

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias Básicas
Escuela Centroamericana de Geología

**Palinología de la Formación Río Banano
(Sección río Carbón Volio, río *Sand Box* y quebrada
Veinticinco) Mioceno Superior, Costa Rica**

Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geología de la Universidad de Costa Rica

María I. Sandoval Gutiérrez

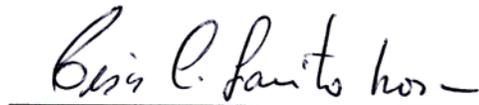
A13411

Noviembre 2009

Tribunal Examinador



M.Sc. Teresita Aguilar
Directora de Tesis



Lic. César Laurito
Miembro del Tribunal



M.Sc. Luis Obando
Integrante Comité Asesor



Dra. Virginia Solís Alvarado
Presidenta del Tribunal



Licda. Guaria Cárdenes
Integrante Comité Asesor



Geól. María Isabel Sandoval
Sustentante

A mi madre por su incondicional apoyo y motivación

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Carlos Jaramillo, del Instituto Smithsonian de Investigación Tropical (STRI) por proporcionarme la oportunidad de aprender la clasificación de palinomorfos al lado del grupo de palinología, y por guiarme en la primera fase de este trabajo. Así como a todos los miembros del grupo y amigos que me ayudaron en el proceso.

Especial reconocimiento al comité de tesis, a Teresita Aguilar y Luis Obando por su múltiple apoyo y por todo el sustento logístico, a Guaria Cárdenes por la ayuda en la parte botánica y César Laurito por las sugerencias paleontológicas.

Se reconoce el apoyo de la M.Sc. Odalisca Breedy y de los miembros del CIEMIC que contribuyeron con el préstamo de equipo y facilitaron materiales en todo momento. Así como a M.Sc. Paola Fuentes de la Escuela de Química por su ayuda en la preparación de reactivos.

A los encargados del Laboratorio de Paleontología de la Escuela Centroamericana de Geología por permitirme preparar las muestras en las instalaciones y por contribuir con la compra de equipo y reactivos.

Se agradece al M.Sc. Gerardo Umaña del CIMAR por los consejos y revisión de la parte estadística.

Al Director de la Escuela Centroamericana de Geología M.Sc. Rolando Mora por el apoyo logístico y especial motivación.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Ubicación del área de estudio	2
1.2 Objetivos	4
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. ANTECEDENTES	7
3.1 Geología Regional	7
3.1.1 Formación Uscari	7
3.1.2 Formación Río Banano	8
3.1.3 Formación Suretka	11
3.2 Geología Estructural.....	11
3.3 Reconstrucción paleogeográfica de la región Caribe durante el Mioceno Superior	12
3.4 Estudios palinológicos previos en Costa Rica	13
4. METODOLOGÍA	15
4.1 Recolección de muestras	15
4.2 Preparación de muestras.....	15
4.3 Conteo e identificación de palinomorfos	16
4.4 Análisis estadístico.....	16
4.5 Bioestratigrafía y Análisis Paleoecológico	18
5. GEOLOGÍA LOCAL	20
5.1 Ubicación de las secciones estratigráficas levantadas	20
5.2 Levantamiento y descripción de las columnas estratigráficas	20
5.2.1 Sección río Carbón Volio.....	20
5.2.2 Sección río <i>Sand Box</i>	21
5.2.3 Sección quebrada Veinticinco	21
5.3 Caracterización de facies del Miembro Medio de la Formación Río Banano	26
5.4 Correlación entre secciones estratigráficas	29

6. PALINOLOGÍA: resultados e interpretación.....	31
6.1 Caracterización de las muestras palinológicas realizadas	31
6.2 Recuento de palinomorfos.....	31
6.3 Bioestratigrafía.....	32
6.4 Paleoecología	36
6.4.1 <i>Análisis paleoecológico cuantitativo</i>	44
6.4.2 <i>Interpretación paleoecológica por áreas</i>	43
6.4.3 <i>Comparación paleoecológica entre las secciones levantadas</i>	45
6.4.4 <i>Interpretación de las paleocomunidades florísticas durante el Mioceno Superior en los sectores estudiados</i>	49
7. CONCLUSIONES.....	49
8. RECOMENDACIONES.....	51
9. REFERENCIAS	52

APÉNDICES

APÉNDICE 1 Método de preparación de muestras palinológicas

APÉNDICE 2 Organización sistemática de palinoflora de la Formación Río Banano: río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

APÉNDICE 3 Cuadro de muestras preparadas y su calidad de contenido palinológico

APÉNDICE 4 Cuadro de ausencia y presencia de las especies para la sección del río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

ANEXO 1 Descripción morfológica básica del polen y las esporas

Índice de figuras

Figura 1A: Ubicación general de la zona de estudio	3
Figura 1B y C: Ubicación detallada de las áreas de estudio.....	3
Figura 2: Columna donde se muestra las relaciones estratigráficas en la zona de estudio.....	10
Figura 3: Ubicación de las principales estructuras geológicas dentro de la zona de estudio.....	12
Figura 4: Reconstrucción paleogeográfica para el Mioceno Superior en el sur de Centro América	18
Figura 5: Fotografías de las secciones levantadas	22
Figura 6: Columna estratigráfica levantada sobre el río Carbón Volio	23
Figura 7: Columna estratigráfica levantada sobre el río <i>Sand Box</i>	24
Figura 8: Columna estratigráfica levantada en el destape de la quebrada Veinticinco	25
Figura 9: Litofacies del área de estudio.....	28
Figura 10: Correlación de las secciones levantadas en este estudio	30
Figura 11: A: Microfotografía tomada para mostrar la materia orgánica amorfa de la sección Carbón Volio B: Espora de hongo presente en todas las muestras del Miembro Medio de la Formación Río Banano.....	31
Figura 12: Diagrama de porcentaje de los palinomorfos encontrados en la sección del río Carbón Volio	40
Figura 13: Diagrama de porcentaje de los palinomorfos encontrados en la sección de la quebrada Veinticinco	41
Figura 14: Análisis <i>cluster</i> (método de Jaccard)	43
Figura 15: Estructura del bosque húmedo tropical	46
Figura 16: Curva de variación del nivel de mar.....	47

Abreviaturas

CIMAR Centro de Investigaciones Marinas

CIEMIC Centro de Investigación en Microscopía

E.C.G Escuela Centroamericana de Geología

HCl ácido clorhídrico

HF ácido fluorhídrico

I.G.N Instituto Geográfico Nacional

INBIO Instituto Nacional de Biodiversidad

km kilómetros

m metros

µm micrómetro = 10^{-6} m

N Norte

S Sur

E Este

W Oeste

Ma Millones de años

PAST PAlaeontological STatistics

PPP Panama Paleontological Project

STRI Smithsonian Tropical Research Institute

RESUMEN

Palinología de la Formación Río Banano (Sección río Carbón Volio, río *Sand Box* y quebrada Veinticinco), Mioceno Superior, Costa Rica

Durante el Mioceno Superior, el istmo Centroamericano estaba conformado por un archipiélago de islas interrumpidas por conexiones marinas, permitiendo el desarrollo de ambientes transicionales marino-continentales como estuarios y deltas. En este estudio se determinaron especies de polen y esporas del Miembro Medio de la Formación Río Banano, específicamente las secciones del río Carbón Volio, quebrada Veinticinco y río *Sand Box*, ubicadas en el Caribe de Costa Rica, con el objetivo de contribuir al desarrollo de la paleopalínología en Costa Rica, la interpretación paleoecológica de estos sectores y su relación con el cierre del istmo. Fueron preparadas ocho muestras por medio del método palinológico estándar, cuatro del río Carbón Volio y cuatro de quebrada Veinticinco. El río *Sand Box* no recuperó material palinológico, por lo tanto, la interpretación paleoecológica y bioestratigráfica se realizó por medio de foraminíferos bentónicos, planctónicos y nanoplacton realizados en estudios anteriores. El procedimiento consistió en la digestión del material en HCl y HF⁻, donde se separó la materia orgánica por medio de líquidos pesados y se oxidó por medio de ácido nítrico. Luego las muestras se filtraron en una malla de 10 µm. Este material se aplicó con Permount® en una lámina de vidrio, de manera que facilitó el análisis con microscopio de luz transmitida. Se determinaron morfotipos de palinomorfos y se realizó un conteo por cada uno en toda la lámina. El número total de granos contabilizados por lámina fue de 100 aproximadamente. Las especies principales del área del río Carbón Volio son: *Lanagiopollis crassa* (*Pellicierae rhizophorae*: especie de manglar), *Echitricolporites spinosus* (Asteracea fósil: marcador bioestratigráfico del Mioceno Superior), helechos Polypodiaceae y abundantes esporas de hongos. En el sector de quebrada Veinticinco predomina *Pachydermites diexderi* (*Symphonia globulifera*: especie típica de llanuras costeras), en menor cantidad *Zonocostites* sp. (Rhizophoraceae: especie de mangle predominante en la actualidad) y helechos Polypodiaceae. Las especies más abundantes se contabilizaron en la sección de río Carbón Volio. Con respecto a parámetros de equidad, los valores menores se obtuvieron en el río Carbón Volio (0,897-0,767) comparado con quebrada Veinticinco (0,918-0,885). Se realizó un análisis *cluster* para agrupar las especies por medio del método de Jaccard. Paleoecológicamente el sitio se interpreta como un delta con manglares asociados. La sección del río Carbón Volio con base en la palinología, representa propiamente una zona de manglar y la quebrada Veinticinco un pantano con influencia de agua dulce cercano al manglar. Con base en estas especies de polen en la quebrada Veinticinco (*Pachydermites diexderi*), río Carbón Volio (*Echitricolporites spinosus*) y la correlación realizada por medio de foraminíferos planctónicos y nanoplacton para el río *Sand Box*, se determinó que dichas secuencias se depositaron entre 8- 5,6 Ma, correspondiente a los pisos del Tortoniano- Messiniano (Mioceno Superior).

Palabras claves: Palinología, Formación Río Banano, Mioceno Superior, río Carbón Volio, río *Sand Box*, quebrada Veinticinco.

ABSTRACT

Palynology of the Río Banano Formation (Stratigraphical section of Carbón Volio river, Sand Box river and Veinticinco creek, Upper Miocene, Costa Rica

During the Upper Miocene, the Central American isthmus was comprised of an island chain interrupted by marine passageways which allowed for the development of transitional environments such as mangrove-like estuaries and deltas. In this work, the Middle Member of the Río Banano Formation (Upper Miocene) was studied, specifically the sections along the Carbón Volio and Sand Box rivers and the Veinticinco creek located on the Caribbean region of Costa Rica. The aim of the study was to identify the species of pollen and spores in order to contribute to the development of paleopalynological in Costa Rica and paleoecological interpretations of the stratigraphic sequences and to establish their relationship to the closing of the isthmus. Eight samples were prepared following the standard palynological method. Four of the samples correspond to the Carbón Volio river and four to the Veinticinco creek. The samples from the Sand Box River did not yield any palynological material therefore the paleoecological and biostratigraphical interpretations were done based on previously available nanoplankton, planctonic and benthonic foraminifera information. The procedure consisted on the digestion of the material using HCl and HF. The organic material was later separated using heavy liquids and was oxidized by means of nitric acid. The samples were then filtered using a 10 µm sieve. The material was mounted on glass using Permout® in order to be analyzed on the transmitted light microscope. The morphotypes of the palynomorphs were determined and counted for each slide which accounted for approximately 100 grains for each sample. The main species present in the samples from the Carbón Volio River were: *Lanagiopollis crassa* (*Pellicierae rhizophorae*: mangrove tree species), *Echitricolporites spinosus* (Fossil Asteracea: biostratigraphic marker for the Upper Miocene), Polypodiaceae ferns and abundant fungal spores. Along the Veinticinco creek, the predominant species is the *Pachydermites diexderi* (*Symphonia globulifera*: typical species for the coastal plain), and in lower quantities the *Zonocostites* sp. (Rhizophoraceae: predominant present species of mangrove) and Polypodiaceae ferns. The most abundant species were tallied along the Carbón Volio river section. With respect to the equality parameters, the samples show lower values for the Carbón Volio river (0,897-0,767) than for the Veinticinco creek (0,918-0,885). The cluster analysis was realized to group the species with Jaccard method. Paleoecologically, the site was interpreted as a delta with associated mangrove forests. The Carbón Volio river section represents based on its palynology, a mangrove. The Veinticinco creek represents a freshwater lagoon with marine influences. Based on the *Pachydermites diexderi* species present on the Veinticinco creek samples and the *Echitricolporites spinosus* species present on the Carbón Volio river samples and the correlation established through the panctonic foraminifera and nanoplankton for the Sand Box river, a depositional age between 8 and 5.6 Ma was determined for these sequences. This age corresponds to the Tortonian-Messinian stages (Upper Miocene).

Key words: Palynology, Río Banano Formation, Upper Miocene, Carbón Volio river, Sand Box river, Veinticinco creek.

1. INTRODUCCIÓN

La paleopalinología estudia distintos organismos entre los que sobresalen el polen y esporas fósiles, además de especies como Acritarcas, Escoleodontos y Dinoflagelados (Traverse, 2007)

El polen y las esporas son elementos que forman parte del ciclo reproductivo de las plantas. Estos se fosilizan en las rocas debido a la preservación de la exina, esta es la capa externa de la estructura de un palinomorfo, la cual está compuesta principalmente por esporopolenina, que es una proteína altamente resistente (Punt *et al.*, 2007).

A pesar de ser una sustancia resistente, la esporopolenina puede ser destruida por procesos como oxidación, carbonatización, carbonización entre otros; lo que representa el primer problema en la recuperación de polen y esporas en los sedimentos (Traverse, 2007).

Durante décadas, la palinología ha sido utilizada en geocronología, bioestratigrafía, correlación estratigráfica y también como indicador paleoecológico, entre otras. Esto debido a que los palinomorfos son indicadores sensibles a los procesos de sedimentación y cambios climáticos (Traverse, 2007).

En Centroamérica y Suramérica se han publicado estudios desde el punto de vista paleoecológico. Por ejemplo, Graham (1989) con base en asociaciones de palinomorfos para la Formación La Boca (Mioceno Inferior), ubicada en el sector del Canal de Panamá, determinó un ambiente estuarino desarrollado en una época donde existían islas volcánicas de baja altitud bordeadas hacia el mar por manglares.

Hoorn (1993) establece marcadores estratigráficos para el Mioceno en el área amazónica. Para el sector Caribeño los establece Germeraad (1968) y Muller (1985) en el Norte de Suramérica. Asimismo, estas asociaciones contribuyeron a establecer una correlación estratigráfica para las formaciones estudiadas.

1.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona del Caribe central costarricense, específicamente en los ríos Carbón Volio (Coordenadas Lambert N 660 148 E/ 181 117 N, Hoja Amubri y Cahuita del I.G.N) y río *Sand Box* (Lambert N 665 961 E/ 180 011 N, Hoja Amubri y Cahuita) los cuales se ubican 8 km hacia el suroeste de Cahuita, así como un afloramiento en la margen izquierda de la quebrada Veinticinco (Lambert N 609 914 E/ 218 215 N, Hoja Barbilla), ubicada a 5 km hacia el suroeste del poblado Zent, sitio de asentamiento indígena actual conocido como Nalmaldí.

La figura 1 detalla la zona de estudio, en A se ubican las áreas de estudio de manera general con respecto a la ciudad de San José. B se detalla el sitio de muestreo del río Carbón Volio y río *Sand Box* y C muestra el área de la quebrada Veinticinco.

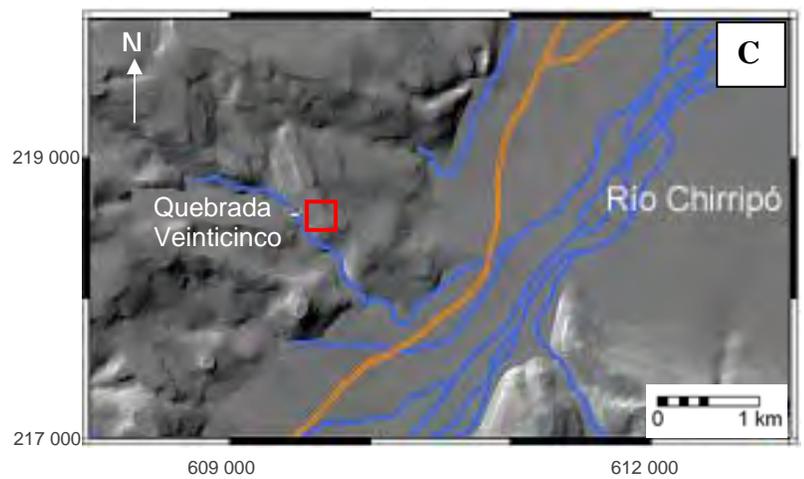
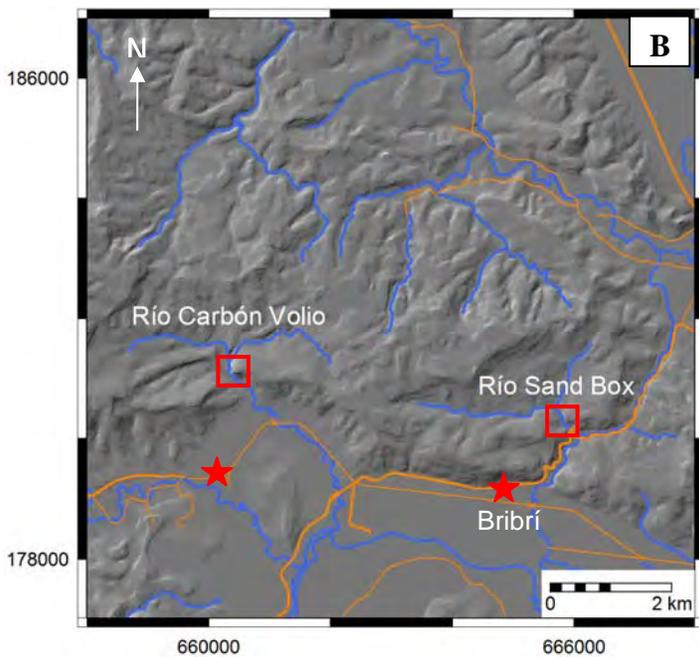
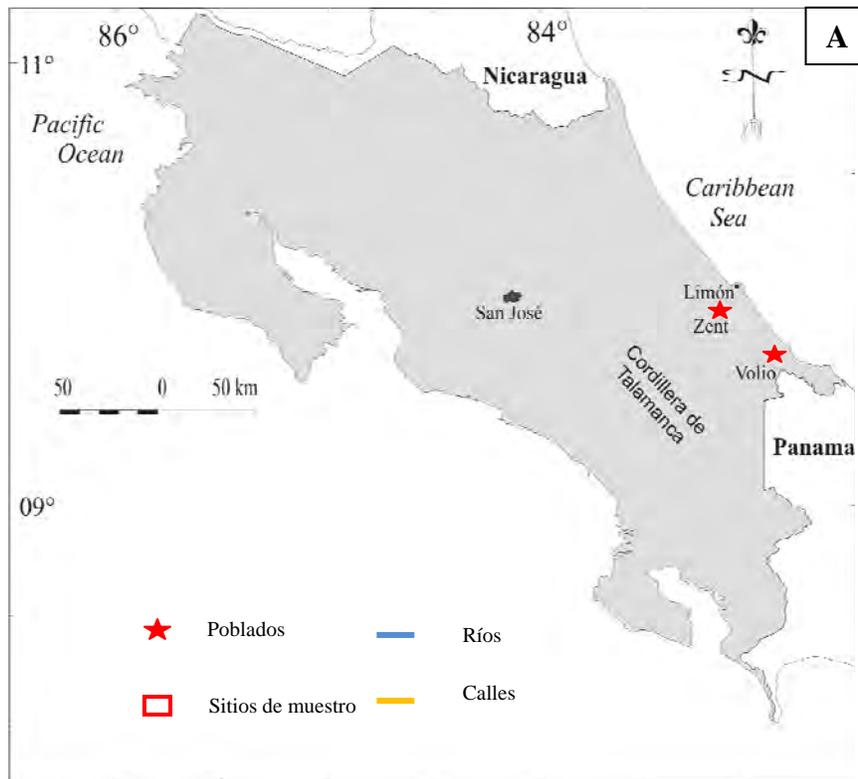


Figura 1:A. Ubicación general de la zona de estudio.
B. Localidad de río *Sand Box* y río *Carbón Volio* (Hojas cartográficas Amubri y Cahuita IGN 1: 50 000). C. Localidad de quebrada Veinticinco (Hoja Barbilla I.G.N 1: 50 000)

1.2 Objetivos

Objetivo General

-Determinar taxonómicamente las especies de polen y esporas fósiles de una parte de la Formación Río Banano (Miembro Medio), específicamente en los sectores de río Carbón Volio, río *Sand Box* y quebrada Veinticinco

Objetivo específico

- Determinar la tafonomía y la diversidad del registro de polen fósil en las rocas del Miembro medio de la Formación Río Banano.
- Analizar la abundancia y distribución de las especies encontradas por medio de métodos estadísticos.
- Delimitar bioestratigráficamente las especies de polen y esporas encontradas en el Miembro Medio de la Formación Río Banano.
- Comparar los resultados bioestratigráficos polínicos con la bioestratigrafía efectuada por medio de foraminíferos planctónicos.
- Realizar una interpretación paleoambiental preliminar de las secciones analizadas de la Formación Río Banano con base en las especies encontradas y los criterios sedimentológicos.
- Desarrollar una base de datos digital de palinomorfos de la Formación Río Banano (Miembro Medio) para futuras comparaciones.
- Establecer la relación paleoecológica con los datos de azufre del área de Zent y Carbón Volio.

2. JUSTIFICACIÓN

El registro fósil vegetal del Mioceno en Costa Rica es escaso y los hallazgos reportados consisten de un único bosque fósil bien preservado (sector de Tivives), (Laurito, 1988) y algunos estratos con presencia de carbón como el sector de Zent, Volio y Venado, (Malavassi, 1985 y Obando, 1986), a pesar de que para esta época ya existían localidades que representaban un ambiente continental.

Durante el Mioceno existían conexiones terrestres producto del islas volcánicas, las cuales se encontraban interrumpidas por canales de comunicación marinos, tipo archipiélago y/o península (Graham, 1978; Kirby *et al.*, 2005) permitiendo el desarrollo de ambientes continentales.

El hallazgo de plantas en las rocas formadas durante esta época, no ha sido óptima; posiblemente por los procesos volcánico-tectónico que actuaban en la región caribeña y ha afectado la preservación.

El estudio de palinomorfos representa una herramienta útil para realizar estudios paleoambientales continentales, debido a que estos se preservan más fácilmente que las hojas y troncos, por su diminuto tamaño y por la resistencia de su estructura ante procesos externos. Por ejemplo, un abundante aporte volcanoclástico disminuye el potencial de preservación de las hojas y afecta en menor grado a los palinomorfos.

El final del cierre del istmo centroamericano se determinó en 3,5 Ma (Coates *et al.*, 1992), por lo que, el estudio de las rocas depositadas durante la época de transición, entre Mioceno Superior-Plioceno, puede ayudar a entender los cambios que se dieron en la flora durante esta etapa, ya sean dispersión, especiación, diversificación o extinción de especies (Graham, 1995)

Por lo tanto, realizar un estudio paleopalínológico detallado de diferentes horizontes de la Formación Río Banano en distintos sectores de su área de exposición, contribuye al conocimiento de la paleoflora, y a su vez puede representar una pieza clave para explicar los procesos de colonización y evolución de la flora a partir del Mioceno en Costa Rica.

Las secciones en los sectores del río Carbón Volio, río *Sand Box* y quebrada Veinticinco fueron elegidas por corresponder con secuencias completas. Con base en estudios anteriores sedimentológicos y paleontológicos se han determinado como ambientes transicional marino-continental, con abundante materia orgánica y sedimentos finos; características esenciales para la preservación de palinomorfos.

Por lo tanto, un análisis que involucre descripción taxonómica y estadística de las especies, contribuirá a la interpretación paleoecológica y a la asociación palinoestratigráfica con otras especies anteriormente establecidas como marcadores para esta formación.

3. ANTECEDENTES

3.1 Geología regional

La Formación Río Banano forma parte del relleno sedimentario de la Cuenca Limón Sur. Los depósitos más antiguos de la cuenca son de edad Cretácico Superior y a partir del Plioceno se inició la colmatación de la misma. (Bottazzi *et al.*, 1994)

La secuencia depositacional está constituida desde la base por la Formación Changuinola, posteriormente, Formación Tuis, Formación Senosri, Formación Las Animas (Fila de Cal), Formación Uscari y por último durante el Mioceno Tardío se deposita la Formación Río Banano, culminado en el Plioceno con la Formación Suretka y Formación Limón. (Bottazzi *et al.*, 1994)

Cabe mencionar que el proyecto PPP, realizado por el Instituto Smithsonian de Investigación Tropical (STRI) añade a esta secuencia la Formación Quebrada Chocolate, cuyo estratotipo se ubica en la quebrada del mismo nombre y presenta un espesor de 500 m. La secuencia se depositó en el Plioceno Tardío. (Coates, 1999).

Por otro lado los estudios realizados por el STRI describen los sitios de río *Sand Box* y Carbón Volio como parte de la Formación Uscari, basándose en la estratigrafía establecida por Taylor (1975), en la cual agrupa la Formación Río Banano en sectores cercanos a la ciudad de Limón (Bybell, 1999; Collins, 1999).

En este apartado se describe a detalle la Formación Río Banano, ya que el área de interés incluye afloramientos de dicha formación. Además, de manera general, las Formaciones Uscari y Suretka, las cuales están en contacto con la Formación Río Banano.

3.1.1 Formación Uscari

Olsson (1922) describe la Formación Uscari constituida principalmente por lutitas friables de color oscuro ubicando la localidad tipo en la quebrada Uscari. Los espesores máximos los calcula de 1500 m. Sobreyacida de manera discontinua por la Formación Río Banano. Pizarro (1987) describe el contacto de manera transicional y determina la edad como Mioceno Medio-Superior.

3.1.2 Formación Río Banano

Gabb (1881) describe por primera vez las rocas del área de Limón, mencionando algunos depósitos de carbón y areniscas similares a las encontradas en la zona de Gatún en Panamá.

Posteriormente, esta formación fue definida por Olsson (1922) como Formación Gatún, Taylor (1975) la redefine como Formación Río Banano y describe cuatro facies que se detallan a continuación:

Facies de areniscas: se encuentra expuesta en la localidad de la Bomba. Consiste de areniscas finas lodosas de color gris verdoso cuando se encuentra sana. Presenta bioturbación abundante en los sedimentos más recientes y desarrolla estructuras sedimentarias con buena preservación.

Facies de conglomerado: se encuentra en la localidad *New Castle*. Aparece dentro de la facies anterior. Consiste de conglomerados poco consolidados y con gradación normal.

Facies de arrecife de coral: se encuentra en la localidad de la estación ferroviaria de Sandoval y consiste de arrecifes antiguos levantados. En las secciones más antiguas es común encontrar corales solitarios y arrecifes de poco espesor.

Miembro Moín Clay: se localiza en las cercanías de Portete. Consiste de sedimentos finos y blandos de color grisáceo con ocasionales horizontes de moluscos y foraminíferos.

La edad de esta formación ha sido determinada con base en foraminíferos planctónicos como Mioceno Superior- Plioceno (Taylor, 1975; Pizarro, 1993), y la localidad tipo de la Formación Río Banano fue datada con base en nanofósiles calcáreos como Plioceno Tardío (zona NN15-17: 3,6 a 2,2 Ma) (Bybell, 1999)

La Formación Río Banano sobreyace a la Formación Uscari (Mioceno Medio-Superior, Pizarro, 1987) mediante un contacto transicional entre limolitas con fragmentos fósiles y una arenisca limosa con algunos fósiles de buena preservación.

Subsecuentemente las facies de arrecifes de coral y de arcillas definidas por Taylor (1975) fueron separadas por Cassell y Sen Gupta (1989) y Coates *et al.* (1992) como

Formación Quebrada Chocolate y Formación Limón respectivamente, dejando solamente las facies de areniscas en la Formación Río Banano.

Malavassi (1985) describió la Formación Río Banano, como Formación Gatún y agrupa solamente las facies arenosas y carbonosas en varios sectores del sur de Baja Talamanca. Además describe su estratigrafía de la siguiente manera (Figura 2):

Miembro Inferior: Compuesta por limolitas, lutitas y lutitas arenosas de color gris, presenta intercalaciones de areniscas finas con pocas concreciones calcáreas. La base de este miembro corresponde con el contacto entre la Formación Uscari y la Formación Río Banano, la parte superior de este miembro consiste de areniscas gruesas a conglomerados y representa la base para el Miembro Medio. El espesor aproximado es de 580 m. El ambiente de depositación es profundo o de talud continental.

Dentro del área del río *Sand Box*, el Miembro Inferior de la formación presenta un porcentaje alto de macrofósiles, entre estos destacan moluscos (péctenes y gasterópodos). También, posee materia orgánica y lutitas carbonosas intercaladas con una arenisca calcárea sin fósiles. Hacia la parte superior, aumenta el tamaño de grano hacia conglomerados.

Miembro Medio: Consiste de un miembro enriquecido con carbón, plantas fósiles y pequeñas laminaciones de materia orgánica. Presenta en algunos sectores lentes de conglomerados que representan rellenos de canal, por ejemplo en el área de Carbón Volio, el espesor es de 940 m. Se identifican dos horizontes de carbón principales y la división entre ambos se distingue por la presencia de areniscas finas con fósiles.

Este miembro aflora en el flanco sur del sinclinal *Sand Box*, que se describe en la parte de geología estructural. (Malavassi, 1985)

Miembro Superior: Consiste de sedimentos más gruesos, principalmente areniscas medias a gruesas en la parte inferior, y hacia el techo conglomerados medios a gruesos. Estos forman en la zona escarpes o cañones de gran profundidad. Sobre este miembro yace discordantemente la Formación Suretka.

La secuencia en general se encuentra buzando 15-30° hacia el N con dirección E-W y se encuentra afectada por la Falla Carbón Volio, que se describe en la parte de geología estructural. (Malavassi, 1985)

De acuerdo con Bottazzi *et al.* (1991) la Formación Río Banano representa un ambiente deltaico, de 1800 m de espesor que involucran facies de frente deltaico (barra de desembocadura) a planicie deltaica (depósitos de llanura de inundación, de canal distributivo y depósitos de laguna), estas facies se encuentran bien representadas en el área de quebrada Veinticinco.

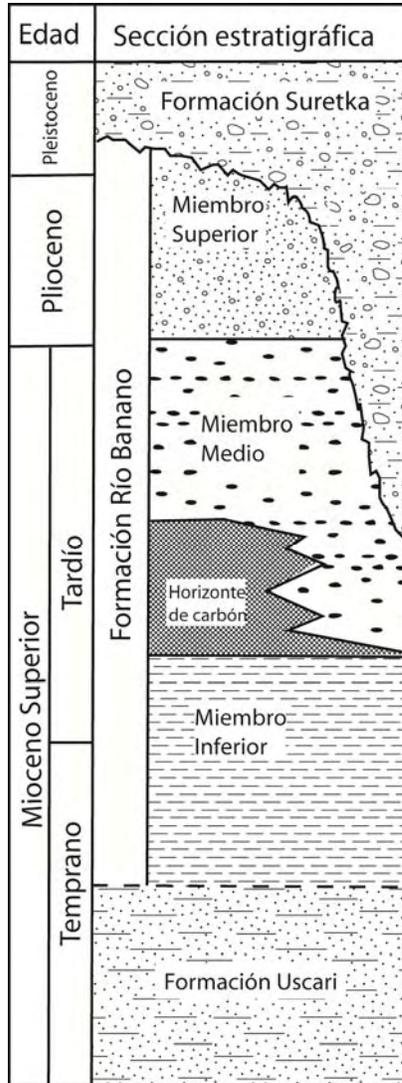


Figura 2: Columna estratigráfica de la zona de estudio. Basado en Malavassi, 1985

La Formación Río Banano es sobreyacida por la Formación Suretka de manera discordante (Taylor, 1975).

3.1.3 Formación Suretka

Taylor (1975) describe la Formación Suretka como conglomerados, brechas y lentes arenosos de variada composición, producto de procesos erosivos debido a levantamiento tectónico, lo que afectó los intrusivos de la Cordillera de Talamanca posterior y concomitante, así como toda la cuenca. La edad la determina entre Mioceno Superior – Pleistoceno.

3.2 Geología Estructural

La Cuenca Limón Sur, donde aflora la Formación Río Banano, ha sido asociada a dos fases compresivas, la fase D3 con esfuerzos N-S, afectó principalmente durante el Eoceno Medio-Superior y la fase D4 con esfuerzos NE-SW entre Mioceno Superior-Plioceno (Astorga *et al.*, 1991). Estos esfuerzos fueron originados por el acercamiento entre las placas Suramérica-Norteamericana, lo cual intensificó la deformación tectónica local de la época. (Astorga *et al.*, 1991).

Esta última fase se relaciona con la colisión del Bloque de Panamá con el Noroeste de Colombia y el levantamiento de la Cordillera de Talamanca. (Astorga *et al.*, 1991)

A raíz de estas fases de deformación compresivas, la Cuenca Limón Sur se caracteriza por un conspicuo cinturón de fallas inversas y plegamiento de rumbo NW-SE generando una serie de fallas en todo el sector Caribe. Dentro del área de interés (río *Sand Box* y río Carbón Volio) se pueden citar las siguientes fallas con base en Malavassi (1985), Figura 3:

- Falla Carbón Volio la cual es de tipo inversa con dirección NW-SE, representa un sobrecojamiento con esfuerzos orientados Noreste -Suroeste durante el Plioceno.
- Sinclinal *Sand Box*: Se describe como una estructura muy continua, posee una dirección E-W y buzamiento W cortado por la Falla Carbón Volio.

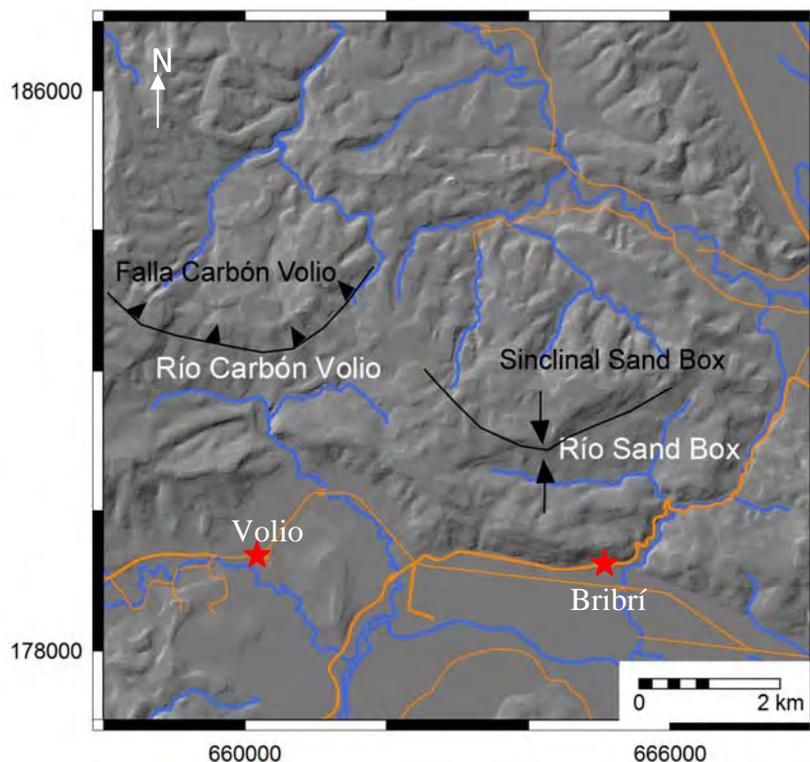


Figura 3: Ubicación de las principales estructuras geológicas dentro de la zona de estudio

3.3 Reconstrucción paleogeográfica de región Caribe para el Mioceno Superior

Para la época del Mioceno la cordillera de Talamanca ya había iniciado el levantamiento producto de los esfuerzos compresivos que se iniciaron en varias etapas desde el Eoceno Medio (Astorga *et al.*, 1991), interpretando que para esta época existían terrenos levantados interrumpidos por conexiones marinas (Figura 4).

Graham (1989) estima con base en la palinoflora, que la cordillera podía estar para esta época entre 1200 -1500 m.s.n.m.

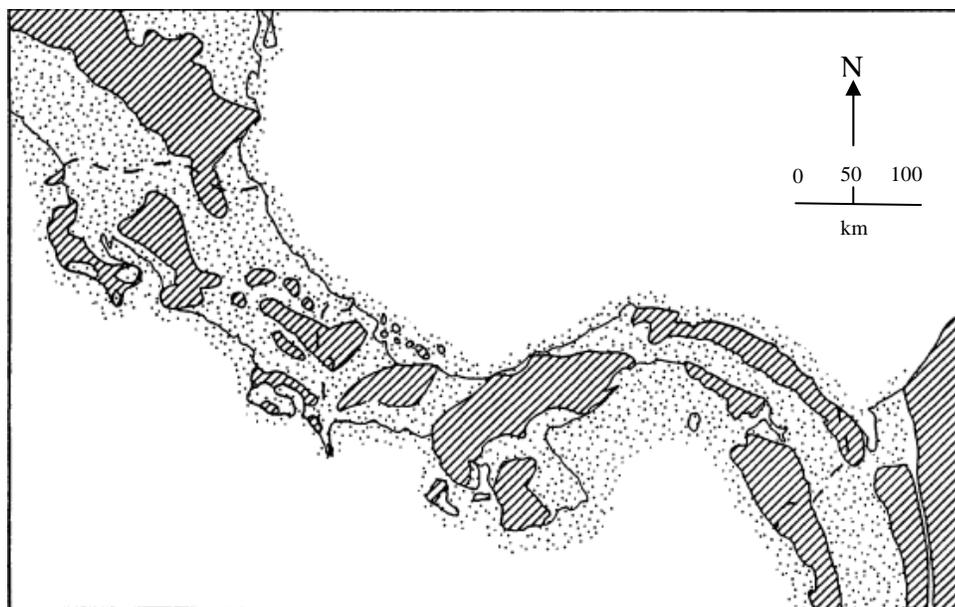


Figura 4: Reconstrucción paleogeográfica para la época del Mioceno Superior en el sur de Centro América. Las línea oblicuas: áreas emergidas, puntos: áreas de plataforma (Tomado de Coates & Obando, 1996)

3.4 Estudios palinológicos previos en Costa Rica

A principios del siglo XX, se reportaron los primeros estudios en el campo de la paleobotánica. Berry (1921) reportó flora fósil proveniente de Talamanca, cerca del río Sixaola, a la cual le asignó una edad Terciaria. Dentro de la flora reporta *Ficus talamancana*, *Heliconia* sp., *Annona costaricana*, entre otras. Asimismo, esto motivó los estudios palinológicos de Graham (1987) en la Formación Uscari.

Aguilar (1992) hace una recopilación de los estudios paleobotánicos en Costa Rica y América Central.

Gómez (1970) obtiene fósiles de la Formación Térraba de Pteridophyta y en 1972 *Karatophyllum bromelioides* del Terciario Medio en San Ramón de Alajuela.

Estos trabajos sustentaron la base de estudios más específicos en el campo de la paleopalínología.

La paleopalinología en Costa Rica ha sido un campo poco estudiado; las primeras investigaciones publicadas, fueron realizadas por Graham (1987, 1998) para las Formaciones Uscari y Río Banano (quebrada Veinticinco). Durante los ochentas se realizaron estudios palinológicos como parte de la exploración petrolera en la zona de Limón (Campos, 2009; comunicación verbal), pero por ser información estatal de manejo confidencial no se publicaron.

Por otro lado, los estudios palinológicos más detallados se han realizado para épocas recientes (Pleistoceno-Reciente), y responden a investigaciones de granos de polen y esporas en sedimentos cuaternarios del Cerro Chirripó, Osa y Liberia, entre otros. En estos se reconocen palinomorfos muy comunes de mangles (*Rhizophora* sp.), bosque montano (*Quercus* sp., *Alnus* sp., *Podocarpus* sp.) y otros ambientes como lagos, sabana y bosque premontano (Horn, 1985, 1986; Rodgers & Horn, 1996).

Dado que la mayoría de estudios palinológicos publicados en Costa Rica comprenden períodos más recientes, el presente estudio pretende ampliar los estudios en el campo de la palinología a periodos más antiguos (Mioceno-Plioceno), involucrando la Formación Río Banano. El potencial palinológico de esta formación había sido evaluado en un estudio previo, realizado por Sandoval & Jaramillo (2008) encontrando un potencial satisfactorio de recuperación de polen y esporas, entre las cuales destacan: *Lanagiopollis crassa*, especie típica de manglar y *Echitricolporites spinosus*, marcador estratigráfico del Mioceno Superior.

4. METODOLOGÍA

4.1 Recolección de muestras

Se realizaron visitas a los sitios propuestos, río Carbón Volio, río *Sand Box* y quebrada Veinticinco (Figura 1 B y C). En estos sitios se elaboraron columnas estratigráficas detalladas, para un total de tres secciones medidas y 18 muestras de roca recolectadas, dentro de las cuales cuatro pertenecen a la sección de Carbón Volio, seis a la quebrada Veinticinco y ocho al río *Sand Box*. Las muestras se extrajeron con martillo geológico y cada una con un peso aproximado de 50 gramos.

La recolección de las muestras se realizó y enumeró con base en la secuencia estratigráfica de manera vertical. El criterio que determinó la toma de la muestra fue la litología. Las rocas que preservan mejor los granos de polen y esporas consisten de lutitas negras con variaciones a areniscas finas oscuras y carbón.

4.2 Preparación de muestras

Las muestras recolectadas, fueron preparadas en el laboratorio del Centro Tropical de Paleocología y Arqueología del STRI localizado en Ciudad de Panamá y en el Laboratorio de Paleontología de la E.C.G.

El procedimiento se llevó a cabo por el método estándar, el cual consiste en la digestión del material en HCl y HF, donde se separa la materia orgánica por medio de líquidos pesados y se oxida por medio de ácido nítrico (Traverse, 2007) Luego las muestras se filtraron en una malla de 10 µm con el objetivo de eliminar las arcillas y separar los granos de polen mayores o iguales a 10 µm. Este material se aplicó con Permout® en una lámina de vidrio para posteriormente analizarla en un microscopio de luz transmitida. (Apéndice 1)

Debido a que la sección del río *Sand Box* no recuperó ningún tipo de palinomorfo y dos muestras de la quebrada Veinticinco tampoco, estas se eliminaron de la descripción y solamente se procedió a realizar el estudio palinológico de ocho muestras.

4.3 Conteo e identificación de palinomorfos

Para realizar el conteo de especies, se inició con una primera fase de revisión de morfotipos e identificación taxonómica, con el fin de ajustar los diferentes criterios de caracterización y clasificación palinológica con los bibliográficos y así compararlos en la fase de análisis e interpretación de datos.

Para la identificación y descripción de los palinomorfos se utilizó el objetivo 100X. Las características morfológicas se describieron con base en los estudios de Graham (1987, 1988, 1989, 1995, 1998), Traverse (2007), Punt *et al.* (2007). Se compararon morfológicamente los granos encontrados en cada una de las placas con los descritos y fotografiados por Germeraad *et al.* (1968), Hoorn (1993), Jaramillo & Dilcher, (2001), Rull (2001) y en la base de datos de la Palinoteca del Instituto Colombiano del Petróleo (2006). La descripción de las especies se adjunta en el Apéndice 2.

Una vez identificados los taxones en las láminas, se procedió con el conteo de especies. Esta cuantificación se realizó en el CIEMIC de la Universidad de Costa Rica, con un microscopio biológico de luz transmitida marca *Motic BA 200*, utilizando el objetivo de 40X.

Los palinomorfos no identificados en la bibliografía, pero con características definidas, se describieron a nivel de géneros, se fotografiaron e incluyeron en el recuento final. Para la descripción de estos palinomorfos se elaboraron tarjetas de identificación, con su correspondiente dibujo, descripción, coordenadas de localización cartesianas y con la lámina estándar "*England Finder*".

Para la fase de conteo, se barrió toda lámina y se contaron todos los palinomorfos (esporas y polen, así como las esporas de hongos encontradas y material desconocido. El material desconocido incluye granos pobremente preservados y fracturados, de los cuales es difícil distinguir su morfología e identificarlos.

Debido a que el recobro de palinomorfos en cada placa fue poco, se realizaron de dos a cuatro réplicas de la muestra, para así lograr el conteo mínimo de 100 granos. Se utilizó este número de granos con base en estudios anteriores realizados por Graham (1988).

Este conteo de 100 granos por placa se utilizó principalmente para caracterizar las especies de la Formación Río Banano (sección río Carbón Volio y quebrada Veinticinco) y para presentar una evaluación paleoecológica preliminar de las mismas.

En las muestras de carbón (ej: DQ 25-1 y DQ 25-2) se contaron cuatro láminas, pero aun así, el conteo fue dificultoso debido a la mala preservación y a la escasez de palinomorfos, por lo que no se logró completar los 100 granos del mínimo.

4.4 Análisis estadístico

Se procedió a analizar las muestras por medio de métodos estadísticos: análisis *cluster* e índices bióticos (riqueza de taxa, diversidad de Shannon (H), equidad (J) y dominancia elaborados mediante el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001)

El método *cluster* se eligió con el objetivo de que se generen grupos para comparar las especies y lograr una mejor interpretación paleoecológica. Este método es muy utilizado en estudios paleontológicos por su fácil realización e interpretación.

Se utilizó el índice de Jaccard, el cual contempla la ausencia/presencia de las especies por muestra.

Para el análisis estadístico se eliminaron los granos contados de esporas de hongos y los granos clasificados como desconocidos, debido a que no representan especies específicas y el programa lo interpreta como una especie.

A continuación se realiza una descripción de los conceptos utilizados en la sección estadística:

Análisis *cluster*: procedimiento estadístico que parte de un conjunto de datos que contiene información sobre una muestra de entidades e intenta reorganizarlas en grupos relativamente homogéneos a los que se llama *clusters*.

Riqueza de taxa (S): Es el número de especies encontradas en cada muestra.

Individuos: Conteo de granos por taxón.

Dominancia (D): 1- índice de Simpson (medida de uniformidad de la comunidad de 0 a 1). El rango varía de 0 en el caso que los taxones son iguales y 1 si un taxón domina la comunidad completamente.

Índice de diversidad de Shannon (H): calcula el número de individuos por taxones, de manera que un valor de 0 indica que todos los taxones presentes son iguales y 1 que un taxón domina la comunidad completamente.

Para este análisis se utiliza la diversidad alpha, la cual evalúa la diversidad local de una comunidad.

Equidad (J): Corresponde a la diversidad de Shannon dividida entre el logaritmo natural del número de taxones. Esta mide la uniformidad con la cual los individuos son divididos entre los taxones presentes.

4.5 Bioestratigrafía y Análisis paleoecológico

Las especies determinadas fueron comparadas con palinomorfos descritos en el norte de Suramérica y asociadas con especies típicas de distintos ambientes, para lograr evaluar de manera preliminar la paleoecología y bioestratigrafía de la sección del Miembro Medio de la Formación Río Banano (río Carbón Volio, río *Sand Box* y quebrada Veinticinco). Las zonas palinológicas utilizadas se basaron en los siguientes autores: Germeraad *et al.* (1986), Lorente (1986), Hoorn (1993), Muller *et al.* (1985).

Para el análisis paleoecológico se utilizaron los datos de autores como Germeraad *et al.* (1968), Hoorn (1993), Jaramillo & Dilcher, (2001), Rull (2001), base de datos de la Palinoteca del Instituto Colombiano del Petróleo (2006), base de datos del Jardín Botánico de Missouri (2009), y base de datos del INBIO (2007).

Además, para contribuir al análisis paleoecológico se utilizaron análisis químicos de los carbones de los sitios de río Carbón Volio y quebrada Veinticinco realizados en estudios anteriores (Obando & Bolaños, 2007)

La correlación bioestratigráfica con el área del río *Sand Box* fue comparada con estudios anteriores de foraminíferos planctónicos (Cotton, 1999) y la interpretación paleoecológica con base en foraminíferos bentónicos (Collins, 1999) y nanoplancton calcáreos (Bybell, 1999).

Finalmente, se creó una base de datos digital de las especies analizadas, utilizando el programa File Maker Pro 6.0, con el objetivo de que pueda ser usada como método comparativo para futuras investigaciones. La base de datos se adjunta en un disco compacto en la contraportada de este documento.

La base de datos presenta la descripción de las especies con su afinidad ecológica, ubicación y se ilustra con una fotografía.

5. GEOLOGÍA LOCAL

El presente estudio sigue la estratigrafía de la Formación Río Banano, según Malavassi (1985).

5.1 Ubicación de las secciones estratigráficas levantadas

Las secciones estudiadas pertenecen al Miembro Medio de la Formación Río Banano, definido por Malavassi (1985). Para el análisis se levantaron en el campo tres secciones pertenecientes a este miembro: sección del río Carbón Volio, sección del río *Sand Box* y un afloramiento al margen derecho de la quebrada Veinticinco.

El río Carbón Volio y el río *Sand Box* se ubican en las Hojas cartográficas Amubri y Cahuita y la quebrada Veinticinco se ubica en la Hoja cartográfica Barbilla, IGN, escala 1:50 000 (Figura 1)

5.2 Levantamiento y descripción de las columnas estratigráficas

En esta sección se realiza una descripción general de las columnas estratigráficas y en la sección 5.3 se detalla por litofacies las rocas descritas en esta sección.

5.2.1 Sección río Carbón Volio

Esta sección tiene un espesor de 20m (Figura 5A y 6), la base está marcada por un ciclo de progradación el cual inicia con un metro de un paraconglomerado calcáreo oligomítico con clastos volcánicos, sobreyacido por un estrato de carbón de 20 cm de espesor. Esta secuencia se repite por lo que se pueden identificar según la litología cuatro ciclos de progradación consecutivos, los cuales inician por rocas de granulometría gruesa en la base y culminan con litología finas (carbón), típico de ciclotemas. Los espesores de carbón varían entre 20-30 cm.

Por lo general, esta sección presenta niveles carbonosos abundantes y prácticamente toda la secuencia tiene un enriquecimiento en materia orgánica, a lo que debe su color negro en todas las litologías.

Toda la secuencia presenta un buzamiento general de N10W/ 32°

5.2.2 Sección río *Sand Box*

La sección del río San Box levantada tiene un espesor de 47 m (Figura 5 B y D, 7) esta sección se encuentra a cinco km aproximadamente de la sección del río Carbón Volio, y estratigráficamente corresponde a un nivel inferior de la sección anteriormente descrita.

La correlación es compleja debido a la espesa cobertura boscosa de la región, pero con base en la litología podría asociarse la capa base de conglomerados de ambas secciones

Esta sección representa la transición entre el tope del Miembro Inferior y Miembro Medio de la Formación Río Banano según Malavassi (1985), en donde el Miembro Inferior está compuesto predominantemente de areniscas y es evidente la influencia marina.

La base está marcada por una capa de 1,80 m de areniscas finas color gris claro con cemento calcáreo y estratificación cruzada, posteriormente un nivel de lutitas gris claro de 37 metros de espesor, representando un primer ciclo de progradación. Seguido por el inicio de un segundo ciclo de progradación marcado por un paraconglomerado oligomítico, hasta una potente capa de lutitas calcáreas de aproximadamente 30 m. Culminando con areniscas finas calcáreas, color gris claro, con fragmentos de moluscos.

Toda la secuencia presenta un buzamiento general de Nf/ 28°.

5.2.3 Sección quebrada Veinticinco

Esta sección está ubicada aproximadamente a 40 kilómetros hacia el norte de las secciones anteriores. Se levantó con el objetivo de comparar el contenido palinológico de los lechos de carbón y lutitas de ambos sitios para definir si existe una correlación de la paleoflora y de la facies que representa.

Consiste de 4 m de sección estratigráfica, compuesta únicamente por capas de granulometría fina, entre estas tobetas de color café claro de espesor centimétrico intercalada con capas de carbón y lutitas color gris. (Figura 5 C, 8)

Toda la secuencia presenta un buzamiento general de N20E/ 5°.



Figura 5. A: Tope de sección del río Carbón Volio, **B: A**floramiento de areniscas calcáreas sobre el río *Sand Box*, **C: C**orte estratigráfico al lado izquierdo de la quebrada Veinticinco en Zent **D: C**apa de areniscas finas calcáreas gris oscuro en el río *Sand Box*

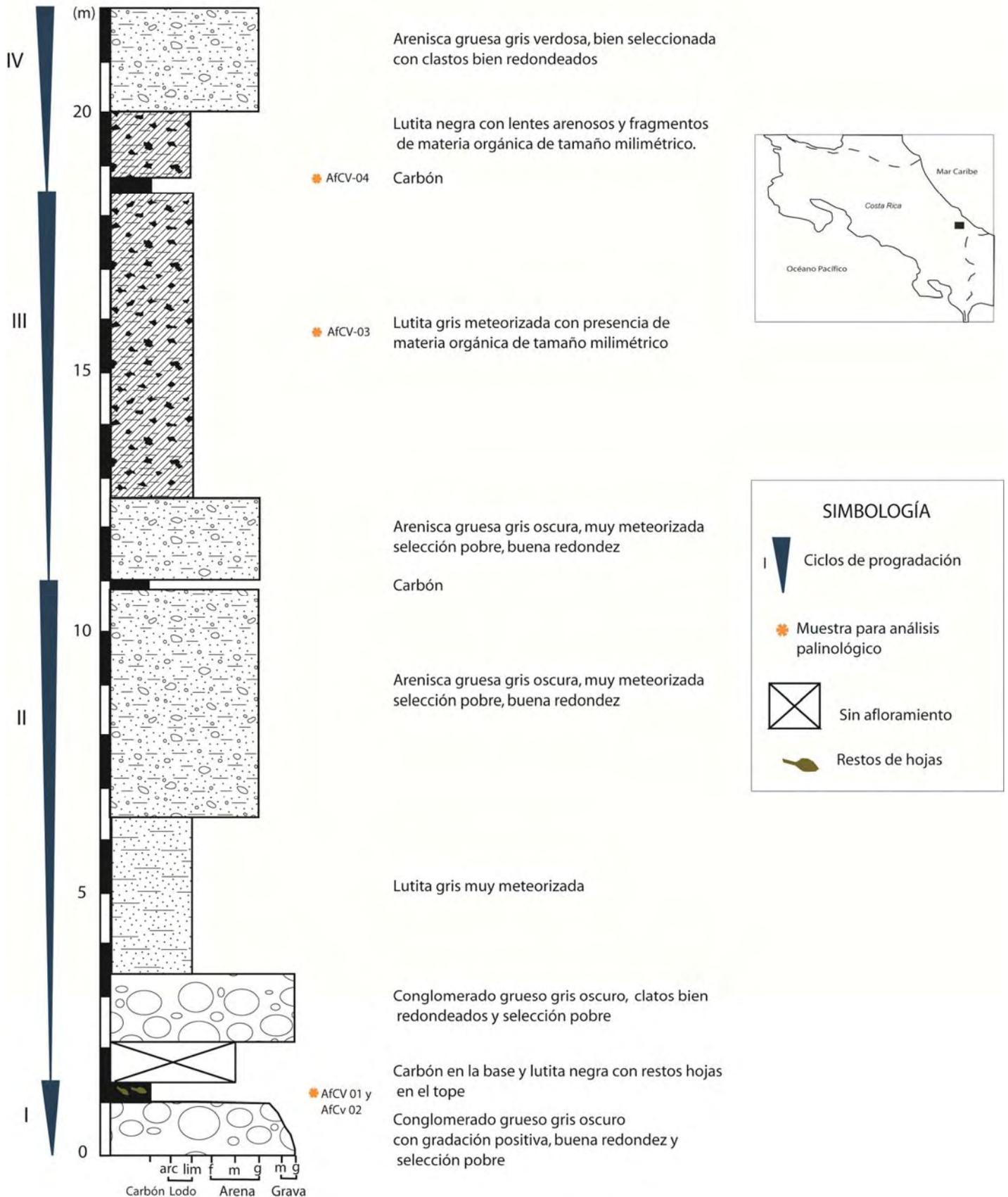


Figura 6: Columna estratigráfica levantada sobre el río Carbón Volio

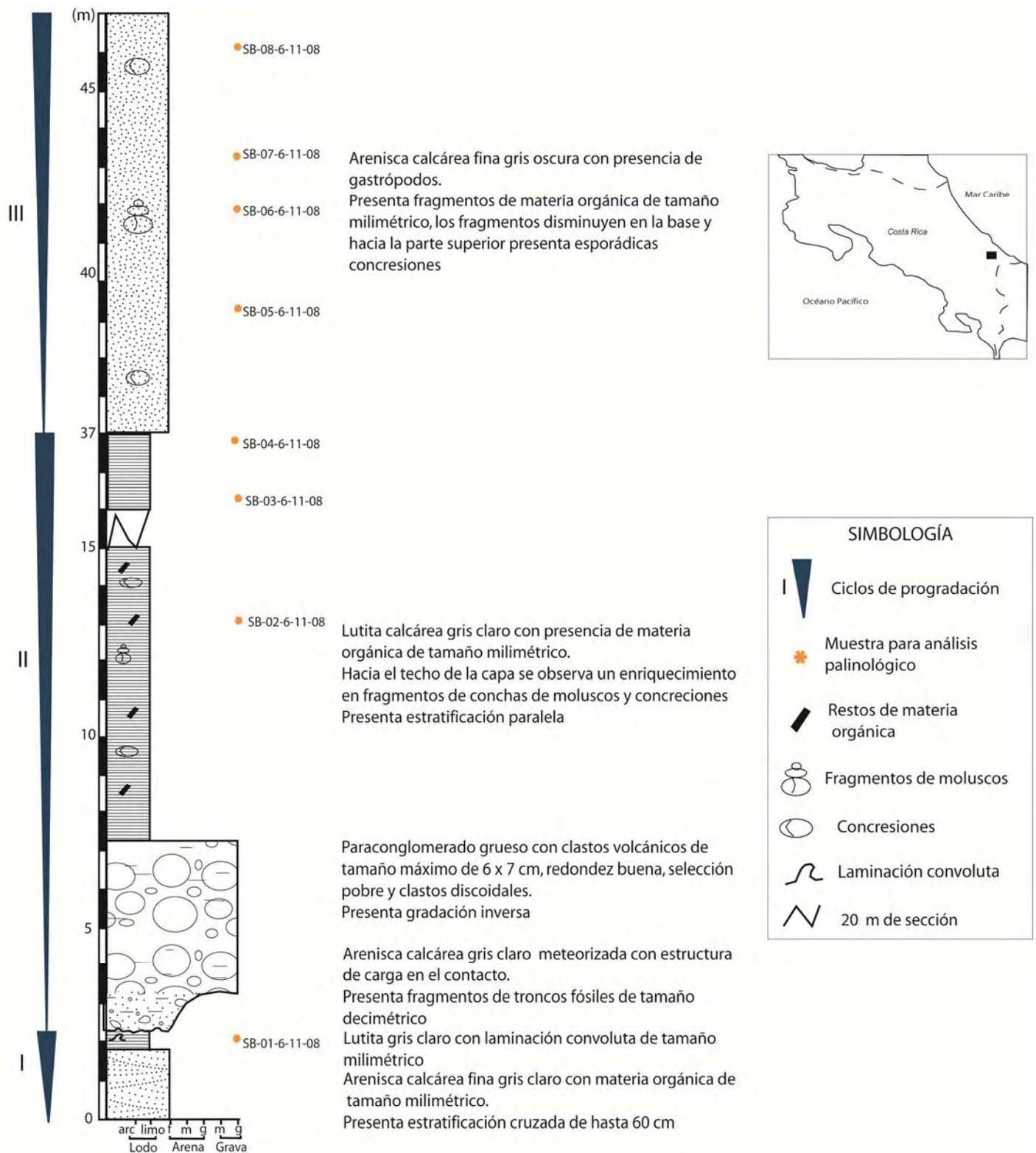


Figura 7: Columna estratigráfica levantada sobre el río Sand Box

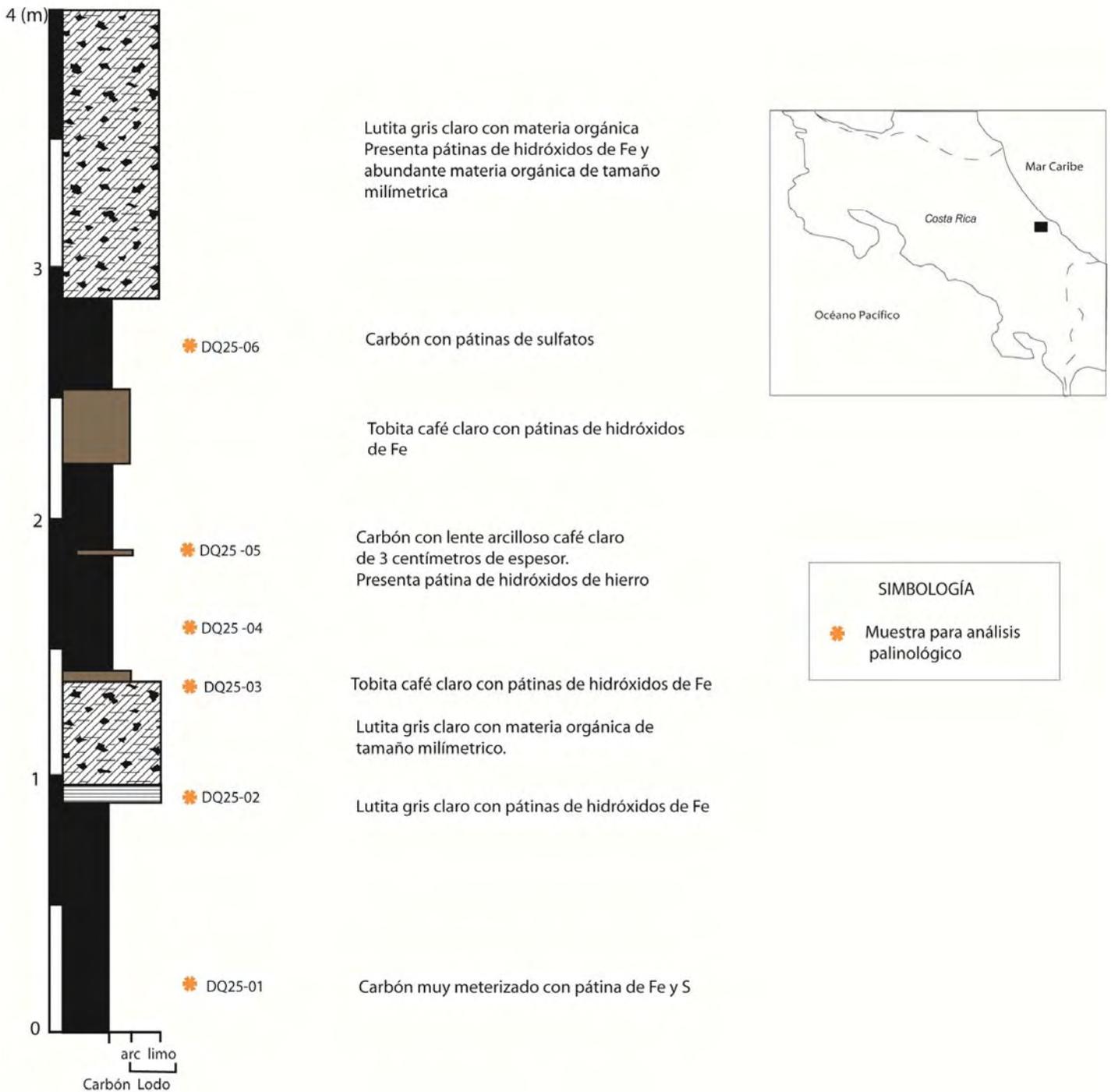


Figura 8: Columna estratigráfica levantada en quebrada Veinticinco

5.3 Caracterización de litofacies del Miembro Medio de la Formación Río Banano

Con base en las columnas descritas anteriormente se pudo caracterizar el Miembro Medio de la Formación Río Banano en las siguientes litofacies:

Facies de carbón: Consiste de estratos de carbón de tipo lignito A - subbituminoso C y B (Obando & Bolaños, 2007). Presenta espesores de tamaño centimétrico, entre 20-30 cm, el grado de meteorización es medio, por lo que es común encontrar capas de hidróxidos de hierro (limonita) y en ocasiones patinas de sulfatos. Aflora en las secciones del río Carbón Volio y quebrada Veinticinco. Se encuentran por lo general intercaladas entre estratos de lutitas. (Figura 9A)

En el cuadro 1 se especifica por área el tipo y características de los carbones.

Cuadro 1: Características de los depósitos de carbón por área

Área	Tipo de carbón	Ceniza (%)	Volátiles (%)	Azufre (%)
Uatsi (río Carbón Volio)	Subbituminoso C y B	13,9	37,71	1,70
Zent (quebrada Veinticinco)	Lignito A a subbituminoso B y C	12,15	27,24	0,98

Fuente: (Obando & Bolaños, 2007)

Facies de lutitas negras: consiste de una limolita negra a gris oscuro con un grado de meteorización de bajo a medio, presenta restos de materia orgánica de tamaño milimétrico en porcentajes 40-50% el espesor varía entre 7 m- 20 cm. Por lo general se encuentra intercalada entre facies de areniscas y conglomerados, de manera que representa el final de cada ciclo de progradación. Afloran en las tres secciones levantadas, principalmente en la sección del río Carbón Volio. Presenta estratificación paralela y en ocasiones presenta estructura *flaser*. (Figura 9B)

Facies de tobitas café: consiste de una tobita de tamaño limo de color café claro, los espesores son muy delgados, entre 3- 6 cm. Se encuentra intercalada entre estratos de carbón. Aflora únicamente en el afloramiento de quebrada Veinticinco. (Figura 9C)

Facies de areniscas y lutitas calcáreas: consiste de areniscas finas a medias con cemento calcáreo intercaladas con lutitas calcáreas. En algunos sectores poseen restos de materia orgánica

en un porcentaje de 10-15%. Esta facies también contienen fragmentos de moluscos de tamaño centimétrico a milimétrico en porcentajes variables, entre 25-35%, algunas especies reconocibles como: *Oliva* sp., *Phos* sp. y algunos scaphopodos y concreciones calcáreas de tamaño decimétrico. Se encuentran algunas trazas como *Ophiomorpha nodosa* y *Thalassinoides* i.sp.

Los espesores varían entre 30 m – 20 cm. Aflora únicamente en la sección del río *Sand Box*. En algunas capas se observa laminación convoluta de tamaño milimétrico. En esta facies es típico encontrar fragmentos de moluscos de tamaño centimétrico. (Figura 9D)

Facies de arenisca conglomerádica: consiste de una arenisca gruesa con clastos volcánicos de buena redondez y pobre selección. El espesor es de 6 m aproximadamente.

Se encuentra intercalada con capas de carbón. Esta facies está muy localizada y se ubica solamente en la sección del río Carbón Volio. (Figura 9E)

Facies de conglomerados: consiste de un paraconglomerado calcáreo oligomítico con clastos volcánicos, presenta clastos de forma discoidal, buena redondez y pobre selección. El espesor varía entre 5 m -1 m. Presenta gradación normal. Aflora en la base de la sección del río *Sand Box* y río Carbón Volio. (Figura 9F)



Figura 9. Litofacies del área de estudio A: Carbón, área de río Carbón Volio, B: Lutitas negras, área del río Carbón Volio, C: Tobita café claro, D: Areniscas calcáreas con icnofósil (*Thalassinoides* i.sp.) del río Sand Box E: Facies de arenisca conglomerádica del río Sand Box F: Conglomerado del río Sand Box

5.4 Correlación entre secciones estratigráficas

La figura 10 muestra la correlación estratigráfica entre las secciones estudiadas, esta se realizó por comparación litológica entre la columna del río *Sand Box* y Carbón Volio, pero entre esta última y la quebrada Veinticinco se realizó una correlación bioestratigráfica con base en *Pachydermites diexderi*, especie guía del Mioceno Superior. La bioestratigrafía se detallará en la sección 6.3.

La correlación litológica entre el río *Sand Box* y río Carbón Volio ya había sido establecida por Malavassi (1985). La capa de conglomerados es muy útil de correlacionar en las secciones ya que aflora en ambos sectores.

La correlación bioestratigráfica se estableció por la presencia de la misma especie en los carbones de ambas secciones (río Carbón Volio y quebrada Veinticinco), pero debido a las fallas que afectan este sector y la espesa cobertura boscosa, no es posible saber si esta capa de carbón corresponde al mismo nivel, aunque se depositaron en la misma edad.

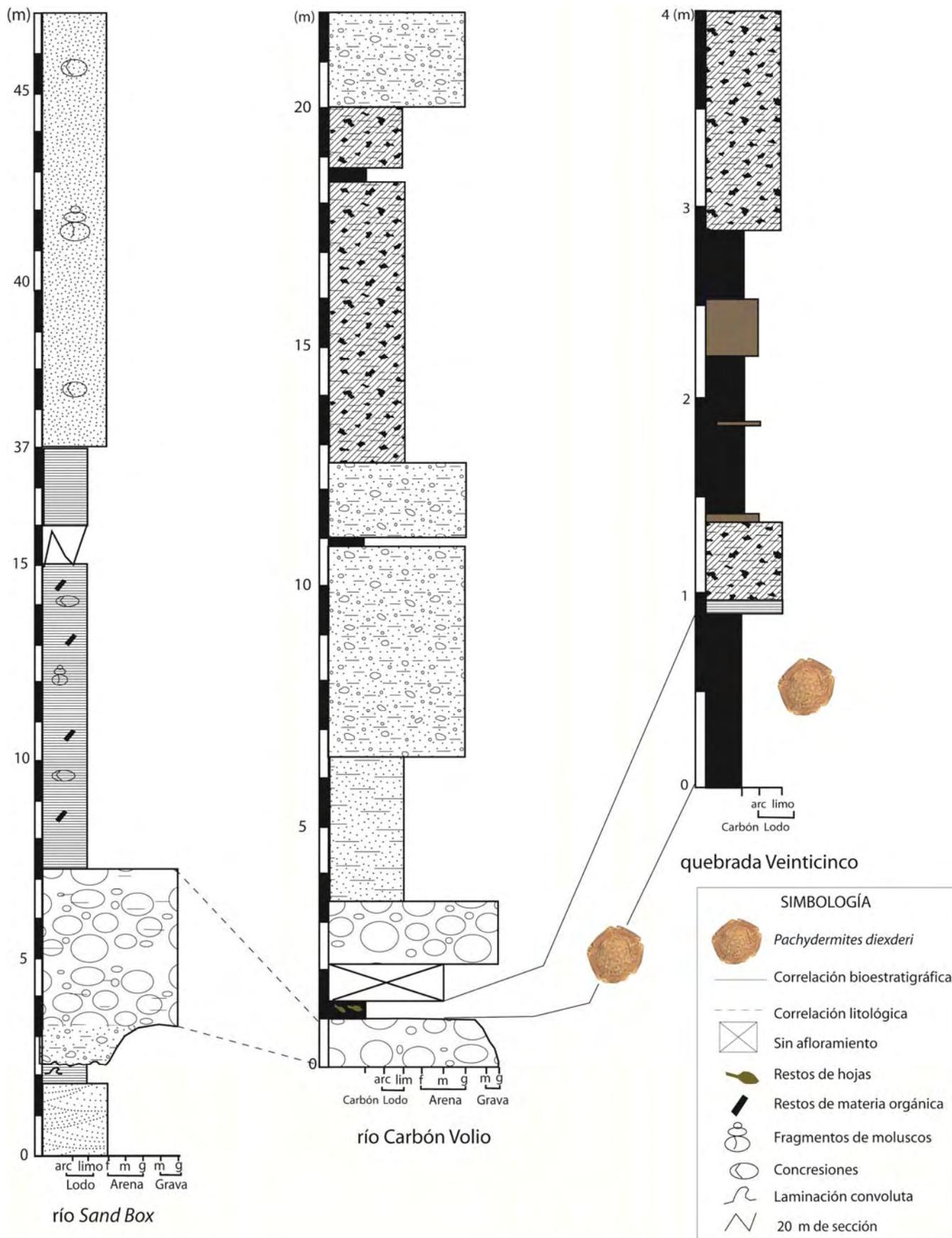


Figura 10: Correlación de las secciones levantadas, véase figuras 6, 7 y 8

6. PALINOLOGÍA: Resultados e Interpretación

Como se especificó en la metodología, el estudio pretendía analizar 18 muestras, pero debido a que la sección del río *Sand Box* no recuperó ningún tipo de palinomorfos en las muestras preparadas, solamente se realizó la descripción de ocho muestras, que corresponden con cuatro de la sección del río Carbón Volio y cuatro de la quebrada Veinticinco.

Debido a esto, la interpretación bioestratigráfica y paleoecológica con la sección del río *Sand Box* se realizó con base en estudios de foraminíferos bentónicos, planctónicos y nanoplancton, realizados por Collins (1999), Cotton (1999) y Bybell (1999) respectivamente.

6.1 Caracterización de las muestras palinológicas realizadas

La calidad de las muestras preparadas en el Miembro Medio de la Formación Río Banano, se caracteriza por poseer un bajo contenido de palinomorfos, esporas de hongos y materia orgánica amorfa (Figura 11, Apéndice 3)

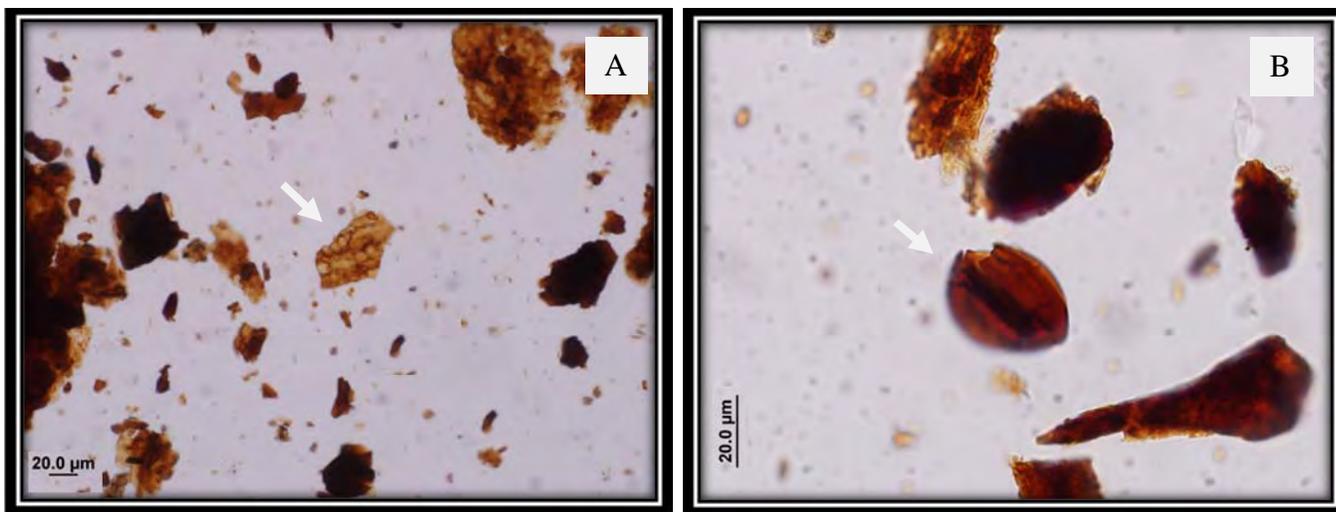


Figura 11. A: Microfotografía tomada para mostrar la materia orgánica amorfa de la sección Carbón Volio. B: Espora de hongo presente en todas las muestras del Miembro Medio de la Formación Río Banano.

6.2 Conteo de palinomorfos

La cantidad de granos contados en cada muestra se presenta en el Cuadro 2. El conteo incluyó esporas, polen, esporas de hongos y granos desconocidos.

Cuadro 2: Conteo de granos por muestra

Localidad	río Carbón Volio				Quebrada Veinticinco			
Muestra*	AfCV-1	AfCV-2	AfCV-3	AfCV-4	DQ25-1	DQ25-2	DQ25- 3	DQ25- 4
Individuos contados	129	117	111	76	30	57	61	179

*Ver ubicación de muestras en las figuras 6, 7 y 8

En las muestras AfCV- 4, DQ 25-1, DQ 25-2 y DQ 25-3 no fue posible contar los 100 granos propuestos en la metodología, aunque se realizaron réplicas de las muestras. Esto podría deberse a la destrucción de los granos por procesos de carbonización y/o por los métodos de preparación de las muestras durante el procesamiento de laboratorio, por ejemplo: pudo haber afectado los reactivos utilizados y el tiempo de digestión de las muestras en los ácidos.

En el caso de la muestra DQ25-4 se contabilizó más de los 100 granos debido a la abundancia de esporas de hongos que contenían las muestras.

6.3 Bioestratigrafía

Para este análisis se utilizaron las especies registradas en la bibliografía como marcadores estratigráficos. Debido a que en Centroamérica no han sido ampliamente desarrollados los estudios de zonación palinológica, no se puede correlacionar el presente trabajo con muestras de la región, por lo que se realizarán las comparaciones con los marcadores encontrados en el Norte de América del Sur, principalmente especies de Colombia y Brasil. Dichas comparaciones se basaron en el Cuadro 3, tomada y modificado de Hoorn (1993) Ochoa (2007) y Bybell (1999).

Con base en foraminíferos bentónicos se determina un ambiente de borde de plataforma externa depositado a una profundidad de 200 m y una edad de 5,5 Ma (Collins, 1999).

La edad estimada de acuerdo a nanoplancton calcáreo ocurre en la zona NN11 (8,2 - 6,4 Ma) y con base en foraminíferos planctónicos varía entre la zona N16-N17 (7,7-5,6 Ma), todas pertenecientes al Mioceno Superior.

Cuadro 3: Muestra la zonación palinológica del Mioceno y Plioceno en comparación con las edades establecidas con base en foraminíferos bentónicos y nanoplacton calcáreo.

Ma	PLIOCENO		Zonación con base en Nanoplancton Blow (1969)	Zonación con base en Foram. Planctónicos Bukry (1975)	CARIBE	NORTE DE SURAMÉRICA	VENEZUELA	AMAZONAS
	PLT	Zanclea, Piac. Gel.			Germeraad et al (1968)	Muller et al (1985)	Lorente (1986)	Hoorn (1993)
0			NN21					
			NN20					
1			NN19	N23	<i>Alnipollenites verus</i>	<i>Alnipollenites verus</i>	<i>Alnipollenites verus</i>	
2			NN18	N22				
3			NN17	N21	<i>Equitricolporites meneillyi</i>	<i>Echitricolporites meneillyi</i>	<i>Fenestrites longispinosus</i>	
			NN16	N20				
4			NN15	N19				
			NN14					
5			NN13					
			NN12	N18				
6				N17	<i>Pachidermites diderixi</i>	<i>Echitricolporites spinosus</i>	<i>Asteraceae</i>	
7			NN11					
8			NN10	N16				
9								
10			NN9					
			NN8	N15				
11			NN7	N14	<i>Grimsdalea magnaclavata</i> <i>Multimarginites vanderhammenii</i>	<i>Crassoretitriletes vanraadshoovenii</i>	<i>Grimsdalea magnaclavata</i>	<i>Grimsdalea magnaclavata</i>
12			NN6	N12				
13				N11				
14			NN5	N10	<i>Psiladiporites minimus</i>	<i>Echitricolporites maristellae</i> <i>Psilasiporites minimus</i>	<i>Psilasiporites minimus</i>	<i>Retricolpites minimus</i> <i>Crototricolpites</i>
15				N9				
16			NN4	N8				
17				N7	<i>Jandufouria seamrogiformis</i>	<i>Verrutricolporites rotundiporus</i> <i>Echidiporites barbeitoensis</i>	<i>Verrutricolporites</i>	<i>Verrutricolporites</i>
18			NN3	N6				
19								
20			NN2	N5				
21								
22				N4				
23			NN1					

Con base en las especies de polen presentes en la quebrada Veinticinco, río Carbón Volio y la correlación realizada por medio de foraminíferos planctónicos y nanoplacton para el río *Sand Box*, se determinó que dichas secuencias se depositaron entre 8-5,6 Ma, correspondiente al **Tortoniano- Messiniano (Mioceno Superior)**. (Cuadro 4)

Cuadro 4: Especies de polen guía presentes en el Miembro Medio de la Formación Río Banano

Tiempo (Ma)	Especies de polen guía			<i>Pachidermites dyederixi</i>	<i>Echitricolporites spinosus</i>
0	H				
1	PLT				
2	PLIOCENO	Gel.	Zancla.		
3					
4					
5	MIOCENO Superior	Messin.			
6					
7	Tortoniano				
8					
9					
10					
11					

6.4 Paleoecología

Para realizar el análisis paleoecológico, se estableció la afinidad ecológica según las especies descritas por los siguientes autores: Graham (1987, 1988, 1989, 1995, 1998) Traverse (2007), Punt *et al.* (2007), Germeraad *et al.* (1968), Hoorn (1993), Jaramillo & Dilcher, (2001), Rull (2001) y en la Palinoteca del Instituto Colombiano del Petróleo (2006), base de datos del INBIO (2007) y del Jardín Botánico de Missouri (2009).

Los géneros de palinomorfos con afinidad dudosa, se asociaron a la flora reciente, comparando los morfotipos encontrados con granos de pólenes y esporas de plantas actuales.

Los resultados de la ecología se presentan en el cuadro 5 de manera simplificada, se enlistan las especies clave para la interpretación paleoecológica y las especies con afinidad dudosa se presentan en el Apéndice 2.

Cuadro 5: Afinidad taxonómica y ecológica de las especies más importantes en la sección Carbón Volio y quebrada Veinticinco

Género o especie	Afinidad taxonómica	Ecología
<i>Lanagiopollis crassa</i>	Pelliceraceae <i>Pelliciera rhizophorae</i>	Planta de zona de manglar
<i>Pachydermites diexderi</i>	Clusiaceae <i>Symphonia Globulifera</i>	Planta de bosque húmedo tropical de llanuras costeras, pantanosas a periódicamente inundadas o a orillas de los ríos.
<i>Perforicolpites digitatus</i>	Convolvulaceae, Merremia	Plantas, hierbas y lianas de zonas tropicales
<i>Zonocostites sp.</i>	Rhizophoraceae	Planta de zonas de manglar
<i>Polydiisporites sp.</i>	Polypodiaceae	Helecho de bosque tropical
<i>Tetradites sp.</i>	Ericaceae	Planta de bosque lluvioso
<i>Bombacacidites sp.</i>	Bombacaceae	Árbol de bosque lluvioso principalmente, pero posee amplia ecología
<i>Laevigatosporites sp.</i>	Blechnaceae y/o Polypodiaceae	Helechos de bosque tropical lluvioso
<i>Psilatrilletes sp.</i>	Polypodiaceae y/o Vittariaceae	Helechos de bosque tropical lluvioso

6.4.1 Análisis paleoecológico cuantitativo

Para este análisis se calcularon parámetros de abundancia, diversidad, equidad y comparación entre sectores por medio del análisis *cluster*.

Estos análisis estadísticos se realizaron para la sección del río Carbón Volio y quebrada Veinticinco, ya que no hubo recobro palinomorfos en la sección del río *Sand Box*.

Para el análisis estadístico se eliminaron del conteo general que se presentó en el cuadro 2 de la sección 6.2 los granos de esporas de hongos y los granos clasificados como desconocidos.

En el Cuadro 6 se enlistan los parámetros establecidos para el río Carbón Volio y el Cuadro 7 para la quebrada Veinticinco.

Cuadro 6: Datos de diversidad para el área Carbón Volio

Índice estadístico	Código de la muestra			
	AfCV -1	AfCV - 2	AfCV -3	AfCV -4
Riqueza de Taxa (S)	13	11	8	14
Individuos	64	62	29	55
Dominancia (D)	0,123	0,182	0,248	0,195
Diversidad de Shannon (H)	2,302	1,940	1,663	2,025
Equidad (J)	0,897	0,809	0,800	0,767

Cuadro 7: Datos de diversidad para el área de quebrada Veinticinco

Índice estadístico	Código de la muestra			
	DQ25-1	DQ25-2	DQ25- 3	DQ25- 4
Riqueza de Taxa (S)	2	10	7	9
Individuos	9	40	18	33
Dominancia (D)	0,556	0,161	0,209	0,166
Diversidad de Shannon(H)	0,637	2,38	1,725	1,944
Equidad (J)	0,918	0,885	0,886	0,885

El sitio con más individuos contables y de mayor riqueza de taxa es la sección Carbón Volio, como se observa en Grafico 1.

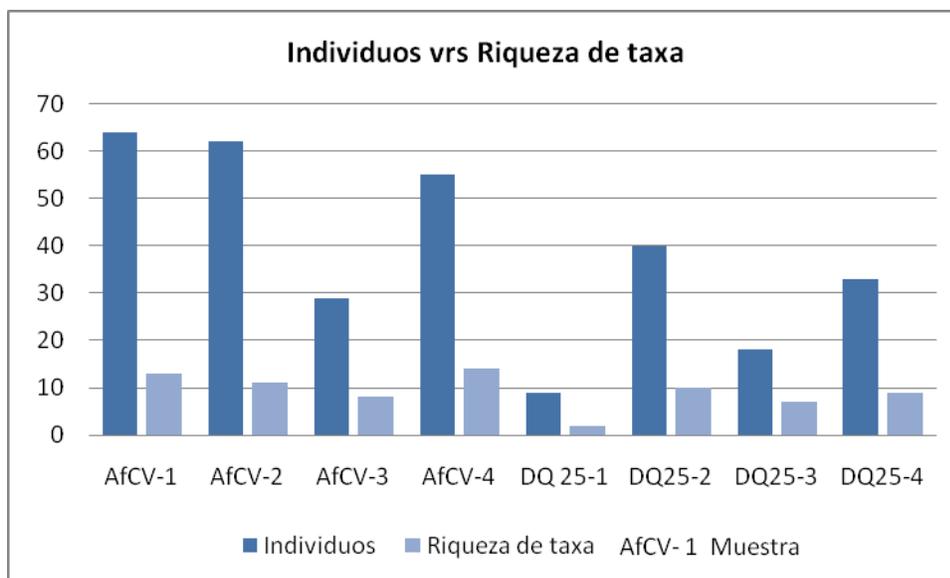


Gráfico 1: Columnas comparativas entre los individuos contados y la riqueza de taxa para la sección de río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

De manera general, las secciones son bastantes similares con respecto al parámetro diversidad de especies (H) (Gráfico 2). Se puede suponer que en ambas secciones existe un ambiente poco diverso y de pocas variaciones entre los sitios. Exceptuando la muestra DQ 25-1 que presenta un valor H muy bajo debido al poco recobro de especies.

Comparando en detalle los datos de diversidad con equidad, se observa que en la sección del río Carbón Volio, la diversidad (H) es mayor que para la sección de quebrada Veinticinco, pero la equidad (J) es mayor en la quebrada Veinticinco (Gráfico 3). Esto se debe, a que el número de individuos contados por taxón es similar.

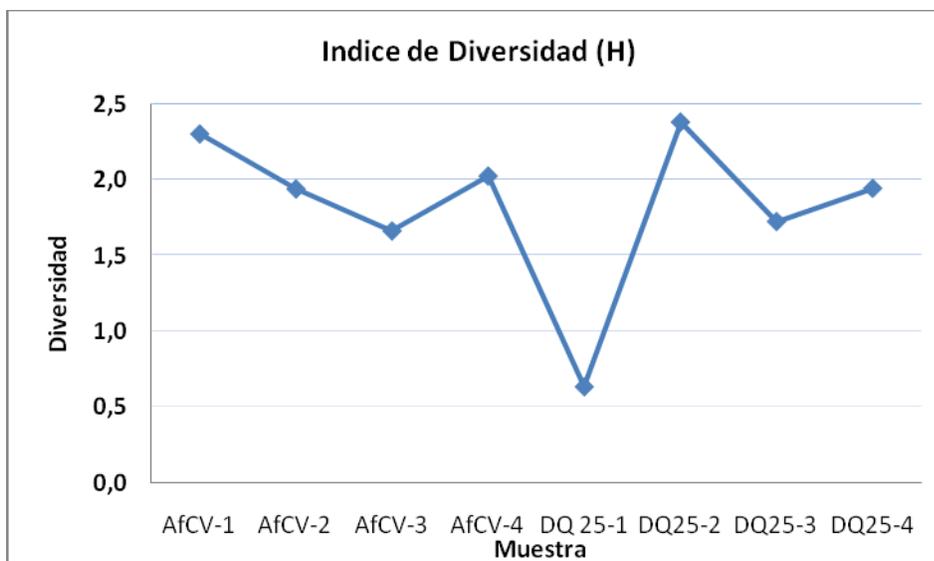


Gráfico 2: Curva de diversidad (H) para la sección río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

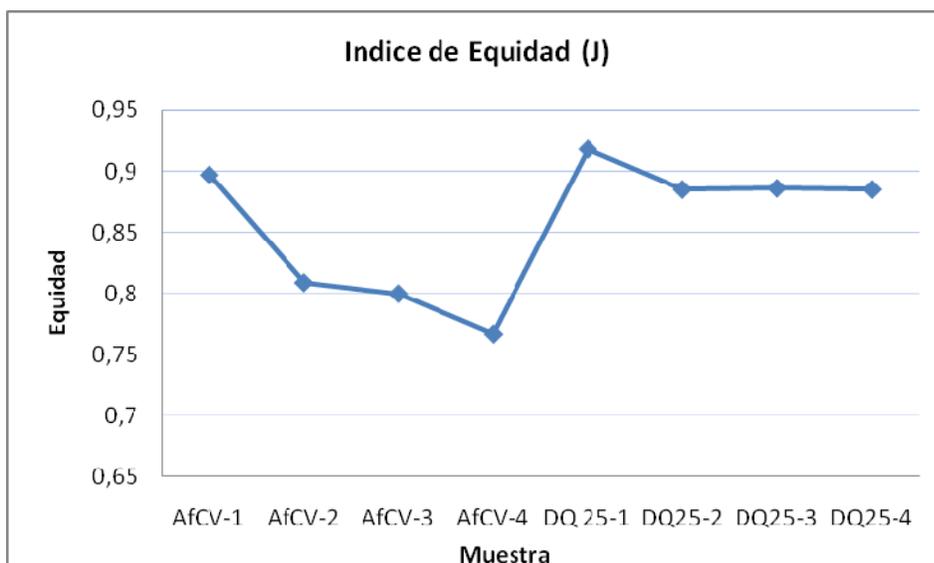


Gráfico 3: Curva de Equidad (J) para la sección río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

Por ejemplo, con base en el índice de equidad (J), la muestra más homogénea de la sección del río Carbón Volio es AfCV-1 con un valor 0,897 y la de la quebrada Veinticinco, es la muestra DQ25-1 con un valor de 0,918. Al comparar la diferencia entre estos valores con la diversidad (H), se encuentra que en la muestra AfCV-1, el valor de diversidad (H) es de 2,346, y el valor de equidad (J) es de 0,897. En el caso de la muestra DQ 25-1, la diversidad es de 0,637 y el de equidad es de 0,918. Esto indica que la muestra AfCV-1 posee mayor riqueza de taxones en comparación con la quebrada Veinticinco, pero con respecto a la cantidad de individuos en

relación a la riqueza de taxa, la sección DQ25-1 muestra mayor equidad, o sea mayor similitud en el número de individuos por taxón.

Diagramas de polen y esporas: se elaboraron diagramas polínicos que muestran el comportamiento de cada morfotipo en términos de abundancia contra la posición estratigráfica de las muestras. (Figura 12 y 13) Se eliminaron los granos desconocidos, ya que estos corresponden a diferentes tipos de especies sin clasificación y no contribuyen a la interpretación paleoecológica.

Las especies que tienden a 0% indican que no aparecen en la muestra o disminuyen en comparación a las otras muestras.

La figura 12 corresponde a la sección del río Carbón Volio. Las esporas de hongos se encuentran en mayor porcentaje y están presentes en todas las muestras, otras especies de importancia son *Lanagiopollis crassa*, *Laevigatosporites* sp. y *Psilatricolporites* sp.

La figura 13 corresponde a la sección de quebrada Veinticinco. Las esporas de hongos representan los mayores porcentajes, pero en la muestra DQ 25-2 no se encontraron, por lo que la curva decrece en este sector. Otras especies importantes son *Pachydermites diexderi*, *Psilatricolporites* sp., y *Retimonocolpites* sp.

Análisis Cluster: se utilizó este tipo de análisis para agrupar las especies por localidad, de manera que sea más claro la similitud entre las muestras.

La escala en el eje x es la que se utiliza para la interpretación del análisis *cluster*, los valores en estos análisis varían entre 0 y 1, siendo 0 completamente diferentes y 1 iguales.

Para comparar las especies encontradas en las muestras, se realizó el *cluster* por medio del método de Jaccard, el cual toma en cuenta la presencia y ausencia, denotando con un 1 o 0 respectivamente. (Figura 14, Apéndice 4)

Este método es de utilidad en el caso de que la abundancia de especies sea poca, ya que toma en cuenta si el taxón está presente o no. Para este estudio es muy útil debido al bajo conteo por especie.

En la figura 14 se observa una separación entre las especies que aparecen solamente una vez en toda la sección, por ejemplo: *Gemmasporites* sp., *Echinatisporites* sp., *Clavatricolpites* sp. y *Bombacacidites* sp., solamente se encuentran en la muestra AfCV-4 de Carbón Volio (Apéndice 4). El método las separa de todo el grupo y muestra muy poca similitud con el resto.

Por el contrario, las especies que muestran mayor similitud son *Laevigatasporites* sp., *Polydiisporites* sp. y *Psilatricolporites* sp. Estas especies se pudieron contabilizar prácticamente en todas las muestras, por lo que se agrupan con mayor grado de semejanza.

Paleoecológicamente representan especies abundantes y se podrían interpretar como las especies predominantes en la comunidad florística en ambas secciones.

Otras especies que destacan según su grado de semejanza son *Zonocostites* sp., *Retimonocolpites* sp. y *Pachydermites diexderi*, las cuales están separadas en un grupo aparte, y representan las especies prácticamente exclusivas de la sección quebrada Veinticinco.

Asimismo, otro grupo similar a este, está representado por *Echitricolporites spinosus*, *Lanagiopollis crassa* y *Polypodiaceasporites* sp., pero son especies que únicamente se encontraron en río Carbón Volio.

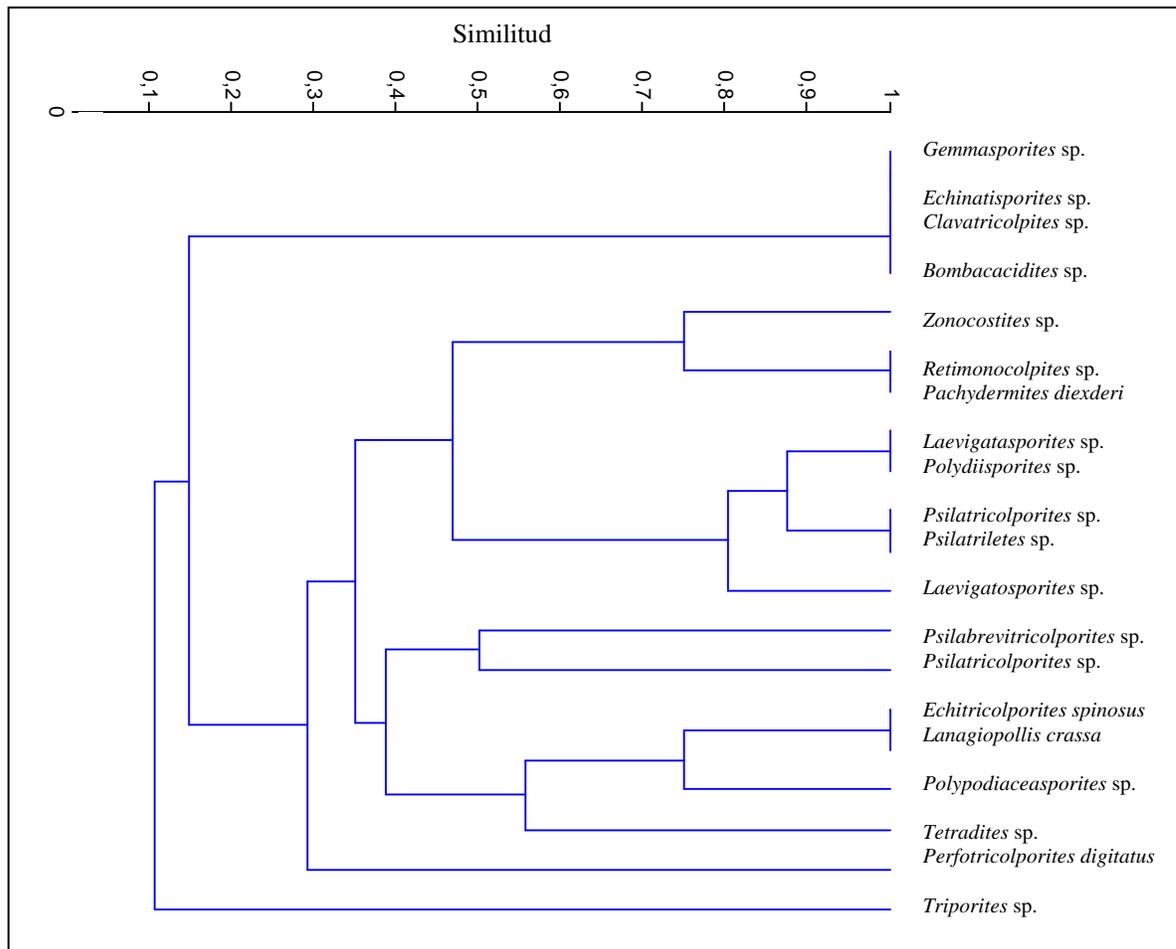


Figura 14: Análisis *cluster* realizado por medio del método de Jaccard de las especies de las secciones del río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

6.4.2 Interpretación paleoecológica por áreas

Área río Carbón Volio

Este sector está caracterizado por la presencia de *Lanagiopollis crassa* y *Echitricolporites spinosus*, así como *Laevigatasporites* sp., *Laevigatasporites* sp., *Polypodiaceasporites* sp., *Polydiisporites* sp., *Zonocostites* sp., *Perforitricolporites digitatus*, entre otros especificados en el Apéndice 2.

Jiménez (1994) sugiere que para la época del Mioceno, la región Centroamericana y el Caribe estaban influenciados por un clima frío, seco y estacional. Condiciones drásticas para un

manglar, ya que generan cambios en el nivel del mar, patrones de escorrentía y temperatura (Woodroffe & Grindrod, 1991), lo que afectó la distribución de estas especies a partir de la época. A pesar de estos cambios climáticos, el Caribe presentaba precipitaciones altas, permitiendo nichos propicios para la sobrevivencia de Pellicieraceae, la cual es una especie asociada a climas húmedos (Jiménez, 1994).

Con base en las especies típicas de manglar encontradas en la sección del río Carbón Volio, se deduce que este sitio estaba representando principalmente por Pellicieraceae en una zona propiamente de manglar, pero en sus límites existían algunas comunidades aledañas de helechos, entre estas Polypodiaceae y Vittariaceae.

Por otro lado, la asociación de especies sugiere un bosque lluvioso tropical por la presencia de Pellicieraceae, Bombacacea y Ericaceae.

Área de quebrada Veinticinco

Este sector está caracterizado por la presencia de *Pachydermites diexderi*, *Polydiisporites* sp., *Laevigatasporites* sp., *Retimonolcolpites* sp., y algunas especies de *Zonocostites* sp., entre otras descritas en el Apéndice 2.

Usualmente, el recobro de las especies fue poco, pero de manera general se puede observar que en toda la sección medida predomina *Pachydermites diexderi* (*Symphonia globulifera*) el cual es una especie típica de zonas pantanosas cercanas a la costa en zonas tropicales (Germaraad *et al.*, 1968; Graham, 1998).

Esta sección se asocia a una zona de pantano cercano al manglar, donde predominan especies de agua dulce y/o resistentes a salinidades bajas como *Symphonia globulifera* con especies subordinadas de tipo manglar, como *Zonocostites* sp. (*Rhizophora mangle*) y Pellicieraceae.

6.4.3 Comparación paleoecológica entre las secciones estudiadas

La especie *Pachydermites diexderi* se encontró principalmente en la quebrada Veinticinco y muy poco en el río Carbón Volio, *Lanagiopollis crassa* se pudo encontrar en la sección del río Carbón Volio, aunque Graham (1998) determinó esta última especie para la quebrada Veinticinco. La sección del río Carbón Volio presenta mayor abundancia y diversidad de palinomorfos con respecto a la quebrada Veinticinco, esto puede significar mejor preservación en las muestras del río Carbón Volio debido a los procesos de carbonización que afectaron a la quebrada Veinticinco.

Las especies predominantes en este estudio varían, *Pachydermites diexderi* predomina en quebrada Veinticinco y *Lanagiopollis crassa* en el río Carbón Volio, lo cual, podría sugerir que el primer sitio (quebrada Veinticinco), corresponde a una zona pantanosa desarrollada detrás del manglar con influencia de agua dulce y esporádica influencia de agua salada. El segundo sitio (río Carbón Volio), a una zona propiamente de manglar con influencia marina. (Figura 15)

La presencia de *Lanagiopollis crassa* (Pellicieraceae) y *Zonocostites* sp. (Rhizophoraceae) indica una zona de manglar, la abundancia de este último es muy poca, lo que podría significar que para el Mioceno en este sector, el mangle Pellicieraceae dominaba los ambientes estuarinos en comparación a Rhizophoraceae. A diferencia de la actualidad, en donde los manglares caribeños están ampliamente dominados por Rhizophoraceae; por ejemplo el manglar de Gandoca Manzanillo (Fonseca *et al.*, 2007)

Zonocostites ramonae corresponde al polen fósil de Rhizophoraceae, genero dominante en la actualidad, esta especie ha sido identificada a latitudes más cercanas al Ecuador durante el Mioceno Inferior, por ejemplo, hacia el oeste de Venezuela la comunidad estuarina estaba dominada principalmente por *Zonocostites ramonae*. (Rull, 2001).

Por otro lado, las especies descritas en la sección del río Carbón Volio con morfología tricolporada y de escultura psilada a levemente reticulada, se asociaron a *Zonocostites* sp., pero se encuentran algunas variaciones en la morfología del grano, sobretodo en la estructura del colpo, al igual que las especies encontradas por Graham (1998) para la localidad de quebrada Veinticinco. Por lo tanto, esto podría sugerir variaciones en las especies de mangle en comparación con las especies actuales de Rhizophoraceae.

Otros factores que pueden influir en las variaciones florísticas, son por ejemplo: intercambio marino, zonas inundadas, extensión del estuario, cambios en la desembocadura de los ríos, aporte de sedimentos, etc. Así que dependiendo de las condiciones, puede predominar una especie con respecto a otra (Woodroffe & Grindrod, 1991).



Figura 15: Estructura del bosque húmedo tropical actual, tomado de Ochoa (2007)

Con relación a las especies de polen descritas para la sección río Carbón Volio y quebrada Veinticinco y los foraminíferos bentónicos reportados para el río *Sand Box*, el ambiente de estas secciones se interpreta como un ambiente transicional marino continental, en donde predomina un sistema deltaico con bosque de manglar desarrollado dentro del delta.

Astorga (2009: comunicación verbal) señala que en los estudios de sísmica de reflexión realizados en la Cuenca Limón Sur durante la época de los ochentas, se observa claramente un sistema deltaico desarrollado durante el Mioceno Superior. Dicho delta formado debido al gran aporte de sedimentos proveniente del arco volcánico existente en la Cordillera Volcánica de Talamanca, en lo que ahora es Talamanca.

La salinidad se asocia al contenido de azufre en el carbón, de manera que sedimentos depositados en agua dulce presentan bajos porcentajes de azufre, mientras que un alto porcentaje de azufre sugiere un ambiente salobre (Stach *et al.*, 1982). Los datos de azufre analizados en los carbones del área de Zent (quebrada Veinticinco) presentan menor porcentaje que los reportados en el río Carbón Volio, por lo tanto se interpreta que el área de Zent representa una zona relativamente menos salobre que Volio.

Además, con base en los foraminíferos bentónicos descritos para río *Sand Box* (Collins, 1999), se concluye que esta secuencia se depositó aproximadamente a 200 m de profundidad en el borde externo de plataforma. Esto sumado al predominio de arenas e icnofósiles, permite interpretar como un ambiente deltaico. Por lo tanto, tomando en cuenta la distribución de las litofacies y su relación estratigráfica, se interpreta que la sección del río *Sand Box* correspondía en el momento de depositación a una zona más profunda con respecto a las secciones de quebrada Veinticinco y río Carbón Volio.

Los ciclos que se identificaron en las secciones estratigráficas se inician por facies gruesas hasta facies finas carbonosas, lo que podría interpretarse como fluctuaciones en el nivel del mar o variaciones laterales entre los canales interdistributarios del delta y en los estados de nivel del mar bajos (periodos de regresión marina) se desarrollaron capas de carbón en la zona. De acuerdo con la curva del nivel del mar adaptada para Costa Rica en el estudio de Sprechmann *et al.* (1994) (Figura 16) se observa que para el Mioceno Superior predominaron períodos de regresión marina.

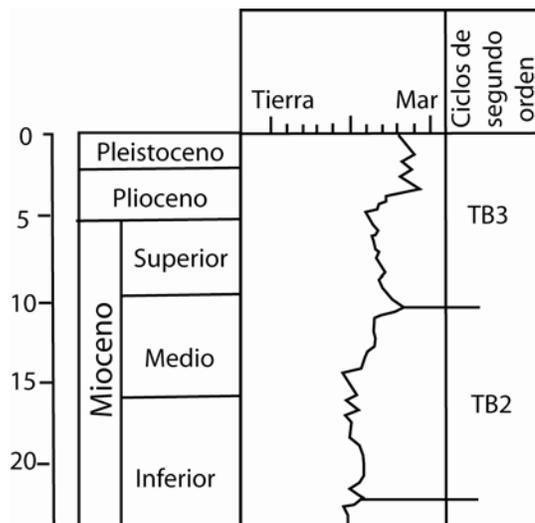


Figura 16: Curva de variación del nivel de mar, tomado de Sprechmann *et al.*, 1994

Por otro lado, los ciclos identificados corresponden con ciclotemas, los cuales se asocian a plataformas inestables y a condiciones en el interior de la cuenca en donde alternan transgresiones y regresiones marinas (Bates & Jackson, 1980)

6.4.4 Interpretación de las paleocomunidades florísticas durante el Mioceno Superior

La especie *Pelliciera rhizophorae* actualmente se identifica como una planta típica de climas húmedos, mientras que Rhizophoraceae es una especie cosmopolita y puede crecer en climas secos o húmedos (Jimenez, 1994). En la zona de estudio durante el Mioceno Superior se interpretan manglares desarrollados en clima húmedo y zonas pantanosas de agua dulce con esporádica influencia del manglar.

Según el modelo de la figura 15, se interpreta que cercano al manglar adentrándose hacia el continente predominaban especies de agua dulce, las cuales soportan condiciones de salinidad repentina como helechos y Clusiaceae. Propiamente en el manglar predominaba la especie Pellicieraceae y Rhizophoraceae, esta última en menor cantidad.

Con base en el modelo paleográfico de la región para el Mioceno Superior (Coates & Obando, 1996) las zonas emergidas permitieron el desarrollo de ambientes parálidos con manglares asociados. Los cuales se comportan como ecosistemas que resisten condiciones difíciles, entre ellas cambios en la salinidad, cambios en las corrientes marinas y variaciones climáticas.

7. CONCLUSIONES

Las asociaciones palinológicas encontradas para la sección del río Carbón Volio está representada por *Lanagiopollis crassa*, *Pachydermites diexderi*, *Laevigatosporites* sp., *Laevigatosporites* sp., *Polydiisporites* sp., *Psilatricolpites* sp., *Psilatricolporites* sp., *Echitricolporites spinosus*, *Tetradites* sp., *Psilatriletes* sp., *Polypodiaceiosporites* sp., *Perfotricolpites digitatus*, *Gemmasporites* sp., *Echinatisporites* sp., *Clavatricolpites* sp., *Zonocostites* sp., *Retimonocolpites* sp., *Psilabrevitricolporites* sp., *Bombacacidites* sp., *Polypodiaceiosporites* sp., esporas de hongos. Esta asociación se interpreta como un bosque de manglar.

Las especies descritas en la sección de la quebrada Veinticinco están representadas por *Pachydermites diexderi*, *Laevigatosporites* sp., *Laevigatosporites* sp., *Polydiisporites* sp., *Psilatricolpites* sp., *Psilatricolporites* sp., *Psilatriletes* sp., *Perfotricolpites digitatus*, *Triporites* sp., *Zonocostites* sp., *Retimonocolpites* sp., esporas de hongos y desconocido, lo que se interpreta como una zona pantanosa cercana al manglar.

Con base en las zonaciones realizadas para el Caribe y el Norte de Suramérica se pudieron identificar en quebrada Veinticinco y Carbón Volio, dos especies guías del Mioceno Superior: *Equitricolporites spinosus* y *Pachydermites diexderi*, lo que apoya la edad asignada con base en nano plancton y foraminíferos planctónicos para la sección de río *Sand Box* asignada en estudios anteriores.

Por lo tanto se estima que las secuencias estudiadas en este estudio se depositaron entre 8- 5,6 Ma, correspondiente al **Tortoniano- Messiniano (Mioceno Superior)**.

Con base en los oraminíferos bentónicos descritos para río *Sand Box* por Collins (1999) se determinó que la secuencia se depositó a aproximadamente 200 m de profundidad en un ambiente de ambiente de plataforma externa.

Tomando en cuenta la distribución de las facies litológicas en este sector y su relación estratigráfica, se interpreta que la sección del río *Sand Box* correspondía en el mismo momento de depositación a una zona más profunda con un leve aporte de material continental con respecto a las secciones de quebrada Veinticinco y río Carbón Volio, y estas dos últimas corresponden a un ambiente transicional ubicado hacia la costa y con extensión un poco más hacia tierra adentro.

Con base en los análisis estadísticos de diversidad de taxa, las secciones son bastante similares y se puede asociar ambas a un ambiente común, por lo tanto, el ecosistema reconstruido con base en la microflora para las secciones, se trata de un bosque de manglar desarrollado en un clima húmedo tropical dominado por Pellicieraceae (río Carbón Volio) y adentrándose hacia el continente predominaban especies de agua dulce como Clusiaceae, con esporádica influencia de agua salada (quebrada Veinticinco). Además de otras especies como Polypodiaceae, Bombacaceae, Ericaceae, que suponen un bosque húmedo tropical.

Los ciclos que se identificaron en las secciones estratigráficas se inician por facies gruesas hasta facies finas carbonosas, lo que podría interpretarse como fluctuaciones en el nivel del mar o variaciones laterales entre los canales interdistributarios del delta y en los estados de nivel del mar bajos (periodos de regresión marina) se desarrollaron capas de carbón en la zona.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más estudios palinológicos, para desarrollar la interpretación de la paleoflora del país y su relación con el levantamiento del istmo.
- Es importante estudiar con más detalle la paleoecología, ya que debido a procesos como extinción, especialización, endemismo y fosilización, se puede afectar la interpretación.
- Realizar una zonación palinológica para Costa Rica, tanto para la parte Caribe como para el Pacífico, para así lograr una datación bioestratigráfica más confiable.
- Reevaluar el método de preparación de las muestras, ya que el recobro fue poco y esto podría deberse a la preparación de las muestras durante el procesamiento de laboratorio.
- Realizar estudios en palinomorfos marinos como dinoflagelados para enriquecer las interpretaciones de las formaciones geológicas en general y así mismo el campo de la palinología en Costa Rica.
- Ampliar la base de datos digital en estudios posteriores.

9. REFERENCIAS

- AGUILAR, T., 1992: Paleobotánica. Folleto de Paleobotánica General Curso (G-0419).- 15 págs.
- ASTORGA, A., FERNANDEZ, J.A., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J., AGUILAR, A. & OBANDO, L., 1991: Cuencas sedimentarias de Costa Rica: evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. -Rev. Geol. Amér. Central 13: 25-59
- BATES, R. & JACKSON, J., 1980: Glossary of geology. [2^{da} ed.]- 1035 págs. American Geological Institute, Virginia.
- BERRY, E., 1921: Tertiary fossil plants from Costa Rica.- Proc. U.S. Nat. Museum 59: 169-185.
- BOTAZZI, G., FERNÁNDEZ, J. & BARBOZA, G., 1994: Sedimentología e historia tectono-sedimentaria de la cuenca Limón Sur. -Profil 7: 351-391
- BURHAM, R. & GRAHAM, A., 1999: New developments and status.- Annals of Missouri Botanical Garden 86 : 546-589
- BYBELL, L., 1999: Neogene calcareous nanofossil biostratigraphy of the caribbean coast of Panama and Costa Rica.-Bulletin of American Paleontology 357:41-59
- CASSEL, D. & SENP GUPTA, B., 1989: Foraminiferal stratigraphy and paleoenvironments of the Tertiary Uscari Formation, Limon Basin, Costa Rica.- Journal of Foraminiferal Research 19 (1): 52-71
- COATES, A., 1992: Lithostratigraphy of the Neogene strata of the Caribbean coast from Limón, Costa Rica, to Colon, Panama.-Bulletin of American Paleontology 357:17-40
- COATES, A., JACKSON, J., COLLINS, L., CRONIN, T., DOWSETT, H., BYBELL, L., JUNG, P. & OBANDO, J., 1992: Closure of the isthmus of Panama: the near shore marine record of Costa Rica and western Panama.-Geological Society of America Bulletin.-104:814-828
- COATES, A & OBANDO, J., 1996: The geologic evolution of the Central American Isthmus. -En: Jackson, J., Budd, A. & Coates, A (eds.): Evolution and Environment in Tropical America: 21-56
- COLLINS, L., 1999: The Miocene to Recent diversity of the Caribbean benthic foraminifera from the Central American Isthmus.- Geological Society of America Bulletin.-104:91-107
- COTTON, M., 1999: Neogene planktic foraminiferal biochronology of the southern Central American isthmus.-Bulletin of American Paleontology 357:61-80

- DENYER, P., AGUILAR, T. & ALVARADO, G., 2003: Geología y estratigrafía de la Hoja Barranca, Costa Rica.-Rev.Geol.Amér.Central 29:105-125
- FONSECA, A., CORTÉS, J & ZAMORA, P., 2007: Monitoreo del manglar de Gandoca, Costa Rica (sitio CARICOMP).- Revista Biológica Tropical 55 (1): 23-31
- GABB, W., 1881: Descriptions of Caribbean Miocene Fossils. - Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 8: 1874 -1888
- GÓMEZ, L., 1970: A first report of fossil fern- like Pteropsida from Costa Rica.- Rev.Biol.Trop. 16 (2): 121-132
- GÓMEZ, L., 1972: Karathophyllum bromelioides (Bromeliaceae) nov.gen.et sp., del Terciario Medio de Costa Rica.-Rev. Biol. Trop.- 20 (2): 221-229
- GERMERAAD, J., HOPPING, C. & MULLER, J., 1968: Palynology of Tertiary sediments from Tropical areas.-Review Paleobotany and Palynology 6 : 189-348.
- GRAHAM, A., 1978: Distribution and migration of Cenozoic floras in Mesoamerica.-Simposio Interdisciplinario sobre Paleogeografía Mesoamericana, Mexico, DF: 166-182 págs.
- GRAHAM, A., 1987: Tropical American Tertiary Floras and Palaeoenvironments: Mexico, Costa Rica, and Panama..- Annals of Botanical Garden 76 (1): 50-66
- GRAHAM, A., 1988: The lower Miocene communities of Panama- The Cucaracha Boca Formation.- American Journal of Botany 74 (10): 1519-1531
- GRAHAM, A., 1989: The lower Miocene communities of Panama- The La Boca Formation.- Annals of Botanical Garden 76 (1): 50-66
- GRAHAM, A., 1995: Diversification of Gulf/Caribbean Mangrove Communities through Cenozoic time.-Biotropica 27 (1): 20-27
- GRAHAM, A. & DILCHER, D.,1998: A palynoflora from the Pliocene Rio Banano Formation of Costa Rica and the Neogene vegetation of Mesoamerica.-American Journal of Botany 85 (10): 1426-1438
- GRAHAM, A.,1998: Late Tertiary Vegetation of Southeastern in Guatemala: Palynofloras from the Mio-Pliocene Padre Miguel Group and the Pliocene Herreria Formation.-American Journal of Botany 85 (10): 1409-1425
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., AND P. D. RYAN., 2001: PAST Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9 págs. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

- HOORN, C., 1993: Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 105: 267-309
- HORN, S., 1985: Preliminary pollen analysis of Quaternary sediments from deep sea drilling project site 565, western Costa Rica.-Initial reports of the deep sea drilling project LXXXIV: 533-547
- HORN, S., 1986: Key to the Quaternary pollen of Costa Rica.-*Brenesia* 25:33-44
- INBIO, 2007: Búsqueda de especies.- <http://darnis.inbio.ac.cr/ubis/>
- JARAMILLO, C. & DILCHER, D., 2001: Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes.- *Palaeontographica* 258: 87-213.
- JARAMILLO, C.A. & RUEDA, M., 2006: Palinoteca Electrónica del Instituto Colombiano del Petróleo- ICP.
- JIMENEZ, J., 1994: Los manglares del Pacífico Centroamericano.- 336 págs. Ed. Universidad Nacional, Heredia.
- KIRBY, M. & MCFADDEN, B., 2005: Was southern Central America an archipiélago or an peninsula in the middle Miocene? A test using land mammal body size.- *Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228:193-202
- LAURITO, C., 1988: Análisis sedimentológico de las formaciones El Fraile, en la costa suroeste de Nicaragua, Carmen y Punta Carballo, en la costa Pacífica de Costa Rica. 117 págs. Universidad de Costa Rica. [Tesis Lic].
- LORENTE, M., 1986. Palynology and palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. *Dissertatione Botanicae* 99: 222 págs
- MALAVASSI, L., 1985: Geología general del área sur de Baja Talamanca en relación con los depósitos de carbón. 88 págs. Universidad de Costa Rica. [Tesis Lic].
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN, 2009: Tropicos.- <http://www.tropicos.org/>
- MOORE, P., WEBB, J. & COLLINSON, M., 1991: Pollen analysis.- Backwell Science Inc, 216 págs.
- MULLER, J., DE DI GIACOMO, E., & VAN ERVE, A., 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series* 19: 7-76

- OCHOA, D., 2007: Palinología de los depósitos fluviales de la sección Agua Negra e implicaciones en la geología del NW de la cuenca amazónica .113 págs. Universidad Industrial de Santander. [Tesis Lic] .
- OBANDO, L., 1986: Estratigrafía de la Formación Venado y rocas sobreyacentes (Mioceno-Reciente) Provincia de Alajuela, Costa Rica. -Rev.Geól.Amer. Central 5:73-100.
- OBANDO, L & BOLAÑOS, K., 2007: Coal and peat resources. -En: Bundschuh, J. & Alvarado, G (eds.): CENTRAL AMERICA: geology, resources and hazards 2: 917-930.
- OLSSON, A., 1922: The Miocene of Northern Costa Rica.-Bulletins of American Paleontology 9 (39) :1-168
- PIZARRO, D., 1987: Bioestratigrafía de la Formación Uscari (Costa Rica) con base en foraminíferos planctónicos.-Rev.Geól.Amer. Central 7:1-63
- PIZARRO, D., 1993: Los pozos perforados en Costa Rica: aspectos litológicos y bioestratigráficos.- Rev.Geól.Amer.Central 15:81-85
- PUNT, W., HOEN, P, BLACKMORE, S., NILSSON, S., 2007 & LE THOMAS, A., 2007: Glossary of pollen and spore terminology.- Review of Palaeobotany & Palynology 143: 1-81.
- RODGERS, J & HORN, S., 1996: Modern pollen spectra from Costa Rica.- Paleogeography, Paleoclimatology, Palaecology 124 :53-71
- RUDOLF, F. & AGUILAR, T., 1994: Palaeontology of an evolving island arc.-Profil 7:391-400.
- RULL, V., 2001: A quantitative palynological record from the Early Miocene of western Venezuela, with emphasis on mangroves.- Palynology 25(1):109-126.
- SANDOVAL, M. & JARAMILLO, C., 2008: Palinología de los ambientes transicionales del Mioceno de Costa Rica.- IX Congreso Geológico de América Central. San José: 175.
- SPRECHMANN, P, ASTORGA , A., CALVO, C. & FERNANDEZ, A., 1994: Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America.- Profil 7:427-433
- STACH, D., MACKOWSKY, M., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G., CHANDRA, C. & TEICHMÜLLER, R., 1982: Coal Petrology.- 535 págs. Gebrüder Borntraeger, Stuttgart.

TAYLOR, G., 1975: The Geology of the Limón Area of Costa Rica. 116 págs. Louisiana State University and Mechanical College. [Thesis PhD]

TRAVERSE, A., 2007 Paleopalynology [2^{da} ed.].- 773 págs. Springer, Dordrecht.

WOODROFFE, C & GRINDROD, J., 1991: Mangrove Biogeography: The Role of Quaternary Environmental and Sea-Level Change. - Journal of Biogeography 18 (5): 479-492.

APÉNDICE 1

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS PALINOLÓGICAS

- El peso específico por cada muestra es medido y registrado. Se prepararon 10 g por muestra.
- Se añade a la muestra una solución de 10% de HCl y luego permanece en reposo por dos horas como mínimo dependiendo la reacción con los carbonatos.
- El HCl es decantado y lavado 3 veces con agua destilada para remover los iones de calcio restantes que podrían flocular cuando se agregue el HF.
- Posteriormente se agrega HF 50% a la muestra, la cual permanece durante 24 horas.
- Se decanta el HF 50% y se añade HCl 10% nuevamente para colocarlo en baño María durante 10 min, con el objetivo de eliminar los floculados.
- Decante.
- Esta muestra se vierte en un tubo de ensayo de polipropileno de 50 ml y se centrifuga por 5 min a 2000 rpm.
- Se añade agua destilada hasta que la solución sea neutra.
- Se añade cloruro de zinc (gravedad específica de 2.0 g/cm^3) y luego se centrifuga por 20 min a 2500 rpm.
- La parte flotante es vertida dentro de un tubo de 50 ml, lavada y centrifugada 4-5 veces por 2 min a 2000 rpm.
- El residuo es transferido a un tubo de vidrio de 20 ml y así se obtiene la primera muestra para el análisis de los palinomorfos.
- El residuo es examinado para la cantidad de oxidación requerida. Se agrega ácido nítrico concentrado por 5 min en un tubo con el residuo.
- La solución es removida y las muestras se lavan tres veces hasta que la solución sea neutra.
- La muestra es lavada y centrifugada 3 veces, luego se tamiza utilizando una malla nitex de $10 \mu\text{m}$. Las fracciones tamizadas se separan con una pipeta y se dejan secar a temperatura ambiente, para posteriormente montar la lámina con una gotita de alguna resina (Bálsamo de Canadá, Permout®), Glicerina, etc).

APÉNDICE 2

**ORGANIZACIÓN SISTEMÁTICA DE PALINOFLORA DE LA FORMACIÓN RÍO
BANANO: SECCIÓN RÍO CARBÓN VOLIO Y QUEBRADA VEINTICINCO**

ESPORAS PTERIDOFITAS, BRIOFITAS Y LICOFITOS

Género *Echinatisporites* (Krutzsch, 1959)

Especie: *Echinatisporites* sp.

Lámina IA (6)

Espora mónade, simple, simetría radial, laesura trilete, forma piramidal, escultura espinosa. Diámetro ecuatorial de 18 µm y longitudinal de 20 µm.

Afinidad: Sellaginellaceae?

Género *Gemmasporites*

Especie: *Gemmasporites* sp.

Lámina IA (5)

Espora mónade, simple, simetría radial, forma esférica, laesura no es clara, escultura gemada. Diámetro ecuatorial y longitudinal de 23 µm incluyendo la ornamentación.

Afinidad: No fue posible asociarlo con alguna especie actual

Género *Laevigatasporites* (Potonié & Gelletich 1933)

Especie: *Laevigatasporites* sp.

Lámina IA (1)

Espora mónade, simple, simetría radial, forma elíptica, escultura laevigada, sin laesura, diámetro ecuatorial de 28 µm y diámetro polar de 56 µm.

Afinidad: Araceae?

Género *Psilatriteles* (Van der Hammer, 1954)

Especie: *Psilatriteles* sp.

Lámina IA (2)

Espora mónade, simple, simetría radial, heteropolar, diámetro ecuatorial de 44 µm y polar de 39 µm, laesura trilete, escultura laevigada, ámbito triangular recto con ápices subredondeados, la extensión de la laesura es larga 19 µm y termina prácticamente en los ápices.

Afinidad: Vittaraceae: Atrophyum

Especie: *Psilatriteles* sp. 1

Lámina IB (1)

Espora mónade, simple, simetría radial, heteropolar, ámbito redondeado, diámetro ecuatorial de 52 µm y polar de 78 µm, exine muy delgada, escultura laevigada, la extensión de la laesura es corta 17 µm con respecto al tamaño de la espora.

Afinidad: Vittaraceae: Atrophyum

Género *Polydiisporites* (Potonié, 1956)

Especie: *Verrucatosporites usmensis*??? (Van der Hammen, 1956)

Lámina IA (4), Lámina IB (2)

Espora mónade, simple, simetría radial, laesura monolete, ámbito redondeado de apariencia reniforme, escultura verrucada, diámetro ecuatorial 47 µm.
Afinidad: Polypodiaceae

Género *Polypodiaceiosporites* (Potonié, 1951)

Especie: *Psilatriletes peruanus* (Hoorn, 1994)

Lámina IA (3)

Espora mónade, simple, simetría radial, diámetro ecuatorial de 58 µm y polar de 41 µm, espesor de la sexina de 5 µm, laesura trilete, escultura laevigada, margo distintivo, ámbito triangular recto con ápices subredondeados.

Afinidad: Polypodiaceae o Pteridaceae ?

Esporas de hongos

Espora alargada con varias unidades Lámina IA (7),

Dyados y mónade Lámina IB (3-4)

Afinidad: Ascomycetes

POLEN DE ANGIOSPERMAS y GIMNOSPERMAS

Género *Bombacacidites* (Krutzh, 1970)

Especie: *Bombacacidites zuatensis*??? (Lorente, 1986)

Lámina II (1)

Grano mónade, simetría radial, ámbito triangular-obtuso-recto, tricolporado, colpo corto y abierto, cuasitectada, la cual varía de reticulada en el centro del grano a psilada hacia los vértices. Diámetro ecuatorial de 47 µm y longitudinal de 70 µm.

Afinidad: Bombacaceae

Especie: *Bombacacidites* sp.?

Lámina II (6)

Grano mónade, simetría radial, ámbito triangular-obtuso-convexo, tricolporado, ectocolpi costado, colpo corto y abierto, intectado, escultura entre verrucada y fosulada. Diámetro ecuatorial de 50 µm y longitudinal 56 µm.

Afinidad: Bombacaceae

Género *Clavatricolpites* (Pierce, 1961)

Especie: *Clavatricolpites* sp.

Lámina II (11)

Grano mónade, simetría radial, tricolpate, ámbito circular, ectocolpo simple de tamaño mediano, bordes rectos con terminación en punta, escultura clavada. Diámetro ecuatorial y longitudinal de 21 µm.

Afinidad: Plumbaginaceae

Género *Echitricolporites* (Van der Hammen, 1956)

Especie: *Echitricolporites spinosus* (Van der Hammen, 1956)

Lámina II (10)

Grano mónade, simetría radial, tricolporado, forma esférica, tectado, ectocolpos rectos terminados en punta, poros indistintos, escultura espinosa, espinas puntiagudas de 3 μm . Diámetro ecuatorial y longitudinal de 22 μm , incluyendo las espinas.

Afinidad: Asteraceae

Género *Lanagiopollis* (Morley, 1982)

Especie: *Lanagiopollis crassa* (Van der Hammen & Wymstra 1964)

Lámina II (4)

Grano mónade, simetría radial, tricolporado, forma esférica, ámbito circular, sexina gruesa, ectocolpo simple de tamaño mediano, endoporo costado, alargado, escultura variable entre reticulada-verrucada, tectado. Diámetro ecuatorial y longitudinal de 57 μm .

Afinidad: Pelliceraceae: *Pelliciera rhizophorae*

Género *Pachydermites* (Germeraad et al, 1968)

Especie: *Pachydermites diexderi* (Germeraad et al, 1968)

Lámina II (5), Lámina III (1-2)

Grano mónade, simetría radial, isopolar, ámbito circular, estefanoporado con 5-6 poros, aperturas irregulares, finamente perforado alrededor de los poros, exina gruesa (7 μm), intectado, escultura en el interior irregularmente verrucada. Diámetro ecuatorial máximo de 61 y longitudinal 55 μm .

Afinidad: Clusiaceae : *Symphonia Globulifera*

Género *Perfotricolpites* (González, 1967)

Especie: *Perfotricolpites digitatus* (González, 1967)

Lámina II (3)

Grano mónade, simetría radial, tricolpado, colpo largo, escultura reticulado-perforado, tectado. Diámetro ecuatorial de 45 μm y longitudinal 50 μm .

Afinidad: Convolvulaceae : *Merrenia glabra*, *M.umbellata*, *M.microcallis*

Género *Psilatricolpites* (Pierce, 1961)

Especie: *Psilatricolpites minutus*??? (González, 1961)

Lámina III (4)

Grano mónade, simetría radial, tricolpado, escultura psilada. Diámetro ecuatorial de 19 μm y longitudinal de 22 μm .

Afinidad: No fue posible asociarlo con alguna especie actual

Género *Psilabrevitricolporites* (Van der Kaars, 1983)

Especie: *Psilabrevitricolporites* sp.

Lámina II (2)

Grano mónade, simetría radial, ámbito circular, tricolporado, colpo corto, endoporo costado y ligeramente cerrado, escultura psilada, tectado. Diámetro ecuatorial y longitudinal 38 μm .

Afinidad: Bombacaceae?

Género *Psilatricolporites* (Van der Hammen, 1956)
Especie: *Psilatricolporites magniporatus* (Hoorn, 1994)

Lámina II (12)

Grano mónade, simetría radial, prolado, tricolporado, tectado, ámbito circular a triangular angular convexo, ectocolpo costado simple de tamaño mediano, poros equidimensionales, escultura psilada. Diámetro ecuatorial de 16 μm y longitudinal 23 μm .

Afinidad: Leguminosae?

Especie: *Psilatricolporites* sp.

Lámina II (7)

Grano mónade, simetría radial, tricolporado, ámbito circular a triangular angular convexo, ectocolpo simple de tamaño mediano, endoporo lalongado, escultura psilada. Diámetro ecuatorial de 22 μm y longitudinal de 28 μm

Afinida: Rhizophoraceae?

Especie: *Psilatricolporites* sp 1.

Lámina II (13)

Grano mónade, simetría radial, prolado, tricolporado, ámbito elíptico en vista ecuatorial, ectocolpo simple de tamaño mediano, terminación en punta, escultura microreticulada. Diámetro ecuatorial de 15 μm y longitudinal 27 μm .

Afinidad: Rhizophoraceae?

Especie: *Psilatricolporites* sp 2.

Lámina III (3)

Grano mónade, simetría radial, tricolporado, intectado, ámbito circular, ectocolpo pequeño endocingulum, poros equidimensionales, escultura psilada. Diámetro ecuatorial de 47 μm y longitudinal de 61 μm .

Afinidad: Rhizophoraceae?

Género *Proteacidites* (Cookson, 1950)

Especie: *Proteacidites* sp.

Lámina III (5)

Grano mónade, simetría radial, triporado, escultura psilada, ámbito triangular con ápices redondeados en vista polar, posee poros ligeramente costado. Diámetro ecuatorial de 19 μm y longitudinal de 22 μm .

Afinidad: Proteaceae

Género *Retimonocolpites* (Pierce, 1961)

Especie: *Retimonocolpites* sp.

Lámina III (6)

Grano monocolpado, escultura microreticulada, forma ovalada. Diámetro ecuatorial y longitudinal 18 μm y longitudinal de 22 μm .

Afinidad: Myristicaceae

Género *Retitricolporites* (Van der Hammen, 1956)

Especie: *Retitricolporites* sp.

Lámina II (9)

Grano mónade, simetría radial, tricolporado, forma esférica, ectocolpo simple de tamaño mediano, escultura reticulada. Diámetro ecuatorial y longitudinal 29 μm .

Afinidad: Tiliaceae?

Género *Zonocostites* (Geermeaad *et al*, 1968)

Especie: *Zonocostites* sp.

Lámina III (7-8)

Grano mónade, simetría radial, forma esférica, tricolporado, escultura psilada a microreticulada, endoapertura ecuatorialmente elongada. Diámetro ecuatorial de 19 μm y longitudinal de 22 μm .

Afinidad: Rhizophoracea

Tetradites (Van der Hammer, 1954)

Lámina II (8)

Grano tétrade, forma de cada unidad es circular. Escultura psilada, unidades desiguales. Diámetro de cada unidad es varía, pero el diámetro longitudinal mayor es de 24 μm y diámetro ecuatorial de 17 μm

Afinidad: Ericaceae

LÁMINA IA: ESPORAS DE LA SECCIÓN DEL RÍO CARBÓN VOLIO



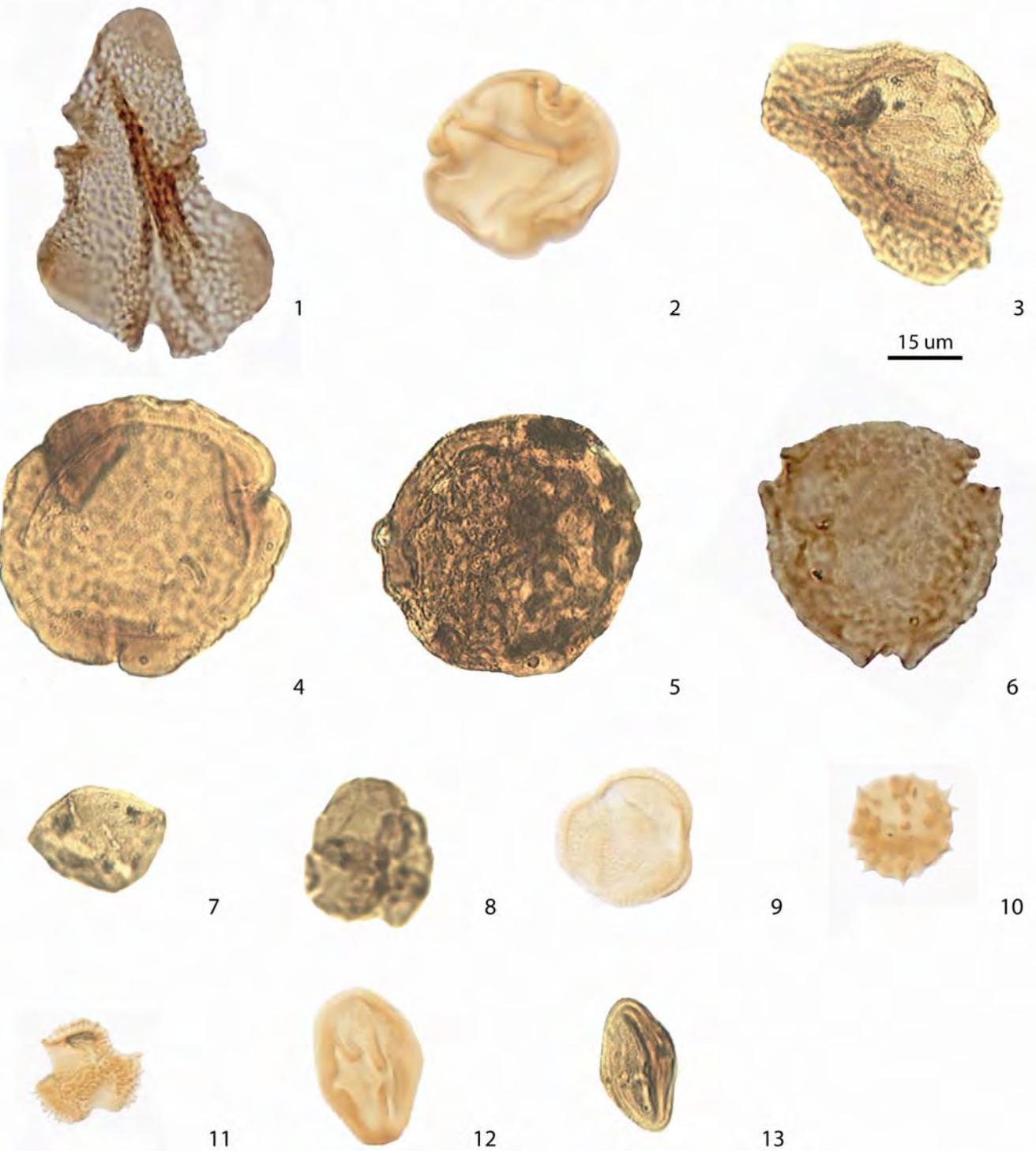
1. *Laevigatasporites* sp. (Potonié & Gelletich 1933) 2. *Psilatriteles* sp. (Van der Hammer, 1954)
3. *Polypodiaceiosporites* sp. (Potonié, 1951) 4. *Polydiisporites* (Potonié, 1956)
5. *Gemmasporites* sp. 6. *Echinatisporites* sp. (Krutzch, 1959) 7. Espora de hongo

LÁMINA IB: ESPORAS DE LA SECCIÓN QUEBRADA VEINTICINCO



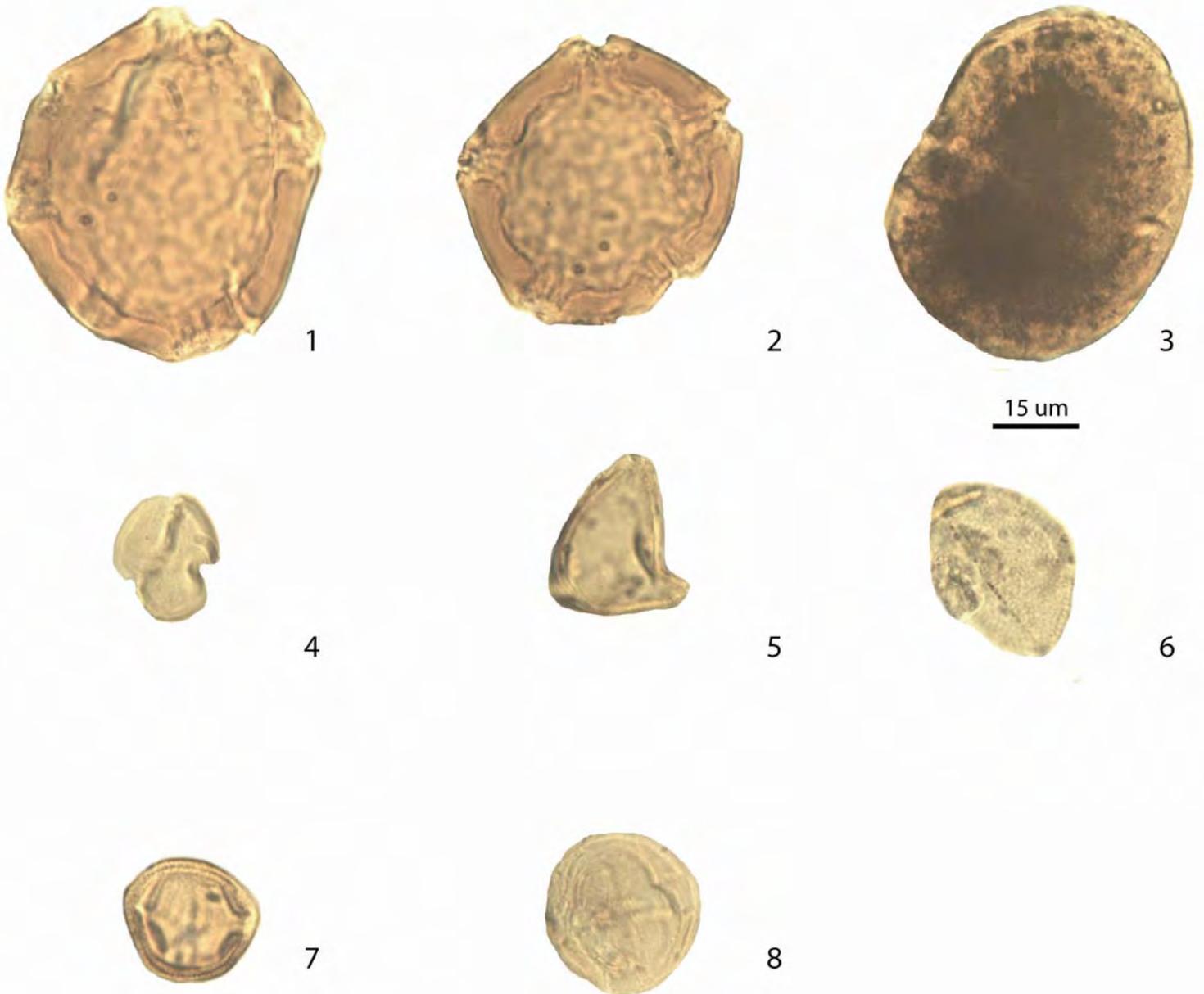
1. *Psilatriteles* sp. 1 2. *Polydiisporites* sp. (Potonié, 1956) 3, 4. Esporas de hongos

LÁMINA II:POLEN DE LA SECCIÓN RÍO CARBÓN VOLIO



1. *Bombacacidites* (Krutzch, 1970)
2. *Psilabrevitricolporites* (Van der Kaars, 1983)
3. *Perforitricolpites digitatus* (González, 1967)
4. *Lanagiopollis crassa* (Van der Hammen & Wymstra 1964)
5. *Pachydermites diexderi* (Germeraad et al, 1968)
6. *Bombacacidites?* sp.
7. *Psilatricolporites* sp.
8. Tetradites (Van der Hammer, 1954)
9. *Retitricolporites* (Van der Hammen, 1956)
10. *Echitricolporites spinosus* (Van der Hammen, 1956)
11. *Clavatricolpites* sp. (Pierce, 1961)
12. *Psilatricolporites magniporatus* (Hoorn, 1994)
13. *Psilatricolporites* sp.1

LÁMINA III: POLEN DE LA SECCIÓN QUEBRADA VEINTICINCO



1 y 2 *Pachydermites diexderi* (Germeraad et al, 1968) 3. *Psilatricolporites* sp 2. (Pierce, 1961)
4. *Psilatricolpites* (Pierce, 1961) 5. *Proteacidites* sp.(Cookson, 1950) 6. *Retimonocolpites* (Pierce, 1961) 7,8. *Zonocostites* sp. (Germeraad et al., 1968)

APÉNDICE 3

Cuadro de muestras preparadas y su calidad de contenido palinológico

Código de la muestra	Facies asociada	Sección estratigráfica	Material encontrado
AfCV-01	Lutitas negras	Carbón Volio	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen muy pobre
AfCV-02	Lutitas negras	Carbón Volio	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen pobre
AfCV-03	Lutitas negras	Carbón Volio	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen pobre
AfCV-04	Lutitas negras	Carbón Volio	Materia orgánica amorfa, de esporas de hongos, presencia esporas y polen pobre
SB-01-6-11-08	Lutita calcárea gris claro	Río <i>Sand Box</i>	Presencia de materia orgánica amorfa pobre. Ausencia de palinomorfos
SB-03-6-11-08	Lutita calcárea gris claro	Río <i>Sand Box</i>	Presencia de materia orgánica amorfa pobre. Ausencia de palinomorfos
SB-04-6-11-08	Lutita calcárea gris claro	Río <i>Sand Box</i>	Presencia de materia orgánica amorfa pobre. Ausencia de palinomorfos
SB-06-6-11-08	Arenisca calcárea gris claro	Río <i>Sand Box</i>	Presencia de materia orgánica amorfa pobre. Ausencia de palinomorfos
DQ 25-01	Carbón	Quebrada 25	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen pobre
DQ 25-02	Lutita gris claro	Quebrada 25	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen pobre
DQ 25-03	Lutita gris claro con materia orgánica	Quebrada 25	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen pobre
DQ 25-04	Tobita beige	Quebrada 25	Materia orgánica amorfa, esporas de hongos, presencia de esporas y polen pobre

APÉNDICE 4

Cuadro de ausencia y presencia de las especies encontradas en río Carbón Volio y quebrada Veinticinco

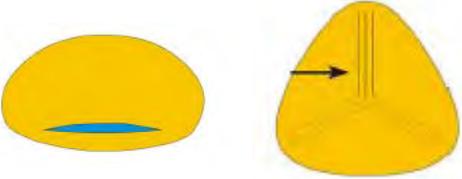
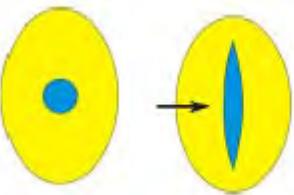
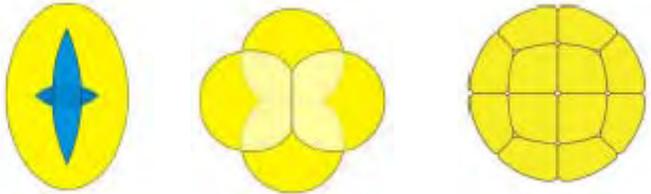
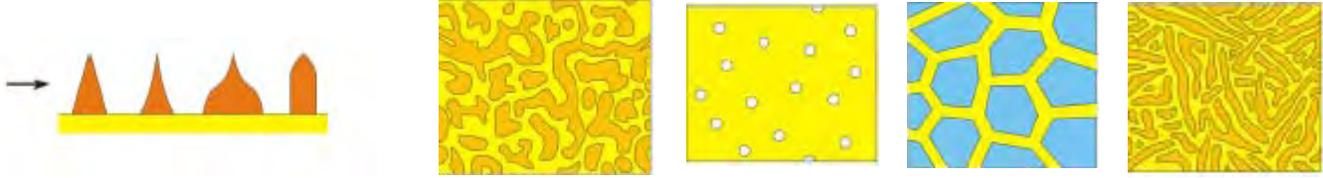
Localidad	río Carbón Volio				quebrada Veinticinco			
Código de la muestra	AfCV -1	AfCv -2	AfCv- 3	AfCV -4	DQ25-1	DQ25-2	DQ-25-3	DQ25-4
Metros desde la base	1	1,5	16	18,5	0,3	0,9	1,4	1,7
<i>Pachydermites diexderi</i>	1	0	0	0	0	1	1	1
<i>Laevigatosporites sp</i>	1	1	1	1	0	0	1	1
<i>Laevigatasporites sp</i>	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Polydiispoites sp</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Psilatricolpites sp</i>	0	1	0	1	0	1	0	0
<i>Psilatricolporites sp</i>	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Echitricolporites spinosus</i>	1	1	1	1	0	0	0	0
<i>Tetradites</i>	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Lanagiopollis crassa</i>	1	1	1	1	0	0	0	0
<i>Psilatriteles</i>	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Polypodiaceosporites</i>	1	1	0	1	0	0	0	0
<i>Perfotricolpites digitatus</i>	0	1	1	0	0	0	0	1
<i>Triporites</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Gemmasporites</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Echinatisporites</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Clavatricolpites</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Zonocostites</i>	1	0	0	0	0	1	0	1
<i>Retimonocolpites</i>	1	0	0	0	0	1	1	1
<i>Psilabrevitricolporites</i>	1	0	0	1	0	1	0	0
<i>Bombacacidites</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Esporas de hongos</i>	1	1	1	1	1	0	1	1

ANEXO 1

Descripción de la morfología básica de polen y esporas

A continuación se presenta una descripción básica de clasificación de polen y esporas, en donde se identifican las partes principales de la palinoflora y sus partes, con base en Punt *et al*, 2007.

	ESPORA	POLEN
Estructura		
Estructura		
	<p>Fig. 1. Two different systems used to describe the exine stratification.</p>	

<p>Aperturas</p>	<p>Laesura</p> <p>1: Monolete 3: Trilete</p> 	<p>Poros y colpos</p> <p>1 poro o colpo: Monoporado y/o monocolpado 2 poros o colpos: Diporado 3 poros o colpos: Triporado 4 o más: Pentaporado</p> 			
<p>Unidad polínica</p>	<p>Se refiere a la cantidad de unidades que presenta un grano.</p> <p>1: Monada 2: Diada 4: Tétrada 5 o más: Poliada</p> 				
<p>Ornamentación</p>	<p>Término general usado para describir la organización de las características</p>  <p>Echinado Escabrado Perforado Reticulado Rugulado</p>				

