área cinco bancos (Fig. 13).

FIG. 11: a) Sección delgada de una limolita b) Láminas planas paralelas de limolita clara y oscura

FIG. 12: a) Conjunto de capas de arenita localizadas en el techo del segmento 3. b) Sección delgada de estas arenitas.

FIG. 14: Capa formada por nódulos limoníticos de forma subelíptica.

FIG. 15: Concreciones irregulares de Siderita siguiendo el mismo nivel estratigráfico.

El contacto entre la lodolita y la arenita más baja no pudo ser observado; se trata de una secuencia de arenitas de cuarzo de grano medio a muy fino, granodecreciente, en capas medias y gruesas, cuneiformes y cubetiformes con estratificación interna inclinada no claramente visible, ocupando un espesor entre los 498 m y los 508 m.

Este conjunto arenítico es separado por una costra de óxidos de hierro de un conjunto de capas delgadas y medias de arenita, limolita y lodolita. Las arenitas de grano medio a fino de cuarzo cuneiformes en ambos sentidos con estratificación interna inclinada a escala delgada y contacto inferior erosivo ondulado. Interstratificadas aparecen limolitas y lodolitas con laminación plana paralela, formando en general pequeñas secuencias granodecrecientes. A partir de esta distancia hasta 511 m se tiene un conjunto de capas de lodolita con escasos restos vegetales y tenuemente laminada con algunas franjas delgadas y continuas de arcillolita limonítica. Sobre estas, entre los 511 y los 527 m, en contacto plano paralelo se tiene una sucesión de capas muy delgadas y delgadas de lodolitas con laminación ondulosa, intercaladas por capas delgadas de arenita de grano fino a muy fino cuneiformes con estratificación interna ondulosa no paralela formando también pequeñas secuencias granodecrecientes.

Entre 527 y 535 m la secuencia está compuesta por lodolitas con estratificación ondulosa paralela, muy carbonosas, con abundantes restos vegetales como moldes de hojas bien preservadas y otras partes no diferenciadas dispuestas según la laminación.

Después de 2 m cubiertos la roca continua siendo, hasta los 544.4 m, una arcillolita de bajo contenido de materia orgánica, con una laminación muy tenue e intercalaciones de capas finas limoníticas lentiformes de 3 a 10 cm de espesor.

Suprayacidas por dos mantos de carbón de 25 y 35 cm de espesor separados del anterior por 50 cm de arcillolitas con materia orgánica abundante. Sobre el manto de carbón se presenta una arcillolita con abundantes restos vegetales.

Entre 544.4 y 548 m se tiene un conjunto de capas en contacto ondulado a ligeramente erosivo de arenitas y lodolitas alternantes con estratificación ondulosa, a veces afectadas por bioturbación (Fig.17), algunas de las capas con estructuras de derrumbe y estructuras convolutas. Este conjunto termina en una capa de lodolita con abundantes restos vegetales que son la base de un manto de carbón compuesto por dos capas separadas por un nivel arcilloso. El manto de carbón en total tiene 70 cm y es explotable en el área conociéndose con el nombre de Veta Vidrio y por sus características petrográficas, se puede clasificar como un carbón saproplico. (cf. GUILLERMO BLANCO, comunicación personal)

El contacto superior es irregular y erosivo, quedando cubetas rellenas por arcillolita, encima se tienen 10,2 m de lodolita con laminación plana paralela discontinua a ligeramente lenticular y con lenticulas y capas delgadas de arenita muy fina de cuarzo; los contactos inferiores son erosivos. La parte superior de la lodolita es tenuemente laminada con algo de restos vegetales y franjas de lodolita limolítica. La secuencia termina en una capa media de arcillolita con abundantes moldes de hojas. Sobre estas arcillolitas ocurre el manto de carbón de 1.80 m explotable y reconocido en la zona con el nombre de Veta Depósito. Este manto presenta una intercalación arcillosa de 60 cm con estratificación ondulosa paralela y muy abundante en moldes de hojas al igual que las arcillolitas suprayacentes.

Entre 563 y 567 m se presenta una secuencia formada por capas de lodolitas con lentes de arenita muy fina y limolita

de cuarzo y de arenita muy fina de cuarzo con estratificación interna ondulosa no paralela con láminas flaser de lodolita. Desde el techo de esta secuencia hasta 573 m predomina la lodolita tenuemente laminada y con alto contenido de materia orgánica.

Entre 577 y 581.3 m se tiene la secuencia del manto explotable llamado Sietebancos Superior y conformado por 6 mantos de carbón de espesores variables separados por arcillolitas con muy alto contenido de materia orgánica y restos de raíces al contacto con los carbones

Sobre la secuencia anterior hasta los 589 m se tiene una sucesión continua de lodolitas laminadas tenuemente con bajo contenido de materia orgánica y capas delgadas lenticulares de lodolita limonítica y concreciones sideríticas elipsoidales de 10 a 30 cm de diámetro mayor por 3 cm de diámetro menor con tabiques; hacia el techo un nivel continuo formado por concreciones de mayor tamaño (100 x 30 cm). Sobre estas lodolitas descansa un conjunto de 3.5 m formado por intercalaciones de capas delgadas hasta gruesas de carbón con capas de arcillolita de contenido variable de materia orgánica. El manto inferior de carbón es explotable en la zona (Veta Chica) y posee un espesor de 65 cm.

Entre los 592.5 y los 600 m aflora un conjunto de lodolitas con escasos restos vegetales, tenuemente laminada con frecuentes franjas de lodolita limonítica de formas elipsoidales.

En contacto plano paralelo se pasa a lodolitas con lentes gruesos de arenitas de grano fino de cuarzo con alto contenido de materia orgánica. Este rasgo se mantiene hasta el último manto de carbón explotable en la zona denominada Veta Última (50 cm). Sobre el manto de carbón y hasta los 611.5 m se tiene una lodolita con cantidades variable de materia orgánica y dos niveles de concreciones irregulares

sideríticas intercalados. Hasta los 615 m la lodolita posee restos vegetales y cinco niveles limoníticos plano paralelos y separados un metro el uno del otro. Hacia arriba sigue una arcillolita con escasos restos de materia orgánica y no laminada. La laminación se hace evidente en forma ondulosa paralela entre 619 y 626 m además, se tienen seis capas delgadas de carbón de diferentes espesores intercaladas terminando con un nivel carbonoso de 10 cm.

3.2.7. SEGMENTO 7

Se presenta un cambio de color a partir de los 626 m muy evidente en toda el área cartografiada y se tomó como criterio para demarcar la base de este nuevo segmento (Fig. 18) que llega hasta el metro 756. En este segmento, en forma dispersa, aparecen niveles carbonosos y, hacia la parte superior, se encuentran los últimos mantos de carbón de la Formación Guaduas que por su espesor no son explotables (Fig. 19).

El segmento se inicia con una secuencia ininterrumpida de capas de lodolitas verdosas no laminadas que presentan contenidos variables de esferulitas de siderita y 3 niveles de concreciones calcáreas discontinuas. Se puede considerar muy constante entre 626 y 646.5 aunque los tonos van variando hacia arriba a rojizos y sin materia orgánica.

A partir del metro 646.5 hasta el metro 651 aparecen lodolitas con laminación ligeramente ondulosa y muy tenue las cuales se intercalan con lodolitas no laminadas con concreciones sideríticas discoidales de 1 a 5 cm de diámetro mayor. A partir de los 651 m hasta 680 m lodolitas con laminación plana paralela tenue y restos escasos de materia orgánica con concreciones sideríticas pequeñas de tamaños diversos y niveles discontinuos concrecionales, los que localmente presentan mayor abundancia y formas irregulares, dispuestos a veces incluso en posición perpendicular a la estratificación. El análisis petrográfico permite definirla



FIGURA 16: Relleno de Canal.



FIGURA 17: Estratificación lenticular a ondulosa (metro 545).



FIGURA 18: Paisaje entre el segmento 6 y el segmento 7.

como una concreción de caliza micrítica; sobre una superficie ondulosa erosiva yace una secuencia de dos metros de arenitas de cuarzo de grano medio, dispuestas en capas delgadas a medias, cuneiformes con estratificación interna en láminas inclinadas. Intercaladas en menor proporción, lodolitas con buen contenido de materia orgánica parcialmente bioturbadas. Sobre este conjunto, hasta los 703.5 m, se tiene una secuencia formada por lodolitas no laminadas con esferulitas de siderita.

Entre los 703.5 y los 708 m, la secuencia se torna carbonosa e incluso tres capas de 10 cm de carbón aparecen intercaladas con lodolitas de alto contenido de materia orgánica; se observan restos de raíces en la base de los carbones

Nuevamente se tiene un sector de arcillolitas o lodolitas gris azulosas con esferulitas de siderita hasta 729 m con una intercalación de 2 m de arcillolitas carbonosas y arcillolita rica en materia orgánica. Hacia arriba lodolitas no laminadas con algunas intercalaciones pequeñas de arcillolitas con algo de materia orgánica.

Sobre el techo, arenitas de cuarzo de grano fino, cuneiformes en ambos sentidos en capas medias y delgadas intercaladas con lodolita en menor proporción. Sobre la lodolita hasta 751 m donde la secuencia está cubierta afloran lodolitas alteradas con restos no abundantes de hojas.

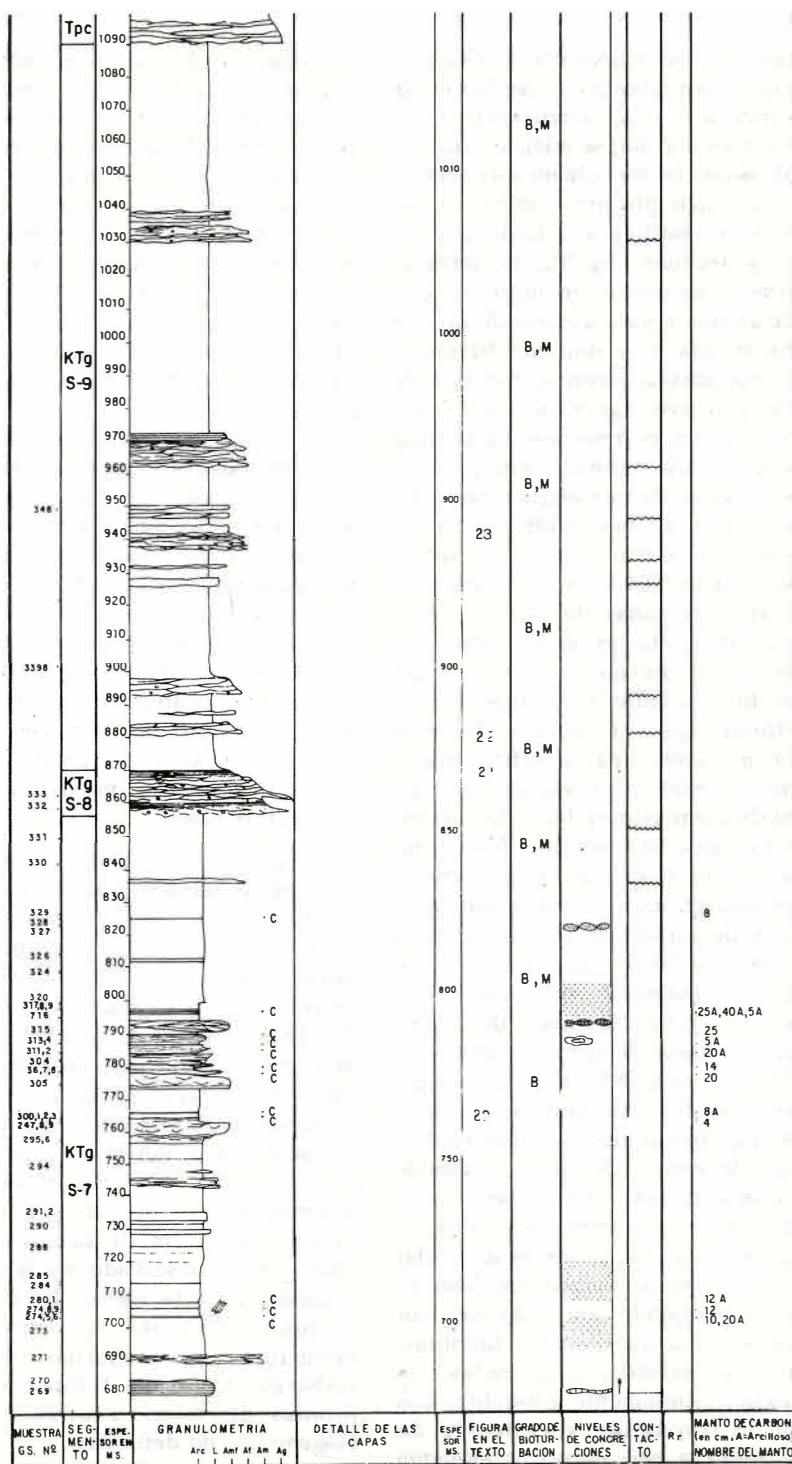


FIGURA 19: Sección columnar: Segmentos 7, 8 y 9 de la Formación Guaduas.

En los 757 m, nuevamente aflora la secuencia: aquí presenta un cambio en la granulometría, en las estructuras sedimentarias y en el color; se inicia el paquete en lodolitas con lentes delgados de arenita que evolucionan progresivamente a láminas con estratificación ondulosa de lodolitas y arenitas (Fig. 20a, b); termina esta primera secuencia en lodolitas con lentes de arenita y pasa a partir de los 758 m a una arenita muy fina con flaser de lodolita, bioturbada y con estructuras de derrumbe y convolutas. El techo de esta arenita en 762.5 m es transicional a lodolita con laminación discontinua plana paralela localmente afectada por estructuras convolutas y, por último, aflora un nivel carbonoso en contacto transicional interdigitado. Hasta 766.5 m se presentan cuatro capas delgadas de carbón intercaladas en arcillolitas grises con restos de vegetales y raíces en la base de los carbones. Encima entre 766.5 y los 774.5 m las lodolitas poseen escasa materia orgánica; mediante una superficie ondulosa erosiva están suprayacidas por un conjunto de arenitas muy finas de cuarzo con estratificación interna plana no paralela y flaser de lodolita. Estas arenitas pasan en contacto transicional a lodolita y a un nivel de carbón de 20 cm. Sobre el carbón hasta los 780.3 se tienen lodolitas y limolitas medianamente bioturbadas con lodolitas en el techo y un manto de carbón de 14 cm con restos de raíces en la base. A partir de 780 hasta 784.5 m se presentan lodolitas y limolitas con laminación plana paralela algo bioturbados y capas medias a delgadas de arenitas de cuarzo y algo de mica, cuneiformes, lenticulares con contactos inferiores erosivos. Sobre la última capa de arena de forma lenticular aparece una capa de carbón arcilloso, el cual es suprayacido por lodolitas con lentes de limolita que pasan a limolitas, con flaser de lodolita, bioturbadas, las cuales pasan rápidamente a lodolitas con sombras de laminación y contenido de materia orgánica baja pero que aumenta hacia arriba hasta terminar en dos capas delgadas de carbón separadas por arcilla

carbonosa ubicadas en el metro 787. El conjunto de limolitas al límite con lodolitas, con laminación ondulosa paralela, posee un nivel continuo de concreciones calcáreas micríticas de formas irregulares a elipsoidales. Este segmento termina en los 790 m en una capa de carbón de 25 cm. Sobre el carbón hasta los 796 m, ocurren lodolitas al límite con limolitas con sombras de laminación ondulosa y abundantes restos vegetales y raíces que cortan la laminación. En la parte media se tienen dos capas de arenita muy fina de cuarzo con estratificación inclinada y flaser de lodolita localmente afectados por estructuras de derrumbe; las arenitas están separadas por una capa de lodolita con un nivel de concreciones irregulares formadas internamente por el reticulado de tabiques. Las lodolitas son suprayacidas por un conjunto de capas medias y delgadas de carbón arcilloso y arcillolita algo carbonosa con abundantes restos vegetales y con improntas de raíces. El primer manto de carbón posee un contacto onduloso a ligeramente erosivo y restos de raíces en la base.

El paso de la arcillolita carbonosa del techo de la secuencia antes descrita a las arcillolitas de tonalidades rojizas y gris verdosa que la cubren es neto y plano paralelo. Muy similar al cambio que fue tomado para la separación del segmento 6 y 7. Esta arcillolita entre 799.5 y 859 m se presenta en capas gris azulosa-verdosa y capas rojizas con esferulitas de siderita dispersas, y localmente capas gruesas de contactos transicionales de arcillolita gris oscuro donde se observan restos orgánicos diseminados e incluso una capa muy delgada de 8 cm de carbón que es el último nivel observado en la Formación Guaduas de este sector. En este grueso conjunto arcilloso no se observan estructuras sedimentarias físicas; sin embargo aparecen formas como improntas de raíces y otras estructuras biogénicas no definidas.

Entre el metro 836 y el 837 aflora un conjunto de capas cuneiformes en ambos

sentidos con contactos erosivos de arenitas de grano fino de cuarzo y algo de mica. Lateralmente en dirección occidental aumenta el espesor a 2.5 m; presenta contacto basal erosivo, intraclastos encima de la base y es granodereciente de grueso a fino.

3.2.8. SEGMENTO 8

Con este nombre informal se hace referencia al conjunto arenítico más destacado de la parte superior de la Formación en esta área, no solo por el espesor sino por la expresión morfológica fácilmente diferenciable a lo largo de la topografía en todo el sector (Fig. 2), su espesor es de 14 m y abarca entre los 856 m y los 870 m de la secuencia. El contacto inferior no fue observado, por estar cubierto de derrumbios pero se considera que está a un metro de lo descrito.

Los primeros 4,3 m corresponden a una secuencia granodereciente que se inicia en una arenita gruesa con un 20% de intraclastos orientados de tamaño no mayor a 2 mm que ocurren hasta 1 m, a partir del cual la granulometría se afina a una arenita fina con estratificación plana paralela y eventuales líneas de intraclastos orientados constituyendo un espesor de 2 metros. Sobre estas arenitas, 1.30 m de arenitas muy finas con estratificación inclinada, que son cortadas en un contacto erosivo por un nuevo conjunto granodereciente que se inicia con 1.40 m de conglomerados de intraclastos hasta de 2 cm en tamaño, imbricados, en porcentaje que alcanza el 80% de los granos. Dichos conglomerados incluyen capas lentiformes de arenita gruesa con intraclastos en menor proporción. Suprayace esta capa un conjunto de 5.3 m de capas medias cuneiformes en ambos sentidos con estratificación interna inclinada no paralela, de arenitas líticas grano decreciente desde conglomerado a muy finas y con un nivel intercalado de intraclastos de lodolita gris de tamaño hasta de 0.60 m de formas irregulares pero orientados. Los últimos 2 m corresponden a arenitas líticas muy finas en capas

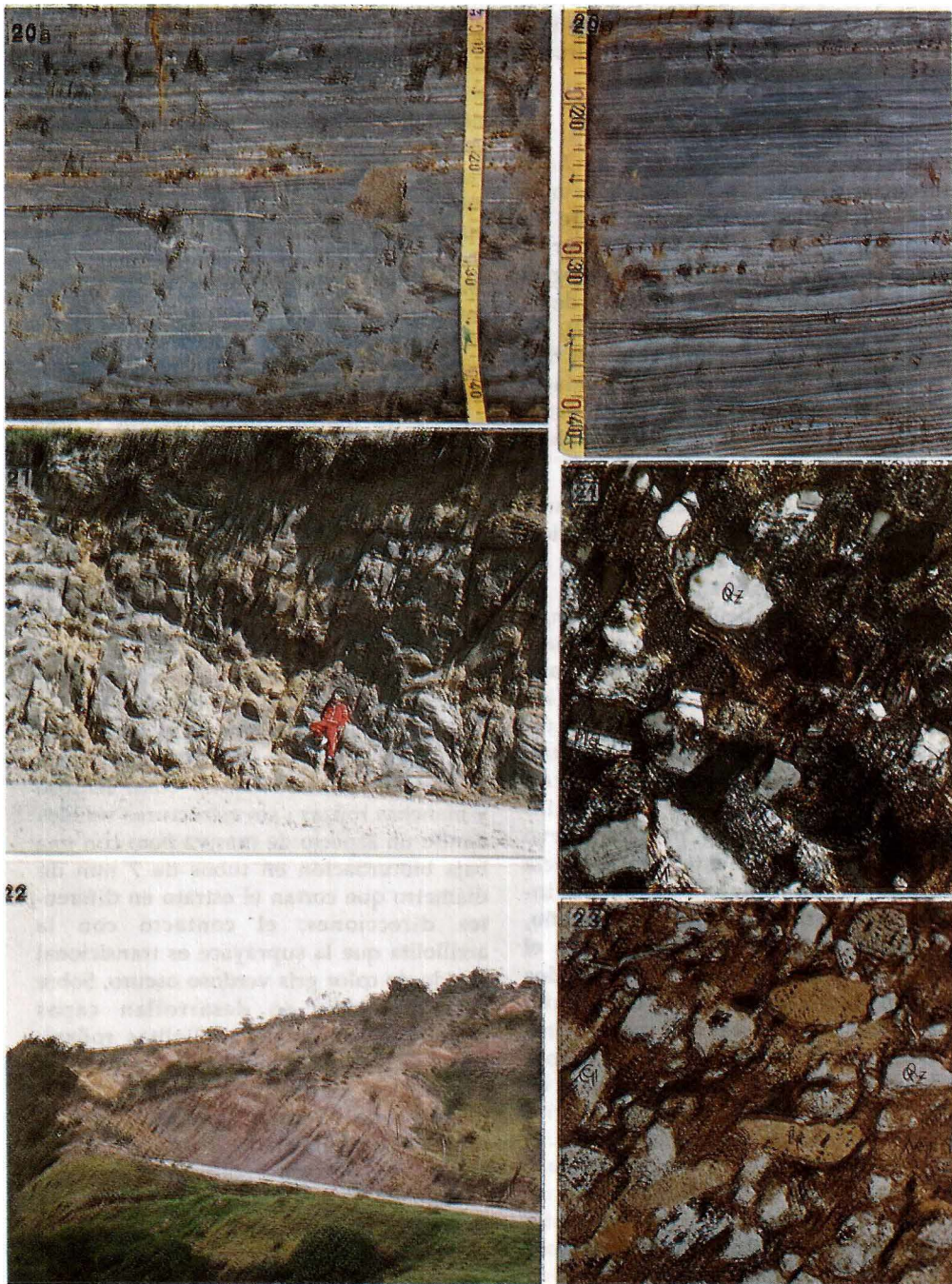
delgadas a medias con estratificación interna plana paralela (Fig. 21a.).

Estas arenitas presentan las siguientes características petrográficas (Muestra IGM 182396, Fig. 21b) : Se trata de una arenisca lítica, inmadura composicional y texturalmente, constituida por fragmentos de cuarzo, chert, feldespatos y líticos (estos últimos en mayor abundancia). Dentro de las variedades de cuarzo se tiene, monocristalino y policristalino derivado de cuarcitas y arenitas. Los feldespatos son del tipo potásico y plagioclasas. Los fragmentos líticos son de rocas ígneas intrusivas, filitas, esquistos, arenitas, limolitas, arcillolitas y andesitas. Como minerales accesorios se reconocieron mica biotita y clorita; además la roca posee óxidos de hierro como cemento y una matriz arcillosa.

3.2.9. SEGMENTO 9

Ultimo segmento considerado en la Formación Guaduas, se trata en general de arcillolitas en franjas de colores rojizos y azulosos intercalados con conjuntos de arenitas en menor proporción (Fig. 19)

El espesor de este segmento abarca desde los 870 m hasta y el contacto con las arenitas conglomeráticas de la base de la Formación Cacho en 1090 m. La secuencia se inicia a partir de limolitas color verdoso y manchas rojizas, sin estructuras visibles dando un aspecto de masiva pero con una baja bioturbación en tubos de 7 mm de diámetro que cortan el estrato en diferentes direcciones; el contacto con la arcillolita que la suprayace es transicional rápido de color gris verdoso oscuro. Sobre esta secuencia se desarrollan capas gruesas y bancos de arcillolitas rojizas, rojizo-verdosa con abundantes estructuras biogenéticas (Pedogenéticas). Los contactos de capa en capa son transicionales rápidos de tal manera que permiten observar claramente sobre la topografía bandas de colores que las definen (Fig.22). En 882 m se tiene un conjunto de capas medias de arenitas cuneiformes en ambos sentidos, con estratificación interna ligeramente inclinada no paralela, con marcas



de corriente en el techo. El contacto inferior es erosivo con abundantes interclastos (no mayores a 2 cm) en la base. La granulometría varía de grano fino a muy fino limitando en el techo por una limolita.

Entre 885 y 893 m afloran las lodolitas en capas gruesas de colores rojizos y verdosos limitados en el techo por un conjunto de capas delgadas a medias cuneiformes en contacto ondulado erosivo suave y con intraclastos en la base. La granulometría es decreciente a partir de tres niveles de intraclastos ubicados en el contacto parte media y media superior del conjunto y varía de grano fino a muy fino. La roca es en general una arenita lítica constituida por cuarzo, líticos de arcilla, como accesorio mica y clorita como mineral secundario; la matriz es de arcillas (Fig.23). La roca es muy suelta al igual que todos los niveles arenosos que en este segmento se intercalan.

Entre 900 y 937 m se tiene un grueso conjunto de lodolitas y arcillolitas rojizas, verdosas manchadas de rojizo dando el mismo aspecto característico, sin estructuras sedimentarias físicas reconocibles pero con estructuras biogenéticas. Se intercalan lentejones cuneiformes de arenita.

Entre 937 y 942 m se presenta otro nivel arenoso con características similares a los descritos. Otros niveles arenosos se encuentran intercalados en las lodolitas y arcillolitas entre 964 y 970 m y entre 1030 y 1034 m. Estos niveles arenosos se destacan en la topografía porque sobresalen entre las arcillolitas; las arcillolitas y limolitas mantienen su distribución en capas de

diferentes tonalidades muy continuas en trechos largos, con abundantes estructuras biogenéticas que se caracterizan por ser en forma de túbulos con estructuras semi-circulares hacia arriba, moldes de raíces distribuidas irregularmente y unos pseudoguijos irregulares y duros que se dejan separar fácilmente de la roca. El contacto con las arenitas conglomeráticas de la Formación Cacho no pudo ser observado porque se encuentra cubierto por derrumbes de pendiente.

4. INTERPRETACION AMBIENTAL

En la Figura 24 se representa en forma esquemática la sucesión de ambientes que resumen la evolución de la cuenca a partir de la parte superior del Grupo Guadalupe hasta la base de la Formación Cacho.

En general la reconstrucción de los medios de depósito nos muestra un proceso regresivo lento desde un mar somero hasta una zona de llanuras aluviales bajas con canales meandriformes. Las fluctuaciones que aparecen durante el proceso, bien pueden deberse a variaciones en la energía de los medios antiguos por migración de los agentes de transporte o por cambios climáticos que causaban el aumento o disminución de la velocidad de arrastre y de acumulación de sedimentos. No se puede desconocer la posibilidad de que se hayan producido cambios eustáticos del nivel del mar debidos a movimientos tectónicos: fluctuaciones en la subsidencia o levantamientos en el "antepais" (hinterland). Sin embargo,

-
- FIGURA 20 a): Lodolita con laminación lenticular (abajo) y ondulosa (metro 758).
 FIGURA 20 b): Lodolitas y arenita en capas muy delgadas con estratificación ondulosa (metro 759).
 FIGURA 21 a): Conjunto de capas de arenita del segmento 8.
 FIGURA 21 b): Sección delgada de las arenitas del segmento 8, aumento 10 x, nicoles paralelos, Plg = plagioclasa. Qz = cuarzo monocristalino, M = Mica, Mt = Matriz arcillosa, Lt = Lítico
 FIGURA 22): Bandas de colores que definen las capas de lodolita del segmento 9
 FIGURA 23): Sección delgada de uno de los niveles arenosos del segmento 9, aumento 10 x, nicoles paralelos. Qz = Cuarzo, Lt - Lítico arcilloso, Cl = Clorita. Mt = Matriz arcillosa.

aunque en las zonas bajas donde la dinámica costera está manejada por los diferentes tipos de energía (producidos por las olas, mareas o dinámica fluvial) la atenuación de alguna implica el dominio de cualquiera de las otras y los resultados son variaciones en la línea de costa.

potente espesor de sedimentitas de la Formación Guaduas representado por una granulometría que varía entre arcillas y arenas finas, implica que los agentes de transporte de sedimentos poseían una relativa baja capacidad de arrastre de materiales gruesos pero podían movilizar grandes volúmenes de finos en forma constante. Los agentes de transporte se modificaron de los producidos por las corrientes de marea y oleaje a los ocasionados por el transporte derivado de la dinámica fluvial (corrientes meandri-formes). Finalmente, en una cuenca de regresión lenta donde la sedimentación fue alta y continua con depósitos principalmente de acrecimiento vertical, conduce a la conclusión de que la velocidad de subsidencia fue relativamente alta y constante.

4.1. INTERPRETACION AMBIENTAL DE LOS SEGMENTOS 1 y 2 DEL GRUPO GUADALUPE

Según la definición de McCubbin (1982) las barreras (barriers) son islas o penínsulas de arena elongadas y paralelas a la línea de costa, separadas del continente por lagunas (Lagoons) o pantanos costero (marshes). Hacia el mar, el plano costero presenta la playa o frente de playa (Foreshore) sometida a la acción de las olas y que abarca el área de influencia de las mareas y el frente costero (Shoreface) considerado desde el nivel inferior de mareas hasta donde la influencia de las olas deja de actuar y corresponde a la zona de transición con el mar abierto (offshore).

En la Figura 25 se muestran esquemáticamente los ambientes mayores y las facies asociadas con barreras (barriers) y planicies costeras (Strand plains). La secuencia vertical del Grupo Guadalupe en su parte superior, (segmentos 1 y 2) y la

base de la Formación Guaduas corresponden en términos amplios con este modelo. Sin embargo la extensión lateral de las facies arenosas tanto hacia el norte como hacia el sur podrá indicar las condiciones de migración de la paleobarrera.

El análisis de la secuencia vertical del Grupo Guadalupe se inició a 134 m del techo con la Formación Guaduas (ver sección estratigráfica, Anexo 1) y por sus características litológicas se separaron dos segmentos. El segmento inferior caracterizado por presentar intercalaciones de arcillolitas y arenitas y el segmento superior predominantemente arenoso.

En el segmento 1 podemos considerar tres sectores; en el primero las capas de arenita de espesores mucho menores que las de arcillolita, poseen un alto contenido de pellets fosfáticos y las arcillolitas son laminadas; un segundo sector (entre 128 y 98 m) donde el predominio son las arenas finas, abajo con pellets fosfáticos, en la parte media en bancos con bioturbación total y capas intercaladas con estratificación inclinada y flaser y hacia la parte superior con estratificación ondulosa e inclinada. Sobre esta secuencia se restablecen las características del primer sector de arcillolitas laminadas con arenitas que involucran pellets fosfáticos e intercalados algunos niveles arenosos con bioturbación total. En los sectores primero y tercero se presenta una apreciable abundancia de *Siphogenerinoides* sp, foraminífero de vida bentónica y muy escasos moldes de bivalvos. La presencia de pellets al igual que los restos de vértebras, evidencian la abundancia de la vida de organismos nadadores como peces y una baja velocidad de sedimentación.

Los materiales del primer sector del segmento 1 fueron acumulados en una zona de baja influencia de las olas (offshore) con una depositación lenta pero ocasionalmente afectada por la acción de corrientes producidas en períodos de mayor energía (Fig. 26).

Durante la acumulación del segundo sector se produjo una somerización y se

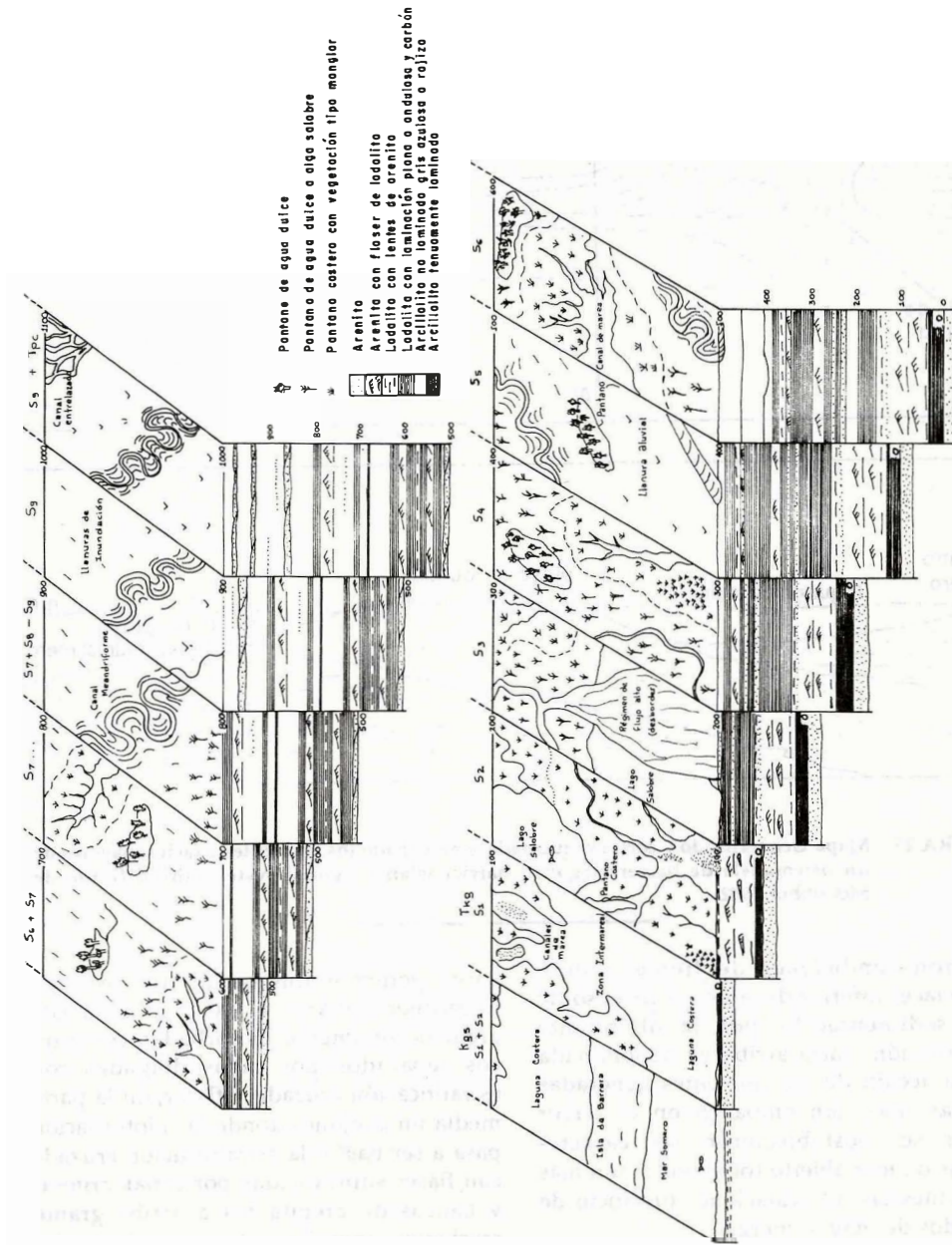


FIGURA 24: Interpretación Ambiental esquemática de la parte superior del Grupo Guadalupe y de la Formación Guaduas.

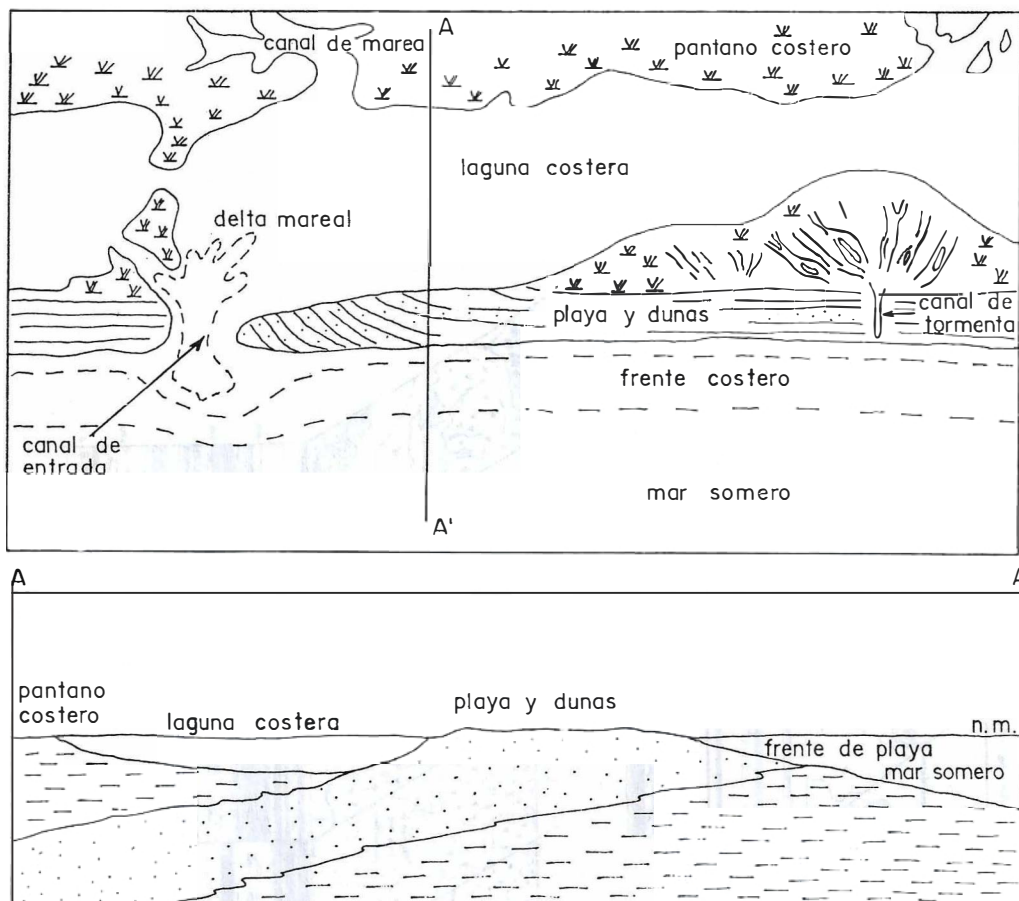


FIGURA 25: Mapa Generalizado y cortes esquemáticos mostrando los ambientes y facies mayores de un sistema Isla de barrera-laguna. (barrier islan - lagoon system) (Modificado de McCubbin, 1982).

tuvieron condiciones de frente costero (shoreface) inferior durante un proceso de baja sedimentación por la abundante bioturbación, hacia arriba ya denominada por la acción de las corrientes generadas por las olas. Sin embargo en el tercer sector se reestablecieron las características de mar abierto (offshore) y son más frecuentes las intercalaciones producto de períodos de mayor energía.

En el segmento superior el predominio de las facies arenosas es casi total, sin em-

bargo podemos diferenciar tres sectores. El primero abarca el 60% y son abajo arenitas totalmente bioturbadas con bancos separados por capas delgadas con estratificación cruzada y flaser; en la parte media un conjunto donde la bioturbación pasa a ser baja y la estratificación cruzada con flaser suprayacidas por capas gruesas y bancos de arenita hacia arriba granocrecientes, también totalmente bioturbada. El segundo sector es una intercalación de lodolitas y limolitas con laminación len-

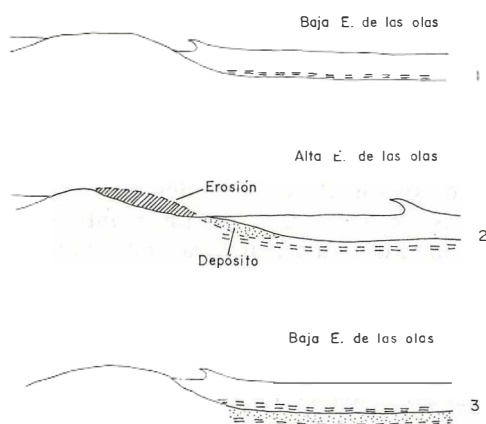


FIGURA 26: Perfiles generalizados de una playa y de una zona cerca a la playa, mostrando variaciones temporales de la energía de las olas. Durante períodos de alta energía y formación de una barra cerca a ella (Modificado de Wright *et al*, en McCubbin, 1982).

titular y el tercero formado por un conjunto de capas, de espesores variables que se inicia con estratificación inclinada pero en general está conformado por capas y bancos de arenita con bioturbación total.

En el segundo sector del segmento 2 se reconocen abundantes ichnofósiles del tipo Planolites y Thallasinoides. No se presentan niveles arenosos con pellets fosfáticos ni tampoco Siphogenerinoides.

El segmento 2 del Grupo Guadalupe se acumuló en una zona de frente costero (shorefase) y de planicie intermareal dominada por la acción de lavado de las olas. En el primer sector se ve la evolución desde el frente costero bajo hasta la zona intermareal, y corresponde a la zona más superior de la barra de arena también afectada por bioturbación. La acumulación de las lodolitas intercaladas entre los gruesos bancos de arenisca fueron producto de un cambio en las condiciones medio ambientales que hizo que la dinámica costera sobrepasara la zona de

barra de arena y acumulara este material más hacia el continente, dejando aquí depósitos de material fino. Una vez restablecidas las condiciones se acumuló el último sector en una zona de frente costero dominada por la acción de lavado de las olas.

4.2. INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA FORMACION GUADUAS

La Figura 24 resume para cada segmento los aspectos más sobresalientes que caracterizan el medio de depósito; la exposición de éstos se hará en forma separada.

4.2.1. SEGMENTO 1

Laguna costera y zona intermareal

El contacto de las areniscas del Grupo Guadalupe con las arcillolitas de la Formación Guaduas es neto y concordante mostrando el paso de una isla de barrera a una zona de laguna costera (lagoon) con fauna de aguas saladas a salobres (foraminíferos bentónicos, equínidos, ostrácodos) donde se acumularon arcillolitas en un proceso de rápida sedimentación con una baja preservación de vida animal y vegetal. Sin embargo las abundantes capas delgadas de lodolita limonítica (producto de alteración de carbonatos) intercaladas (Fig. 6) permiten suponer condiciones variables durante una diagénesis muy temprana, asociada posiblemente a condiciones climáticas rítmicamente fluctuantes. Las arcillolitas no laminadas a tenuemente laminadas acumuladas en la zona de laguna costera comienzan a presentar laminación lenticular (Fig. 7), cada vez más prolífica, variando a estratificación ondulosa (Fig. 8) rasgos en general característicos de una zona intermareal (READING, 1975, Cap.7). Estos tipos de facies reflejan fluctuaciones constantes pero en condiciones de relativa baja energía que permitan la acumulación de limo y arena transportadas por las corrientes de marea y precipitación del material que permanece en suspensión (REINECK and WONDERLICH, 1968).

En esta zona se mantuvieron las condiciones de alta sedimentación sustentada por la baja intensidad de bioturbación al igual que al bajo contenido de polen y de microfósiles. Por otro lado la proximidad al continente y principalmente a los pantanos costeros (tipo manglar actual) permiten un mayor incremento del contenido de materia orgánica, apareciendo incluso un manto de carbón de 7 cm constituido por material orgánico transportado en suspensión, a juzgar por sus contactos transicionales rápidos sin restos de raíces en la lodolita base.

Los espesores de los lentes de arena localmente son muy grandes y a algunos de ellos se les pueden diferenciar intraclastos en la base; estos fueron formados por canales de marea de tamaños variables y la presencia de dinoflagelados, verifica las condiciones de agua salada a salobre.

4.2.2. SEGMENTO 2 Zona supramareal y lacustre

El nivel arenoso de contacto suavemente erosivo utilizado para indicar el inicio de este segmento podrá corresponder a un canal de mareas meandriforme (Tidal point bars) de acrecimiento lateral, aunque por su extensión lateral no se descarta que haya sido acumulado en un régimen de flujo alto, producto de desbordes sucesivos de un río cercano a la desembocadura y redistribuidos por la acción de las mareas o del oleaje. Las lodolitas con estratificación lenticular y los niveles arenosos con estratificación flaser marcan la continuación del ambiente intermareal, hacia el límite con una zona supramareal donde aumenta el contenido de materia orgánica y un decrecimiento de la granulometría hasta formarse un manto de carbón en una zona de pantano costero (Salt marsh) con muy bajo aporte clástico (metro 140, ver columna estratigráfica, Anexo 1).

Sobre este nivel de carbón prevalecen las condiciones de planicie de mareas (Tidal Flat) y nuevamente se desarrolla la

laminación lenticular en la lodolita con preservación de dinoflagelados y un aumento progresivo en la bioturbación la cual llega a afectar casi totalmente la laminación. La proximidad a una zona de pantanos costero se manifiesta en pequeñas intercalaciones de carbón y en la aparición de un manto de carbón de 1.65 m de espesor. Para que se den las condiciones de formación de un manto de carbón se debe tener un área protegida del influjo de detritos y una tabla de agua, tal que el material orgánico permanezca en un medio reductor y que no se presenten cambios fuertes en el clima (cf. GALLOWAY and HOBDA, 1983).

Las limolitas y lodolitas sobre este manto de carbón se caracterizan por una laminación plana paralela a ligeramente inclinada. La ritmicidad de las láminas claro-oscuro con contenidos diferentes de materia orgánica implican condiciones de baja energía con fluctuaciones pequeñas que marcan períodos fijos repetitivos. Este tipo de ambientes se encuentran en lagos donde la influencia del agua salada es probable y la acción de las mareas no tiene efecto. El aporte de sedimentos podría ser principalmente del continente (hay una abundancia notoria de micas y de materia orgánica). Asociado a este ambiente lacustre aparecen dos mantos de carbón con una zona intermedia entre ellos correspondientes a un pantano con abundante vegetación (moldes de hojas) y acción de organismos (bioturbación). Hacia el final del segmento se reestablecen las condiciones de depósito lacustre con variaciones en la energía de depósito, acumulándose arenas finas, limos y lodos caracterizados por laminación plana paralela.

4.2.3. SEGMENTO 3 Ríos, desbordes y ambiente lacustre

Un mayor aporte de clásticos se observa a lo largo de este segmento representado por cinco conjuntos mayores de areniscas en capas suavemente convergentes y en general con laminación de

plano paralela a ligeramente inclinada, los contactos sobre las limolitas y lodolitas es ondulado a ligeramente erosivo, los 4 primeros corresponden a canales de ríos de baja energía (meandriformes) con su respectiva zona de desborde. En el quinto conjunto las superficies de los estratos de areniscas presentan ocasionalmente rasgos de ondulitas longitudinales, marcas de corrientes (Scour marks) y turboglifos (Flute marks), característicos de flujos rápidos. Las variaciones granulométricas no son evidentes, aunque son abundantes los intraclastos en la base y no se observa efecto de bioturbación. Todo esto permite suponer que estos materiales fueron acumulados en un régimen de flujo alto productos de desbordes sucesivos (Crevease Splay) de río durante períodos de alto régimen.

Estos materiales se acumularon en un lago que poseía alta velocidad de hundimiento. Las lodolitas y limolitas interestratificadas mantienen las mismas estructuras de las descritas en la parte superior del segmento anterior definiendo un ambiente lacustre de hundimiento rápido invadido frecuentemente por estos ríos y depósitos de flujo alto.

4.2.4. SEGMENTO 4

Zona de pantanos cerrados, pantanos abiertos, zona supramareal y canales estuarinos.

Se inicia este segmento con una capa de arcillolita la que es suprayacida por un manto de carbón con intercalaciones arcillosas hacia la base, acumuladas en un ambiente de pantano cerrado variando a una zona pantanosa con influjo de detritos y con vegetación abundante (evidenciada por los restos bien preservados de hojas y además por fragmentos de tallos), condiciones que fueron modificándose a una zona de mayor oxigenación con menor preservación de material orgánico, hasta que nuevamente se restableció la zona de pantano cerrado con la preservación de un manto de carbón.

Sobre este manto de carbón se inicia en contacto erosivo una sucesión de lodolitas con laminación interna lenticular, arenitas y lodolitas con estratificación ondulosa y en menor proporción arenitas con estratificación flaser, rasgos texturales y estructurales que suponen una nueva influencia costera, corroborada por la presencia de dinoflagelados en una zona intermareal estuarina con características muy similares a las que prevalecieron durante la acumulación de los materiales de la parte superior del segmento 1 y la parte inferior del segmento 2. Sin embargo por la vecindad de subambientes como pantanos costeros sin influencia de la energía de las mareas y donde crecía vegetación adaptada a condiciones acuáticas posiblemente como los manglares recientes, se depositaron mantos de carbón de diferentes espesores que presentan cantidades bajas de pirita. Estos carbones e incluso algunos de los hasta ahora enunciados presentan contactos inferior y superior casi netos y están interestratificados en litologías que muestran rasgos estructurales de regímenes dinámicos asociados a medios sedimentarios diferentes. Dichos aspectos permiten deducir que el carbón empezó y finalizó abruptamente y como tal las variaciones del medio ambiente también lo fueron. Otra situación particular en estos mantos de carbón es su extensión lateral continua y sin interrupciones de depósitos de canal, tal cual se presenta en regímenes de marea de baja energía (microtidal).

Nuevamente depósitos arenosos de canal con laminación lenticular hacia el techo interrumpen la secuencia (ríos estuarinos), sobre estos se vuelve al carácter anterior conformado de lodolitas laminadas debajo del manto de carbón y lodolitas con abundantes restos vegetales, principalmente moldes bien preservados de hojas al techo.

El manto de carbón la Ciscuda presenta una extensión lateral muy amplia con variaciones pequeñas de espesor

(según se observa en el laboreo de minas ubicadas sobre este) y, al igual que en la mayoría de los mantos hasta ahora descritos, los contactos superior e inferior son transicionales rápidos con un bajo contenido de pirita framboidal. El manto Ciscuda se acumuló en un ambiente de pantano cerrado de amplia extensión lateral e influenciado por aguas salobres. La presencia de la pirita sugiere influencia de agua de mar y el bajo porcentaje podrá deberse a condiciones de rápida sedimentación.

Sobre este manto de carbón y hasta el techo del segmento 4 se repiten continuamente las características de pantano cerrado, con la consecuente formación de mantos de carbón y pantano abierto con influencia de pequeñas corrientes laminares que le dan a las arcillolitas carbonosas un aspecto de laminación ondulosa paralela. La vegetación fue muy abundante y la preservación muy favorable dando al color de las arcillas un aspecto oscuro particular.

4.2.5. SEGMENTO 5 Llanuras bajas

El paso de arcillolitas con alto contenido de materia orgánica a arcillolitas con bajo contenido de la misma es muy marcado para diferenciar el inicio del segmento 5. Todo el segmento está caracterizado por dicha constante; sin embargo se presentan tres sectores de excepción que involucran capas carbonosas e incluso mantos de carbón de espesores muy reducidos y un alto contenido de materia mineral.

El segmento 5 se puede subdividir en dos sectores: el más inferior de mucho menor espesor conformado por arcillolitas y lodolitas de color azul verdoso, que dan un aspecto azulado al paisaje y sobre este arcillolitas y lodolitas de colores azul, verdoso y rojizo constituyendo el primer conjunto de las arcillolitas abigarradas de la Formación Guaduas.

El primer sector son arcillolitas y lodolitas con muy bajo contenido de materia

orgánica e innumerables esferulitas de carbonato y yeso secundario formadas en condiciones de alta oxigenación lo cual no permitió la preservación de la materia orgánica, aunque hacia el techo ya se presenten niveles carbonosos y mantos de carbón de espesores no mayores a los 20 cm. Estos rasgos son característicos de llanuras bajas, próximo costeras con invasiones frecuentes de agua de mar que se evaporaba dando lugar a la precipitación de yeso y las esferulitas de carbonato y donde los procesos pedogenéticos destruyeron los restos de materia orgánica que pudieron haber sido acumulados.

Este sector es separado del otro por una zona con algo de materia orgánica representada en arcillolita con restos orgánicos y tres niveles de carbón con alto contenido de material mineral. Hacia la parte superior del último nivel de carbón se presenta un paleocanal relleno con materiales finos de un espesor máximo correspondiente a 6 m aproximadamente. Lo importante de este paleocanal, que afecta a unos 100 m en sentido lateral, es el hecho de ser el único fenómeno de tales características que se observó a lo largo de la Formación Guaduas en el sector estudiado y que coincide con un derrumbe (Slump) intrasedimentario el cual es reconocido en el sector de La Pluma a unos 5 km del sitio. El paleocanal en su parte más profunda fue relleno de material arcilloso y muestra restos de materia orgánica con preservación de hojas; además se asocian fragmentos de dientes y nódulos fosfáticos. Sobre estas arcillas se presenta un nivel carbonoso con fragmentos de vértebras y dientes. Este nivel es más grueso en la parte media y presenta un arqueamiento hacia los extremos producto tanto de la compactación diferencial del carbón por su mayor compresibilidad, como de la forma original del depósito. El resto del canal está constituido con arcillolitas y niveles calcáreos concrecionales siguiendo una distribución tabular. Se plantea como hipótesis que el paleocanal fue formado

por un evento catastrófico a pequeña escala asociado a fenómenos regionales que marcaron la finalización del período cretácico.

Sobre el paleocanal se inician las arcillolitas y lodolitas de diferentes tonalidades rojizas asociadas a zonas de llanura baja de inundación, con acreción vertical y donde es posible que se alcanzaran a formar suelos residuales. Localmente se conservaron mantos de carbón y arcillolitas con algo de materia orgánica entre las arcillolitas rojizas, donde el nivel freático fue alto y se mantuvo un ambiente reductor en condiciones pantanosas.

4.2.6. SEGMENTO 6

Canal de río meandriforme y llanura aluvial; zona intermareal, supramareal y pantanos.

Durante la acumulación de este segmento se restablecen las características de pantanos costeros en condiciones favorables para la formación y preservación de mantos de carbón, algunos de ellos con espesores que permitan su explotación.

Se inicia el segmento con un conjunto arenoso granodecreciente en capas convergentes cuneiformes depositadas por un río de baja energía (río meandriforme) de crecimiento lateral que permite además diferenciar los materiales de desborde natural (over bank) representados por limolitas a lodolitas con estratificación ligeramente inclinada a paralela y sobre estos los depósitos de planicie de inundación (Flood Plain) a zona de pantano (back-swamp) con bajo a alto contenido de materia orgánica respectivamente.

Una nueva ingresión marina está marcada con la aparición en contacto erosivo, de lodolitas, limolitas y arenitas con estratificación ondulosa y flaser de una zona intermareal y supramareal baja, la cual se corrobora por la presencia de foraminíferos y dinoflagelados.

Los mantos de carbón que ahora aparecen tienen los mismos rasgos de los que fueron descritos en el segmento 4 al

igual que las arcillolitas y lodolitas con las que se encuentran asociados pero el grado de carbonización es menor (ver índice de reflectancia de la vitrinita, Anexo 1) y como tal sus propiedades térmicas. Se presentan además diferencias, en los espesores promedio los cuales son mayores en el segmento 4; por ejemplo el manto denominado Siete Bancos está constituido por seis bancos de carbón intercalados con lodolitas carbonosas formando un espesor de 4 m. Esto debido quizás a una mayor velocidad de hundimiento de la cuenca que modificaba las características de deposición del carbón. Las condiciones supramareales de pantanos cerrados o con influjo de clásticos se mantienen hasta el techo de este segmento.

4.2.7. SEGMENTO 7

Llanuras bajas, zona intermareal

El cambio de arcillolitas ricas en materia orgánica y carbón con arcillolitas y lodolitas verdosas a rojizas fue tomado como criterio para definir el inicio del segmento 7. Se trata de una variación con las mismas características de las que se observaron entre el segmento 4 y el 5. Este segmento puede ser subdividido en tres sectores.

El primer sector formado por lodolitas que no poseen laminación y son de colores verdosas a rojizas. Hacia la base presentan innumerables esferulitas de carbonato de hierro, en la parte media superior se intercala un conjunto de limolitas laminadas y hacia la parte superior se tienen dos conjuntos de lodolitas carbonosas. El ambiente de formación de estas lodolitas corresponde a una zona de llanuras bajas con alta oxigenación y una tabla de agua baja, condiciones que no permitieron la preservación de la materia orgánica; localmente se reconoce una influencia no muy fuerte de desbordes de canal y algunos pantanos que motivaron la preservación de restos vegetales.

En el segundo sector las características son muy similares a las que se han

encontrado asociadas con los mantos de carbón pero su desarrollo en la vertical es mucho menor al igual que el espesor de los mantos (no mayores a 25 cm) y que no representan ninguna importancia desde el punto de vista económico. Se tienen hacia la base lodolitas y arenitas de grano fino con estratificación lenticular ondulosa y flaser de una zona intermareal sustentada por la presencia de dinoflagelados. Sobre estas, niveles de carbón y lodolitas carbonosas acumuladas en una zona supramareal con pantanos costeros cerrados y con influjo de detritos. Otro paquete arenoso con flaser de lodolitas marca la influencia de la zona intermareal y los mantos de carbón que la suprayacen pantanos costero; algunos niveles arenosos pueden estar indicando ríos estuarinos. La secuencia termina con un conjunto de capas delgadas de carbón y lodolita carbonosa de una zona de pantanos muy cercanos a la línea de costa (back swamp).

Es la última manifestación de la acción de la dinámica costera en la Formación Guaduas en esta zona.

En el tercer sector se reestablecen las condiciones de llanura baja de ambiente oxidante donde se sedimentan lodolitas rojizas con esferulitas de carbonato de hierro; hacia la parte media el cambio de color de las lodolitas indica el último sector de preservación de la materia orgánica en áreas pantanosas reductoras.

4.2.8. SEGMENTO 8 Canal de meandro

Se trata de un segmento arenoso en el que se pueden distinguir 2 secuencias grano decrecientes siendo la inferior interrumpida por una superficie de erosión. La inferior consta de una zona con intraclastos en la base, suprayacida por capas planas, sobre las que se presenta una superficie erosiva con intraclastos en la capa base, óndulas de gran escala y luego óndulas de menor escala con fragmentos de lodolita de gran tamaño; el último sector son capas delgadas plano

paralelas. La roca es una arenisca lítica inmadura textural y composicionalmente (ver descripción en 3.2.8).

La Figura 27 es una representación esquemática de este segmento que en términos generales corresponde al modelo interpretado por Allen, 1963 para depósitos acumulados en una barra de meandro. En la parte inferior se tienen los depósitos de fondo de canal sedimentados bajo un régimen de flujo relativamente alto; estos son interrumpidos para reiniciarse los depósitos de fondo de canal y las estructuras hacia arriba dejadas (óndulas) reflejan la disminución de las condiciones de flujo de la corriente y los intraclastos de gran tamaño son bloques del borde del canal caídos sobre éste.

La continuidad lateral del segmento obedeció a condiciones constantes de estabilidad de la cuenca que le permitieron al canal meandriforme migrar lateralmente. La inmadurez textural y composicional de las arenitas (Fig.21a) marca por un lado un transporte no muy prolongado y además los tipos de fragmentos líticos pueden corresponder a materiales derivados de la Paleo- Cordillera Central.

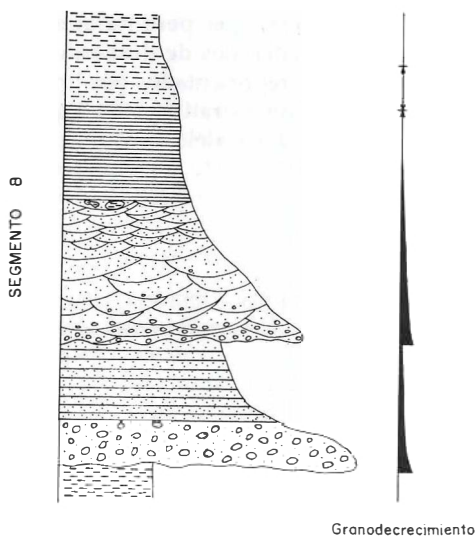


FIGURA 27: Esquematización de las 2 secuencias meandriformes del segmento 8.

4.2.9. SEGMENTO 9

Canales meandriformes, llanuras aluviales.

Sobre el nivel arenoso del segmento 8 la Formación Guaduas adquiere unos rasgos más homogéneos regionalmente (LAVERDE, 1979). Son arcillolitas y lodolitas de colores verdosos a rojizos e intercalaciones en contactos erosivos, de arenitas grano decrecientes. Se trata de depósitos formados principalmente por acrecimiento vertical donde la energía de transporte de los materiales es fluvial derivado de desbordes sobre llanuras de inundación con abundante oxidación y canales de ríos (5 principales) no muy profundos, con baja capacidad de arrastre de sedimentos, deducido de la granulometría e inmadurez textural de los componentes.

Las variaciones de color en las arcillolitas y lodolitas que permiten diferenciar capas continuas, son acentuadas por procesos recientes de meteorización pero su origen puede deberse a uno de los siguientes procesos sedimentarios: acumulación diferencial a partir de desbordes de ríos que se repiten en la medida que en varios períodos de tiempo se da el mismo fenómeno, o formación de paleosuelos. El fenómeno que explica las diferencias de colores por procesos pedogenéticos, probablemente es similar a lo que ocurre actualmente en los Llanos Orientales colombianos (Información personal de Pierre Favre y Sergio Gaviria, quienes están llevando a cabo estudios en suelos recientes de los Llanos Orientales Colombianos). El desarrollo de un perfil de suelo puede abarcar un espesor de aproximadamente 10 m donde se destruyen las evidencias sedimentarias primarias siendo reemplazadas por rasgos típicos de horizontes de suelos caracterizados por un horizonte inferior azul verdoso con moteado a violeta producto de variaciones del nivel freático, cuando se estaban formando, sobre este un horizonte rojizo por la acumulación de óxidos de hierro y suprayacidos por un horizonte pardo amarillento de menor espesor y correspondiente al último nivel de suelo. El desarrollo de un perfil

completo puede estar suprayacido por otros niveles igualmente diferenciados que truncan o no el depósito inferior. El mecanismo de aporte de sedimentos como materia prima podrían ser los desbordes sucesivos de ríos en planicies aluviales, con efectos pedogenéticos posteriores con una actividad orgánica abundante tanto animal (estructuras biogénicas) como vegetal (restos de raíces). Sin embargo la preservación de materia orgánica vegetal como polen, esporas, cutículas, restos de hojas etc. es inexistente a causa del ambiente oxidante asociado a la génesis de los depósitos.

5. CONCLUSIONES

5.1. ANALISIS

Los marcados contrastes morfológicos resultado de la degradación diferencial del paisaje al igual que las distintas tonalidades de las lodolitas con diversos contenidos de materia orgánica dieron los criterios para subdividir en 2 segmentos al Grupo Guadalupe (en su parte superior) y 9 segmentos a la Formación Guaduas, relacionados a su vez con los ambientes de depósito. Los segmentos 1 y 2 del Grupo Guadalupe diferenciados por la mayor abundancia de arcillolitas en el segmento inferior y una casi total prevalencia de arenitas en el superior dan como resultado un paisaje escarpado (Fig. 4) a todo lo largo del área de Sutatausa. La planicie estructural, que queda en el contacto con la Formación Guaduas es regionalmente constante, por el contraste de litologías.

Los segmentos caracterizados en la Formación Guaduas tienen los siguientes rasgos litológicos: El segmento 1 son predominantemente arcillolitas y lodolitas con lentes delgadas a gruesos de limolita o arenita de cuarzo. El segmento 2 constituye la primera zona productora de carbón y es separada de los segmentos 1 y 3 por niveles arenosos; en general son lodolitas con contenidos variables de materia orgánica y mantos de carbón. El segmento 3, corresponde a la parte superior de la Arenisca La Guía de Hubach (1957) pero

con intercalaciones de limolitas y lodolitas. El segmento 4 conforma el segundo sector productor de carbón, con abundantes lodolitas de contenidos variables en materia orgánica y algunos niveles arenosos intercalados. El contacto Superior fue definido donde terminan las lodolitas ricas en materia orgánica y de tonalidades oscuras generalmente. El segmento 5, constituido principalmente por arcillolitas rojizas y verdosas, tiene la particularidad de un relleno de material fino que podría indicar un evento a pequeña escala. El segmento 6 conforma el tercer nivel productor de carbón y asocia lodolitas con contenidos variables de materia orgánica; son comunes también las lodolitas con lentes delgados de limolita o arenita de cuarzo.

El segmento 7 en la parte inferior son lodolitas con baja cantidad de materia orgánica, en general rojizas y verdosas; hacia la parte media un último sector de ocurrencia de capas de carbón de espesores bajos con lodolitas lenticulares y varios niveles arenosos; en la parte superior son lodolitas rojizas y verdosas

El segmento 8, muy continuo regionalmente, son arenitas granodecrecientes inmaduras textural y composicionalmente.

El segmento 9, es una sucesión de capas de lodolitas rojizas, moteadas y verdosas que le dan al paisaje un aspecto bandeado. En las lodolitas aparecen niveles arenosos menos desarrollados que los del segmento 8.

5.2. INTERPRETACION

Un proceso regresivo lento con fluctuaciones menores caracterizan los eventos sedimentarios ocurridos durante la acumulación del Grupo Guadalupe en su parte superior y la Formación Guaduas. El Grupo Guadalupe se deposita en una zona de planicie costera (S2) y de isla de barrera (S1) y la Formación Guaduas en una zona de contra barrera y de llanuras aluviales. La Formación Guaduas se inicia

en un ambiente de laguna costera (S1) que pasa progresivamente a una zona intermareal (S1). El primer grupo de carbones es el resultado de procesos ocurridos en pantanos con influencia de aguas saladas tipo manglares actuales y pantanos lacustres (S2). Los pantanos costeros fueron reemplazados por ciénagas o lagos, conectados con el mar y afectados por invasiones sucesivas de depósitos de desborde provenientes de canales en períodos de alta energía (S3). Sobre estos depósitos se restablecen las condiciones de influencia de la dinámica costera en una zona intermareal y supramareal con la formación de pantanos costeros de aguas salobres con y sin aporte de detritos (carbón). La influencia del continente comienza a ser evidente con canales de ríos meandriiformes y llanuras aluviales que nuevamente son afectadas por la acción de las mareas y la formación de pantanos con alta preservación de la materia orgánica (S4).

El segundo grupo de mantos de carbón termina con el inicio de una zona casi estéril característica de llanuras bajas cercanas a la costa y frecuentemente invadidas, de fuerte oxigenación con formación de áreas pantanosas restringidas. Un paleocanal marca un evento anómalo que parece extenderse regionalmente (S5). Un canal de río meandriforme con planicies de inundación son el inicio del tercer grupo de mantos de carbón que se muestra asociado también, a zonas bajas intermareales y supramareales con abundantes pantanos costeros sin aporte de clásticos y pantanos de arcillas (S6).

Sobre estos materiales el ambiente se hace nuevamente poco apto para la preservación de la materia orgánica en áreas de planicies de inundación con abundante oxidación y escasas áreas de pantanos (S7). Una nueva acción de la dinámica costera, manifestada en una zona intermareal y supramareal esta relacionada con la acumulación del último grupo de carbones y arcillas carbonosas, sin importancia económica por el espesor

de los mantos (S7). De este límite hasta el techo de la Formación Guaduas el dominio es de las llanuras aluviales bajas con canales meandriformes (S8 y S9). La preservación de la materia orgánica es casi inexistente y los procesos pedogenéticos modifican los rasgos primarios de estratificación.

El apreciable espesor de sedimentitas de la Formación Guaduas (1090 m) depositadas entre el Maastrichtiano Superior y el paleoceno Inferior demuestran que aunque los materiales acumulados (arcillas-arenas de grano fino) reflejan procesos dinámicos de baja energía, la velocidad de sedimentación fue relativamente alta. La velocidad de subsidencia de la cuenca fue alta pese a que el proceso regresivo se mantuviera constante.

















6. AGRADECIMIENTOS

El soporte económico de este trabajo fue asumido por el INGEOMINAS; agradezco a sus Directivas la preocupación por apoyar la investigación en aspectos de Geología Básica. Resalto la colaboración y asesoría del geólogo Giancarlo Renzoni tanto en las labores de campo como en la revisión del manuscrito. Agradezco igualmente al doctor Hermann Duque por su decidido impulso a la investigación y su orientación en los conceptos y directrices. Al profesor Thomas Van der Hammen, orientador y revisor. A todo el personal técnico de INGEOMINAS, al auxiliar de campo señor Justo Montealegre, a la secretaria señora Amparo Cuevas, laboratoristas, personas que hacen posible el resultado final de este tipo de trabajos.

7. BIBLIOGRAFIA

- ADARO, 1978.- *Estudio de Prefactibilidad para la Explotación de Carbones Coquizables en los Bloques I y II, Borde Occidental del Sinclinal de Checua - Lenguazaque*. Empresa Nacional ADARO de investigaciones Mineras. Madrid, España.
- ALLEN, J.R.L. ,1963.- *Henry Clifton Sorby and the sedimentary structures of sands and sandstones in relation to flow conditions*. Geol. Mijnbouw, v.42, p. 223-228
- BLANCO, G. ROMERO, E. URIBE C., 1977.- *Clasificación Internacional de los Carbones de Checua - Lenguazaque*. Inf. 1726 INGEOMINAS. Bogotá. 17p.
- CARBOCOL, 1983.- *Censo Nacional de Minas. División de Investigaciones Económicas y Estadísticas*. Bogotá.
- DE PORTA, J., 1974.- *Lexique Internationale Stratigraphique*. Amerique Latina, Vol. V. CNRS. Paris.
- DURAN, R. MOJICA, P. ALVARADO B. LOBO-GUERRERO A.,1981.- *Evaluación de Reservas de Carbón en 7 zonas carboníferas de Colombia para el estudio nacional de energía*. INGEOMINAS. Publ. Geol.Esp. No.6: 1-36, INGEOMINAS .Bogotá
- ETAYO, F., RENZONI G., BARRERO, D. 1969.- *Contornos Sucesivos del Mar Cretáceo en Colombia*. Primer Congreso Col. Geol. Mem.217- 252 Bogotá.
- FABRE A., 1985.- *Dinámica de la Sedimentación Cretácica en la Región de la Sierra Nevada del Cocuy*. (Cord.Or. Col.) Proyecto Cretácico. Publ. Geol. Esp. No. 16 INGEOMINAS, Bogotá. Cap. XIX
- GALLOWAY, W.E. HOBDAV, D.K. 1983.- *Terrigenous Clastic Depositional Systems*. Springer-Verlag. New York. Chapter 12, p. 253-297.
- HARMS, J.C SOUTHARD, J.B. WALKER, R., 1982.- *Structures and Sequences in Clastic Rocks*. S.E.P.M. Short Course N° 9 Calgary. Canada Chapter 5, p. 1-26
- HERRERA, B. MATEUS E. 1977.- *Censo Minero del Sinclinal de Checua - Lenguazaque (Cund.)* Inf.1728. INGEOMINAS, Bogotá.

- HORN, M.C. ROELE J.1987.- *Tertiary Sediments of the Usme Valley*. Colombia A Palynological and Stratigraphical Approach , Hugo de Vries Laboratorium. Amsterdam.
- HUBACH, E., 1957.- *Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores*. Bol. Geol., Serv. Geol. Nal., 5 (2): 93-112. Bogotá.
- INGEOMINAS, 1988.- *Mapa Geológico de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- LAVERDE, F., 1979.- *Espesor, estratigrafía y facies de la Formación Guaduas en algunos sitios del Cuadrángulo K-11*. Tesis de grado U.N.C. INGEOMINAS,1-92, Bogotá.
- Mc CUBBIN, D.G. 1982.- *Barrier-Island and Strand-plain facies*. In *Sandstone Depositional environments*. American Assc. Petrol. Geol. Tulsa Oklahoma .
- McLAUGHLIN, D. ARCE M., 1975.- *Mapa Geológico del Cuadrángulo K-11 - Zipaquirá*. Colombia. Ingeominas
- PEREZ, F. VALDERRAMA, G. BLANCO G. GONZALEZ L. y GARCIA ,F. 1987.- *Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua - Lenguaque*. Bol. Geol. Vol.28, No.2, Bogotá, Colombia p.1-218.
- PEREZ, G. y SALAZAR A., 1979.- *Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe*. Boletín Geológico N° 10 U.N. Bogotá, Colombia. p. 1-116.
- READING, H.G., 1975.- *Sedimentary Environments and Facies*. Elsevier, New York.
- REINECK,H.E. and WUNDERLICH, F., 1968.- *Classification and origin of flaser and lenticular bedding* *Sedimentology*. 11, 99-104.
- 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.
- VAN der HAMMEN, Th. 1958.- *Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos*. Bol. Geol. Serv. Geol. Nal., 4(1-3): 67-128.

MUESTRA GS. Nº	SEG-MEN TO	ESPE-SOR EN M.S.	GRANULOMETRIA Arc L Amf Al Am Ag	DETALLE DE LAS CAPAS	ESPE-SOR MS	FIGURA EN EL TEXTO	GRADO DE BIOTURBACION	NIVELES DE CONCRECIONES	CON-TAC TO	MANTO DE CARBON (en cm, A-Arcillosa) NOMBRE DEL MANTO	INTERPRETACION AMBIENTAL		
1090	Tpc										Río de alta energía	CONVENCIONES  Estratificación interna lenticular.  Estratificación interna lenticular gruesa a veces interconectadas.  Estratificación ondulosa  Estratificación flaser  Estratificación interna ondulosa no paralela con flaser.  Láminas planas paralelas.  Láminas planas no paralelas.  Láminas onduladas no paralelas.  Láminas no visibles  Laminación tenue o sombras de laminación  Bioturbación total en arenitas  Bioturbación media a alta  Laminación con baja bioturbación  Estructura convoluta  Sucesión de copas cuneiformes, convergentes y cubetiformes.  Copa con estructura interna en láminas inclinadas.	
1080											Llanura de inundación con formación de suelo		
1070													
1060													
1050													
1040													
1030											Canal de río de baja energía		
1020													
1010											Llanura de inundación con formación de suelos.		
1000													
990	KTg S-9												
980													
970													
960													
950													
940													
930											Canales de río y llanuras de inundación con desarrollo de suelos		
920													
910											Llanura Aluvial		
900													
890											Canales de río y llanuras de inundación.		
880													
870													
860	KTg S-8										Canal de río		
850													
840											Llanura de inundación canal de río.		
830													
820											Llanura Aluvial		
810													
800													
790											25A, 40A, 5A		
780											Pantanos(?) canales de río.		
770											Zona supramareal y pantanos costeros		
760													
750	KTg S-7										Desbordes de río y llanuras de inundación.		
740											Llanura Aluvial		
730													
720													
710											12 A		
700											Área pantanosa llanura de inundación. Desbordes de río.		
690													
680											Llanura Aluvial		
670													
660											Llanura Aluvial		
650													
640													
630													
620											18		
610													
600											0.63		
590											20A, 15A		
580											Pantanos y áreas inundables pantanosos (aguas salobres)		
570											12, 8, 7, 35, Siete bancas Superior		
560											Zona intermareal y pantanos costeros.		
550											40 Veta depósito		
540											70 Veta vidrio		
530											Áreas pantanosas.		
520													
510											Llanura de inundación y zonas de desborde.		
500											Canal de río		
490													
480											Llanura Aluvial		
470													
460													
450											25		
440											Llanura de inundación y pantanos		
430													
420											Llanura de inundación		
410													
400											20		
390											Canal, llanura muy bajo de inundación.		
380											25 A		
370													
360											75, 8, 8A		
350											Pantanos y planicies de inundación		
340											28		
330											190 Manto La Ciscuda		
320											35		
310											120 Veta chica		
300											160 Veta quinta		
290													
280											35		
270													
260											28		
250											42		
240											0.77		
230											210 Veta grande superior		
220													
210											90		
200													
190											300		
180											Sieve Bancas inf		
170													
160													
150													
140													
130													
120													
110													
100													
90													
80													
70													
60													
50													
40													
30													
20													
10													
0													
10													
20													
30													
40													
50													
60													
70													
80													
90													
100													
110													
120													
130													
10													
20													
30													
40													
50													
60													
70													
80													
90													
100													
110													
120													
130													
10													
20													
30													
40													
50													
60													
70													
80													
90													
100													
110													
120													
130													
10													
20													
30													
40													
50													
60													
70													