



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

PROGRAMA DE POSGRADO EN  
CIENCIAS DE LA TIERRA

RECONSTRUCCIÓN DE LOS AMBIENTES DE  
DEPÓSITO Y PALEOCLIMA DE LA REGIÓN DE  
SABINAS-SALTILLO, ESTADO DE COAHUILA, CON  
BASE EN PLANTAS FÓSILES DEL CRETÁCICO  
SUPERIOR

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA

M. en C. EMILIO ESTRADA RUIZ

### JURADO EXAMINADOR

Director de tesis: Dr. Sergio Rafael Silvestre Cevallos Ferriz

Presidente: Dra. Elena Centeno García

Vocal: Dr. Francisco Javier Vega Vera

Suplente: Dr. Oswaldo Téllez Valdez

Suplente: Dr. Garland R. Upchurch Jr.



México, D.F.

Noviembre, 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

A mis queridos padres: Carmen Ruiz Jaimes  
y Eduardo Estrada Luviano por todo su cariño  
y apoyo para seguir este camino de los fósiles.  
¡¡ SON LOS MEJORES !!!

A la dueña de mi corazón y de mi vida, Patricia  
Rosales por todo su amor y paciencia durante  
este largo andar. Gracias Amorcín chiquitín.

A todos mis hermanos: Emanuel, José Natividad,  
David, Mar, Sendic, Tania, Fidel, Yiang-Qing, Pavel,  
Israel, Sandino, Camilos, Tania (nena), Jesús, Osvaldito,  
Esaú y Miguel.

A mi tío Camilo Estrada Luviano, por  
enseñarme la libertad de pensamiento y  
por ser un ejemplo de lucha.

## AGRADECIMIENTOS

A los miembros de mi jurado, por revisar minuciosa y detalladamente la tesis: Dr. Sergio, R.S. Cevallos-Ferriz por ser mi tutor y guía de esta tesis, Dra. Elena Centeno García, Dr. Francisco Javier Vega Vera, Dr. Eduardo Morales Guillaumín, Dr. Garland R. Upchurch Jr., y Dr. Oswaldo Téllez Valdez. Gracias a todos por sus valiosos comentarios.

Al Dr. Reinhard Weber (q.e.p.d) por sus excelentes comentarios durante mi proyecto de investigación, que en verdad fueron de mucha utilidad y sobre todo por ser un amigo y enseñarme el respeto a los demás.

A todos los miembros de PASAC (Paleontólogos Aficionados de Sabinas, A. C.) por todo su gran apoyo incondicional en la recolección y estancias durante 5 años. A Héctor Porras Director del Museo de Múzquiz. Además, a Felisa J. Aguilar encargada del Centro IHAH Coahuila, muchas gracias a todos por proteger el patrimonio paleontológico de Coahuila.

A las autoridades de MIMOSA, Ing. José G. Durón Candelas Director de Operaciones y Materiales Primas AHMSA, y al Ing. Martín Durán por permitirnos entrar al Tajo Block 6 a recolectar material fósil; así como a los propietarios de el Tajo El Nogalito (Múzquiz), Tajo Ing. Nerio (San Juan de Sabinas), Tajo El Mezquite (Sabinas).

A las autoridades de los municipios de Sabinas, San Juan de Sabinas y Múzquiz, por permitirnos entrar a recolectar material fósil.

Al Dr. Garland R. Upchurch, Jr. (Texas State University) por la ayuda prestada en la identificación y reconstrucción del paleoclima con las hojas fósiles.

Al M. en C. Hugo Israel Martínez Cabrera (University of Connecticut) por toda la ayuda prestada en la reconstrucción paleoclimática con base en maderas. Gracias Hugo, eres mi hermano mayor y regañón que siempre está conmigo en los buenos y malos momentos. También a tus dos lindos hijos (Irene y Mateo) y esposa (Gabriela Sánchez) que son grandiosas personas.

Al Dr. Zoltan de Cserna, por sus valiosos consejos sobre la geología de México y de mi área de estudio.

A los Dres. Ana Luisa Carreño y Jesús Alvarado, por brindarme un apoyo incondicional en esta larga etapa de mi tesis.

Al Maestro René Hernández, por acompañarme a recolectar fósiles en toda mi área de estudio.

A la Dra. María del Carmen Perilliat, Directora de la Colección Nacional de Paleontología, por instruirme de cómo se deben de cuidar y entregar los fósiles.



A la Ing. Judith Callejas Moreno, no sólo por ser mi gran amiga, sino por ser una excelente compañera en campo, muchas gracias por toda tu sabiduría que compartiste en campo conmigo. Eres grande mi estimada *Juss callejaseae*.

Dra. Elena Centeno, muchas gracias por toda la paciencia y enseñanza con respecto a la geología de mi tesis.

Al Dr. Francisco Javier Vega Vera, porque siempre estuvo en la mejor disposición para explicarme dudas sobre la Cuenca de Sabinas y Parras. Muchas gracias.

Al Dr. Mark Olson (Instituto de Biología) por todos sus buenos comentarios sobre mi tesis, que en verdad me hicieron entender muchas cosas.

A la Dra. Laura Calvillo (Instituto de Geología), por la ayuda prestada en las primeras descripciones de las hojas fósiles.

A Enoch Ortiz por ayudarme hacer láminas delgadas, que en verdad fueron muchísimas pero con resultados buenos *Enochii*.

A Rosario Flores y Francisco Montaña de cómputo del Instituto de Geología, gracias por todo su apoyo y paciencia con las computadoras que descomponía o envirulaba a cada rato.

A Magdalena Alcayde por ser no sólo una persona y amiga con quien contar, sino además por toda la ayuda prestada en la revisión del inglés de los artículos.

A Erika Enríquez, María Luisa Reyes y Gloria Alba, por tenerme paciencia en todos los papeleos relacionados con el departamento de Paleontología y del posgrado en Ciencias de la Tierra; en verdad muchas gracias.

A Berenit Mendoza (Instituto de Biología), por la toma de fotografías de microscopía electrónica de barrido.

A Sara Bonilla Meza, por ser mi mejor amiga y un pilar importante en esta etapa de mi vida; además, por estar a mi lado en todo momento. Gracias por todo tu cariño Saladim.

A mis amigos que me acompañaron al campo: Edgar Ángeles, Patricia Rosales, Judith Callejas, Rodrigo Hernández, José Juan González, Cuauhtémoc González, Ruth Zúñiga, Carlitos Castañeda, Alejandra Sainz, Liliana Arrazola, Oris Rodríguez. Muchas Gracias.

A mis amigos simpáticos y locos, pero súper locos de Paleobotánica: Alejandra Sainz, Juliana Méndez, Ana Lilia Hernández.

A todos mis grandes camaradas del Instituto de Geología, de la UNAM y de otros puntos planetarios: Berlaine Ortega (Chiki), Daniel Bolaños (Bobby), Hugo Murcia, Natalia Pardo, Carlos Ortega (Titino), Carlitros Castañeda (Cata), Julieta Rosell, José Luis Ramírez, Itzia Nieto, Emiliano Peralta, Rosalva Pérez (Ross), Mario Ramos (Mayito), Gonzalo Galaz (Gonchelas), Fabian Durán, Sandra Briceño, Valerie Pompa, César Cuapio, Lener Sequeira, Denise Avellan, Francisco Espinosa (El Grinch), Iriliana López, Antonia López, Maggie Ramírez, Alejandro Cristín, María José Núñez, Angélica Cervantes, Tania Hernández, Erika Lira.

Al Instituto de Geología, en especial al director del Instituto Dr. Gustavo Tolson, por la ayuda brindada en esta última parte de mi doctorado y al Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM, por todo el apoyo que me otorgó para mi tesis.

Este trabajo fue auspiciado por la beca del CONACYT (167138) y los proyectos de investigación del CONACYT (45065), Apoyos Integrales para la Formación de Doctores en Ciencias 2006, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
Objetivo general.....	4
Material y métodos generales.....	6
Literatura citada.....	9
<b>2. Capítulo I. SEDIMENTODOLOGÍA, ESTRATIGRAFÍA DE LA REGIÓN DE SABINAS-SALTILLO, ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO</b> .....	11
Cuenca de Sabinas. Formación Olmos (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano).....	13
Cuenca de Parras. Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío).....	32
<b>3. Capítulo II. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN TAXONÓMICA DE LAS PLANTAS FÓSILES DE LAS FORMACIONES CERRO DEL PUEBLO (CAMPANIANO TARDÍO) Y OLMOS (CAMPANIANO TARDÍO-MAASTRICHIANO TEMPRANO)</b> .....	51
<b>Formación Cerro del Pueblo</b> .....	52
<i>Phytolaccaceae infructescence from Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous (late Campanian), Coahuila, Mexico</i> .....	53
<i>Upper Cretaceous aquatic plants from Northern Mexico</i> .....	60
<b>Formación Olmos</b> .....	67
<i>Fossil woods from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico</i> .....	68
<i>Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (late Campanian-early Maastrichtian), Coahuila, Mexico</i> .....	79
<i>Nelumbonaceae from the Olmos Formation (upper Campanian-lower Maastrichtian) and McRae Formation (Maastrichtian)</i> .....	126
Otras hojas.....	160
<i>Palmoxylon enochii sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México</i> .....	211
<b>4. Capítulo III. DETERMINACIÓN PALEOCLIMÁTICA Y DE LAS CONDICIONES PALEOAMBIENTALES CON BASE EN HOJAS Y MADERAS DE LA FORMACIÓN OLMOS</b> .....	220
<i>Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian–Lower Maastrichtian), Coahuila, México: A preliminary Report</i> .....	221
Reconstrucción paleoclimática – paleoambiental con base en caracteres anatómicos de las maderas de la Formación Olmos.....	233
<b>5. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	250
<b>Anexo 1. Mapa geológico</b>	

## RESUMEN

En el norte de México durante el Cretácico Superior (ca. 73.5 Ma), a lo largo de la costa Oeste del mar epicontinental, se desarrollaron una serie de deltas entre los que crecieron abundantes y diversas angiospermas. Las plantas objetivo del presente estudio, y el escenario en el que éstas se desarrollaron están contenidos en dos formaciones geológicas. La primera corresponde con la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), que aflora en la Cuenca de Parras y representa un delta desarrollado en una amplia planicie costera, donde se formaron sub-ambientes acuáticos y sub-aéreos ricos en plantas. Más hacia el Norte, en la Cuenca de Sabinas, se localiza la segunda, que corresponde a la Formación Olmos (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano) y representa un sistema deltaico-fluvial. En dicha formación fue posible identificar, con base en el estudio de sus litofacies y contenido fósil, cuatro sub-ambientes de depósito: 1) la litofacies A, rica en carbón y que sugiere un ambiente de depósito en zonas pantanosas de circulación restringida. 2) la litofacies B de lutitas y areniscas que puede representar ambientes de planicies de inundación y/o lagunas con circulación abierta. 3) un ambiente fluvial probablemente de ríos trezados, como lo sugiere la geometría de las barras arenosas y rellenos de canales que conforman la litofacies C. 4) por último las areniscas con estratificación cruzada de la litofacies D, pueden interpretarse como relleno de canales y barras laterales depositadas en un ambiente de ríos meándricos.

Se recolectaron en las dos formaciones alrededor de 500 ejemplares de hojas, maderas, frutos y semillas. Para la Formación Olmos se identificaron 10 nuevas plantas con base en sus maderas, cinco de ellas nuevos géneros y una nueva especie de tallo de palma. Así como 38 tipos de plantas con base en sus hojas, resaltando la presencia de un nuevo género y dos especies. De la Formación Cerro del Pueblo se identificaron, con base en frutos y semillas, 3 nuevas plantas, correspondiendo a un nuevo género. Además, de la Formación Olmos se realizó la reconstrucción paleoclimática a partir del análisis de fisonomía foliar y anatomía del xilema secundario de la madera; para esto se utilizaron diferentes ecuaciones de regresión simple y múltiple. Las hojas sugieren un estimado de Temperatura

Media Anual (TMA) de 20-23°C, Temperatura del Mes más Frío (TMF) menor a 10° C y Precipitación Media Anual (PMA) de 1.5 a 3 m. De manera semejante las maderas sugieren que la TMA fue de 21.7-23.7°C, y que la PMA tuvo un valor de 4 m. Ambos análisis apoyan que la flora de la Formación Olmos representa una selva paratropical, sugiriendo que en el área se presentó el clima más húmedo registrado para el Campaniano-Maastrichtiano del sureste de EE.UU. y el sur del Western Interior. Estas dos floras evidencian que desde el Cretácico Superior en esta zona geográfica ya se habían establecido gran diversidad de familias de plantas que probablemente jugaron un papel importante en el desarrollo de floras del Cenozoico y en la configuración de la flora actual de México. Además sugieren que la diversidad actual tiene una larga historia que comienza desde el Cretácico.

## **ABSTRACT**

In northern Mexico during the Late Cretaceous (ca. 73.5 Ma), along the west coast in the Epicontinental Sea, there were a series of deltas where with a rich and diverse angiosperms flora. The plants studied here and its depositional environments correspond to two different geologic formation. The first one is the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian), which outcrops in the Parras Basin, and represents a delta developed in a wide coastal plain, where sub-aquatic and sub-aerial environments contained a rich assemblage of aquatic plants. Further north, in the Sabinas Basin, is the Olmos Formation (late Campanian-earlier Maastrichtian), which represents a fluvial-deltaic system. In this, Formation was possible to identify, based on the study of their lithofacies and fossils, four depositional sub-environments: 1) The lithofacies A, is rich in coal, which suggest it corresponds to a swampy areas with restricted circulation. 2) The lithofacies B shale and sandstone that may represent floodplain environments and/or lagoons with open circulation. 3) is a fluvial environment, probably braided rivers, as suggested by the geometry of the sand bars and channel fills that make up the lithofacies C. 4) Finally the sandstones with cross-stratified present in lithofacies D can be interpreted as channel stuffing and sidebars deposited in a meandering river.

In the two formations around 500 leaves along with woods, fruits and seeds, were collected in the two formations. For Olmos Formation 10 new plants based on their woods, including five new genera and one new species of palm stems have been identified. Other 38 plant types based on their leaves have been described. The presence of a new genus and two species for the Olmos Formation is proposed based on this material. Three species of the Cerro del Pueblo Formation were identified based on reproductive structures, each corresponding with a new genus. In addition, a paleoclimatic parameters were estimated for the Olmos Formation based on leaf physiognomy and anatomy of secondary xylem. The used simple and multiple regression equations suggest an estimated mean annual temperature (MAT) from 20-23°C, cold month mean temperature (CMMT) of less than 10°C and mean annual precipitation (MAP) from 1.5 to 3 m, based on leaf data. Similarly, wood anatomy suggests an MAT of 21.7-23.7°C, and a MAP value of 4 m. Both analyses support that the flora of the Olmos Formation represents a paratropical forest, suggesting that the area had the wetter climate during Campanian-Maastrichtian time in south-eastern U.S. and the south Western Interior. These two Upper Cretaceous floras suggest the establishment of a large diversity, that probably played an important role in the development of the Cenozoic and extant floras of Mexico. Besides, they are evidence that present diversity has a long history whose accumulation started at least during the Upper Cretaceous.

## **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

Los estudios geológicos y paleontológicos, en particular los trabajos estratigráficos, sedimentológicos, paleobotánicos, sistemáticos biogeográficos y/o filogenéticos, representan una herramienta insustituible que proporciona datos sólidos para la reconstrucción de la evolución y del paisaje mexicano a través del tiempo geológico. La diversidad de la flora que actualmente presenta México es producto de la evolución biológica de las plantas que han crecido a lo largo de la historia en lo que hoy es el territorio mexicano (Estrada-Ruiz et al., 2008). Esta evolución está íntimamente ligada a procesos geológicos que han dado lugar al relieve y configuración actual del país, y a los fenómenos climáticos que han jugado un papel importante de selección. Para entender como interactúan estos fenómenos geológicos y biológicos, la paleobiología es una herramienta insustituible porque ella integra información de los ambientes y de tipos de vida del pasado, así como manifestaciones de formas ya no existentes (Poole, 2000). En un contexto global, la paleontología permite conocer tanto a los organismos del pasado, como a partir de estudios comparativos con organismos recientes, las condiciones climáticas, y los escenarios en que ellos vivieron. En los últimos veinte años el conocimiento de la geología y paleontología-paleobiología en México ha ido en aumento en forma importante y ha ayudado a entender mejor la diversidad y complejidad de formas de vida y escenarios desarrollados en México a partir del Cretácico Superior, sin embargo, a un quedan muchas localidades por estudiar.

Para lograr el entendimiento de la diversidad florística, se ha tenido que recurrir a la geología y paleontología. La paleontología, y en este caso particular la paleobotánica, a través de la identificación taxonómica y de inferencias basadas en los registros que los organismos dejaron a su paso sobre la Tierra, proporcionan evidencia no sólo de las familias botánicas y ambientes que se desarrollaron en el pasado, sino que permiten entender formas y mecanismos de asociación, factores de selección promotores de diversificación/radiación y extinción etc. Entonces, el conocimiento taxonómico es importante porque con él se puede: a) determinar y reconocer como se integraban las paleocomunidades, b) analizar cómo los caracteres se manifestaban en los diversos escenarios

geológicos, c) entender y fundamentar el uso de los organismos o sus partes en los estudios ecológico/ambientales del pasado, d) definir diferentes métodos para conocer parámetros climático.

Estos nuevos avances han dado paso al replanteamiento de hipótesis mejor fundamentadas de los mecanismos que han hecho del México actual una de las regiones megadiversas desde el punto de vista florístico de la más importantes del mundo.

## **Contenido principal de la tesis en capítulos**

### **Capítulo I**

La conformación del paisaje geológico y el ambiente del norte de México durante el Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano) fue distinto a lo actual. Para ese tiempo estaba presente un mar epicontinental que recorría toda la parte central de Estados Unidos y noroeste de México. La formación de esta gran zona se debió a la subducción de la placa Pacífica por debajo la de Norteamérica, causando la formación de montañas hacia el oeste de Estados Unidos y en México la Sierra Madre Oriental, que después fueron el aporte de sedimentos para la formación de varias cuencas como la de San Juan (Nuevo México), la zona continental del Big Bend (Texas), Cuencas de Sabinas y Parras (Flores-Espinoza, 1989). En la Cuenca de Sabinas en la región de Sabinas-Múzquiz, se encuentran afloramientos de la Formación Olmos. Esta se divide en dos grandes sistemas, hacia la base se distingue un sistema deltaico, en donde se encuentran todas las hojas y frutos, y representa un ambiente costero, con zonas muy pantanosas y lagunas de agua tranquilas; en otras áreas se formaron planicies de inundación. Hacia la cima de la columna, donde se encuentran las maderas, se evidencia un sistema fluvial con planicies de inundación (Flores-Espinoza, 1989; Estrada-Ruiz et al., 2008).

Por otra parte, la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío) aflora al sur del estado de Coahuila dentro la Cuenca de Parras. En ella se ha descrito frutos e infrutescencias, flores y semillas preservados por los procesos de



permineralización (Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez-de la Rosa et al., 1998; Calvillo-Canadell y Cevallos-Ferriz, 2007; Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, 2007; Cevallos-Ferriz et al., 2008; Estrada-Ruiz et al., 2009; Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, en prensa). La Formación Cerro del Pueblo se depositó en una amplia planicie costera, pequeños canales, y tierras húmedas ricas en plantas que se desarrollaron en pantanos o zonas con lagunas (McBride et al., 1974; Eberth et al., 2004); además, se presentan condiciones marinas someras que se extendían hasta lo que ahora es el norte de Saltillo y Monterrey.

## Capítulo II

La investigación de los procesos históricos que integraron la vegetación requiere principalmente del conocimiento de la taxonomía y el escenario geológico donde crecieron las plantas fósiles. El entendimiento de las familias de plantas que existieron en el pasado nos proporcionan datos que han permitido reconstruir el ambiente en donde crecieron las plantas que hoy recolectamos como fósiles (Wolfe y Schorn, 1989; Poole, 2000). Estos trabajos han realizado aproximaciones taxonómicas y geológicas y han discutido el ambiente en que se desarrollaron. En este capítulo se describe a detalle todas las plantas de angiospermas que se recolectaron en los últimos cuatro años. Se recolectó 10 tipos de frutos, infrutescencias y semillas (Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, 2007; Cevallos-Ferriz et al., 2008; Estrada-Ruiz et al., 2009), 40 nuevos tipos de hojas, siendo las angiospermas las que dominaron, diez tipos de maderas de eudicotiledóneas, como parientes de los encinos y Malvaceae s.l. (Estrada-Ruiz et al., 2007, 2008; Estrada-Ruiz et al., sometido) así como una morfoespecie de *Palmoxyton* (Palmae) (Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, en prensa). Estas son las localidades del Cretácico Superior con mayor diversidad de plantas de angiospermas cretácicas para México y del sur de América del Norte hasta ahora conocidas. Potencialmente son dos zonas de importancia para estudios paleobotánicos, geológicos, paleogeográficos, paleoecológicos y paleoambientales y donde se podrá someter a pruebas el actualismo biológico a través de la reconstrucción taxonómica y paleoclimática con base a caracteres biológicos y geológicos en un

mismo sitio. En pocas áreas del mundo se tiene localidades tan diversas de este material fósil. Por esta razón se busca documentar toda la paleodiversidad a través de sus fósiles y proponer una reconstrucción paleoambiental.

### **Capítulo III**

Se abordó a detalle la reconstrucción paleoclimática que se realizó con base en caracteres anatómicos y morfológicos, siendo una herramienta que ha sido poco explorada en México. Desde hace mucho tiempo se ha visto que el clima tiene una estrecha relación con los caracteres morfológicos y anatómicos de las plantas, además, esta relación puede determinar sus ciclos de vida, morfología y fisiología. Los fósiles pueden ser usados para las interpretaciones paleoambientales y tendencias sistemáticas. Cada órgano o parte de la planta nos da información que puede ayudar a entender la paleoecología y paleoclima de determinadas regiones (Poole, 2000). Los caracteres anatómicos y morfológicos de las plantas dan información que se puede usar para determinar las especializaciones y por otro lado las adaptaciones ambientales, por lo tanto, las plantas son el resultado parcial de esta selección climática en diferentes linajes de una región geográfica determinada. Los estudios paleobotánicos permiten entender cualitativa y cuantitativamente variables climático-ambientales empleando diferentes órganos vegetativos. Hoy se conoce que diferentes caracteres anatómicos representan adaptaciones para enfrentar los cambios en el ambiente y el clima (Poole, 2000).

### **OBJETIVO GENERAL**

Conocer la diversidad florística del pasado del norte de México y entender como ha ido cambiando a partir de las características de la flora fósil y la reconstrucción de los ambientes de depósito, siendo las localidades Formación Olmos y Formación Cerro del Pueblo un elemento portador importante para entender este proceso evolutivo. Además, se discutirá la forma en que las plantas cretácicas de dichas localidades se adaptaron, o respondieron a las exigencias del medio en que se desarrollaron. Se confrontará la interpretación de los caracteres

morfo-anatómicos como instrumentos adaptativos de las plantas con flor de las localidades en estudio, ya que al comparar el escenario de las floras cretácicas de las dos formaciones geológicas con otro actual aparentemente el mismo carácter o forma indica aspectos distintos del ambiente. Para cumplir este objetivo se realizaron los siguientes objetivos particulares:

- 1.Descripción e identificación taxonómica de las estructuras reproductivas y vegetativas.
- 2.Utilización de diferentes métodos de fisonomía foliar y de la madera, e.g., regresión simple (margen y tamaño de la hoja) y regresión múltiple y el pariente vivo más cercano para las reconstrucciones paleoclimáticas.
- 3.Estratigrafía y reconstrucción de las litofacies para conocer el ambiente de depósito en donde se desarrollaron las plantas fósiles.
- 4.Mapa geológico de la región de Múzquiz-Sabinas para conocer la distribución de las formaciones geológicas.

## **UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El trabajo se realizó en dos formaciones geológicas del estado de Coahuila. La Formación Olmos (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano) que se localiza en la Cuenca de Sabinas y el trabajo se centró en el área de Sabinas-Múzquiz entre los 25°00' a 30°50'N y 101°30' a 101°00' W. La segunda área de estudio es la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío) y se encuentra aflorando al oeste, norte y este de Saltillo, dentro de la Cuenca de Parras, la localidad donde se realizó el trabajo fue en la zona del Almacigo que se localiza al oeste a 44 km de Saltillo entre 25°35'N a 101°19'W. Ambas localidades se llegan a través de la carretera federal número 57 que tiene su origen en la Ciudad de México y con destino a Piedras Negras Coahuila (Fig. 1).

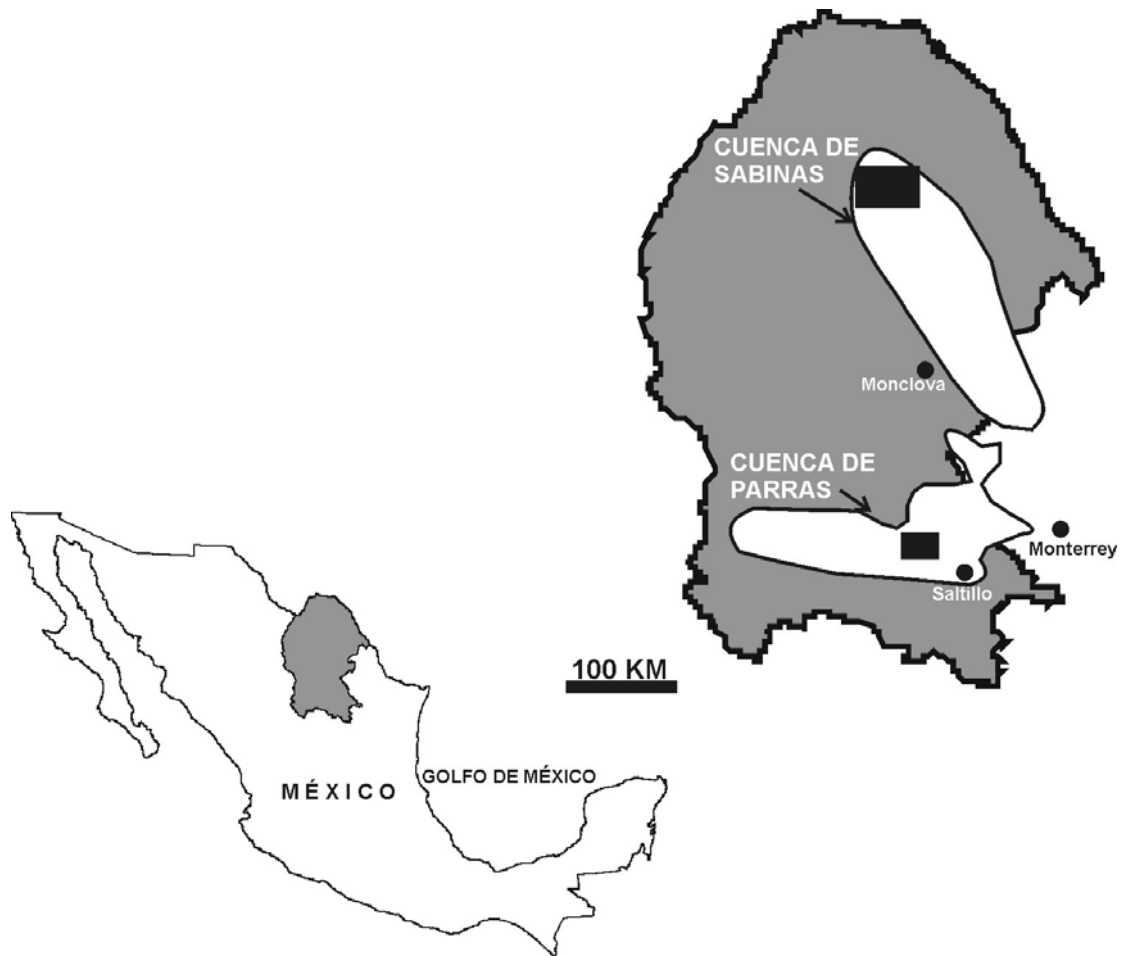


Figura 1. Localización de las cuencas de Parras y Sabinas, los cuadros en color negro son las áreas estudiadas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS GENERALES**

Se realizaron varias salidas al campo con una duración de uno a dos meses en diferentes periodos durante cuatro años. Todo el trabajo de descripción e identificación del material fósil se hizo en el Laboratorio de Paleobotánica en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. De la Formación Olmos se describieron un total de 36 tipos de hojas de angiospermas, 10 maderas de dicotiledóneas y una de monocotiledónea (capítulo II); de la Formación Cerro del Pueblo se describió un total de 4 estructuras reproductivas

(capítulo II). Se realizó un estudio anatómico detallado de hojas, maderas, frutos, semillas, describiendo las estructuras internas y midiendo los tamaños celulares. Para el estudio de madera, frutos y semillas fósiles se utilizó la técnica de lámina delgada; los fósiles fueron cortados o seccionados en diferentes planos. Para esto, se utilizó una cortadora con disco giratorio con punta de diamante marca Buehler. Ya cortadas las muestras, se pulieron en la cara a pegar con abrasivo del 400 y 600 marca Buehler; la muestra pulida se pegó en el portaobjetos con pegamento térmico marca Termoplastik. La muestra resultante fue desbastada con abrasivos más finos hasta quedar una película de 20 a 30 micras de grosor que permita el paso de la luz del microscopio para su observación. Las observaciones y dibujos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Paleobotánica, Instituto de Geología, UNAM, utilizando dos tipos de microscopio: un microscopio óptico Olympus modelo BH-2 (para las observaciones detalladas) y un microscopio estereoscópico Olympus modelo SZH (para observaciones de la morfología externa). Para la toma de las fotografías se utilizará una cámara para fotomicrografía Olympus modelo PM-10ADS. Además, se hicieron observaciones en el microscopio electrónico de barrido marca Jeol, modelo C-35AD-4 del Instituto de Biología, UNAM. Para la identificación de las maderas, frutos y semillas se hizo una amplia revisión bibliográfica, así como consultas directas a especialistas; además, se utilizaron claves computarizadas como DELTA, FAMEX, MEKA 1.3 y GUESS. También se hicieron observaciones de ejemplares de herbario en el Herbario Nacional (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM, Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM y en el herbario de la University of Connecticut (The George Safford Torrey Herbarium [CONN]), USA.

Se midieron columnas estratigráficas a detalle en diferentes localidades de la Formación Olmos y una en la Formación Cerro del Pueblo. Se buscaron afloramientos de fácil acceso y los datos de las columnas estratigráficas que se registraron fueron: el espesor de cada uno de los estratos, la geometría del estrato, el tipo y composición litológica, el tamaño del grano y/o variación granulométrica, las estructuras sedimentarias y el contenido fósil. La parte de

campo estuvo asesorada por la Dra. Elena Centeno, Ing. Judith Callejas-Moreno, M. en C. Edgar Ángeles principalmente en la parte de estratigrafía y sedimentología. De las muestras recolectadas se realizaron láminas delgadas, cuya técnica consiste en cortar la roca al tamaño del portaobjetos, para después de montarla en éste con resina epóxica y, pulirla con abrasivos de silicón hasta logran un espesor de 30  $\mu\text{m}$ . De cada lámina se fotografiaron las características más relevantes y se realizó una descripción petrográfica.

Con la información estratigráfica y la observación de texturas, estructuras primarias y eventos característicos marcados en la secuencia litológica, así como por el tipo de roca, se definieron diferentes litofacies, para reconstruir cada evento sedimentológico, y así conocer la historia y los procesos de sedimentación. La interpretación de las facies se respaldó con consulta de publicaciones especializadas, comparación con ambientes modernos y, a través de consulta a especialistas.

Para la reconstrucciones paleoclimáticas se utilizaron maderas y hojas a las que se le aplicaron diferentes métodos estadísticos, tales como A) el pariente vivo más cercano, B) análisis de correlación o morfológico estructural (en este análisis se observó qué caracteres morfológicos y anatómicos están relacionados con variables de temperatura) y C) análisis de componentes principales (ACP) para comparar las características de las asociaciones actuales (e.g. Selva Alta Perenifolia, Selva Mediana, Bosque Mesófilo de Montaña) con la flora de la Formación Olmos, y obtener información sobre que asociación ambiental de la comunidad fósil se desarrolló. La reconstrucción paleoclimática se realizó con la determinación e identificación de las hojas de angiospermas. Las primeras descripciones taxonómicas se realizaron en el Laboratorio de Paleobotánica, Instituto de Geología, UNAM con la ayuda prestada por la Dra. Laura Calvillo. Las identificaciones taxonómicas de las hojas se realizó durante una estancia académica en el laboratorio del Dr. Garland R. Upchurch Jr., *Department of Biology, Texas State University, USA*. De los resultados obtenidos con el Dr. Garland R. Upchurch Jr. se publicó un artículo y se sometió otro. La parte de la

reconstrucción paleoclimática con maderas fósiles se realizó durante una estancia académica con el M. en C. Hugo Israel Martínez-Cabrera; para el trabajo sobre plantas acuáticas se realizó una estancia con el Dr. Donald Les, ambas visitas se realizaron en el *Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, USA*.

## LITERATURA CITADA

- Calvillo-Canadell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Reproductive structures of Rhamnaceae from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Coahuila) and Coatzingo (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. *American journal of botany* 94: 1658-1669.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Estrada-Ruiz, E. y Pérez-Hernández, B.R. 2008. Phytolaccaceae infructescence from the Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous (late Campanian), Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany* 95(1): 77-83.
- Eberth, D.A., Delgado-de Jesús, C.R., Leberkno, J.F., Brinjmán, D.B., Rodríguez-de la Rosa, R.A. y Sampson, S.D. 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21: 335-352.
- Estrada-Ruiz, E., y Cevallos-Ferriz, S.R.S. (en prensa). *Palmoxyton enochii* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México. *Ameghiniana*.
- Estrada-Ruiz, E., Calvillo-Canadell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2009. Upper Cretaceous aquatic plants from Northern Mexico. *Aquatic Botany* 90: 282-288.
- Estrada-Ruiz, Emilio., Upchurch, G.R. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian-Lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: a preliminary report. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 58: 273-283.

- Estrada-Ruiz, E., y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Infructescences from the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian), Coahuila, and El Cien Formation (Oligocene-Miocene), Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 168(4): 507-519.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145: 123-133.
- Flores-Espinoza, E. 1989. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico. Ph. Dissertation. University of Texas at Austin, 315 p.
- McBride, E.F., Weidei, A.E., Wolleben, J.A. y Laudon, R.C. 1974. Stratigraphy and structures of the Parras and La Popa basins, northeastern Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 85: 1603-1622.
- Poole, I. 2000. Fossil angiosperm wood anatomy: its role in the reconstruction of biodiversity and palaeoenvironment. *Botanical Journal of the Linnean Society* 134: 361-381.
- Rodríguez-de la Rosa, R. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1994. Upper Cretaceous Zingiberelian fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 155: 786-805.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Cevallos-Ferriz, S.R.S. y Silva-Pineda, S. 1998. Paleobiological implications of Campanian coprolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 142: 231-254.
- Wolfe, J.A. y Schorn, H.R. 1989. Paleoecologic, paleoclimatic, and evolutionary significance of the Oligocene Creede flora, Colorado. *Paleobiology* 15: 180-198.



## **2. CAPITULO I**

---

### **GEOLOGÍA**

#### **SEDIMENTODOLOGÍA, ESTRATIGRAFÍA DE LA REGIÓN DE SABINAS-SALTILLO, ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO**

**Cuenca de Sabinas. Formación Olmos (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano)**

**Cuenca de Parras. Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío)**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Marco geológico**

Durante el Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano) en el norte de México en el estado de Coahuila se desarrollaron procesos de transgresión y regresión que dieron lugar a una serie de deltas dentro del Western Interior, en el margen del mar epicontinental, estos deltas formaron grandes bahías y golfos. Los deltas se depositaron dentro de dos cuencas sedimentarias principales la Cuenca de Parras y Cuenca de Sabinas, estas cuencas de ante-país se localizan al norte de la Sierra Madre Oriental (Eguiluz, 2001).

En estos ambientes deltaicos se formaron grandes planicies costeras producto del depósito de detritus, de rocas de origen volcánico provenientes del noroeste, oeste, sur de México y que se depositaron en grandes áreas a lo largo del mar epicontinental. Estos depósitos iniciaron en el Santoniano, y eventualmente formaron los rellenos de las Cuencas de Sabinas (área de Monclova-Piedras Negras), Cuenca de Parras y de La Popa (McBride y Caffey, 1979; Flores Espinoza, 1989) (Fig. 1).

Hacia el noroeste de Coahuila, se localiza la Cuenca de Sabinas, cuyo relleno está compuesto por rocas cretácicas de origen marino, aunque en la parte superior de la cuenca hay rocas de origen continental y, particularmente en la Región Carbonífera, se localiza una serie de formaciones que van del Cretácico Superior al Eoceno (Flores-Espinoza, 1989; Vega et al., 2008), en la Región Carbonífera las rocas del relleno de la cuenca comprenden a las formaciones Upson Clay (Campaniano), San Miguel (Campaniano tardío), Olmos (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano), y Escondido (Maastrichtiano). En esta región la cuenca se divide en siete subcuencas, las subcuencas: Sabinas, Múzquiz, Lampacitos, Adjuntas, Monclova, San Patricio y Lampacitos (Fig., 1). El trabajo de tesis se hizo principalmente en las subcuencas de Sabinas y Múzquiz en la región Sabinas-Múzquiz, la investigación se llevó en la Formación Olmos. Actualmente es la que contiene la mayor diversidad de plantas de angiospermas del Cretácico Superior para México.

Por otra parte, la cuenca de Parras fue definida por vez primera por Bose (1923); está formada por un paquete de rocas sedimentarias con, aproximadamente 4000 m de espesor (Vega-Vera et al., 1989). En ella, se encuentran siete formaciones, que de forma ascendente son: Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), Cerro Huerta (Maastrichtiano), Cañón del Tule, Las Imágenes, Cerro Grande, Las Encinas y Rancho Nuevo (Murray et al., 1962). La mayor parte de las formaciones de la cuenca son de edad Maastrichtiana, fechadas con base en el bivalvo *Exogyra costata* Say y el cefalópodo *Sphenodiscus pleurisepta* Conrad (Boyd, 1959; McBride et al., 1974).

## **DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS ESTUDIADAS**

Las unidades que se describen a continuación están representadas en el mapa geológico de 1:50,000 del área de Sabinas (Sabinas-Múzquiz) como anexo 1. Para la parte de la Formación Cerro del Pueblo, sólo se midió una columna estratigráfica en donde se han recolectado plantas fósiles.

### **CUENCA DE SABINAS (área de Sabinas-Múzquiz)**

#### **Formación Upson Clay (mapa geológico, anexo 1)**

**Definición.** La sección tipo de esta formación se localiza en una localidad de una oficina postal, en Maverick County, Texas (Dumble, 1892), donde tiene un espesor de 170 m. Para el área de México, Robeck et al. (1956) describen a esta secuencia sedimentaria en el área de Monclova – Sabinas, nombrándola arcilla Upson. Ellos la describen como una secuencia compuesta principalmente de lutitas con intercalaciones limolitas y areniscas.

**Composición.** Es una secuencia de rocas sedimentarias formada principalmente por lutitas negras, limolitas grises y oscuras, y en algunas zonas se presenta estratos lenticulares de arenisca, menor a un metro de espesor (McBride y Caffey, 1979). El espesor de las areniscas aumenta cerca del contacto con la Formación San Miguel (Flores Espinoza, 1989). El color negro en las lutitas es debido a la abundancia de materia orgánica.

**Edad.** Se ha sugerido una edad del Campaniano temprano con base en foraminíferos planctónicos (Robeck et al., 1956).

**Espesor y relaciones de contacto.** Para el área de Múzquiz-Sabinas, Robeck et al. (1956) midieron distintos afloramientos dando un espesor entre 42 m en la sección El Cedral, 96 m en la sección Los Piloncillos y 127 m en un pozo artesano de Nueva Rosita. Flores Espinoza (1989) midió cerca de 700 m de espesor en la localidad del río Sabinas. Robeck et al. (1956) determinaron con base en foraminíferos en la Sección El Cedral el contacto entre la Fm. Upson y la Fm. San Miguel. En las observaciones de campo no se logró determinar el contacto de estas dos formaciones geológicas. Por otra parte, Flores Espinoza (1989) observó el contacto en la localidad de Sabinas Creek (Loc. 5) sobre el flanco norte de la Sierra Hermosa, el contacto más neto.

En el área de la presente tesis es Sabinas – Múzquiz, esta formación geológica aflora muy poco; se logró observar cerca de la sierra de Santa Rosa, en el camino a El Cedral, sobre la carretera a Piedras Negras y en el afluente Salinillas, sin medir el espesor.

**Ambiente de depósito.** Esta Formación geológica formó parte de un prodelta, hay varias características para su definición, como la presencia de una rápida depositación de estratos de arenisca, depósitos de rampa (slump), depósitos de flujo de escombros y estructuras de “ball” y de almohadillas. Además, estratigráficamente está debajo de la Formación San Miguel que forma parte del frente deltaico (Flores Espinoza, 1989).

### **Formación San Miguel (mapa geológico, anexo 1)**

**Definición.** Dumble (1892) da el nombre de Formación San Miguel a una secuencia de arenisca fina a media, arenisca fosilífera con intercalaciones de arenisca y limolita. McBride y Caffey (1979) interpretan estas intercalaciones el frente de bahías, canales. Robeck et al. (1956) introducen el nombre de Formación San Miguel para rocas que están constituidas por lodolitas que cambian gradualmente hacia arriba a limolitas sin estratificación y algunas

areniscas estratificadas, con varias especies de fósiles marinos del final del Campaniano.

**Composición.** La Formación San Miguel está compuesta principalmente por estratos de arenisca media a fina, con algunas intercalaciones de lutitas y limolitas. Robeck et al. (1956) con base en la litología, la dividen en cinco zonas. Zona 1. Concreciones fosilíferas, con 39 metros de espesor. Zona 2. La zona inferior de limolita estratigráfica tiene 45 metros de espesor, comprende desde el estrato más bajo de limolita masiva hasta la base de la arenisca. Zona 3. La zona superior de limolita tiene 68 m de espesor, y está compuesta de limolita sin estratificar, con algo de arenisca y lutítica interestratificada con limolita maciza. Zona 4. La zona de limolita sin estratificar, tiene 87 m de espesor y está oculta en su mayor parte. Zona 5. La zona de arenisca diastratificada alcanza 38 m de espesor y consiste de arenisca de color gris claro, muy diastratificada, con grano fino a mediano mal clasificado.

**Edad.** La edad sugerida ha sido del Campaniano porque contienen de diversos fósiles índice. Por ejemplo, Imlay (1936), describió a *Ostra saltillensis* Böse considerada del Campaniano. Por otra parte, con base en foraminíferos prueban que hay estratos del principio y final del Campaniano (Robeck et al., 1956). Sugiriendo una edad del Campaniano tardío.

**Espesor y relaciones de contacto.** La Formación San Miguel varía en espesor de acuerdo al autor o autores. Robeck et al. (1956) en la sección El Cedral midieron 266 m de espesor y en la sección Los Pilloncillos 271 m, aunque piensan que el espesor es mayor. En contraste, Flores Espinoza (1989) midió solamente 40 m. En el presente trabajo se midió una sección de cerca de 250 m de espesor, a través del afluente Palaú, constituida principalmente por arenisca con estratificación paralela de uno hasta 7 m de espesor. En algunas zonas se observaron galerías de invertebrado, carpetas de conchas, al sureste de Rancherías se encontraron amonites. En cuanto a estructuras sedimentarias se encontraron las tipo plato (Flores Espinoza, 1989). Con respecto a las relaciones de contacto, en la cima de la columna de la Formación San Miguel hay un paquete

de arenisca masiva que cambia a capas de carbón o lutita de la Formación Olmos, y que marca el inicio del contacto transicional.

**Ambiente de depósito.** De acuerdo a su litología la Formación San Miguel pertenece a un frente deltaico. Flores Espinoza (1989) propone tres tipos de secuencias de frente deltaico para la Formación San Miguel: a) inicio de la progradación, b) frente deltaico dominado por canales tributarios y c) transgresión, en particular, esta última parte, se caracteriza por un contacto erosivo basal.

### **Formación Olmos (mapa geológico, anexo 1)**

**Definición.** Dumble (1896) en sus notas sobre geología, llamo a las capas de la Formación Olmos "Series de Carbón". La primera unidad estratigráfica de la Formación Olmos, fue medida por Stephenson (1927) en Olmos Creek Maverick Country, en la región de Eagle Pass, Texas. Robeck et al. (1956) introducen el nombre de Formación Olmos para el área de Monclova–Sabinas; ellos subdividen a la Formación Olmos en cinco unidades litológicas que nombraron como zonas, clasificadas de acuerdo a la composición litológica.

**Edad.** La edad asignada anteriormente a la Formación Olmos fue del Maastrichtiano inferior, fechada con base en las asociaciones de foraminíferos planctónicos *Rosita fornicata/stuatiformis* (Pessagno, 1969). Esta edad fue corroborada a través de estudios hechos con dinoflagelados y acritarcas del Grupo Navarro (Zaitzeff y Cross, 1970). Además, estudios palinológicos corroboraron la edad Maastrichtiano inferior (Martínez-Hernández et al., 1980). Sin embargo, Flores-Espinoza (1989) sugiere que la edad debería restringirse al Campaniano tardío con base en amonites. Observaciones en campo por el Dr. Vega-Vera (comunicación personal, 2006) en Piedras Negras, Coahuila, demuestran la presencia de los bivalvos *Exogyra costata* Say y *Pycnodonte mutabilis* (Morton), ambos fósiles índice del Maastrichtiano temprano, en la base de la Formación Escondido lo que sugiere que la Formación Olmos podría ser del Campaniano tardío. Por otra parte, la presencia de fósiles índice del Campaniano tardío en la Formación San Miguel que se encuentra subyaciendo a la Formación Olmos, sugiere que la edad de la Formación Olmos es del Campaniano tardío. Para efecto

de esta tesis, la edad propuesta es del Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano.

**Contenido fósil de la Formación Olmos.** Los trabajos paleobotánicos son pocos, comparando la diversidad florística que allí se encuentra. Vaughan (1900) identificó una hoja perteneciente a la familia Arecaceae (palma) recolectada en una mina en el estado de Coahuila. Burckhardt, en 1930, identificó otra de palmera, Vaughan (1900) y Boese y Cavins (1927) mencionan la presencia de otras hojas en estos mismos sedimentos. Sin embargo, no es hasta 1972 que el Dr. Reinhard Weber identificó en diferentes localidades alrededor de 80 tipos distintos de plantas con base en hojas, maderas, ramas con hojas, flores y frutos conservados en forma de impresiones carbonizadas. Entre los tipos identificados se encuentran helechos de hábitos acuáticos como *Salvinia* y *Dorfiella* (Weber, 1973; 1976), conos, brácteas y maderas de coníferas, además se ha propuesto la presencia de formas endémicas variadas (Weber, 1975; Serlin et al., 1981; Cevallos-Ferriz, 1992). También se han reconocido miembros de Palmae, Magnoliaceae, Araceae, Lauraceae, Nelumbonaceae y diversos Laurales con base en hojas fósiles (Weber, 1972, 1978; Estrada-Ruiz et al., 2008; Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, en prensa; Estrada-Ruiz et al., sometido), tallos de varias especies del morfogénero *Palmoxyton* (Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1995; Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, en prensa), y plantas del morfogénero *Paraphyllanthoxyton* (Cevallos-Ferriz y Weber, 1992), Fagaceae y Malvaceae s.l., con base en maderas (Estrada-Ruiz et al., 2007). Recientemente, se han descrito nuevas eudicotiledóneas relacionadas con Anacardiaceae, Cornaceae y Malvaceae (Estrada-Ruiz et al., sometido). Con base en hojas de angiospermas, se realizó la reconstrucción paleoclimática de la secuencia que contiene las hojas, dicha reconstrucción se apoyó con diferentes ecuaciones de regresión simple y múltiple, propuestas por varios autores a partir del análisis de su fisonomía foliar con hojas de angiospermas (e.g., Wolfe, 1979; Gregory, 1994).

**Espesor y relaciones de contacto.** Robeck et al (1956) midieron en las áreas de El Cedral, Nogalito y Piloncillos las columnas estratigráficas más completas. Dichos autores dividen las columnas en 5 zonas: en la zona I, Sección del Carbón,

registran 36 metros de espesor, que consisten de un doble estrato de carbón y otros dos o tres estratos lenticulares, delgados, arriba del doble estrato de carbón principal. El resto de la zona está compuesto por lodolita, y que varía a limolita y finalmente cambia a arena fina, en un horizonte por lo regular indefinido. Zona II, arenisca con estratificación; registraron 86 metros de espesor, constituida por arenisca estratificada de grano fino a mediano, mal clasificada, dispuesta en estratos delgados a gruesos, color claro. En algunos lugares contiene madera en forma de permineralización y gasterópodos. Zona III, zona inferior de la limolita masiva; registraron 31 metros de espesor. Zona IV, conglomerado con 148 metros de espesor, presenta estratos depositados en ciclos de 20 metros. El conglomerado o arenisca blanca de grano grueso en la base de un ciclo, varía gradualmente hasta limo y fango en capas superiores. Zona V, zona superior de limolita masiva de 79 metros de espesor, formada por limonitas y lodolitas masivas y limonita y arenisca con estratificación cruzada.

El espesor total medido por Roberck et al. (1956) es de 380, mientras que Flores Espinoza (1989) midió 540 m en la localidad sobre el afluente el Salinas y 550 m en la sección La Chata, él piensa que el espesor puede llegar hasta 600 m. En las observaciones de campo de esta tesis, se midió una columna de 250 m en la Localidad Tajo Rancherías, el propósito de esta tesis no era encontrar una columna mayor, sino que presentara plantas fósiles. Robeck et al. (1956) mencionan que el contacto de la Formación Olmos con la Formación Escondido se encuentra en un paquete de arenisca que no presentan fósiles marinos, cuando se presentan los fósiles marinos, representan a los estratos de la Fm. Escondido. Por otra parte, Flores Espinoza (1989) distinguió el contacto por la presencia de areniscas de un metro de espesor en estratos lenticulares. En observaciones de campo del presente trabajo no se logró distinguir el contacto entre ambas formaciones.

**Ambiente de depósito.** Flores-Espinoza (1989) con base en núcleos, estudios estratigráficos y sedimentológicos de varias localidades de la Formación Olmos, reconoce dos facies genéricas: la primera y más inferior está compuesta por facies que sugieren una gran planicie deltaica, mientras que la segunda y superior es



una planicie fluvial con facies de ríos, planicies de inundación. Las facies de la Formación Olmos tienen muchas variaciones tanto vertical como lateralmente.

### **Descripción de columnas estratigráficas medidas en la Formación Olmos**

Los espesores de la Formación Olmos que se midieron para este trabajo son menores a los que se mencionados en trabajos anteriores (560 a 600 m) (Robeck et al. 1954 y Flores-Espinoza, 1989) debido a que sólo se midió columnas en donde estaban las plantas fósiles. La columna de mayor espesor que se midió fue de 270 m., en el Tajo Rancherías (ejido Rancherías). Por la falta de buenos afloramientos no se pudo medir una columna completa y continua, por lo cual se presentan a continuación los siguientes medidas. Las columnas de las localidades de los Tajos El Mezquite, Ing. Nerio, Block 6 y El Nogalito tienen entre los 20 y 40 m, y en ellas se presentan los estratos que contienen las hojas, maderas y frutos fósiles objetivo de la presente tesis.

### **Litología**

La Formación Olmos se compone principalmente de carbón, lutita gris, lutita carbonosa, limolita y arenisca de grano fino a medio con laminación paralela y estratificación cruzada.

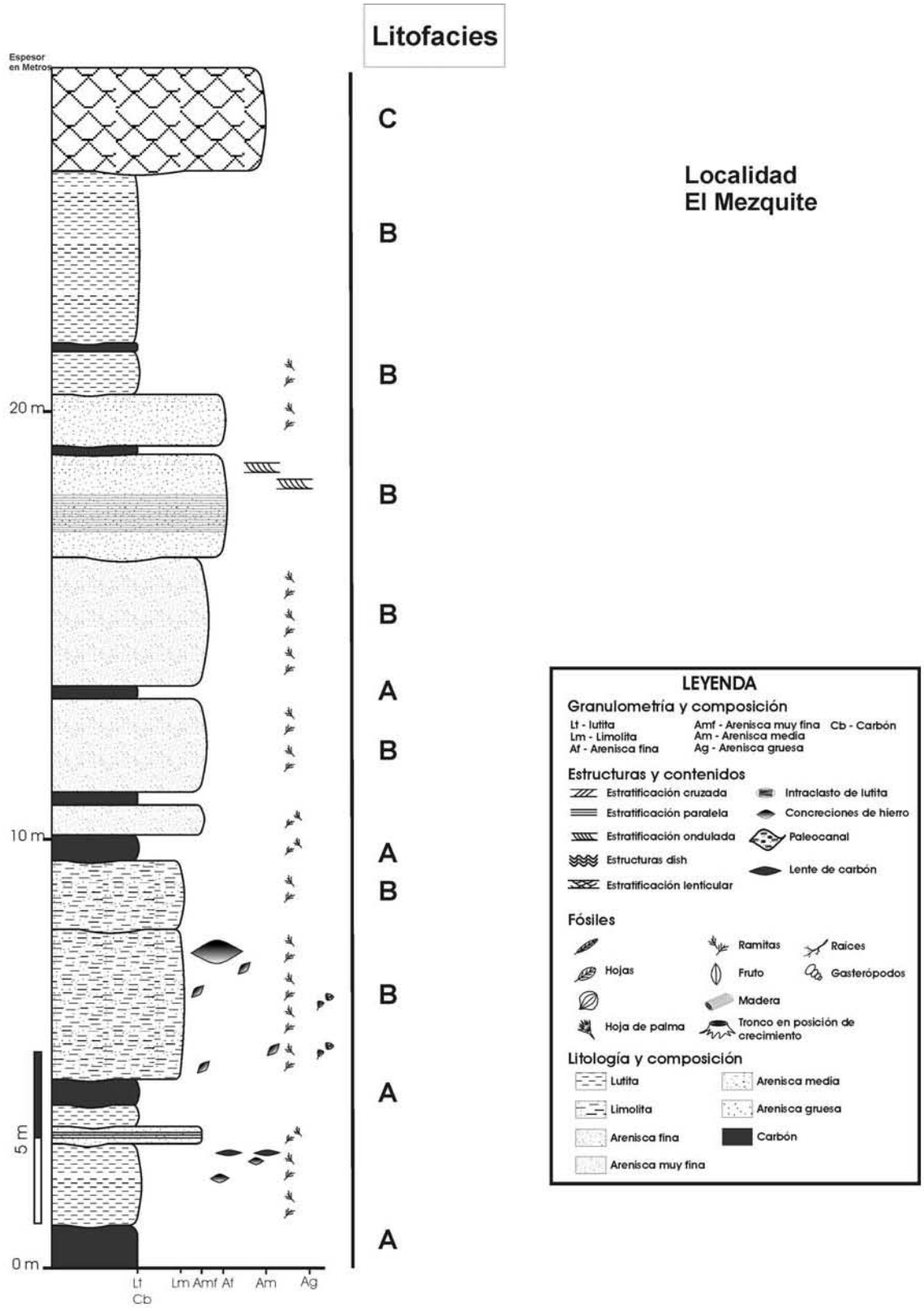
La base de la formación presenta dos estratos de carbón, cuyo espesor puede variar, en general cada estrato es de 1 m. A partir de estos dos estratos principales, se presentan hasta 6 estratos pequeños de carbón intercalados con limolita, lutita y arenisca fina. En general en los primeros 5 m, en la limolita, no se llegan a observar estructuras primarias, hay lentes de carbón y nódulos de hierro. En estos mismos estratos se han encontrado restos de hojas bien preservadas, maderas, bivalvos y gasterópodos de agua dulce. Los estratos siguientes están formados principalmente por areniscas de grano fino a medio. Las areniscas se encuentran en forma masiva formando lentes superpuestos de varios metros de longitud (e.g. 2 a 10 m). Los lentes indican que existieron varios canales. Sobre estos estratos se han encontrado paquetes de areniscas de grano medio con estratificación cruzada planar, en esta parte se han encontrado restos de madera

fósil, aunque no se pudo diferenciar exactamente a que estrato pertenecen pues sólo se encontraron rodados. Hacia la cima, se pierde la laminación, los estratos son mas gruesos de hasta medio metro de espesor. Los 170 metros medidos no son continuos, se encontraron diferentes horizontes y el espesor se obtuvo con los echados, la horizontal y la elevación.

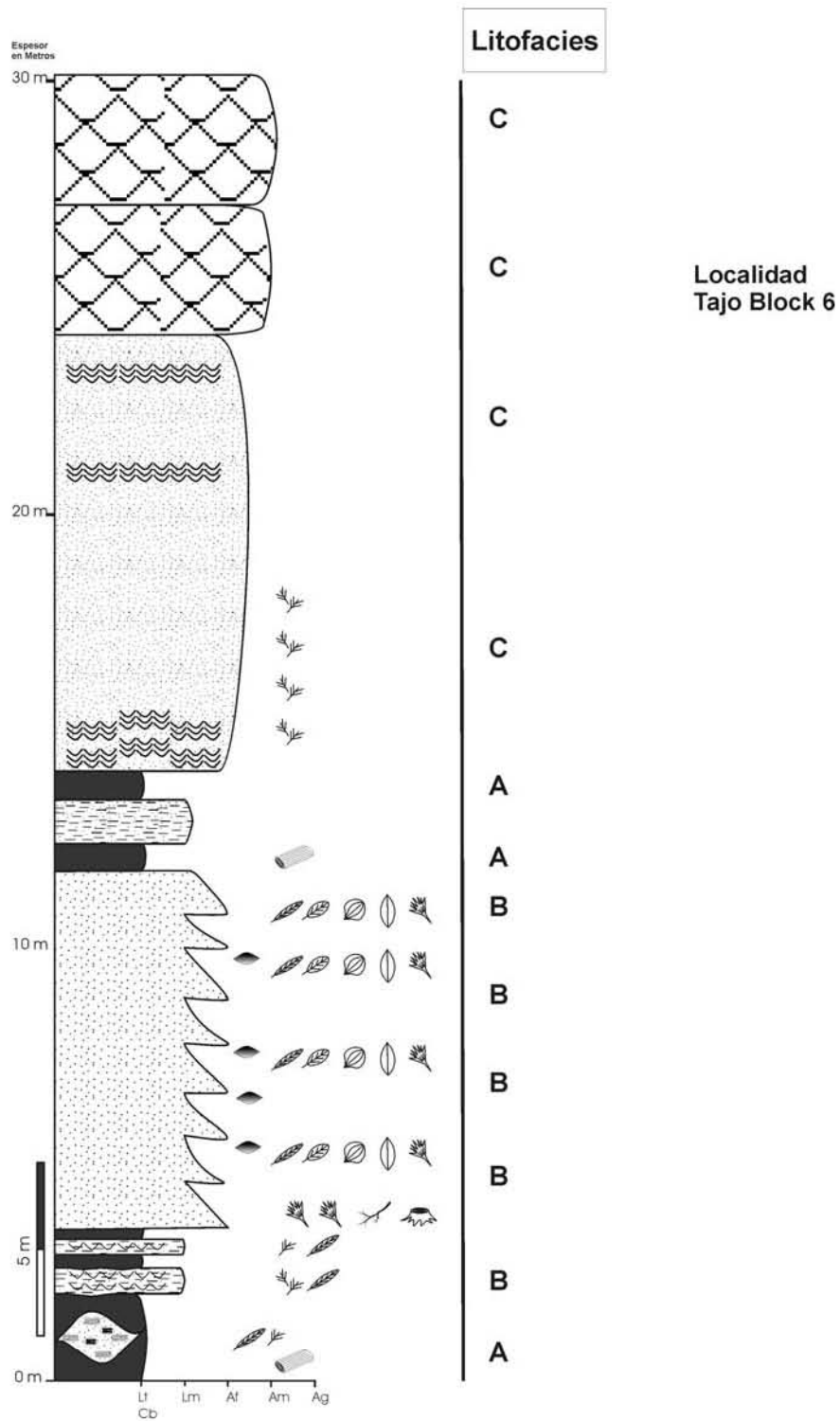
## **A continuación se describe con mayor detalle la asociación de litofacies identificadas**

### ***Litofacies A, carbón y lutitas carbonosas***

Estratos de carbón y lutitas carbonosas que presentan maderas fósiles en forma carbonizada (Lámina I, A, B). La base de la Formación Olmos está formada por un doble estrato de carbón, el espesor puede variar (Fig. 2, Tajo El Mezquite, Fig. 3, Tajo Block 6). En algunas localidades el espesor fue de 2 metros (Lámina I, A; Fig. 4, Tajo Ing. Nerio). Aunque en otras áreas, se ha visto un estrato con espesores menores a un metro. A partir del estrato número tres los espesores son más delgados, algunos llegan a medir 20 a 30 cm, lateralmente se ha observado que estos estratos cambia a lutitas carbonosas (Lámina I, C). Estas lutitas carbonosas contienen maderas carbonizadas. En los estratos número uno y dos se han observado restos de maderas carbonizadas (Fig. 3, Tajo Block 6). A partir del tercer estrato de carbón se llegan a intercalar con lutitas, limolitas y areniscas de grano fino. El tipo de carbón que se presenta es conocido como bituminoso a sub-bituminoso, con alrededor del 80% de materia orgánica (Flores Espinoza, 1989). En otras localidades se han recolectado pequeños fragmentos de ámbar, pero se desconoce de qué planta provenga (comunicación personal, Vega Vera, 2007). La interpretación de esta litofacies es el resultado de la acumulación por transporte o *in situ* de materia orgánica sugiriendo depósitos de pantanos (Boggs, 2006) (Tabla, 1).



Figura, 2. Columna estratigráfica de la localidad Tajo El Mezquite, Sabinas.



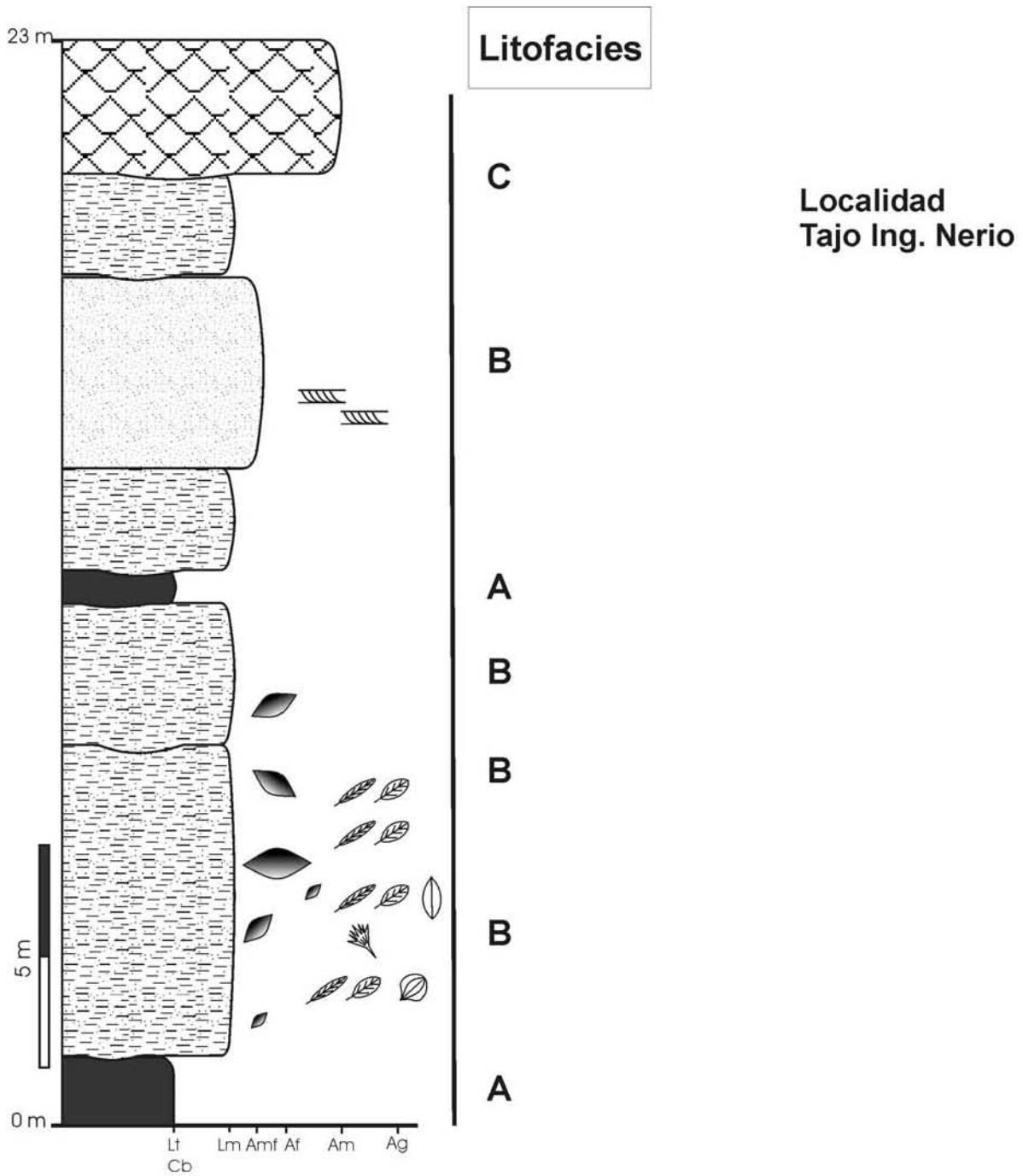
Figura, 3. Columna estratigráfica de la localidad Tajo Block 6, San Juan de Sabinas.

### ***Litofacies B, limolita, lutita y arenisca muy fina***

Areniscas de grano fino con laminación paralela se presentan intercaladas con limolitas, lutitas, que contienen nódulos de hierro, hojas, raíces, frutos, maderas y gasterópodos fósiles (Lámina I, D) (Fig. 3, Tajo Block 6; Fig. 4 Tajo Ing. Nerio; Fig. 6, Tajo El Nogalito). En las areniscas de grano fino se encontraron hojas completas, conservadas generalmente de forma no paralela al estrato, sino en forma perpendicular lo que sugiere que fueron arrastradas (Lámina I, E). Por otra parte, en las limolitas se encontraron gran cantidad de hojas completas y bien conservadas y en menor proporción frutos (Fig. 3, Tajo Block 6 y Fig. 4 Tajo Ing. Nerio) generalmente estos estratos de limolita son de cinco 5 a 10 cm de espesor, aunque llega a formar un solo estrato de 2 a 3 m. Las hojas y frutos se fosilizaron en forma de impresiones carbonosas (Lámina I, F). En estos mismos estratos se encontraron raíces en posición de crecimiento, y un tronco pequeño en posición de desarrollo (Fig. 3, Tajo Block 6), lo que sugiere que estas plantas son de origen autóctono. En estos mismos estratos se encontraron nódulos de hierro, están en todas direcciones dentro de los estratos, el tamaño de los nódulos varía, los hay desde 5 cm hasta 60 cm de diámetro. La litofacies se interpreta como depósitos de planicie de inundación (Walker, 1973; Flores Espinoza, 1989) (Tabla, 1).

### ***Litofacies C, arenisca en estratos lenticulares***

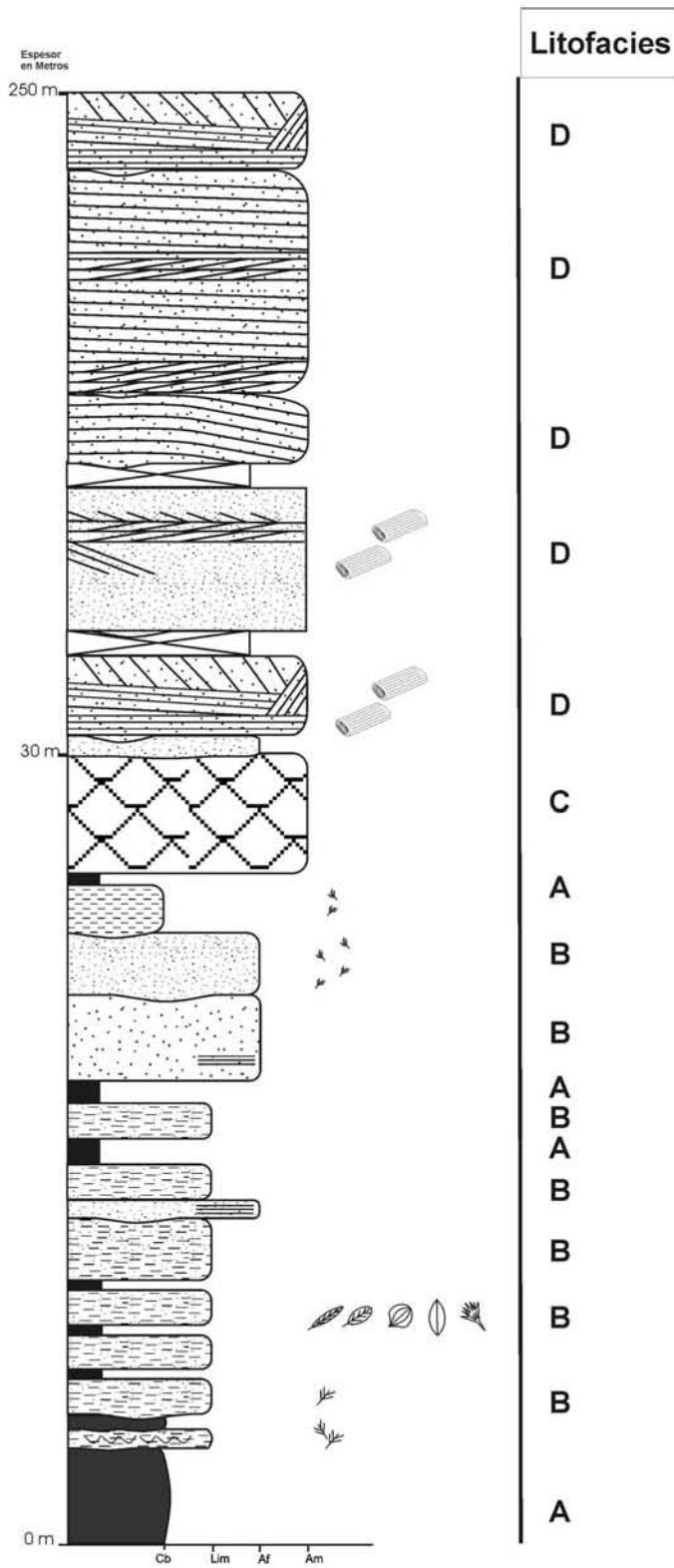
Arenisca de grano fino a medio, con materia orgánica y laminación paralela. La arenisca de grano medio se presentan como estratos en forma de lentes de 3 a 5 metros de alto y hasta más de 10 m de longitud. La base entre estas areniscas con estratos lenticulares es erosiva (Lámina I, G, H). También se ha observado como un depósito masivo formando rellenos de canales. No presenta fósiles completos, sólo materia orgánica de plantas no identificables. Esta litofacies se observó solamente en los tajos. La interpretación de la litofacies se formó en depósitos de canales trenzados (Davis, 1983) (Fig. 3, Tajo Block 6; Fig., 6, Tajo El Nogalito) (Tabla, 1).



Figura, 4. Columna estratigráfica de la localidad Tajo Ing. Nerio, San Juan de Sabinas.

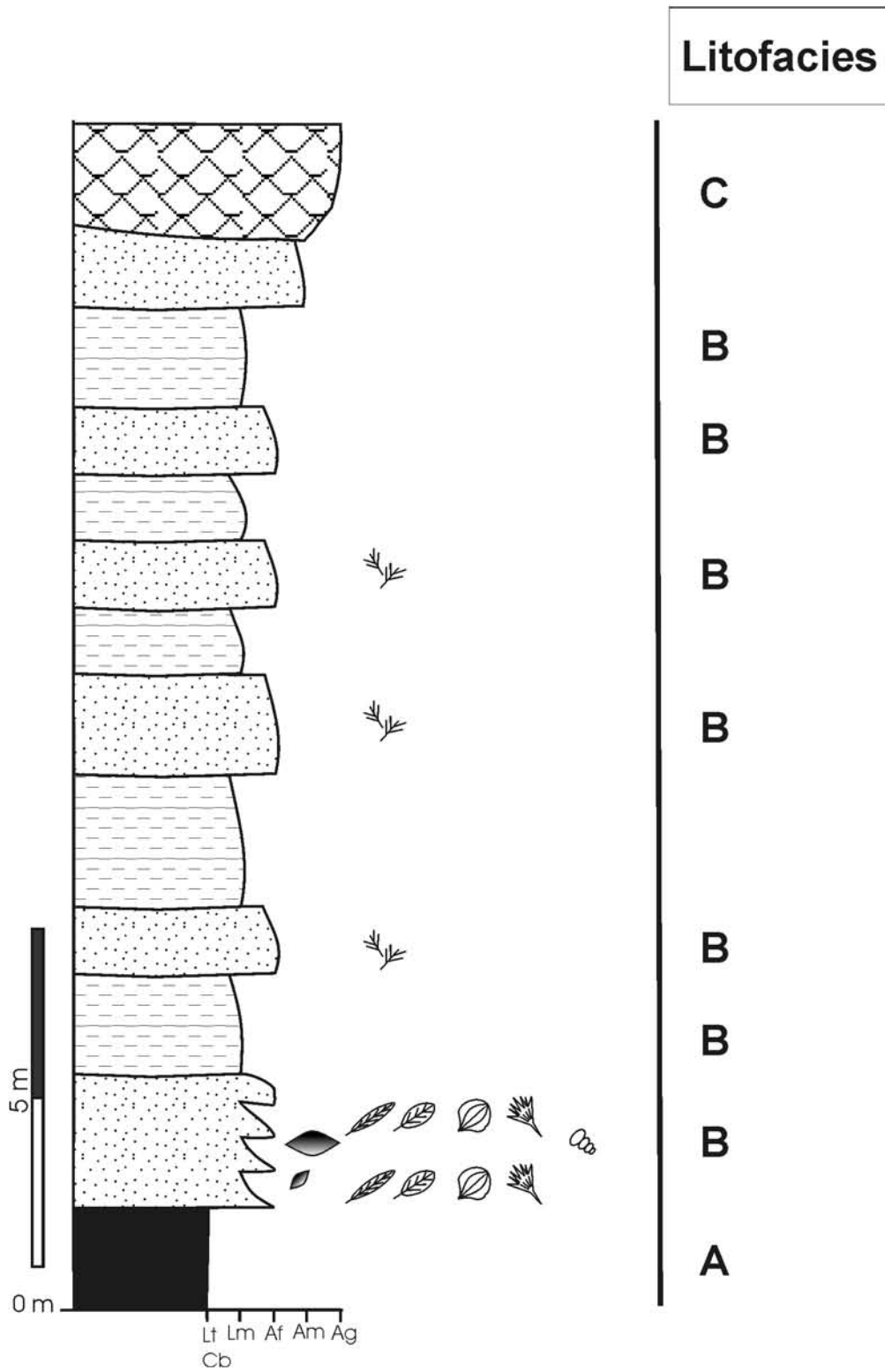
### ***Litofacies D, arenisca media con estratificación cruzada***

Arenisca de grano medio con estratificación cruzada y laminación paralela. Este paquete de arenisca es el más abundante que se encontró entre las demás litologías (Lámina I, I). La arenisca presenta estratificación media de 15 cm en promedio, presentan laminación paralela, los sets de la estratificación cruzada varían de 40 a 70 cm, en algunas zonas se encontraron clastos de hasta 2 cm de diámetro embebidos en la arenisca. Generalmente están depositados después de las areniscas con estratos lenticulares, formando un paquete de más de 100 m. Esta litofacies contiene gran cantidad de maderas rodadas, en algunas áreas se encuentran incluidas en las areniscas, pero no se observaron en posición de desarrollo o crecimiento (Lámina I, J). Algunas maderas están perforadas por pelecípodos y otras presentan en su interior abundantes hifas de hongos. También se encontraron huesos de dinosaurios. Sólo en una localidad se encontraron hojas elípticas de margen entero (Lámina I, K). La interpretación de esta litofacies es de barras arenosas y rellenos de canales (Fig. 5, Tajo Rancherías) (Tabla, 1).



Figura, 5. Columna estratigráfica de la localidad Tajo Rancherías, Rancherías, Múzquiz.

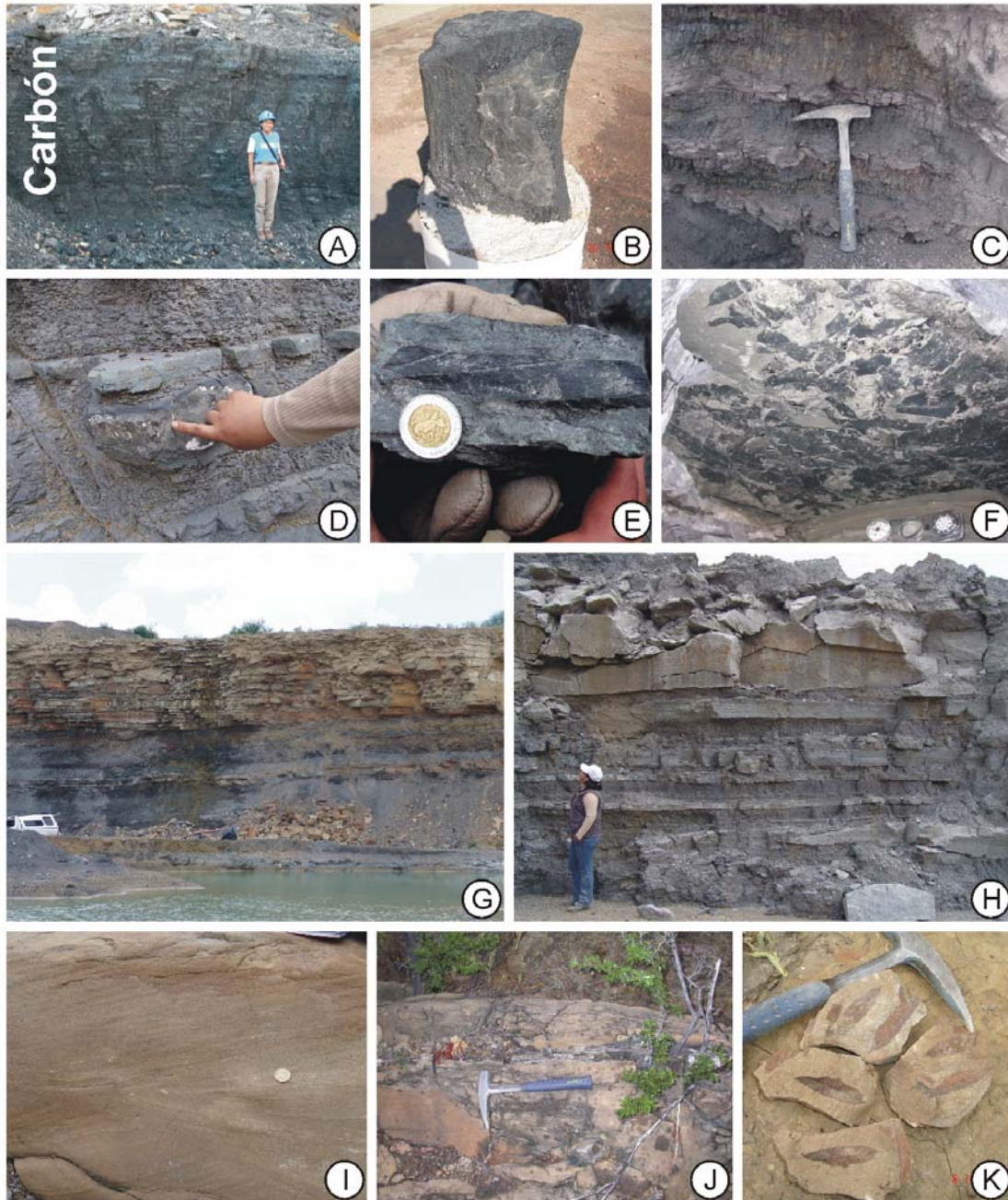




Figura, 6. Columna estratigráfica de la localidad Tajo El Nogalito, Múzquiz.

Tabla, 1. Reconstrucción del paleoambiente y litofacies de la Formación Olmos.

	<b>SISTEMA Y FACIES</b>	<b>LITOFACIES</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
<b>FORMACIÓN OLMOS</b>	<b>DELTAICO</b>	<b>D. Arenisca de grano medio, con estratificación cruzada, paralela, tipo trough, con abundantes maderas de angiospermas y gimnospermas, hojas y huesos de dinosaurios</b>	<b>Barras arenosas con rellenos de canales</b>
		<b>C. Arenisca de grano medio con estratos lenticulares</b>	<b>Formación de canales trenzados</b>
		<b>B. Arenisca fina con laminación paralela intercalada con limolita o lutita con abundantes hojas y frutos</b>	<b>Planicies de inundación</b>
		<b>A. Carbón, intercalación de carbón o lutita carbonosa con limolita o lutita con abundantes fósiles de hojas, frutos y maderas</b>	<b>Zonas Pantanosas</b>



**Lámina I.** Características importantes de las litofacies de la Formación Olmos. **A)** Litofacies A. Estrato de carbón, base de la Formación Olmos. **B)** Tronco carbonizado. **C)** Lutita carbonosa. **D)** Litofacies B. Arenisca, lutita y nódulo de hierro. **E)** Hoja fósil en la arenisca, no paralela al estrato. **F)** Hojas fósiles en la limolita. **G)** Litofacies C, arenisca en estratos lenticulares. **H)** Arenisca lenticular. **I)** Litofacies D, arenisca media con estratificación cruzada. **J)** Arenisca con madera fósil. **K)** Arenisca con hojas no bien preservadas.

## **Formación Escondido (mapa geológico, anexo 1)**

**Definición.** Dumble (1892) describe esta formación en el río Escondido cerca de Piedras Negras, Coahuila, y por el curso del Río Grande (Río Bravo), midiendo un espesor total de 270 m. La localidad tipo, se encuentra cerca de Piedras Negras. Para el área de estudio Bose y Cavins (1927), utilizan el nombre de Formación Escondido. Además sugieren que la base de la formación es de edad Maastrichtiano.

**Composición.** Formada por areniscas finas con lutitas grises, que contienen varios tipos de fósiles marinos como ostreas, amonites, bivalvos y gasterópodos. Las lutitas que no contienen fósiles son del miembro Múzquiz que fueron descritas por Robeck et al (1956) en el área de Múzquiz. Udden (1907) dividió a la formación Escondido en seis miembros: Arenisca basal, arcilla basal, arenisca intermedia, arcilla intermedia, arenisca superior, arcilla superior. Adkins (1932), describe a la formación como arcillas y margas intercaladas con estratos de arenisca y bandas de fósiles. Robeck et al. (1956) encuentran en toda la región de Sabinas los seis miembros que propuso Udden. Estos mismos autores describen unas unidades de estratos rojos a las que dieron el nombre de Formación Múzquiz, pero Flores Espinoza (1989) las nombró como miembro Múzquiz porque sólo afloran en la subcuenca de las esperanzas. Esta unidad del Miembro Múzquiz, las observé mejor expuestas en la sección de El Cedral donde los estratos están formados por areniscas de color rojo, y se hallan intercaladas con lutitas bioturbadas con raíces y horizontes de nódulos de carbonato. Estos estratos rojos se interpretan como continentales. Como la base del miembro Múzquiz se toma el estrato más bajo de color claro (Robeck et al., 1956). El miembro Múzquiz representa la parte final del período Cretácico y el fin de la sedimentación marina dentro del área. Cooper (1970) redefinió a estos seis paquetes sedimentarios y a la Formación Múzquiz en cuatro miembros en el área del Río Grande (Río Bravo).

**Edad.** Cooper (1970), con base en la zonación de amonites, estableció una edad del Maastrichtiano temprano-medio. Robeck et al. (1956) y Flores Espinoza (1989) recolectaron amonites de los géneros *Sphenodiscus lenticulares* (Owen) y

*Coahuilites sheltoni* (Böse) que son consistentes a la zonación que Cooper propuso. Por otra parte, en observaciones en campo por el Dr. Vega-Vera (comunicación personal, 2006) en la región de Piedras Negras, la Formación Escondido, contiene bivalvos como *Exogyra costata* Say y *Pycnodonte mutabilis* (Morton). Ambos fósiles índice de Maastrichtiano temprano, soportando la edad propuesta por Cooper.

**Espesor y relaciones de contacto.** Robeck et al. (1956) midieron varias columnas de entre 53 a 98 m de espesor, y observaron que el contacto entre las Formaciones Olmos y Escondido se reconoce por la primera presencia de fósiles conservados en nódulos calcáreos. Flores Espinoza (1989) midió una columna en la localidad La Chata y Loma del Arco de 600 a 650 m de espesor, en ambas localidades observó el contacto de la base y cima de la Formación. Con respecto al miembro Múzquiz, el espesor medido para esta tesis fue de aproximadamente 10 m, por otra parte, Flores Espinoza estima que el espesor total puede llegar a los 50 m.

En el área de estudio la Formación Escondido generalmente está expuesta en pequeños lomeríos, en donde no se lograron diferenciar los seis miembros. Hacia la base se observó arenisca con estratificación paralela de 10 cm de espesor, bivalvos, turritelas, etc. Este corresponde con el miembro Múzquiz que consta de una intercalación de lutita y limolita con estratos de 50 cm, presencia de nódulos de carbonato, galerías y estratos delgados de conglomerado fino.

**Ambiente de depósito.** Corresponde a facies marinas de un prodelta y en la parte inferior de la Formación Escondido presenta areniscas de un frente deltaico.

### **Conglomerado Sabinas (mapa geológico, anexo 1)**

Durante el Período Terciario, toda la región quedó sobre el nivel del mar, sujeta a erosión. Ya muy avanzado el Terciario (Plioceno?) se depósito sobre algo así como la tercera parte del área, una capa muy extensa de grava, a la que se ha llamado Conglomerado Reynosa (Robeck et al., 1956). Aquí se propone para esta formación el nombre de Conglomerado Sabinas para que sea usado en México,

porque el conglomerado presenta múltiples afloramientos en la ciudad de Sabinas y a lo largo del río del mismo nombre.

La formación está restringida a las terrazas de grava más altas, que normalmente se levantan 10 a 20 m sobre los valles adyacentes.

El Conglomerado Sabinas consiste de grava de caliza más o menos cementada por carbonato de calcio. El tamaño de los constituyentes de la grava varía desde bloques angulosos, de 1m, cerca de las montañas hasta 5 cm de diámetro o menores.

### **Lavas Esperanzas (mapa geológico, anexo 1)**

Durante el cuaternario hubo cuando menos siete fisuras por donde se generaron derrames de lava, que fluyeron por distancias considerables, siguiendo acaso canales existentes en el conglomerado sabinas, que formaba una superficie casi horizontal.

### **Terrazas de grava y limo (mapa geológico, anexo 1)**

Durante el cuaternario hubo varios lugares dónde se depositaron cantidades variables de grava y limo, quedando sujetas a la erosión. Probablemente hubo varios factores que causaron la obstrucción de los cauces de algunos arroyos y lagos transitorios durante la fase final del Plioceno y Pleistoceno (Robeck et al., 1956).

## **CUENCA DE PARRAS**

### **Formación Cerro del Pueblo**

**Definición.** La primera sección estratigráfica de la formación fue hecha en 1962, pero actualmente la sección del estratotipo está pobremente expuesta (Murria et al., 1962). La Formación Cerro del Pueblo se caracteriza por tener una gran diversidad de plantas, vertebrados, invertebrados y artrópodos terrestres. Las rocas que la componen representan una alternancia de sedimentos continentales y marinos (McBride et al., 1974; Hill, 1987; Soegaaed et al., 2003).

**Composición.** La formación esta compuesta principalmente por lodolitas, areniscas y en menor proporción limolitas que presentan algunos bancos de ostras (McBride et al., 1974; Soegaaed et al., 2003).

**Edad.** La edad de la Formación Cerro del Pueblo ha sido muy discutida, debido en parte a la gran diversidad de fósiles presentes, principalmente los marinos, aunque en términos generales se ha aceptado como del Campaniano tardío (McBride et al., 1974; Eberth et al., 2004). De acuerdo con McBride et al. (1974), en la región Oeste de la cuenca, la Formación Cerro del Pueblo contiene en su parte basal al bivalvo *Exogyra ponderosa* Roemer, que se ha aceptado como indicador del Campaniano. Además, se han encontrado otros indicadores de esta misma edad como *Turritela trilira* Conrad e *Inoceramus biconstrictus* Imlay. Hacia el Este, la mayor parte de la formación debe considerarse Maastrichtiana debido a la presencia del bivalvo *E. costata* Say y del amonite *Sphenodiscus pleurisepta* Conrad. Recientemente, con base en estudios paleontológicos y paleomagnéticos la edad se ha restringido a 73.5 millones de años, con lo que queda más acotada al Campaniano tardío (Eberth et al., 2004).

**Contenido fósil de la Formación Cerro del Pueblo.** Esta Formación contiene una diversidad de plantas importantes para México y para el sur de América del Norte. Se han identificado frutos de Musaceae y de cf. Strelitziaceae (Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994), semillas de Lythraceae y Ranunculaceae (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998). Así como infrutescencias de Alismatales (Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, 2007), una flor de afinidad con Rhamnaceae (Calvillo-Canadell y Cevallos-Ferriz, 2007), además de una infrutescencia con características a las encontradas en Phytolaccaceae (Cevallos-Ferriz et al., 2008). Recientemente, se describieron semillas de *Decodon* (Lythraceae), y un fruto de *Ceratophyllum* (Ceratophyllaceae) (Estrada-Ruiz et al., 2009) (Tabla, 2). Otros trabajos paleontológicos realizados con material de invertebrados y vertebrados de esta formación, se han enfocado al estudio de gasterópodos, bivalvos, amonites (Wolleben, 1977), artrópodos terrestres, gasterópodos de agua dulce y de coprolitos fósiles de vertebrados (Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1998; Cifuentes et al., 2006; Perrilliat et al., 2008). Además, se han descrito vertebrados

terrestres y un pez (Hernández y Kirkland, 1993; Kirkland et al., 2000; Kirkland y Aguillón-Martínez, 2002; Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1998). La gran diversidad de formas fósiles que se ha encontrado en la Formación Cerro del Pueblo hace que ésta sea unas de las localidades con depósitos fosilíferos de plantas y animales del Cretácico más importantes de México (Fig., 1).

**Ambiente de depósito.** La Formación Cerro del Pueblo presenta depósitos fluviales y lacustres de grandes llanuras fluvio-deltaicas, cubierta en algunos periodos por mar. Se reconstruye como una amplia planicie con tierras húmedas ricas en plantas y que se desarrollaron en pantanos que se extendían hasta lo que ahora es el norte de Saltillo (McBride et al., 1974; Eberth et al., 2004).

### **Columna estratigráfica de la Formación Cerro del Pueblo**

Se levantó una sola columna con espesor de 27.25 m en la cual no se observó la base ni la cima. En esta localidad se recolectaron hojas de eudicotiledóneas, principalmente con margen entero, de palmera (cf. *Sabalites* sp.), un fruto de Ceratophyllaceae y una flor de Rhamnaceae (Fig. 7) (Tabla, 2).

### **Litología**

La columna esta compuesta de lutita, limolita, conglomerado y areniscas de grano fino. Desde la base hacia los primeros 12 m contiene ostras, bivalvos, gasterópodos que atestiguan que fue una zona cubierta por el mar. En particular, los primeros 5 m, en los estratos de limolita, destaca la estratificación cruzada. En los mismos estratos se recolectaron hojas de eudicotiledóneas y de palma, estas últimas se encontraron en el interior, lo que indica que fueron acarreadas.

En esta parte de la misma sección se observaron dos litofacies: litofacies A, areniscas con estratificación cruzada, y litofacies B, lutitas y limolitas; las lutitas sólo se presentan en la base de la sección alternando con limolitas. A partir de los 12 m hasta la cima de la columna (15.25 m) la columna está formada por conglomerados, areniscas de grano fino a medio y limolitas. A partir de los 15 m hacia arriba de la columna se encuentra varias conchas rotas, también se encuentran huesos de dinosaurios no articulados, algunos con gasterópodos



incrustados. Es probable que hubo un cambio de nivel de mar hacia la cima, o algún evento de tormenta. En esta parte de la columna se proponen dos litofacies: a) litofacies C, conglomeráticas y b) litofacies A.

### **A continuación se describe con mayor detalle la asociación de litofacies identificadas**

#### ***Litofacies A, lutitas y limolitas***

Las lutitas sólo se presentan en la base de la sección alternando con limolitas, no presentan estructuras primarias. Hacia la cima del estrato se encontraron galerías y restos de materia orgánica (Fig., 7). Las limolitas se presentan en toda la columna y alternan con las areniscas de grano fino. En la base de la sección se encuentra un solo estrato que presenta laminación cruzada. En la base y en la cima de estos estratos se encuentran hojas de palma (cf. *Sabalites* sp.), los demás fósiles son hojas de angiospermas con margen entero, una flor de Rhamnaceae, un fruto de Ceratophyllaceae y galerías se encuentran en la base (Fig., 7). La interpretación de esta litofacies se forma en zonas de lagunas; los fósiles recolectados se depositaron en un flujo turbidítico dentro de un cuerpo de agua, esto se pudo corroborar por la presencia de hojas de Palmae que se encontraron no paralelas al estrato, sino de una forma oblicua al estrato (fotos, 1 y 2).

#### ***Litofacies B, areniscas con estratificación cruzada y planar***

Arenisca fina, con laminación paralela y cruzada con fósiles. La arenisca de grano fino, se observó estratos con laminación de uno a cuatro metros. Las areniscas que no tienen estratificación cruzada contienen abundantes fósiles completos. Los fósiles encontrados son ostreidos, gasterópodos, bivalvos, huesos y fragmentos de huesos de dinosaurios (Fig., 7).

Arenisca de grano medio con laminación paralela. Arenisca que sólo se presenta hacia la base de la sección, de dos metros de espesor, con laminación paralela hacia la cima del estrato. El estrato contiene rizaduras y fragmentos de materia orgánica hacia la cima del estrato. La interpretación de la litofacies B, se encuentra en zonas de áreas lacustres, cercanas a la costa (Boggs, 2006), este ambiente

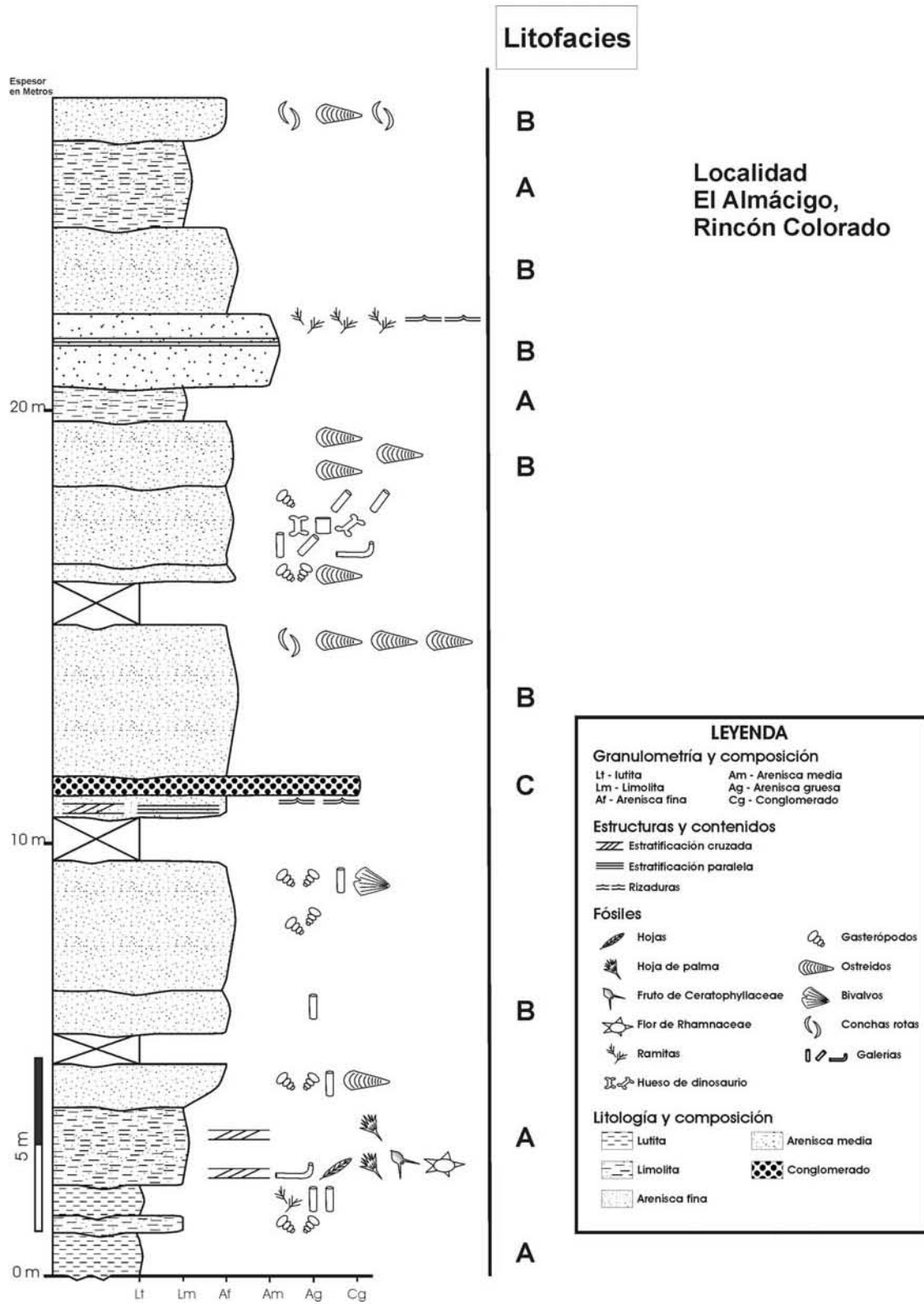
pudo estar asociado a eventos de alta energía como de tormentas por la cantidad de conchas rotas de agua dulce, así como pedazos de huesos de dinosaurios.

***Litofacies C, conglomerado fino***

Conglomerado fino bien clasificado, fino, matriz soportado, bien clasificado, los clastos subangulosos, de calizas y algunas veces de gasterópodos. La interpretación de esta litofacies, es que haya representado un relleno de canal.

Tabla, 2. Plantas fósiles recolectadas en la Formación Cerro del Pueblo y el ambiente en donde crecen sus representantes actuales.

<b>-Alismatales (Araceae?)</b>	<b>Tropicales a subtropicales</b>
<b>-Ceratophyllaceae</b>	<b>Tropicales a subtropicales (herbáceas de ambientes palustres de agua dulce o de las riberas fluviales)</b>
<b>-Hamamelidaceae</b>	<b>Subtrópicos y regiones templadas de ambos hemisferios</b>
<b>-Lythraceae</b>	<b>Tropicales a subtropicales (herbáceas de ambientes palustres de agua dulce o de las riberas fluviales)</b>
<b>-Musaceae</b>	<b>Tropicales a subtropicales</b>
<b>-Phytolaccaeae</b>	<b>Tropicales a subtropicales</b>
<b>-cf. Strelitziaceae</b>	<b>Tropicales</b>
<b>-Ranunculaceae</b>	<b>Especialmente en las regiones templadas boreales (charcas de agua temporales)</b>
<b>-Rhamnaceae</b>	<b>Cosmopolita, más comunes en regiones tropicales y subtropicales</b>
<b>-Menispermaceae</b>	<b>Tropicales y subtropicales, pocas especies en regiones templadas</b>



Figura, 7. Columna estratigráfica de la localidad El Almacigo, Rincón Colorado.



Foto, 1. Vista general donde se encontraron las hojas de angiospermas, donde se encuentra el martillo está una impresión de hoja de Palmae.



Foto, 2. Acercamiento del afloramiento en donde se encuentra la hoja de Palmae (cf. *Sabalites*) (en el martillo), se observa que no está fosilizada paralelo al estrato.

## DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta una breve discusión sobre la reconstrucción de la sedimentación que dio lugar a las rocas clásticas que constituyen a las formaciones Olmos y Cerro del Pueblo, y como esta se integra con la información obtenida de los fósiles que contienen para proponer un modelo ambiental.

La composición y estructuras primarias presentes en las litofacies A y B de la Formación Olmos, y que se encuentran en la parte inferior de la columna se interpreta como depósitos en zonas con encharcamientos y flujos con baja energía, por la acumulación de materia orgánica se infiere que fueron depositadas en pantanos. En estos depósitos de zona pantanosa, se encontró un árbol carbonizado con longitud de 8 m y un diámetro de ca. 30 cm, además en las lutitas carbonosas, se encontraron restos de pequeños troncos, no bien preservados, pero que sugieren que existió vegetación con elementos arbóreos en la zona. Martínez-Hernández et al. (1980), reporta palinomorfos recuperados del carbón en Piedras Negras, Coahuila (que forma parte de la Formación Olmos en la misma cuenca), que sugieren una paleovegetación formada por helechos y angiospermas.

A diferencia de la litofacies A, en los estratos de la litofacies B, de las columnas medidas, se registra un cambio importante en el ambiente de depósito. Por una parte, las litologías cambian y se presenta una menor proporción de carbón, aumentando la cantidad de sedimento clástico, ya que está formada por arenisca fina, lutita y limolita. Tanto la flora como la fauna fósil que contiene indica condiciones de tirante de agua perenne, pero sin las condiciones restringidas evidenciadas por el carbón de la litofacies A. Esto lo indica la presencia de helechos acuáticos como *Salvinia* (Weber, 1973). La presencia de raíces y un tocón de árbol en posición de desarrollo, que se observó en la localidad Tajo Block 6, sugieren poca profundidad del agua. Esta facies contiene abundantes hojas, por ejemplo en uno de los niveles de limolita, en un metro cuadrado se observaron entre 100 a 200 hojas fósiles, probablemente reflejando el depósito en un solo evento, esto es típico de zonas de lagunas en selvas paratropicales (Burnham, 1989). En el Tajo El Nogalito se recolectaron hojas orbiculadas o redondas que

actualmente crecen en ambientes de lagunas y de aguas tranquilas con dosel abierto (Fig. 6). Esta interpretación se respalda con el trabajo paleobotánico realizado en la presente tesis, ya se recolectaron varias estructuras de tallos con células aerequimatosas de pared delgada, posiblemente representado por tallos blandos de monocotiledóneas, esto significa que crecieron cerca de cuerpos de agua. Además, esta facies contiene bivalvos de la familia Unionidae, indicadores de ambientes de agua dulce, de aguas muy limpias y cristalinas (com., pers. Mario Pacheco, 2006). La vegetación que se desarrolló en este ambiente fue muy diversa en cuanto al número de tipos de plantas, pues se han descrito e identificado hasta la fecha alrededor de 100 distintas plantas con base en hojas, como Laurales (e.g., Lauraceae), Menispermaceae, Nelumbonaceae y frutos de probable relación con Cornales. Es posible que se hayan organizado varios estratos arbóreos (Estrada-Ruiz et al., 2008); esta vegetación tenía dosel abierto como lo sugiere la presencia de Nelumbonaceae y *Salvinia* (Weber, 1975; Estrada-Ruiz et al., sometido). En estos mismos estratos se han recolectado hojas de *Sabalites* (Tajo Block 6, Tajo El Mezquite, Tajo El Nogalito) y *Phoenocites* (Fig. 4, Tajo Block 6), mismas que se han encontrado completas y con diferentes tamaños, lo que sugiere que las hojas de estas plantas se depositaron cerca de su hábitat, apoyando que la flora de esta asociación de litofacies se depositó *in situ*.

En conclusión se interpreta a la litofacies B como depósitos en lagunas de aguas frescas y tranquilas, con flujo continuo que permitió el depósito de terrígenos e inhibió las condiciones anóxicas presentes en el ambiente de depósito de la litofacies A.

El cambio a la litofacies C y D se ha observado generalmente a partir de los 20 a 30 m desde la base de la columna. Ambas facies se formaron en un sistema fluvial pero en particular en la litofacies C, representada por arenisca con estratos lenticulares superpuestos que llegan a medir hasta 10 metros lateralmente, se encuentra registrado un período de ambiente de corrientes trenzadas. La morfología de los estratos y los sistemas de depósito sugiere que las areniscas se formaron como barras de arena y depósitos de relleno de canales. El contacto entre ambas litofacies de areniscas C y D) es de tipo erosivo. Para la facies D se

interpreta como depósitos en canales con alta energía y que fueron altamente sinuosos. En esta parte de la columna estratigráfica no se observó plantas completas sino restos de materia orgánica. La abundancia en la litofacies D de arenisca media con estratificación cruzada, laminar y también de tipo pluma (trough) muy bien definidas, se interpretan como indicadores de un ambiente de depósito de ríos meandricos (En algunos estratos de areniscas, se presentan hacia la base pequeñas capas conglomeráticas que probablemente se formaron por una disminución de la velocidad del flujo de río, y que quizá formaron barras (Bernard et al., 1970).

En los estratos de arenisca se ha encontrado restos de huesos de dinosaurios, maderas de angiospermas y gimnospermas fósiles y en una sola localidad se encontró hojas de angiospermas con margen entero, este tipo de hojas se encuentran generalmente creciendo en riveras de ríos. Las maderas recolectadas pertenecen en su mayoría a gimnospermas y en menor proporción a angiospermas. Los árboles de angiospermas que se han identificado pertenecen a *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.), *Sabinoxylon* (cf. Fagaceae), *Quercinium* (Fagaceae), *Paraphyllanthoxylon* (insertae sedis), *Metcalfeoxylon* (insertae sedis), y otros tipos relacionados con Anacardiaceae, Cornaceae, cf. Lauraceae y Malvaceae que llegaron a formar varios estratos arbóreos dentro de la selva que representan (Wheeler y Lehman, 2000). En esta litofacies se han encontrados árboles atribuidos a *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.) que alcanza una longitud de 14 m y ca. 80 cm de diámetro en la localidad de Trinity (Estrada-Ruiz et al., sometido). Además, Lehman y Wheeler (2001) mencionan que este mismo género y *Metcalfeoxylon* fueron árboles grandes que formaron distintos estratos arbóreos en las Formaciones Aguja y Javelina en el Big Bend National Park, Texas; algunas de estas plantas llegaron a crecer entre 30 y 50 m de alto. En particular, esta flora que se encontró en la zona de estudio (Sabinas-Múzquiz), no se desarrolló *in situ* porque las maderas recolectadas estaban rodadas, algunos troncos se encontraron incluidos en las areniscas, no estaban en posición de desarrollo, lo que indica que fueron transportados probablemente por grandes distancias por los ríos que se desarrollaron en esta parte del sistema fluvial de la Formación Olmos.



# Litofacies y ambientes de depósitos

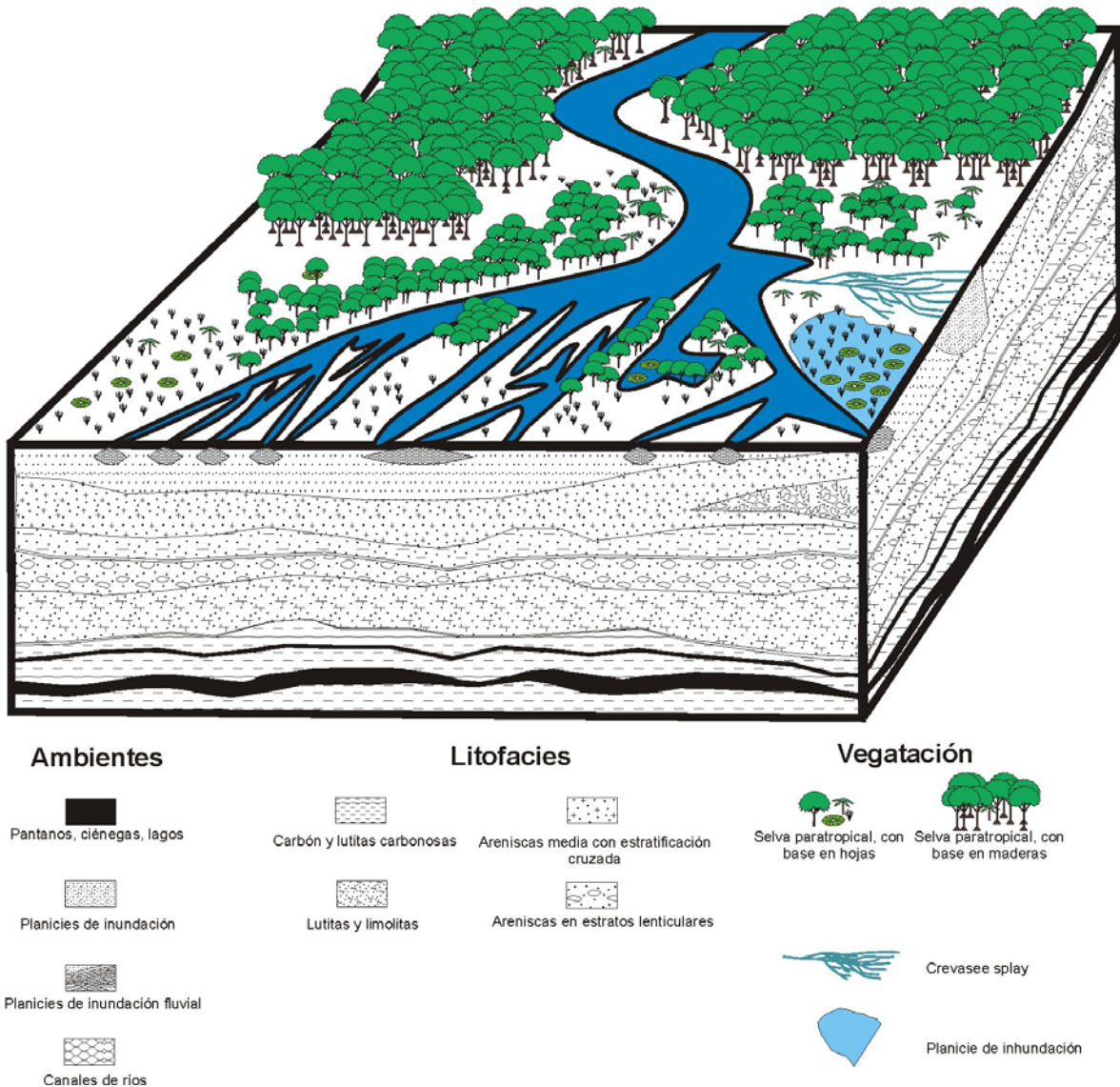


Figura 8. Modelo de facies para la Formación Olmos y su ambiente de depósito.

En contraste, la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), de acuerdo a sus lito y bio facies, sugiere un ambiente de depósito en la zona intermareal o marina somera. Las litofacies están constituidas por lutitas, limolitas y areniscas con estratificación cruzada y planar, y se formaron en una amplia



planicie costera, con pequeños canales, como lo indica la presencia de conglomerados y areniscas con estratificación cruzada. En la parte estudiada de la columna de la Formación Cerro del Pueblo se desarrollaron sub-ambientes acuáticos y sub-aéreos ricos en plantas.

Los sedimentos de la Formación Cerro del Pueblo contienen restos de plantas como Ranunculaceae, Lythraceae, Ceratophyllaceae y *Sabalites* sp., cuyos representantes actuales, de estas y de otras descritas de la Formación Cerro del Pueblo, actualmente crecen en zonas tropicales a subtropicales (Tabla, 2). La zona de la Formación Cerro del Pueblo es la parte más sureña de las floras que se formaron a través del margen del mar epicontinental (McBride et al., 1974; Rodríguez-de la Rosa et al., 1998; Eberth et al., 2004; Estrada-Ruiz et al., 2009).

Algunos horizontes de la Formación Cerro del Pueblo, las rocas presentan uncolor rojo en la mayoría de las areniscas y lodolitas, esta coloración indica que se sometieron a una amplia oxidación que puede ser indicativa de condiciones subaéreas de depósito. Por otra parte, el material vegetal que fue preservado se depositó probablemente como rellenos de canales.

### **Datos regionales**

El gran sistema deltaico de la Formación Olmos se relaciona florística y geológicamente con formaciones que se encuentran en el Big Bend National Park, Texas. Lateralmente con la parte superior de las Formaciones Javelina y Picachos, que representan la parte interna de lo que sería el gran sistema deltaico de la Formación Olmos. Esto es corroborado además por los taxa que se han encontrado e identificado en la flora de la Formación Olmos como *Javelinoxylon*, *Sabinoxylon*, *Paraphyllanthoxylon*, *Metcalfeoxylon* y *Sabalites* que se encuentran también en las Formaciones Aguja y Javelina (Fig. 9). Estas plantas llegaron a formar grandes bosques o selvas que crecieron desde lugares cercanos a las costas hasta zonas más adentro del continente, formando asociaciones florísticas que actualmente no se observan. Estos bosques tenían una distribución principalmente entre los 20° a los 40° latitud norte como la provincia de *Normapolles*. En el bosque del Big Bend National Park, que describen Lehman y

Wheeler (2000), mencionan que algunas plantas de angiospermas que han descrito con base en maderas, fueron probablemente generadoras o productoras de Normapolles (Wheeler y Lehman, 2000; Lehman y Wheeler, 2001).

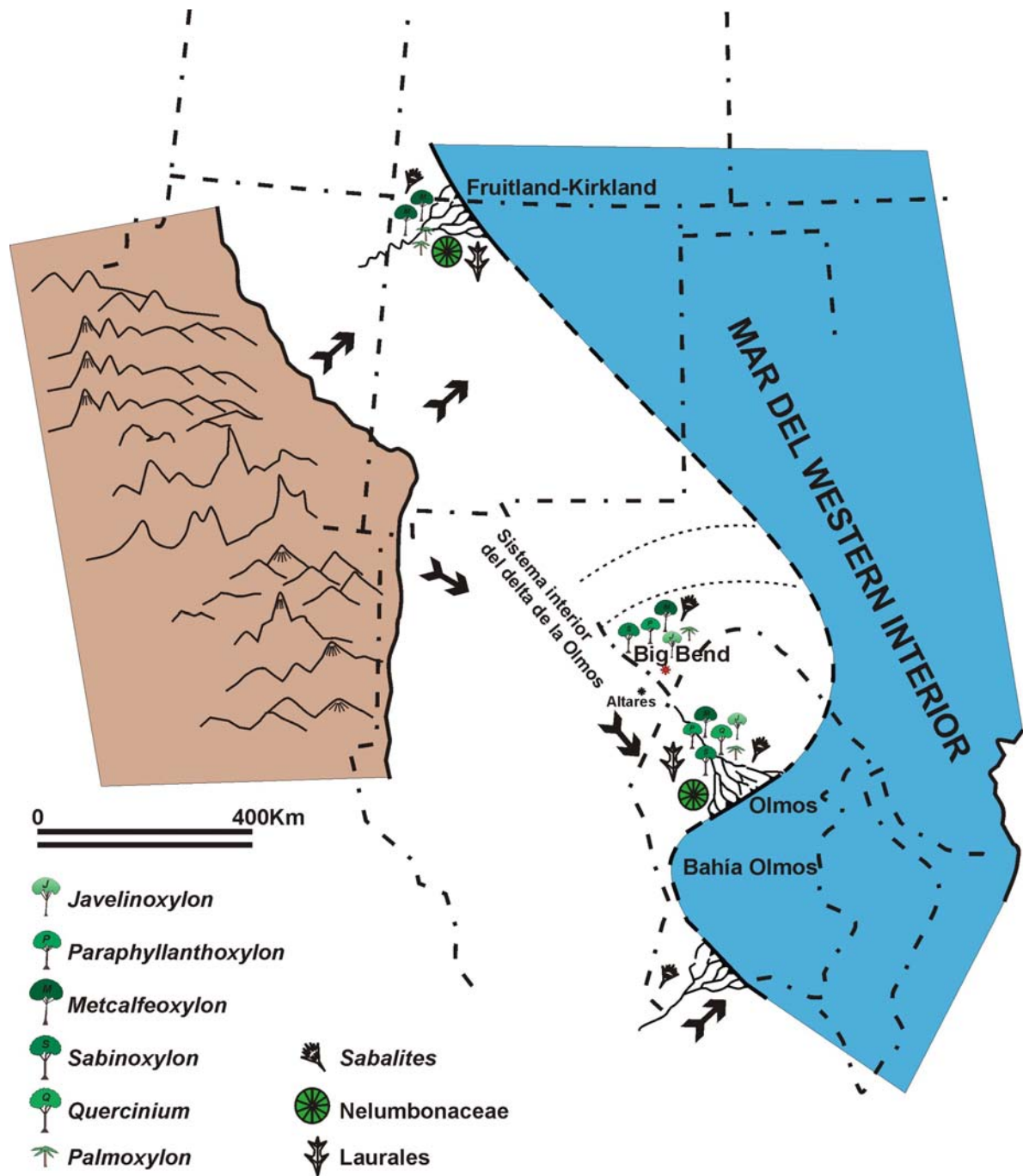


Figura 9. Escenario florístico durante el Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano del Western Interior (modificado de Flores-Espinoza, 1989).

## LITERATURA CITADA

- Bernard, H.A., Major, C.F., Parrott, B.S., y Le Blanc, R.J. 1970. Recent sediments of southeast Texas. A field guide to the Brazos alluvial and deltaic plains and the Galveston barrier island complex. *Bureau of Economy Geology Guidebook II*, University of Texas, Austin.
- Boggs, Jr. S. 2006. Principles of sedimentology and Stratigraphy. (4rd ed), Prentice Hall, 688.
- Böse, E. y Cavins, O.A. 1927. The Cretaceous and Tertiary of southern. Texas and northern Mexico: University of Texas Bulletin 2748, p. 7-142.
- Boyd, D., 1959. *Stratigraphy of the Difunta Group in an area north of Saltillo, Coahuila, Mexico*. M.Sc. thesis, Louisiana State University.
- Burnham, R.J. 1989. Relationships between standing vegetation and leaf litter in a paratropical forest: implications for paleobotany. *Review of Palaeobotany and Palynology* 58: 5-32.
- Calvillo-Canadell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Reproductive structures of Rhamnaceae from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Coahuila) and Coatzingo (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. *American journal of botany* 94: 1658-1669.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Estrada-Ruiz, E. y Pérez-Hernández, B.R. 2008. Phytolaccaceae infructescence from the Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous (late Campanian), Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany* 95(1): 77-83.
- Cifuentes-Ruiz, P., P., Vršanský, F. J., Vega, S.R.S., Cevallos-Ferriz, E., González-Soriano, y Delgado de Jesús, C.R. 2006. Terrestrial arthropods from the Cerro del Pueblo Formation (Campanian, Late Cretaceous), Difunta Group, Northeastern Mexico. *Geologica Carpathica* 57: 347-354.
- Cooper, J.D. 1970. *Stratigraphy and paleontology of Escondido Formation (Upper Cretaceous), Maverick County, Texas, and northern Mexico*. Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin, 287 p.
- Dumble, E.T. 1892. Notes on the geology of the valley of the middle Rio Grande. *Geological Society of America Bulletin* 3: 219-230.

- Eberth, D.A., Delgado-de Jesús, C.R., Leberkno, J.F., Brinjman, D.B., Rodríguez-de la Rosa, R.A. y Sampson, S.D. 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21: 335-352.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. (sometido). Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (late Campanian-early Maastrichtian), Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany*.
- Estrada-Ruiz, E., Upchurch, G.R.Jr., Wolfe, J. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. (sometido). *Exnelumbites* gen. nov. a new genus related to extant *Nelumbo* from the Upper Cretaceous Olmos and McRae Formations of Western North America. *Systematic Botany*.
- Estrada-Ruiz, E., y Cevallos-Ferriz, S.R.S. (en prensa). *Palmoxyton enochii* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México. *Ameghiniana*.
- Estrada-Ruiz, E., Calvillo-Canadell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2009. Upper Cretaceous aquatic plants from Northern Mexico. *Aquatic Botany* 90: 282-288.
- Estrada-Ruiz, Emilio., Upchurch, G.R. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian-Lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: a preliminary report. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 58: 273-283.
- Estrada-Ruiz, E., y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Infructescences from the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian), Coahuila, and El Cien Formation (Oligocene-Miocene), Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 168(4): 507-519.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145: 123-133.

- Flores-Espinoza, E. 1989. *Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico*. Ph. Dissertation. University of Texas at Austin, 315 p.
- Hill, J.A. 1988. *Sedimentology of delta-front sandstones, Cerro del Pueblo Formation (Upper Cretaceous), Parras Basin, Coahuila, Mexico*. New Orleans, Louisiana, University of New Orleans, M.Sc. Thesis, 163 p.
- Lehman, T.M. y Wheeler, E.A. 2001. Fossil dicotyledonous forest from the Upper Cretaceous of Big Bend National Park, Texas. *Palaios* 16: 102-108.
- Martínez-Hernández, E., Almeida-Leñero, L. Reyes-Salas, M., y Betancour-Aguilar, Y. 1980. Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 4: 167-185
- McBride, E.F., Weidei, A.E., Wolleben, J.A. y Laudon, R.C. 1974. Stratigraphy and structures of the Parras and La Popa basins, northeastern Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 85: 1603-1622.
- McBride, E.F., y Caffey, K.C. 1979. Geologic report on Upper Cretaceous coal-bearing rocks, Río Escondido basin, Coahuila, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* XL: 21-47.
- Perrilliat, M.C., Vega, F.J., Espinosa, B. y Naranjo-García, E. 2008. Late Cretaceous and Paleogene Freshwater Gastropods from Northeastern Mexico. *Journal of Paleontology* 82: 255-266.
- Pessagno, E.A. 1969. Upper Cretaceous stratigraphy of the Western Gulf Coast Area of Mexico, Texas and Arkansas. *Geological Society of America, Memoir* 111: 139 p.
- Robeck, R.C., Pesquera, V.R., y Ulloa, A.S. 1956. Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila. XX Congreso Geológico Internacional, México, 109 p.
- Rodríguez-de la Rosa, R. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1994. Upper Cretaceous Zingiberelian fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 155: 786-805.

- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Cevallos-Ferriz, S.R.S. y Silva-Pineda, S. 1998. Paleobiological implications of Campanian coprolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 142: 231-254.
- Serlin, B., Delevoryas, T. y Weber, R. 1981. A new conifer pollen cone from the Upper Cretaceous of Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 241-248.
- Stephenson, L.W. 1927. Notes on the stratigraphy of the Upper Cretaceous formations of Texas and Arkansas. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 11: 1-17.
- Vaughan, T.W. 1900. Reconnaissance in the Rio Grande coal fields of Texas. U. S. Geological Survey Bulletin 164: 100 p.
- Vega-Vera, F., Mitre Salazar, L. y Martínez-Hernández, E. 1989. Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Grupo Difunta (Cretácico Superior-Terciario) en el Noroeste de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 8(2): 179-187.
- Weber, R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 33: 5-19.
- Weber, R. 1973. *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana* 10: 173-190.
- Weber, R. 1975. *Aachenia knoblochii* n. sp. an interesting conifer of the Upper Cretaceous Olmos Formation of Northeastern Mexico. *Palaeontographica* 152B: 76-83.
- Weber, R. 1976. *Dorfiella auriculata* f. gen. nov. sp. nov. un género de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México. *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología* 3: 1-13.
- Weber, R. 1978. Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperm flora of Coahuila, Mexico. *Courier Forschungs – Institut Senckenberg* 30: 38-46.
- Wheeler, E.A., McClammer, J. y LaPasha, C.A. 1995. Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene, San Juan Basin, New Mexico, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal* 16: 223-254.

- Wheeler, E.A. y Lehman, T.M. 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina Formations, Big Bend National Park, Texas, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal* 21: 83-120.
- Wolleben, J.A. 1977. Paleontology of the Difunta Group (Upper Cretaceous-Tertiary) in Northern Mexico. *Journal of Paleontology* 51: 373-398.
- Zaitzeff, J.B. y Cross, A.T. 1970. The use dinoflagellates and acritarchs for zonation and correlation of the Navarro Group (Maastrichtian) of Texas. *Geological Society of America Special Paper* 127: 341-397.



### 3. CAPITULO II

---

DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN TAXONÓMICA DE LAS PLANTAS FÓSILES DE LAS FORMACIONES CERRO DEL PUEBLO (CAMPANIANO TARDÍO) Y OLMOS (CAMPANIANO TARDÍO-MAASTRICHIANO TEMPRANO)

#### 1.- FORMACIÓN CERRO DEL PUEBLO

*Phytolaccaceae infructescence from Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous (late Campanian), Coahuila, Mexico*

*Upper Cretaceous aquatic plants from Northern Mexico*

#### 2. FORMACIÓN OLMOS

*Fossil woods from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico*

*Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (late Campanian-early Maastrichtian), Coahuila, Mexico*

*Exnelumbites gen. nov. a new genus related to extant Nelumbo from the Upper Cretaceous Olmos and McRae Formation of Western North America*

Otras hojas

*Palmoxylon enochii sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México*

## **FORMACIÓN CERRO DEL PUEBLO (CAMPANIANO TARDÍO)**

## PHYTOLACCACEAE INFRACTESCENCE FROM CERRO DEL PUEBLO FORMATION, UPPER CRETACEOUS (LATE CAMPANIAN), COAHUILA, MEXICO<sup>1</sup>

SERGIO R. S. CEVALLOS-FERRIZ,<sup>2,3</sup> EMILIO ESTRADA-RUIZ,<sup>3</sup> AND  
BALAM RODRIGO PÉREZ-HERNÁNDEZ<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán 04510 México D.F.; <sup>3</sup> Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán 04510 México D.F.; and <sup>4</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán 04510 México D.F.

The Upper Cretaceous (late Campanian) Cerro del Pueblo Formation, Coahuila, Mexico, contains a diverse group of angiosperms represented mainly by their reproductive structures. Among these, a new permineralized infructescence is recognized based on its morphological and anatomical characters. It is a multiple infructescence composed of berry fruits with six locules, each containing a single seed with a curved embryo developed from a campylotropous ovule with pendulous placentation; integumentary anatomy is similar to that of *Phytolacca* spp. (Phytolaccaceae). Though this new plant from Coahuila shares reproductive characters with *Phytolacca*, the constant number (six) of carpels per fruit and pendulous placentation strongly support the recognition of a new taxon, *Coahuilacarpus phytolaccoides* Cevallos-Ferriz, Estrada-Ruiz, et Pérez-Hernández (Phytolaccaceae, Caryophyllales). This new record adds to the known plant diversity of low latitude North America (northern Mexico) and demonstrates the long geologic history of the group.

**Key words:** Cerro del Pueblo Formation; Coahuila; *Coahuilacarpus phytolaccoides*; late Campanian; Phytolaccaceae.

The sediments of the Upper Cretaceous (late Campanian) Cerro del Pueblo Formation, Coahuila, Mexico, contain a great diversity of macrofossils that allow interesting insights into the understanding of the northeastern Cretaceous flora and fauna of Mexico (Eberth et al., 2004). Plant records include a large quantity of leaves and angiosperm reproductive structures, like pollen grains, flowers, fruits, and seeds. The pollen record includes members assigned to Magnoliaceae, Betulaceae, Bombacaceae, Chloranthaceae, Liliaceae, and Urticales (Cevallos-Ferriz and Ramírez, 1998; Estrada-Ruiz, 2004). Among the macrofossils, impressions of flowers related to Rhamnaceae (Calvillo-Canadell and Cevallos-Ferriz, 2007) and permineralized fruits with affinity to Musaceae, cf. Strelitziaceae (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994), and Alismatales (probable Araceae; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2007) have been described. Seeds recovered from coprolites are related to Myrtales and Ranunculales, suggesting the presence of members of Lythraceae and Ranunculaceae in the area since ca. 72.5 Ma (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998). A new record of Lythraceae further supports its presence, suggesting that *Decodon* was growing in this region during the Late Cretaceous (Estrada-Ruiz and Cevallos-

Ferriz, 2006). Other macrofossils representing the fauna of Cerro del Pueblo Formation include dinosaurs (Hernández, 1992, 1995; Hernández and Kirkland, 1993); crocodiles, turtles, and fishes (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1998; Rodríguez-de la Rosa et al., 2004); and abundant coprolites and vertebrate tracks (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998). Some arthropod fossils, indicating a diverse insect fauna, have recently been reported (Cifuentes-Ruiz et al., 2006).

Different Upper Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) plant structures have been collected and taxonomically determined from other northwestern Mexican localities. From the Tarahumara Formation, Sonora, vegetative and reproductive organs related to Haloragaceae allowed the identification of *Tarahumara jofii* Hernández-Castillo et Cevallos-Ferriz (Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999), and the presence of anatomically diverse stems and roots suggests that a varied *Arecaceae* community grew in this region (Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995). Some microorganisms representing algae and fungi have also been nicely documented (Beraldi-Campesi et al., 2004; Beraldi-Campesi and Cevallos-Ferriz, 2005).

The reproductive structures introduced in this paper represent a member of the family Phytolaccaceae, order Caryophyllales (Cronquist, 1981; APG, 2003). This group was morphologically described first by Heimerl (1889, 1934) and Walter (1909). To date, the family is mainly represented by shrubs, herbs, climbers, and even arborescent species. Some 18 genera and 70 species growing in different habitats have been recognized (Rohwer, 1993). Phytolaccaceae is widely distributed in tropical and subtropical regions of the Old World, but it reaches into the New World with some species present in temperate regions (Nowicke, 1968). The family is divided into five subfamilies: Phytolacchoideae, Rivinoideae, Microteioideae, Agdestioideae, and Barbeuioideae. In America, *Phytolacca* is the most widely distributed genus, and in Mexico, five species have

<sup>1</sup> Manuscript received 21 March 2007; manuscript accepted 7 November 2007.

The authors especially thank J. López Espinoza for support in the field, and INAH, Coahuila, for providing administrative facilities. This work was improved through the comments of two anonymous reviewers, to whom the authors are grateful. E. Chiang-Cabrera helped the authors with the correct use of scientific names. M. Alcayde, Instituto de Geología, UNAM, improved a preliminary English version, and discussion with Dra. L. Calvillo-Canadell enriched the authors' observation and ideas. This study is based in part on the Ph.D. thesis of E.E.R. at Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM. Grants to S.R.S.C.F. from CONACYT (45065) and DGAPA-UNAM (IN208500 and IN201103) and student loans to E.E.R. from CONACYT (167138) and DGEIP-UNAM are appreciated.

<sup>2</sup> Author for correspondence (e-mail: serc@ph@servidor.unam.mx)

been recognized: *Phytolacca americana* L., *P. icosandra* L., *P. rivinoides* Kunth & Bouché, *P. rugosa* Braun & Bouché, and *P. thyrifolia* Penz. ex A. J. Schmidt. The vegetative characteristics of most species in the genus are extremely similar; most species are herbaceous evergreen plants with thick stems (some succulents) and mainly elliptical leaves with attenuated extremes and entire margin. Their differences are better marked in the flowers and fruits, on which the botanical identifications are based (Rzedowski and Calderón de Rzedowski, 2000).

**Relevant fossil record.**—The fossil record for the family Phytolaccaceae is quite restricted; therefore, it is better to review the fossil record of the order to get an idea of the relative importance of this new record. The only macrofossil record known to us corresponds to a fruit, *Stachycarpus eocenica* Meunier, from the Eocene of France (Collinson et al., 1993). Unfortunately, this has nomenclatural problems because it is a homonym of *Stachycarpus* (Endlicher) van Tieghem (Podocarpaceae); thus it has not been recognized as valid (Collinson et al., 1993). The detailed revision that is needed is beyond the scope of this paper.

The fossil record of the families of Caryophyllales is not much better and is characterized by its scarcity; few well-preserved macrofossils are known. The oldest record of the order corresponds to Santonian/Campanian seeds from Sweden and was assigned to Amaranthaceae; however, a complete published description is needed to further support this record (Collinson et al., 1993). The family Cactaceae had a record, *Eopuntia douglasii* Chaney, representing vegetative organs from middle Eocene sediments of the Green River Formation, Utah (Chaney, 1944), but MacGinitie (1969) reexamined the material and concluded that it could not be assigned to this family, suggesting that the fossil may represent a monocotyledonous plant. Except for the relatively recent cactus seeds found in Packrat Middens, cacti fossils are meager. Eocene seeds from the London Clay in England (Chandler, 1961, 1963) and an inflorescence from the middle Eocene of Australia (Jordan and Macphail, 2003) have been discussed as *bona fide* members of Caryophyllaceae. The oldest fossil records for Chenopodiaceae are pollen grains recovered from Maastrichtian sediments of Canada (Srivastava, 1969). Other pollen grains have been reported from lower Eocene sediments in Europe and southeastern United States, representing members of Nyctaginaceae (Grus-Cavagnano, 1976; Frederiksen, 1980). Finally, Portulacaceae is also known from pollen grain records, *Portulacca oleracea* L., from Miocene sediments of Spain (Van Campo, 1976).

The reproductive structure introduced in this paper corresponds to a permineralized infructescence, with well-preserved anatomical and morphological characters, thus favoring detailed comparison between fossil and extant plants and allowing the recognition of a new taxon, *Coahuilacarpus phytolaccoides* Cevallos-Ferriz, Estrada-Ruiz, et Pérez-Hernández gen. et sp. nov. This new plant increases our knowledge about diversity of eudicotyledons during the Late Cretaceous and allows discussion of some aspects of the evolutionary relationships of Phytolaccaceae.

#### MATERIALS AND METHODS

The fossil infructescences are deposited in the Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection) in the Instituto de Geología, UNAM, and the fruits of extant plants that were used for comparison are deposited in the Paleobotanical Laboratory of the same institute.

The sediments containing the fruits correspond to Cerro del Pueblo Formation of the Difunta Group, in the Puerto Basin. Cerro del Pueblo forms part of an assemblage of seven formations in the western and central part of the basin (Murray et al., 1962; McBride et al., 1974; Vega-Verá et al., 1989). Its stratigraphic position and sedimentary correlation indicate that the plants represented by infructescences contained in the sediments grew in the area during the late Campanian. The Cerro del Pueblo Formation is composed mainly of mudstone and sandstone with lesser amounts of limestone, few conglomerates, and scarce rolled limestone (McBride et al., 1974) (Fig. 1). The presence of the ammonite *Sphenoliticus* sp. and the bivalve *Inoceramus sumneri* Mook and Hayden suggests a late Campanian age for the formation (Kirkland et al., 2000), which allows correlation with the *Baculites reesidei* and *B. jensenii* biozones of the Western Interior of North America. Furthermore, the presence of *Sphenoliticus* sp. and *I. sumneri* in marine facies suggests that age may be restricted to a time interval between 72.3 and 71.3 Ma (Kirkland et al., 2000). This interpretation is supported by magnetostratigraphic data recovered from the sediments of Cerro del Pueblo Formation in which the magnetocronozones *J2a*, *J2b*, *J2c* are recognized, and these can be correlated with the same biozones of the Western Interior of North America.

About 140 samples of *Coahuilacarpus phytolaccoides* have been collected in the ejidos Agua de Mula, La Rosa, and Rincón Colorado (General Cepeda Municipality), and in Rancho Altamira (Saltillo Municipality), in the southern region of the state of Coahuila (Fig. 1). Longitudinal and transverse sections of the infructescences were thin-sectioned, facilitating detailed anatomical and morphological observations. For the interpretation of the fruit, its tissues, and cells, detailed comparative anatomical and morphological observations of fossil and extant materials were made. For this purpose, fruit samples of *Phytolacca* sp., collected specifically for this project from the UNAM campus, were prepared for microscopic observation with an Olympus (Tokyo, Japan) BH-2 optical microscope following standard histological techniques (Johansen, 1940; O'Brien and McCully, 1981). The materials were microscopically observed with an Olympus SZH stereoscopic microscope, and the microphotographs were taken with the Olympus PM-10AD-4 system and its C-35AD-4 camera. In some photographs, additional illumination was enabled using Iridium (Carl Zeiss de México, Mexico) lamps with optic fiber, model LFS 200.

#### SYSTEMATIC DESCRIPTION

**Class**—Magnoliopsida

**Order**—Caryophyllales



Fig. 1. Map with location of fossiliferous outcrops. 1, Presa San Antonio; 2, Agua de Mula; 3, La Rosa; 4, Rincón Colorado; 5, Rancho Altamira (modified from Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994).

**Family**—Phytolaccaceae

**Genus**—*Coahuilacarpum* Cevallos-Ferriz, Estrada-Ruiz, et Pérez-Hernández gen. nov.

**Etymology**—The generic name derives from *carpon* (= fruit) and from the state of Coahuila, Mexico.

**Generic diagnosis**—Ovoid to spherical multiple infructescence, individual berry fruits united to the long axis of the infructescence; berries with six unilocular carpels, each with a single ovule/seed; thin pericarp; campylotropous ovule with a single vascular bundle; seed rectangular to subtriangular/pyriform, with two integumentary layers; nucellus represented by a single cell layer; embryonic reserve tissue (perisperm?) of thin-walled cells; curved embryo.

**Species**—*Coahuilacarpum phytolaccoides* Cevallos-Ferriz, Estrada-Ruiz, et Pérez-Hernández sp. nov. (Figs. 2–21).

**Holotype**—Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, catalogue no. IGM-PB 1244.

**Type locality**—The localities where these infructescences have been collected are at 25°15'–25°30'N and 101°21'–101°44'W, in Rincón Colorado (General Cepeda Municipality; Fig. 1).

**Stratigraphy and age**—Late Cretaceous (late Campanian), Cerro del Pueblo Formation.

**Etymology**—The specific epithet refers to the morphological and anatomical similarity between the fossil infructescence and that of extant *Phytolacca*.

**Diagnosis**—Multiple infructescence with 12, but up to 30 berries; fruits united to central vascularized axis occupying central portion of infructescence, through pedicels; berries small, subglobose, with six unilocular carpels, each with single campylotropous ovule/seed, with single vascular bundle; pericarp composed of three layers, external and internal ones composed of palisade, middle layer of polyhedral cells; seeds with two integumentary layers, external layer with outer zone of single thick-walled cells forming a palisade, inner zone composed of thin-walled rectangular/cylindrical cells, internal layer composed of single palisade; single-layered nucellus with thin-walled cells; embryonic reserve tissue (perisperm?) with polyhedral thin-walled cells; curved dicotyledonous embryo.

**Description**—The infructescences are between 2.0 and 4.3 cm long, and their diameter varies from 1.5 to 2.3 cm (Figs. 2–5). The individual fruits, berries, that constitute the infructescence range between 0.66 and 0.76 cm in diameter (Fig. 6–7). The fruits are united through a short, robust pedicel to a central, vascularized infructescence axis (Fig. 8–10). The fruits are composed of six unilocular carpels (Fig. 7); in transverse section of the berries, well-defined septa are composed of external and internal palisades and a middle zone of polyhedral thin-walled cells. The isodiametric polyhedral cells of the mesocarp are not well preserved (Fig. 11) because of diagenetic factors that destroyed or eroded most of it, limiting its full description. Nevertheless, some cells were measured in cross section; their

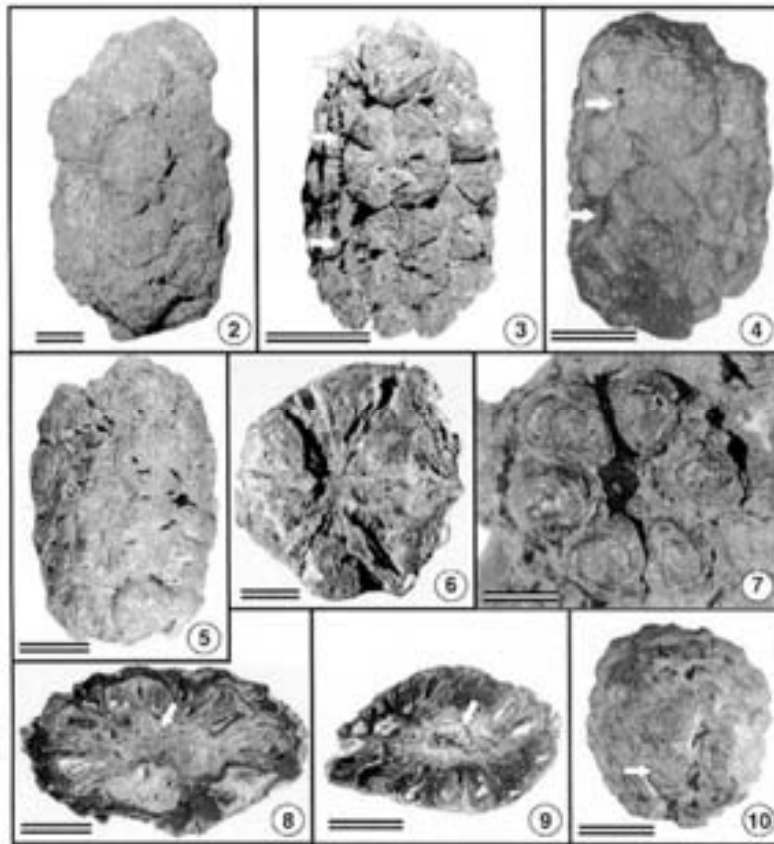
mean diameter is 26.2 (17.5–37.5)  $\mu\text{m}$ . Each carpel contains a single ovule/seed; molds of these are exposed if the pericarp is not preserved, but in other instances molds of the seed inner cavity are preserved (Fig. 12). The fruits have a characteristic pendulous placenta (Fig. 13). Seeds are 0.46 cm long by 0.21 cm in diameter; they have pyramidal form, two integumentary layers, and striated ornamentation (Fig. 14). The external layer is composed of two zones, the external one in transverse section is composed of thick-walled, rectangular cells forming a palisade (Fig. 15) and reaches ca. 27 by 22  $\mu\text{m}$ , while the internal zone in transverse section is multilayered and composed of polyhedral, thin-walled cells (Fig. 16). The inner integumentary layer is composed of thin-walled, rectangular cells forming a palisade, as seen in transverse section, which because of diagenesis is difficult to observe. In some internal seed molds, a scar or depression with variable shape and depth identifies the chalazal zone.

The seeds develop from a campylotropous ovule attached to a curved funiculus that is rarely preserved (Fig. 17). Each seed is reached by a single vascular bundle growing through the funiculus and developed from the pedicel. This vascular bundle has in transverse section a U-shape in its distal part, close to the insertion to the seed, but it is circular in its proximal region, close to the pedicel (Fig. 18). The nucellus is a one-layered structure, located immediately inside the seed coat. The mold of a curved embryo is present in some seeds, clearly showing the epicotylar and hypocotylar regions. The hypocotylar region is represented by a long, curved, cylindrical-like cavity filled with crystals and sedimentary material, while in the epicotylar region a "T"-like structure follows the contour of the apical meristem and cotyledons (Fig. 13). In very few specimens, some isodiametric thin-walled cells (Fig. 19, 20, 21) represent part of the embryonic reserve tissue (perisperm?), but in most seeds the presence of this tissue is suggested by a space left between the nucellus and the embryo.

## DISCUSSION

**Morphological comparison**—The fossil berry introduced here has morphological and anatomical characters similar to those found in Caryophyllales, particularly in Phytolaccaceae. Furthermore, morphological and anatomical comparison of *Coahuilacarpum phytolaccoides* Cevallos-Ferriz, Estrada-Ruiz, et Pérez-Hernández offers clear evidence to support some relationship with few species of *Phytolacca* (Table 1); however, various characters highlight differences between the reproductive structures of the fossil and extant plants, justifying the proposal of a new genus for this Late Cretaceous (late Campanian) material from northern Mexico (Table 1).

On the other hand, *Coahuilacarpum phytolaccoides* may resemble the reproductive structures of some members of Sapindales; however, their fruit and seed anatomy differ from that of the fossil material (Corner, 1976; Roth, 1977). Differences among them include the fruit, which in Sapindales either lack infructescences or correspond with aggregate ones (Rutaceae and Simaroubaceae), rather than having multiple infructescences as in *C. phytolaccoides* (Table 1) (Roth, 1977). Furthermore, Simaroubaceae lacks the unilocular gynoecium and campylotropous ovule that characterize the reproductive organ of the new plant. Only two families within the order, Sapindaceae and Meliaceae, have campylotropous ovules, but they differ from *C. phytolaccoides* having multiplicative testa

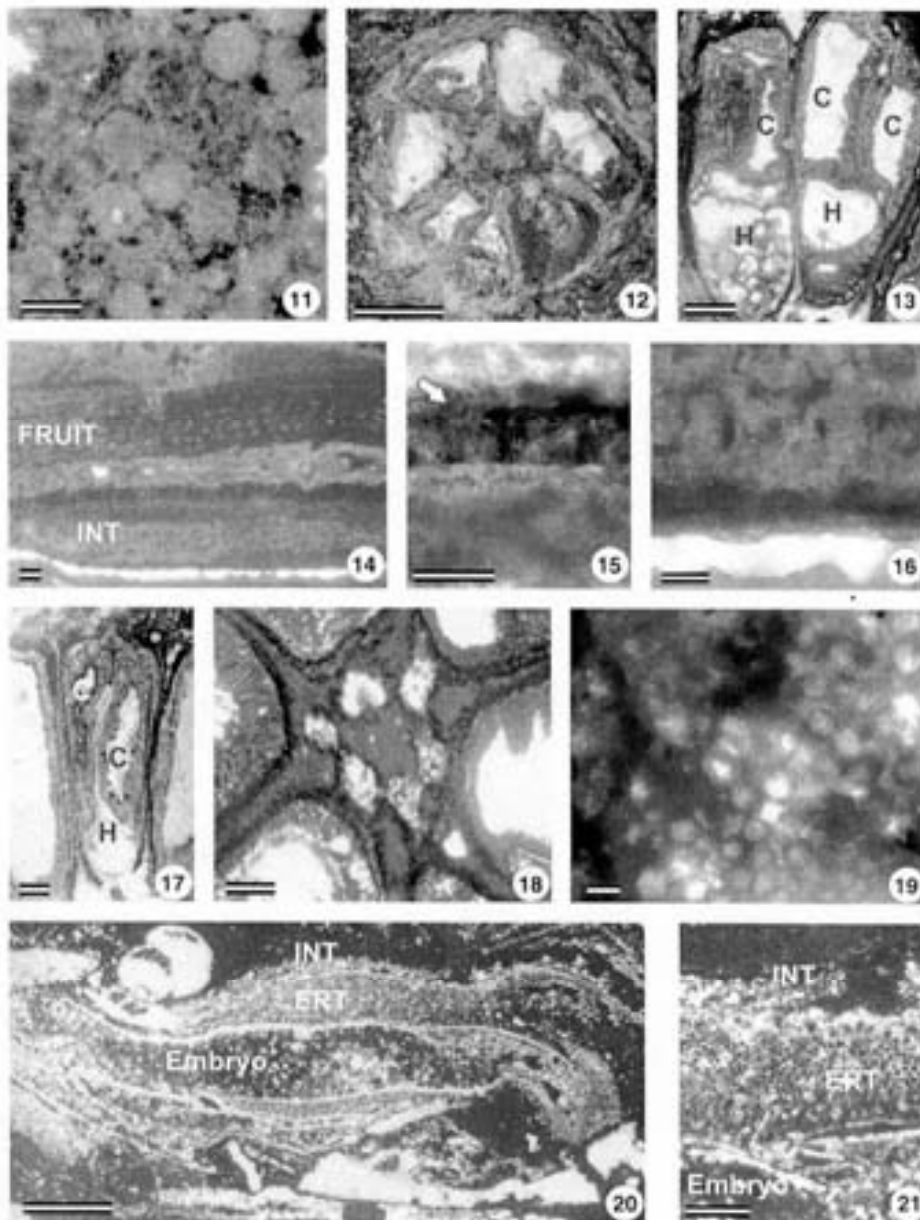


Figs. 2-10. Permineralized infructescence of *Coahuilacarpus phytolaccoides*. 2. General view of several infructescences, compare variability with 3, and 4, IGM-PB 1245. Bar = 0.8 cm; 3. Infructescence showing these fruits (arrows) with different sizes, IGM-PB 1244. Bar = 0.8 cm. 4. Infructescence showing two fruits (arrows), IGM-PB 1246. Bar = 0.8 cm. 5. Infructescence with several fruits, IGM-PB 1247. Bar = 0.9 cm. 6. Planar view of a fruit, IGM-PB 1248. Bar = 0.25 cm. 7. Planar view of a berry lacking pericarp, exposing six seeds, IGM-PB 1249. Bar = 0.2 cm. 8. Longitudinal section of an infructescence, toward its center an axis is evident (arrow), IGM-PB 1250. Bar = 0.6 cm. 9. Other infructescence showing an axis (arrow), IGM-PB 1251. Bar = 0.8 cm. 10. Proximal view of infructescence with pedicel toward center (arrow), IGM-PB 1252. Bar = 0.8 cm.

(Corner, 1976). The presence of aerenchymatous tissue in the seeds of Rutaceae, Burseraceae, and Hippocastanaceae; woody cells in Simaroubaceae; or pitting or thickenings in some cells of Anacardiaceae further weakens any relationship of *C. phytolaccoides* with the families of the order Sapindales (Corner, 1976).

*Coahuilacarpus phytolaccoides* has numerous fruits united to an axis that runs through the center of the inflorescence (similarly to the fruits of *Phytolacca*), forming a spike (Cronquist, 1981; Rohwer, 1993). The new infructescences have apical fruits somewhat smaller than the basal ones (Fig. 3), suggesting that they represent an indeterminate inflorescence, as in *Phytolacca* (Rohwer, 1993). The helical carpotaxy typical of *Phytolacca* is also found in *C. phytolaccoides*. On the other hand, the number of seeds per fruit in the different species of *Phytolacca* is variable (Cronquist, 1981). For example, *P. octandra* L. has 7-8 seeds per berry, though eight is rela-

tively usual. In contrast, *C. phytolaccoides* always had six seeds per berry, with no variation among the more than 130 infructescences studied. Another similarity among these infructescences is the presence of conspicuous fruit pedicels; perhaps these are somewhat larger in the extant material than in the fossil. Related to these shared features, in both extant and fossil berries, each seed is supplied with a single vascular bundle. Furthermore, the form of these bundles, in cross section and after dehydration of the extant material, is similar to the circular and U-shaped forms in the fossil material. This character can be seen because the pericarp adheres firmly to the funicle, making visible the vascular tissue, which becomes delineated as thin ribs. Further similarity is found in the seed coat surface, though deficiently preserved. While the seed coat of *C. phytolaccoides* is glabrous, it has striations (see Fig. 7) similar to the ornamentations formed in *Phytolacca* when its seeds dry (Rohwer, 1993).



Figs. 11–21. Internal structure of *Coshailacurpon phytolaccoides*. 11. Isodiametric cells of pericarp. IGM-LPB 552. Bar = 25  $\mu$ m. 12. Cavity of the six seeds. IGM-LPB 1253. Bar = 0.1 cm. 13. Embryo with cotyledons and hypocotyl. IGM-LPB 548. Bar = 650  $\mu$ m. 14. Integumentary layers. IGM-LPB 545. Bar = 30  $\mu$ m. 15. External zone of the outer integument forming a palisade of thick-walled cells (arrow). IGM-LPB 545. Bar = 25  $\mu$ m. 16. Thin-walled cells of inner zone of outer integument and inner integument composed of thin-walled rectangular cells. IGM-LPB 545. Bar = 13  $\mu$ m. 17. Micropylar zone. IGM-LPB 535. Bar = 475  $\mu$ m. 18. Pedicel with six vascular bundles. IGM-LPB 538. Bar = 260  $\mu$ m. 19. Embryonic reserve tissue. IGM-LPB 542. Bar = 20  $\mu$ m. 20. Seed oblique section with preserved integument, embryonic reserve tissue, and embryo. IGM-LPB 542. Bar = 550  $\mu$ m. 21. Detail of embryonic reserve tissue. IGM-LPB 542. Bar = 140  $\mu$ m. C = cotyledons, ETR = embryonic reserve tissue, H = hypocotyls, INT = integument.



TABLE 1. Comparison of anatomical characters of *Phytolacca* and *Coshuilacarpus phytolaccoides*. Italics = differences, black = similarities.

Reproductive structures	<i>Phytolacca</i>	<i>C. phytolaccoides</i>
Infructescence	multiple or aggregate	multiple
Inflorescence	indeterminate	indeterminate
Carpel/ovule	5–16, free/united	6 united
	apocarpic/syncarpic	syncarpic
No. of locules per carpel	1	1
No. of ovules per carpel	1	1
Fruit type	berry	berry
Carpotaxy	helicoidal	helicoidal
Integument	biternic	biternic
Ovule orientation	campylotropous	campylotropous
Placentation	basal/axilar	pendulous
Embryo	curved	curved
Age	extant	Late Cretaceous

Of special interest for taxonomic decisions is the integumentary anatomy. In both extant and fossil plants, the external zone of the outer integument is represented by a palisade of thick-walled cells. The polyhedral, thin-walled cells organized in a multilayered internal zone of the outer integument are also similar in the seeds of the compared plants. Furthermore, though not well preserved in the fossil material, the inner integument of the seeds is also composed of a palisade similar to that of the extant plants. Another important characteristic of the seeds of *Phytolaccaceae* (and *Caryophyllales*) is the presence of a curved embryo (Kajale, 1954). In a reconstruction of the embryo structure through several transverse and longitudinal sections of some fossil seeds, the curved embryo form is evident, as suggested by the position of the hypocotyl relative to the cotyledons. It is the presence of the embryo that allowed the comparison of the fossil material with the available literature on mature seeds of *Phytolacca*. Furthermore, based on this character, we collected mature material to complete our observations, which strongly corroborate the close similarity between these plants.

There are, however, some differences between *Phytolacca* and *Coshuilacarpus phytolaccoides* (Table 1), but similarities and shared characters are more numerous and more important for defining affinities. For example, they differ in the pendulous placentation of the fossil material compared with the basal or axilar placentation of the extant *Phytolaccaceae* (Eckardt, 1954). This difference most probably represents variability within taxa during the Cretaceous.

The unique combination of morphological and anatomical characters in the new reproductive structure of the Cerro del Pueblo Formation, plus its age, certainly represents a new genus within *Phytolaccaceae*. This infructescence represents not only the oldest record for the family but most importantly marks its first appearance in the Late Cretaceous, more precisely during the late Campanian. Our findings support Laurasia as the origin of the group, while new and interesting questions arise regarding the phylogenetic relationships of *Phytolaccaceae* among *Caryophyllales* (Downie et al., 1997; Coënoud et al., 2002), but such questions are beyond the scope of this report. Finally, these new reproductive structures add important information to the understanding of biodiversity in low latitude North America prior to the K/T boundary and append a plant lineage whose biology should be explored to exemplify processes through which biodiversity may have expanded in the area.

## LITERATURE CITED

- [APG] ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399–436.
- HERALD-CAMPEL, H., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2005. Diversidad de microfósiles en la Formación Tarahumara, Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22: 261–271.
- HERALD-CAMPEL, H., S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ, AND E. CHACÓN-BACA. 2004. Microfossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tarahumara Formation, Sonora, Mexico. *Cretaceous Research* 25: 249–265.
- CAUVILLO-CANADELL, L., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2007. Reproductive structures of *Rhamnaceae* from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Cuahuila) and Cuatrings (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. *American Journal of Botany* 94: 1658–1669.
- CEVALLOS-FERRIZ, S. R. S., AND O. S. RICALDO-MORINO. 1995. Palmeras fósiles del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 66: 37–106.
- CEVALLOS-FERRIZ, S. R. S., AND J. L. RAMÍREZ. 1998. Las plantas con flores en el registro fósil. *Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM* 52: 46–57.
- CHANDLER, E. M. 1961. Flora of the Lower Headon Beds of Hampshire and the Isle of Wight. *Bulletin of the British Museum of Natural History: Geology* 5: 91–158.
- CHANDLER, E. M. 1963. The lower Tertiary flora of South England. III. Flora of the Bournemouth Beds; the Boscombe, and the Highcliff Sands. The British Museum, London, UK.
- CHANEY, R. W. 1944. A fossil cactus from the Eocene of Utah. *American Journal of Botany* 31: 507–528.
- CEJUDO-RUIZ, P., P. VERDANSKY, F. J. VEDA, S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ, E. GONZÁLEZ-SORDANO, AND C. R. DELGADO DE JESÚS. 2006. Terrestrial arthropods from the Cerro del Pueblo Formation (Campanian, Late Cretaceous), Dfunta Group, northeastern Mexico. *Geologica Carpathica* 57: 347–354.
- COLLISON, M. E., M. C. BEULYER, AND P. L. HILARY. 1993. Magnoliophyta (Angiospermae). In M. J. Benton [ed.], *The fossil record* II, 809–841. Chapman and Hall, London, UK.
- CORNER, E. J. H. 1976. The seeds of dicotyledons, vol. I. Cambridge University Press, Cambridge, London, UK.
- CRONQUIST, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York, New York, USA.
- CUÉNOUD, P., V. SAVOLAINEN, L. W. CHATROU, M. POWELL, R. J. GRAY, AND M. W. CHASE. 2002. Molecular phylogenetics of *Caryophyllales* based on nuclear 18S rDNA and plastid *rbcL*, *atpB*, and *matK* DNA sequences. *American Journal of Botany* 89: 132–144.
- DOWDIE, S. R., D. S. KATZ-DOWDIE, AND C. KYUNG-JIN. 1997. Relationships in the *Caryophyllales* as suggested by phylogenetic analyses of partial



- chloroplast DNA ORF2280 homolog sequences. *American Journal of Botany* 84: 253–273.
- ERWIN, D. A., C. R. DELGADO-DE JESÚS, J. F. LEHRING, D. B. BRIDMAN, R. A. RODRÍGUEZ-DE LA ROSA, AND S. D. SAMPSON. 2004. Cerro del Pueblo Fin (Difunta Group, Upper Cretaceous), Pinar del Estado, southern Coahuila, Mexico: Reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21: 335–352.
- ECKARDT, T. H. 1954. Morphologische und systematische Auswertung der Placentation von Phytolaccaceen. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 67: 113–128.
- ESTRADA-RUIZ, E. 2004. Fósiles permineralizados del Cretácico Superior del estado de Coahuila, México. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico.
- ESTRADA-RUIZ, E., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2006. Semillas de Lythraceae de la Formación Cerro del Pueblo del Cretácico Superior (Campaniano tardío), Coahuila, México. In Proceedings of IX Congreso Latinoamericano de Botánica, Santo Domingo, Dominican Republic, 537 (abstract).
- ESTRADA-RUIZ, E., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2007. Inflorescencias from the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian), Coahuila and El Cien Formation (Oligocene-Miocene), Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 168: 507–519.
- FRIEDRICHSEN, N. O. 1980. Spermophytes from the Jackson group (upper Eocene) and adjacent strata of Mississippi and western Alabama. *Geological Survey Professional Paper* 1084: 1–75.
- GRILLAS-CAVAGNETTO, C. 1976. Etude palynologique du Paléogène du Sud de l'Angleterre. *Cahiers de Micropaléontologie* 1: 1–49.
- HIMMEL, A. 1889. Phytolaccaceae. In A. Engler and K. Prantl [eds.], *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*, vol. III, 1–14. W. Engelmann, Leipzig, Germany.
- HIMMEL, A. 1934. Phytolaccaceae. In A. Engler and K. Prantl [eds.], *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*, 2nd ed., vol. IV, 16, 135–164. W. Engelmann, Leipzig, Germany.
- HERNÁNDEZ, R. 1992. New dinosaur finds in the Cerro del Pueblo Formation (Upper Cretaceous, Campanian) from Coahuila state, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 12: 32 (abstract).
- HERNÁNDEZ, R. 1995. The Mexican Dinosaur National Monument. *Journal of Vertebrate Paleontology* 13: 34 (abstract).
- HERNÁNDEZ, R., AND J. I. KIRKLAND. 1993. The rediscovery of a rich upper-most Campanian dinosaur locality in the Cerro del Pueblo Fin, Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 13: 41 (abstract).
- HERNÁNDEZ-CASTELLANO, G., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 1999. Reproductive and vegetative organs with affinities to Haloragaceae from the Upper Cretaceous Huepac chert locality of Sonora, Mexico. *American Journal of Botany* 86: 1717–1734.
- JORDAN, D. A. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw-Hill, New York, New York, USA.
- JORDAN, G. J., AND M. K. MACPHERSON. 2003. A middle-late Eocene inflorescence of Caryophyllales from Tasmania, Australia. *American Journal of Botany* 90: 761–768.
- KARL, L. B. 1954. A contribution to the embryology of the Phytolaccaceae. II. Fertilization and the development of embryo, seed and fruit in *Rivina humilis* Linn. and *Phytolacca dioica* L. *Journal of the Indian Botanical Society* 33: 206–225.
- KIRKLAND, J. I., R. HERNÁNDEZ-RIVERA, C. AGUILÓN-MARTÍNEZ, C. DELGADO DE JESÚS, R. GÓMEZ NÚÑEZ, AND I. VALLERA. 2000. The Late Cretaceous Difunta Group of the Pinar del Estado, Coahuila, Mexico, and its vertebrate fauna. Guide book of the field trips, Society of Vertebrate Paleontology, Mexico, 131–172.
- MACGONIGLE, H. D. 1969. The Eocene Green River flora of northwestern Colorado and northeastern Utah. University of California Publications in Geological Sciences 83: 203.
- MCFRIDE, E. F., A. E. WILSON, J. A. WILLIAMS, AND R. C. LAUDON. 1974. Stratigraphy and structures of the Pinar and La Piza basins, north-eastern Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 85: 1603–1622.
- MURRAY, G. E., A. E. WILSON, D. R. HOYT, R. H. FORDE, AND P. D. LEWIS JR. 1962. Formational divisions of Difunta Group, Pinar del Estado, Coahuila and Nuevo León, Mexico. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 46: 374–383.
- NOWICKI, J. W. 1968. Palynotaxonomic study of the Phytolaccaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 55: 294–363.
- O'BEHN, T. P., AND M. E. MCCULLY. 1981. The study of plant structure, principles and selected methods. *Terrestrial Plants*, Melbourne, Australia.
- RODRÍGUEZ-DE LA ROSA, R., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 1994. Upper Cretaceous zingiberellian fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 155: 786–805.
- RODRÍGUEZ-DE LA ROSA, R. A., M. C. AGUILÓN-MARTÍNEZ, J. LÓPEZ-Espinosa, AND D. A. FERRIZ. 2004. The fossil record of vertebrate tracks in Mexico. *Ichnos* 11: 27–37.
- RODRÍGUEZ-DE LA ROSA, R. A., AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 1998. Vertebrates of the El Peñón locality (Campanian, Cerro del Pueblo Formation), southeastern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18: 751–764.
- RODRÍGUEZ-DE LA ROSA, R. A., S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ, AND A. SILVA-PINEDA. 1998. Paleobiological implications of Campanian coprolites. *Palaogeography, Paleoclimatology, Paleoenvironment* 142: 231–254.
- ROHWER, J. G. 1993. Phytolaccaceae. In K. Kubitzki, J. G. Rohrer, and V. Bittrich [eds.], *The families and genera of vascular plants*, vol. II, Magnoliid, hamamelid, and Caryophyllid families, 506–515. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- ROY, I. 1977. Fruits of angiosperms. *Encyclopedia of plant anatomy*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Germany.
- REZDOWSKI, J., AND G. CALDERÓN DE REZDOWSKI. 2000. Notas sobre el género *Phytolacca* (Phytolaccaceae) en México. *Acta Botánica de México* 53: 49–66.
- SARAVAITAVA, S. K. 1969. Assorted angiosperm pollen from the Edmonton Formation (Maestrichtian) Alberta, Canada. *Canadian Journal of Botany* 47: 975–989.
- VAN CAMPO, E. 1976. La flore sporepollinique du gisement Miocène terminal de Venta del Moro (Espagne). *Revue de Micropaléontologie* 18: 264–268.
- VELAZQUEZ, F., L. MYRE-SALAZAR, AND E. MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ. 1989. Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Grupo Difunta (Cretácico Superior-Terciario) en el Noroeste de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 8: 179–187.
- WALTER, H. 1909. Phytolaccaceae. In A. Engler [ed.], *Das Pflanzenreich*, vol. 4, 83, 1–154. W. Engelmann, Leipzig, Germany.



## Upper Cretaceous aquatic plants from Northern Mexico

Emilio Estrada-Ruiz<sup>a,\*</sup>, Laura Calvillo-Canadell<sup>b</sup>, Sergio R.S. Cevallos-Ferriz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F., México

<sup>b</sup> Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F., México

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 31 July 2008

Received in revised form 11 November 2008

Accepted 13 November 2008

Available online 21 November 2008

#### Keywords:

Upper Cretaceous  
Cerro del Pueblo Formation  
Decodon  
Ceratophyllum  
Coahuila  
Mexico

### ABSTRACT

Two aquatic plant genera assignable to *Decodon* (Lythraceae) and *Ceratophyllum* (Ceratophyllaceae) are described based on reproductive structures collected from the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian [73.5 ma]), Coahuila, Northeast Mexico. *Decodon* is represented by three small seeds with a pyramidal shape, rounded borders, and a concave ventral surface with a rectangular valve towards the center of the seed ventral surface. The *Ceratophyllum* spiny fruit has an ellipsoidal central body and two proximal long spines flanking a short pedicel opposite the stylar projection. These new reports confirm the presence of both genera in the Upper Cretaceous sediments of Northeastern Mexico, and add to our recognition of diversity within the widely distributed freshwater communities along the margin of the epicontinental sea.

© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Diverse reproductive and vegetative plant organs of Late Cretaceous age have been collected in Northern Mexico as part of the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian), an important paleontological unit based on plant and animal remains. Among these are *Phytolacca*-like infructescences (Cevallos-Ferriz et al., 2008), enigmatic infructescences related to *Alismatales* (Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2007), *Zingiberales* (cf. *Strelitziacae* and *Musaceae*; Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994), and flowers and fruits of *Rhamnaceae* (Calvillo-Canadell and Cevallos-Ferriz, 2007). Together these studies extend the fossil record of these groups. Another contribution of this Cerro del Pueblo Formation geologic unit is the discovery of fossil remains that document plant–animal interactions, including seeds of *Lythraceae* and *Ranunculaceae*, insects, and bone fragments within herbivore and carnivore coprolites (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998). Diverse vertebrates are known from coprolites and skeletal parts (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998) further documenting Cretaceous life as preserved in these sediments.

The fossil record of *Lythraceae* around the world is well represented by pollen, fruits, seeds, leaves and wood (Graham and Graham, 1971; Tiffney, 1981; Little et al., 2004; Graham et al., 2005; Pigg and DeVore, 2005). The oldest record of the family comes from the Cerro del Pueblo Formation coprolites, where a seed was reported (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998); however, it was not included in a genus due to limited information. This permineralized seed was collected in the same locality where the new material was found. From the Deccan Intertrappean series, western India, in Upper Cretaceous or Paleocene rocks, fruits and seeds of *Enigmocarpon* have been reported (Sahni, 1943). Other fruits from Europe and North America have been nicely described and compared with extant and fossil material (Tiffney, 1981; Cevallos-Ferriz and Stockey, 1988; Kvaček and Sakala, 1999). Pollen related to *Lythraceae* further suggests the wide distribution attained by the family by the Paleogene (Graham and Graham, 1971).

*Decodon* J.F. Gmelin, represents the most common lythraceous plant of the family in the fossil record. Its leaves, fruits, seeds and secondary xylem and phloem have been described and compared with those of extant species (Dorofeev, 1977; Matsumoto et al., 1997; Cevallos-Ferriz and Stockey, 1988; Little and Stockey, 2003). In Europe, the fossil record of *Decodon* spans from the Eocene to the Pliocene (Chandler, 1960; Mai and Walther, 1978), while in Asia it is present in Oligocene–Miocene rocks (Dorofeev, 1977; Matsumoto et al., 1997). In North America, well-preserved permineralized

\* Corresponding author. Tel.: +52 55 5622 4292; fax: +52 55 5550 6644.

E-mail addresses: [emilio@igeologia.unam.mx](mailto:emilio@igeologia.unam.mx) (E. Estrada-Ruiz),

[laurac@geolmail.com](mailto:laurac@geolmail.com) (L. Calvillo-Canadell), [scrf@servidor.unam.mx](mailto:scrf@servidor.unam.mx)

(Sergio R.S. Cevallos-Ferriz).

material from the middle Eocene document plant organs of the genus (Cevallos-Ferriz and Stockey, 1988; Bertram, 1998; Mathewes, 2003; Pigg et al., 2007).

Ceratophyllaceae is a cosmopolitan monogeneric family of herbaceous, perennial, aquatic plants. Fruits of this family are formed from a superior unilocular ovary, with a single persistent style that is elongated and spine-shaped with an acute or bilobed apex (Les, 1988a,b).

The fossil record of Ceratophyllaceae from Paleogene forward is well known, based on fruits from several localities (Herendeen et al., 1990), although its earliest report corresponds to material from the early Aptian (Dilcher, 1989). In Europe a closely related plant, *Ceratostratiotes*, produced similar fruits during the Miocene; but these can be differentiated from those of *Ceratophyllum* by placentation, ornamentation and symmetry (Božek, 1982; Les, 1988a). From Miocene strata of China, stems and fruits referred to *Ceratophyllum* seem to represent two species, *Ceratophyllum* cf. *C. muricatum* subsp. *muricatum* and *C. midemarsun* (Hu and Chaney, 1940; Wang et al., 2005). Further information on diversity and cosmopolitan distribution of Ceratophyllaceae through time has been summarized by Les (1988a).

Here we describe the fossil seed and fruit of two aquatic plants documenting the presence and the initial diversification angiosperms in freshwater environments in Northern Mexico. These new data further support the biogeographic nexus of low latitude floras of North America to those of higher latitudes in the Northern Hemisphere.

## 2. Materials and methods

The fossil materials were collected from two regions within the Cerro del Pueblo Formation. The spiny fruit was collected in the El Almacigo locality and the three *Decodon* seeds of the Cerro

del Carmen locality. Both localities occur in Rincon Colorado, General Cepeda Municipality, Coahuila (25831'N and 101819'W), and both contain plants of late Campanian age. The specimens are deposited in the Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection) of the Instituto de Geología, UNAM.

The Cerro del Pueblo Formation forms part of a set of seven formations in the Parras Basin in western and south-central Coahuila. It is composed mainly of siltstone, sandstones, and few conglomerates with rounded limestone pebbles (McBride et al., 1974). Paleobotanical and paleomagnetic observations suggest this formation is late Campanian in age (Eberth et al., 2004). Stratigraphic sections were measured where the fruits were collected. Sedimentological data suggest that the *Ceratophyllum* fruit was transported by a turbidite flow, along with the *Rhamnaeae* reproductive structures recently reported and various leaf types, including palm leaves. This material was deposited in a lake or estuary environment, forming part of a delta system during the late Campanian.

The fossils are classified following the APG II (2003) system. Extant material for comparison was obtained from the National Herbarium (MEXU), Instituto de Biología, UNAM and the Herbarium of the University of Connecticut (The George Safford Torrey Herbarium (CONN)). The fossils were examined using an optical Olympus BH-2 microscope and a stereoscopic SZH Olympus microscope. Micro- and macro-photographs were made with a PM-10AD system and a C-35AD-4 Olympus camera. In some photographs additional light was supplied through a fiber optic lamp, Indumex, model LFS 200. A number of specialists were consulted, but special recognition is due to the late Dr. Alejandro Novelo-Retana, for bibliographic search and his aid in taxonomic decisions.

## 3. Systematic paleobotany

Family	Lythraceae
Genus	<i>Decodon</i> J.F. Gmelin
Species	<i>Decodon tiffneyi</i> Estrada-Ruiz, Calvillo-Canadell et Cevallos-Ferriz sp. nov.
Holotype	IGM-PB 1285
Repository	Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM
Type locality	Cerro del Carmen, Rincon Colorado, General Cepeda Municipality, Coahuila, Mexico, 25831'N, 101819'W
Stratigraphy	Cerro del Pueblo Formation
Age	late Campanian
Etymology	The specific epithet honors Dr. Bruce H. Tiffney, who studied in detail the morphology and anatomy of the fossil seeds of Lythraceae among many other important carpalogical contributions
Specific diagnosis	Small, anisopolar, pyramidal seed with acute to rounded corners, valve occupying ca. three-fourth of a concave ventral surface forming a well-marked keel, and having well-marked valve flexure
Description	Three samples of <i>D. tiffneyi</i> with pyramidal shape and acute to rounded corners borders were examined (Figs. 1 and 2 Figs. 1A–C and 2). Their ventral and dorsal surfaces are concave (Fig. 1D–F), the ventral seed surface is ornamented with longitudinal grooves, has a rectangular valve that occupies ca. three-fourth of its surface, tends to be central, and forms a prominent keel (Fig. 1A–C). The seeds are 1.8 mm × 1.0 mm, 1.0 mm × 1.0 mm and 1.1 mm × 0.9 mm in length by width, respectively. The largest valve is 1125 μm by 675 μm, while the smallest is 575 μm by 450 μm (Fig. 1A–C). It is missing in one sample. The flexure of the valve measures 450, 325 and ca. 200 μm long in the three seeds (Fig. 1A–C). On one seed the raphe is observable along the dorsal surface (Fig. 1G).
Family	Ceratophyllaceae
Genus	<i>Ceratophyllum</i> L.
Species	<i>Ceratophyllum leslii</i> Estrada-Ruiz, Calvillo-Canadell et Cevallos-Ferriz sp. nov.
Holotype	IGM-PB 1288
Repository	Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM
Type locality	El Almacigo, Rincon Colorado, General Cepeda Municipality, Coahuila, Mexico, 25831'N, 101819'W (Fig. 2)
Stratigraphy	Cerro del Pueblo Formation
Age	late Campanian
Etymology	The specific epithet honors Dr. Donald Les, who studies aquatic plants and among these, Ceratophyllaceae
Specific diagnosis	Elliptical spiny fruit body with smooth surface, and two proximal spines flanking a pedicel which is opposite the style; the pedicel is short, but wide; mature fruit is small compared with extant fruits of <i>Ceratophyllum</i>
Description	A single elliptical achene of <i>C. leslii</i> , 5 mm by 3 mm (Fig. 4A) is known. It has two large and simple proximal spines (Fig. 4A and B) flanking the central pedicel, ca. 0.5 mm in length (Fig. 4C). The largest spine is 4.2 mm in length and the smallest one is broken and 1 mm long (Fig. 4A and B). Facial and lateral or marginal spines are absent. The stylar spine projection located opposite to the pedicel is incomplete (Fig. 4A). Fruit surface appears to be smooth (Fig. 4A and D). The fruit is small compared with extant fruits of <i>Ceratophyllum</i> (Fig. 5A–D). A light mark ca. 0.8 cm wide surrounds the central fruit body, suggesting the presence of a short wing

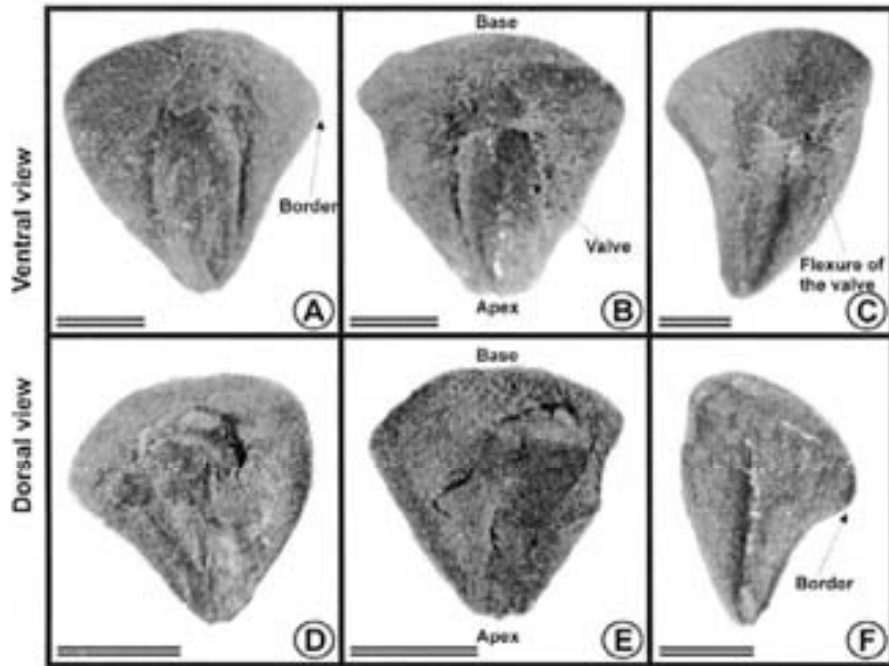


Fig. 1. *Decodon tiffneyi* Estrada-Ruiz, Calvillo-Casadejell et Cervillos-Ferriz. (A) Frontal view of seed showing general form of IGM-PB 1285. Bar = 575  $\mu\text{m}$ . (B) Apex, base and valve of IGM-PB 1286. Bar = 450  $\mu\text{m}$ . (C) Seed without valve, but having flexure of the valve of IGM-PB 1287. Bar = 425  $\mu\text{m}$ . (D–F) Detail of dorsal view. (D) Concave surface of IGM-PB 1285. Bar = 550  $\mu\text{m}$ . (E) Apex and base of IGM-PB 1286. Bar = 512.5  $\mu\text{m}$ . (F) Showing the borders of IGM-PB 1287. Bar = 437.5  $\mu\text{m}$ .

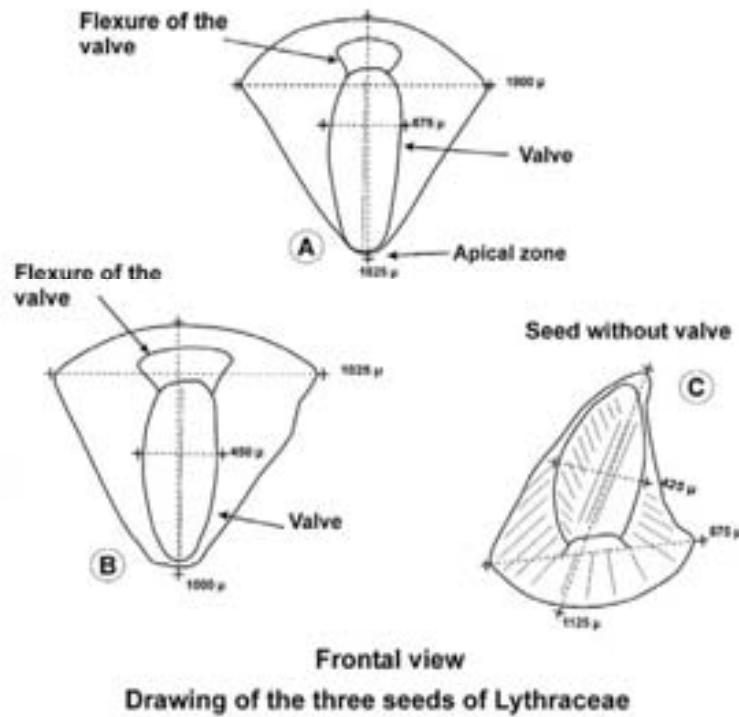


Fig. 2. Drawing of the three *Decodon tiffneyi* seeds. (A) Ventral view with valve and flexure of the valve, IGM-PB 1285. (B) Pyramidal shape and acute to rounded borders, IGM-PB 1286. (C) Seed without valve, IGM-PB 1287.

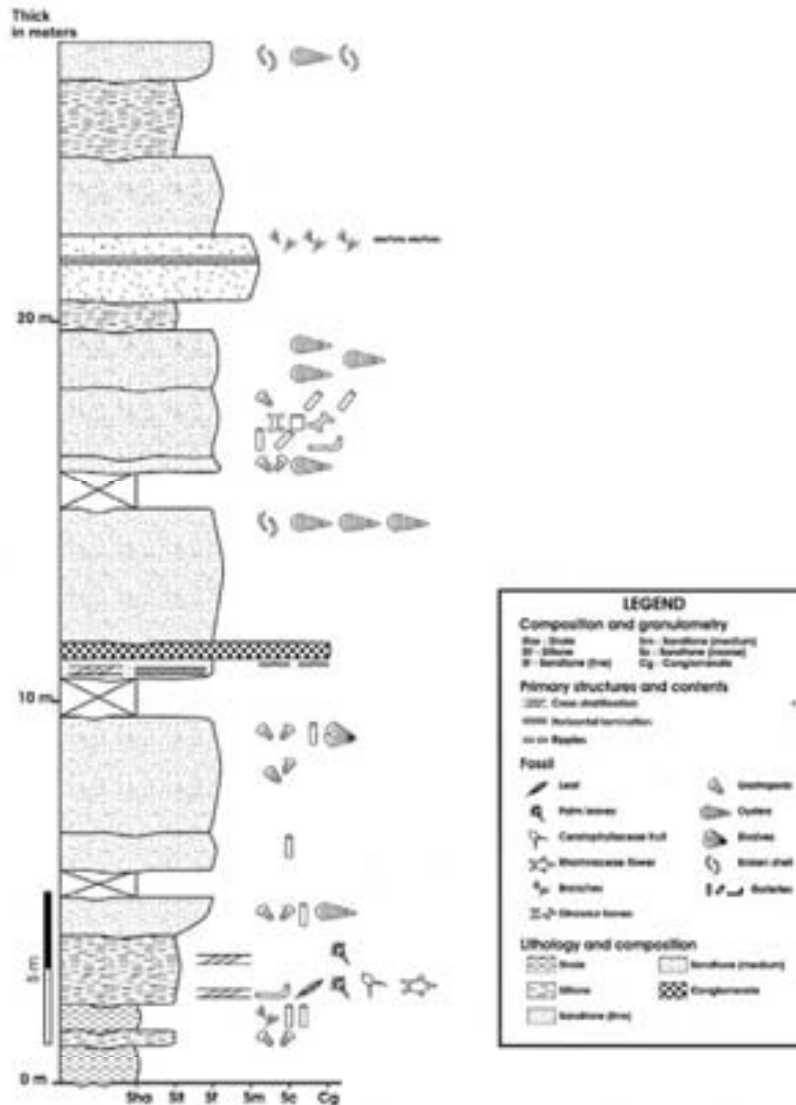


Fig. 3. Stratigraphic column of the El Almáximo locality, Rincon Colorado, Cerro del Pueblo Formation. Fruit was collected towards the base (courtesy: Callejas-Moreno, J. and Estrada-Ruiz, E.).

#### 4. Discussion

Aquatic flowering plants (Nymphaeales) are known from the Early Cretaceous (Friis et al., 2001). By the Aptian/Albian Cabombaceae and Ceratophyllaceae make their appearance (Friis et al., 2001; Wang and Dilcher, 2006; Taylor et al., 2008). During the Late Cretaceous, aquatic plants increase in diversity, and their morphological and anatomical characteristics become more similar to those of extant relatives.

The new aquatic plants from the Upper Cretaceous in Northern Mexico confirm that along the Western Interior Sea transitional environments maintained a diverse flora. Towards the north of this sea, in Albian times, members of cf. Cabombaceae and cf. Nymphaeaceae have been documented

(Wang and Dilcher, 2006). Other aquatic or sub-aquatic plants reported from the Coahuila region in upper Campanian sediments include members of Alismatales (Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2007), Zingiberales (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994), and plants similar to Nelumbonaceae (Estrada-Ruiz et al., 2008).

The Decodon seeds compare closely with those of extant *Decodon verticillatus* (L.) Eil. They have a similar size, with a length varying from 0.8 to 1.9 mm and a width ranging from 0.6 to 1.9 mm. Their shape varies from elongated to pyramidal, their borders are rounded or acute, and they lack lateral wings (Tiffney, 1981; Cevallos-Ferriz and Stockey, 1988). Preservation of our material does not allow anatomical comparisons with a permineralized seed from the Cerro del Pueblo Formation that was

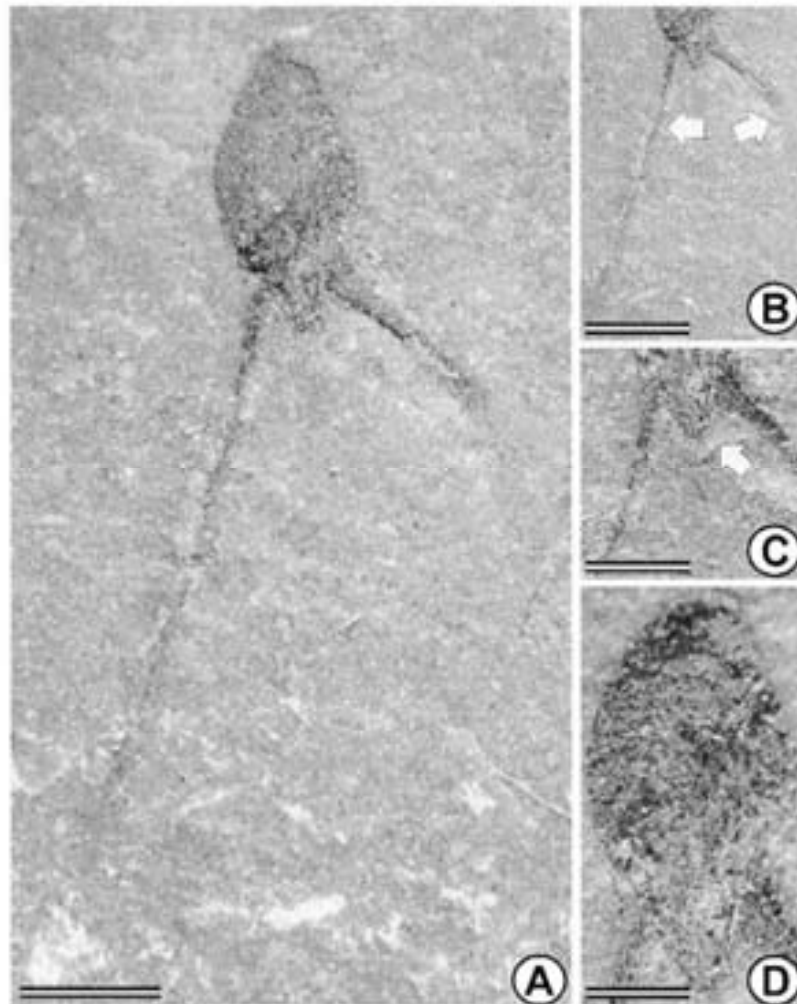


Fig. 4. *Ceratophyllum lesii* Estrada-Ruiz, Calvillo-Casadei et Cevallos-Ferriz. (A) General view of the fruit with two proximal spines, IGM-PB 1288. Bar = 1 mm. (B) Detail of the two proximal spines (arrows), IGM-PB 1288. Bar = 1 mm. (C) Detail of the pedicel (arrow), IGM-PB 1288. Bar = 0.25 mm. (D) Detail of the smooth ellipsoid fruit, IGM-PB 1288. Bar = 0.25 mm.

compared anatomically with seeds of *Decodon* and other genera of Lythraceae (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998). The presence of the *Decodon* molds and permineralized seeds in the same locality, both with well-preserved valves, valve flexures, pyramidal shape and rounded corners, strongly suggest that the lythraceous seeds represent the same plant type and, therefore, *Decodon* can be confidently assumed to have lived in the area ca. 73.5 ma ago.

Dorofeev (1977) organized fossil *Decodon* seeds based on their morphological features into three distinct groups. The *D. gibbosus* group has several reports in the late Eocene to Pliocene (Tiffney, 1981). The seeds have a narrow ventral side, rounded borders and well-developed dorsal spongy tissue. The second group, *D. vetchensis*, includes Oligocene–Miocene species with a narrow ventral surface, sharp edges, less developed spongy tissue dorsally, and a very large valve that rises above the seed surface. The third group, *D. globosus*, includes Eocene to recent species characterized by a broad ventral surface containing a valve occupying its entire length, rounded borders, and less developed spongy tissue (Tiffney,

1981). The character combination in the seeds from the Cerro del Pueblo Formation, like the almost equilateral pyramidal seed shape, and the short and ca. rectangular valve with well-developed flexure distinguishes it from species so far reported. Furthermore, the age difference (late Campanian vs. Cenozoic) with other fossil reports strongly suggests that this new Cretaceous material represents a new species of the *D. gibbosus* group. We use this classification since it helps to highlight variability and diversity through time in the genus, but it is necessary to stress that until whole plant reconstructions of the different *Decodon* reports are presented this seems to be an artificial approach to the genus.

This new lythraceous report moves the origin of the family to the Late Cretaceous, as suggested before (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998), and particularly broadens the time range of *Decodon* (Cevallos-Ferriz and Stockey, 1988; Manchester, 1994; Tiffney, 1981; Matsumoto et al., 1997). Molecular studies considering the fossil record suggest that the family may have originated during the Late Cretaceous in Laurasia (Graham et al., 2005), and



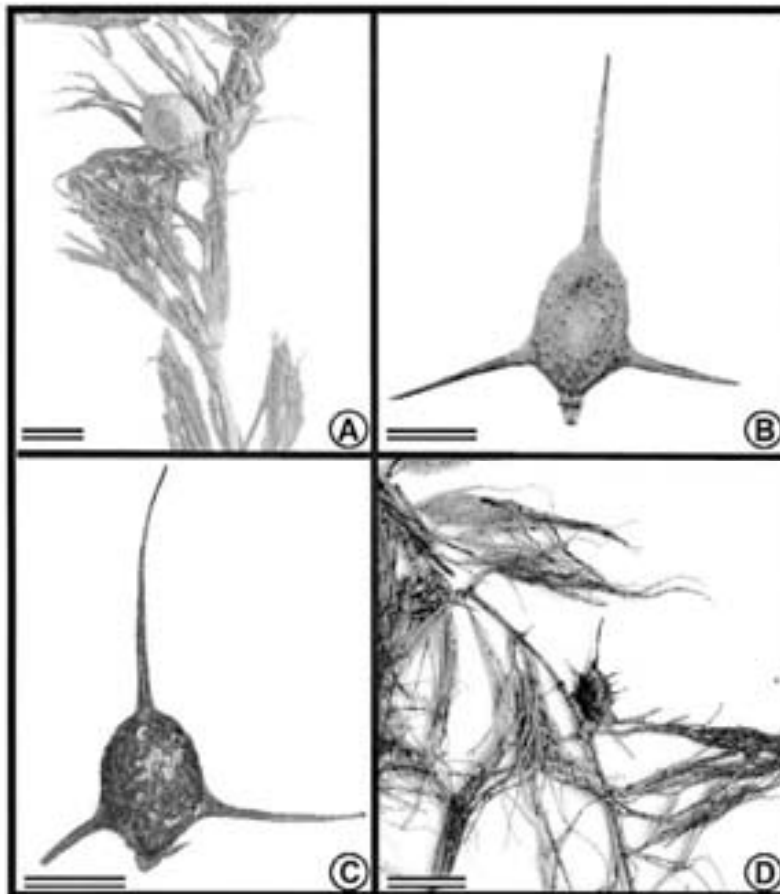


Fig. 5. Extant material of the George Safford Torrey Herbarium (CONN). (A–C) Extant *Ceratophyllum demersum* and (D) *C. muricatum* var. *australe*. (A) Fruit and leaves. Bar = 0.4 mm. (B) Two proximal spines. Bar = 0.4 mm. (C) Fruit with spines similar to those of the fossil fruit. Bar = 0.4 mm. (D) Fruit and leaves. Bar = 0.4 mm.

Matsumoto et al. (1997) suggested that *Decodon* appeared first in western North America, and only later (middle Eocene) migrated to Western Europe, and Asia. Our new report supports this idea, although the place of origin may have been south-central North America.

*Ceratophyllaceae* fruit morphology and distribution of spines and style are especially important to identify plants in this family (Les, 1988a). The presence of two lateral proximal spines flanking a pedicel that is opposite the style certainly allows the inclusion of the new material in this genus, especially close to *Ceratophyllum demersum* L., and differentiates it from others with spines around the whole fruit, like *C. muricatum* Cham. Further, the presence in the fossil material of an oxidized mark around the fruit body suggesting irregular projections, or a short wing, resembles the winged condition of *C. demersum*; however, the dispersed fruit from Coahuila even though mature has a smaller length (3–6 mm vs. 2 mm) compared with the extant species.

Abiotic and biotic factors such as paleoclimate, change of relief, or organism interactions, influenced ecological, adaptive or reproductive responses of flowering plants through time, and the responses may be reflected in their morphology and/or anatomy (Tiffney, 1984; Eriksson et al., 2000). The interpretation of morphological/anatomical adaptations in the organisms of the

past has been controversial since they do not always correspond to what extant analogues suggest. The reproductive structures apparently evolved influenced by the dispersal syndrome they used, either via animals, water or wind (Eriksson et al., 2000). The fruits of *Ceratophyllum* during the Cretaceous were typically smaller; this phenomenon is common in the material of the Cerro del Pueblo Formation. The extant material of lineages so far reported from these sediments has larger propagules compared with the fossil ones (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2007). Further differences between extant and Cretaceous reproductive structures of the Cerro del Pueblo Formation include details of anatomy and morphology (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2007). We suggest that these apparent discrepancies do not reflect evolutionary primitive forms, but rather suggest that different strategies of organization and survival occurred among the plants that composed this Cretaceous community. Previous description of evidence for plant–animal interaction in this flora further strengthens the importance of different types of plant strategies in the Cerro del Pueblo Formation. We believe that the interactions found in this fossil community were varied, and did not always correspond to those known from their extant relatives.

The new species, *D. tiffneyi* and *C. lesii*, further support the presence of a humid environment developed under high temperatures, perhaps some sort of tropical environment (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez-de la Rosa et al., 1998; Eberth et al., 2004; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2007). Sub-aquatic plants, or at least plants from highly humid environments, that somehow support these climatic interpretations, have been described from this formation. Similar conditions are supported by the presence of pulmonate freshwater gastropods (Perrillat et al., 2008).

Much more geological and biological information is needed to further understand the Cretaceous aquatic systems, but recognition of the plant elements that grew in them is an important contribution for future reconstruction of these aquatic-sub-aquatic communities.

#### Acknowledgements

The authors especially thank INAH, Coahuila, Mexico, for providing administrative facilities. Ing. Geol. Judith Callejas-Moreno for her assistance in the field and measurement of the stratigraphic column and Dr. Donald H. Les (University of Connecticut, USA) for his comments regarding extant Ceratophyllum. Dr. Garland Upchurch, Department of Biology, Texas State University, for reviewing and commenting our English. Dr. F. Chiang-Cabrera, Instituto de Biología, UNAM helped the authors with the correct use of scientific names. M. Alcayde, Instituto de Geología, UNAM improved a preliminary English version. This work was improved through the comments of two anonymous reviewers, to whom the authors are grateful. This study is based in part on the Ph.D. Thesis of E.E.-R. at Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM. Grants to S.R.S.C.-F. from CONACYT (45065) and DGAPA-UNAM (IN208500 and IN201103), and student loans and field support to E.E.-R. from CONACYT (167138) and DGEP-UNAM and to grant CONACYT (Apoyos Integrales para la Formación de Doctores en Ciencias, 2006) are appreciated.

#### References

APG, 2003. An update of the angiosperm phylogeny groups classification for the orders and families of flowering plants. *APG II. Bot. J. Linn. Soc.* 141, 399–436.

Bertram, K.A., 1998. Petrified components of a biotic community from the middle Miocene Virgin Valley Formation, Nevada, USA. Master's Thesis, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA.

Botek, C., 1982. *Ceratostrobelus Dregeri*, an extinct water plant of uncertain affinity from the European Miocene. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 77, 289–298.

Cahillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2007. Reproductive structures of *Rhamnus* from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Coahuila) and *Coccoloba* (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. *Am. J. Bot.* 94, 1658–1669.

Cevallos-Ferriz, S.R.S., Stockey, R.A., 1988. Permianized fruits and seeds from the Princeton Chert (middle Eocene) of British Columbia: Lythraceae. *Can. J. Bot./Rev. Can. Bot.* 66, 303–312.

Cevallos-Ferriz, S.R.S., Estrada-Ruiz, E., Pérez-Hernández, P.R., 2008. *Phytolaccaceae* Infundibulaceae from Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous (Late Campanian), Coahuila, Mexico. *Am. J. Bot.* 95, 77–83.

Chandler, M.E.J., 1960. Plant remains of the Hengistbury and Barton beds. *Bull. Br. Mus. (Nat. Hist.) Geol.* 4, 191–238.

Dücher, D.J., 1985. The occurrence of fruits with affinities to *Ceratophyllaceae* in lower- and mid-Cretaceous sediments. *Am. J. Bot.* 76 (Supplement), 162.

Darovec, P.J., 1977. On the taxonomy of fossil *Decodon* L.F. Gmel. (Lythraceae). *Bot. Zh.* 62, 664–672 (in Russian).

Eberth, D.A., Delgado-de Jesús, C.R., Leberkne, J.F., Bringham, D.B., Rodríguez-de la Rosa, R.A., Sampson, S.D., 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, Southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 21, 335–352.

Eriksson, O., Friis, E.M., Löfgren, P., 2000. Seed size, fruit size, and dispersal systems in angiosperms from the Early Cretaceous to the late Tertiary. *Am. Nat.* 156, 47–68.

Estrada-Ruiz, E., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2007. *Infundibulaceae* from the Cerro del Pueblo Formation (Late Campanian), Coahuila and El Cen Formation (Oligocene–Miocene), Baja California Sur, Mexico. *Int. J. Plant Sci.* 168, 507–519.

Estrada-Ruiz, E., Upchurch, G.R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2008. Flora and climate of the Olmes Formation (Upper Campanian–Lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: a preliminary report. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.* 58, 273–283.

Friis, E.M., Pedersen, K.K., Crane, P.R., 2001. Fossil evidence of water lilies in the Early Cretaceous. *Nature* 410, 357–360.

Graham, A., Graham, S.A., 1971. The geologic history of Lythraceae. *Britannia* 23, 335–346.

Graham, S.A., Hall, J., Sytina, K., Shi, Su-Hua, 2005. Phylogenetic analysis of the Lythraceae based on four gene regions and morphology. *Int. J. Plant Sci.* 166, 995–1017.

Herndon, P.S., Les, D.H., Döcher, D.J., 1990. Fossil *Ceratophyllum* (Ceratophyllaceae) from Tertiary of North America. *Am. J. Bot.* 77, 7–16.

Hu, H.H., Chaney, R.W., 1940. A Miocene flora from Shantung Province, China. *Carnegie Inst. Wash. Publ.* 501, 1–147.

Kvacek, Z., Sokala, I., 1989. Twig with attached leaves, fruits and seeds of *Decodon* (Lythraceae) from the lower Miocene of northern Bohemia, and implications for the identification of detached leaves and seeds. *Rev. Paleobot. Palynol.* 107, 201–222.

Les, D.H., 1988a. The origin and affinities of the *Ceratophyllaceae*. *Taxon* 37, 326–345.

Les, D.H., 1988b. The evolution of achene morphology in *Ceratophyllum* (Ceratophyllaceae). II. Fruit variation and systematics of the "spiny-margined" group. *Syst. Bot.* 13, 73–86.

Little, S.A., Stockey, R.A., 2003. Vegetative growth of *Decodon allenbyensis* (Lythraceae) from the middle Eocene Princeton Chert with anatomical comparisons to *Decodon verticillatus*. *Int. J. Plant Sci.* 164, 453–469.

Little, S.A., Stockey, R.A., Keating, R.C., 2004. Duabanga-like leaves from the middle Eocene Princeton Chert and comparative leaf histology Lythraceae sensu lato. *Am. J. Bot.* 91, 1126–1139.

Mai, D.H., Wulff, H., 1978. Die Floren der Haselbacher Serie im Weisseck-Becken (Bezirk Leipzig, DDR). *Abh. Staatl. Mus. Miner. Geol. Dresden* 28, 1–200.

Manchester, S.R., 1994. Fruits and seeds of the middle Eocene Nut Beds Flora, Clarno Formation, Oregon. *Paleontogr. Am.* 58, 1–205.

Mathewes, R.W., 2003. An Early Eocene flora from Quilchena, British Columbia and its paleoenvironmental significance. In: Joint Annual Meeting of the Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada/Society Economic Geologists, Vancouver, British Columbia [abs. no. 736].

Matsumoto, M., Momohara, A., Ohizawa, A.T., Shoya, Y., 1997. Permianized *Decodon* (Lythraceae) seeds from the middle Miocene of Hokkaido, Japan with reference to the biogeographic history of the genus. *Sp. J. Hist. Bot.* 5, 53–65.

Mitrak, E.F., Woidel, A.J., Wolfson, J.A., Laudon, R.C., 1974. Stratigraphy and structures of the Parras and La Popa basins, northeastern Mexico. *Bull. Geol. Soc. Am.* 85, 1603–1622.

Perrillat, M.C., Vega, F.J., Espinosa, B., Narango-García, E., 2008. Late Cretaceous and Paleogene freshwater gastropods from northwest Mexico. *J. Paleontol.* 82, 255–265.

Pigg, K.B., DeVore, M.L., 2005. *Shirleya grahamae* gen. et sp. nov. (Lythraceae), Lagerstroemia-like fruits from the middle Miocene Yakima Canyon flora, central Washington State, USA. *Am. J. Bot.* 92, 242–251.

Pigg, K.B., Dittloff, T.A., DeVore, M.L., 2007. Paleoenvironment of a newly discovered middle Miocene "bog" locality, Columbia River Basalts, near Ellensburg, WA: a preliminary report. Quaternary and Tertiary Records of Past Environments, Pacific Northwest 8. In: Honor of Calvin Heusser (organized by E.R. Leppert and R. Mathewes). *Geol. Soc. Am., Cordilleran Section* [abs. no. 20-6].

Rodríguez-de la Rosa, R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1994. Upper Cretaceous Zingiberaceae fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *Int. J. Plant Sci.* 155, 799–805.

Rodríguez-de la Rosa, R.A., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Silva-Pineda, A., 1998. Paleobiological implications of Campanian coprolites. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleobot.* 142, 231–254.

Sefri, B., 1943. Indian silicified plants. II. *Emmenocarpus parjati*, a silicified fruit from the Deccan, with a review of the fossil history of the Lythraceae. *Proc. Indian Acad. Sci. B* 17, 59–66.

Taylor, D.W., Brenner, G.J., Basal, S.H., 2008. *Scutellum jordanicum* gen. et sp. nov. (Cabombaceae), an aquatic fossil plant from the Lower Cretaceous of Jordan, and the relationships of related leaf fossil to living genera. *Am. J. Bot.* 95, 340–352.

Tiffney, B.H., 1981. Fruits and seeds of the Brandon lignite. VI. *Microdipera* (Lythraceae). *J. Arnold Arb.* 62, 487–513.

Tiffney, B.H., 1984. Seed size, dispersal syndromes, and the rise of the angiosperms: evidence and hypothesis. *Ann. MO Bot. Gard.* 71, 551–576.

Wang, H., Döcher, D.J., 2006. Aquatic angiosperms from the Dakota Formation (Albian, Lower Cretaceous), Hoisington II locality, Kansas, USA. *Int. J. Plant Sci.* 167, 385–401.

Wang, Y.F., Ferguson, D.J., Cheng-Sen, L., 2005. *Ceratophyllum* (Ceratophyllaceae) from the Miocene of eastern China and its paleoecological significance. *Syst. Bot.* 30, 705–711.



**FORMACIÓN OLMOS (CAMPANIANO TARDÍO-MAASTRICHTIANO  
TEMPRANO)**



## Fossil woods from the late Campanian–early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico

Emilio Estrada-Ruiz<sup>a</sup>, Hugo I. Martínez-Cabrera<sup>b</sup>, Sergio R.S. Cevallos-Ferriz<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup> *Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coaxacoacán, 04510 México D.F., México*

<sup>b</sup> *Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, 75 North Eagleville Road, Unit 3043 Storrs, CT 06269-3043, USA*

<sup>c</sup> *Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coaxacoacán, 04510 México D.F., México*

Received 29 March 2006; received in revised form 6 September 2006; accepted 21 September 2006  
Available online 15 November 2006

### Abstract

Three fossil wood types are described from the Olmos Formation, Coahuila, Mexico. The anatomical characters of two of them enable identification to Malvaceae and Fagaceae, while the affiliation of the third type is uncertain (Fagaceae?). The wood of the Malvaceae fossil plant is characterised by the presence of vessel-ray and vessel-parenchyma pits with reduced borders, larger than the intervacular pits, scanty paratracheal parenchyma, septate fibres and storied structure. This wood type, *Javelinaxylon*, has been also found in the Maastrichtian Javelina Formation, Texas. Aggregate and uniseriate homocellular rays, apotracheal diffuse and diffuse in aggregates parenchyma, simple perforation plates, vessel-ray pits variable with reduced borders and vascentric tracheids relate the wood of a second plant to *Quercinium*. The third wood type, *Sabinaxylon pasae* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz, is very similar to some species of *Quercinium*; however, the presence of heterocellular rays and the almost exclusive presence of scalariform perforation plates make unlikely its relationship with this genus. Since observation of vessel parenchyma and vessel ray pits was not possible, its inclusion in Fagaceae cannot be confirmed. Nevertheless, *S. pasae* and *Quercinium centroseae* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz represent the earliest record of fagaceous plants in Mexico, while the presence of *Javelinaxylon weberi* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz extends the geographic distribution of the genus in North America.

© 2006 Elsevier B.V. All rights reserved.

**Keywords:** Coahuila; late Campanian–early Maastrichtian; Olmos Formation; Fagaceae; Malvaceae

### 1. Introduction

The north of Mexico is occupied by several Upper Cretaceous sedimentary sequences containing diverse

fossil plant assemblages. There have been few detailed studies focusing on these Cretaceous assemblages and therefore their paleofloristic relations are still to be proposed. However, interesting, but isolated, discoveries support the interpretation of many of these as the southern extension of high latitude North America Cretaceous floras. Among Cretaceous macrofossils described from northern Mexico it is worth to mention fruits of Musaceae and c.f. Strelitziaceae (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994), infructescences of

\* Corresponding author.

*E-mail addresses:* [emilioer@igzciologia.unam.mx](mailto:emilioer@igzciologia.unam.mx) (E. Estrada-Ruiz), [hugo.martinez\\_cabrera@uconn.edu](mailto:hugo.martinez_cabrera@uconn.edu) (H.I. Martínez-Cabrera), [serc@ibgevidon.unam.mx](mailto:serc@ibgevidon.unam.mx) (S.R.S. Cevallos-Ferriz).

Araks (Estrada Ruiz, 2004) and Phytolaccaceae (Cevallos-Ferriz, unpublished data), and seeds of Lythraceae and Ranunculaceae from the Cerro del Pueblo Formation (Rodríguez-de la Rosa et al., 1998), as well as reproductive and vegetative organs of Haloragaceae and roots of Araceae (Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999; Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995) from the Tarahumara Formation, Sonora, that exemplify past diversity.

The Upper Cretaceous Olmos Formation flora is one of the most diverse Mexican fossil assemblages. Although this fossil flora was discovered at the beginning of the 1900s, as a result of charcoal mining, palaeobotanical studies began in the 1970s (e.g., Weber, 1972, 1973, 1975; Cevallos-Ferriz and Weber, 1992). Plant diversity in the Olmos Formation has been documented based on leaves, fruits, flowers and woods, sometimes in organic connection; they represent at least 80 different taxa (Weber, 1972). A small number of angiosperms has been identified, like those compared to Arceaceae (Vaughan, 1900; Burckhardt, 1930); *Liriodendron*, *Pistia*, *Sassafras*, and *Sabalites* (Weber, 1972), *Paraphyllanthoxylon* (Cevallos-Ferriz and Weber, 1992), and *Palmoxylon* (Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995). Additionally, some fossil ferns, *Salvinia* and *Darfella* (Weber, 1973; 1976), and gymnosperms (e.g., *Araucarioxylon* (Weber, 1973; 1976), *Kobulastrobus olmosensis* Serlin, Delevoryas et Weber; Weber, 1975; Serlin et al., 1980; Cevallos-Ferriz, 1992) have been recognised. Pollen and spore studies further documented plant diversity in these sediments (Rueda-Gaxiola, 1967; Martínez-Hernández et al., 1980).

The present study represents a new start on the study of the Olmos Formation flora. The identification of these three new plants complements our knowledge of the Upper Cretaceous flora of Mexico, and gives hints on the possible biogeographic relationships of this particular flora.

## 2. Materials and methods

The Olmos Formation is part of the Navarro Group. The first section of the Olmos Formation was measured by Stephenson (1927) in the Olmos Creek (Maverick County) region, Eagle Pass, Texas. Later, Robeck et al. (1956) recognised the same stratigraphic unit in the Monclova, Coahuila, area, and subdivided it into five lateral zones. 1) Coal Section: 36 m thick, consisting of a double coal seam and locally of two or three thin, lenticular coal seams; siltstone and claystone with some fine-grained sandstone beds are preserved towards the upper part. 2) Cross-bedded Sandstone: composed of

cross-bedded sandstone of fine to medium grain size arranged in thin to thick beds. 3) Lower Dense Siltstone: consists chiefly of siltstone. 4) Conglomerate: composed of cycles approx. 20 m thick; individual cycles consist of a conglomerate or sandstone that grades upward into siltstone and claystone. 5) Upper Dense Siltstone: composed of siltstone and claystones with thin-bedded sandstone.

More recently, Flores Espinoza (1989) subdivided the Olmos Formation into two-major generic facies: a delta plain and alluvial plain (meandering fluvial and fluvial flood plain). These sediments correspond to transitional continental environments (Martínez-Hernández et al., 1980; Flores Espinoza, 1989). Based on planktonic foraminifera associations (*Rosita fornicata* *stuartiformis*, *Rugotruncana subcircumodifer* and *Globotruncana contese/stuartiformis*, *Globotruncana gunseri*) the Olmos Formation is dated as Maastrichtian (Pessagno, 1969). The Olmos Formation rests on the late Campanian San Miguel Formation and is overlain by the sediments of the late Maastrichtian Escondido Formation. The age was subsequently corroborated by studies made with acritarchs and dinoflagellates of the Navarro Group (Zaitzeff and Cross, 1970) and pollen analysis of the Olmos Formation (Rueda-Gaxiola, 1967; Martínez-Hernández et al., 1980).

An alternative age, late Campanian, for the Olmos Formation has been suggested by Flores Espinoza (1989) and others who found *Sphenodictus* Meek and *Coahuilites* Bose in the Olmos Formation, near the contact with the Escondido Formation. Though the presence of these ammonites suggests a Maastrichtian age, it also questions the continental nature of the Olmos Formation (vs the marine nature of the Escondido Formation). Field observations by Vega Vera (2006, personal communication) in the Piedras Negras, Coahuila, area where the base of the Escondido Formation outcrops revealed the presence of *Exogyra costata* Say and *Pycnodonte mutabilis* (Morton), both index fossils of the early Maastrichtian, further suggesting a late Campanian age for the Olmos Formation. Presence of late Campanian fossils in the San Miguel Formation and their absence in the Olmos Formation do not preclude the possibility of the latter being late Campanian in age too.

The fossil woods described in this paper were collected in the Trinity Factory locality (Fig. 1), which corresponds to zone 2 of Robeck et al. (1956). The fossiliferous outcrop is located approximately 3 km southwest from Sabinas, near the Federal highway 57 that connects Sabinas with Monclova.

Cross, tangential and radial sections were obtained using the standard thin section technique (Haas and Rowe,

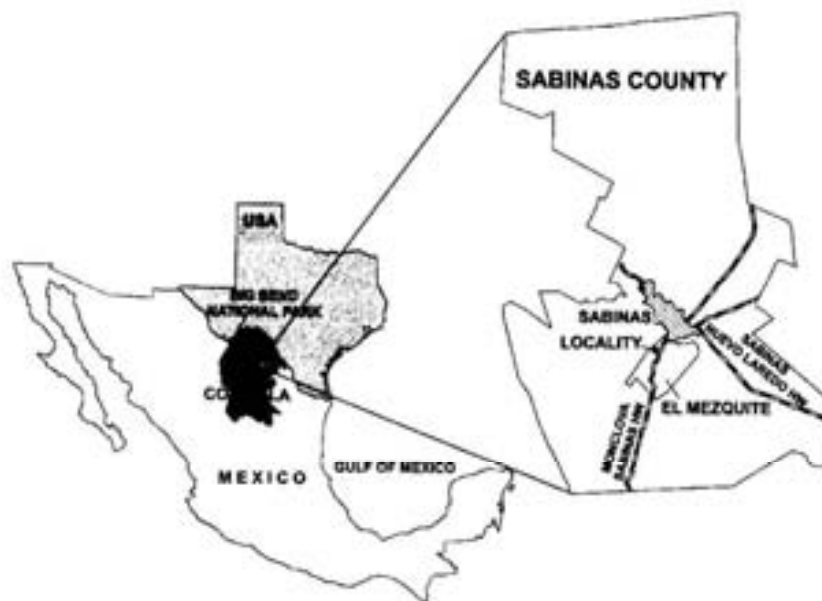


Fig. 1. Location of the fossiliferous outcrop.

1999). The descriptions have been made according to IAWA committee recommendations (1989). Affinities were determined by consulting general literature (e.g., Metcalfe and Chalk, 1950; Détienne and Jacquet, 1983; Ilic, 1987, 1991) and searches on the wood identification database InsideWood (2006). Once general affinities were established, fossil woods from the Olmos Formation were directly compared with wood of extant plants from the collections of the National Xilothec of Instituto de Biología, UNAM, and Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). The fossil specimens of *Quercinium centenoae* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz, *Javelinoxylon weberi* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz and *Sabinoxylon parac* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz are housed in the Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

### 3. Systematic palaeobotany

*Family:* Fagaceae

*Genus:* *Quercinium* Unger emend. Brett.

*Species:* *Quercinium centenoae* sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz (Plate 1, 1–8).

*Etymology:* The specific epithet honours Dra. Elena Centeno for her constant and disinterested support to palaeontology in Mexico.

*Holotype:* Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1242 (wood sample, ca. 30 cm in diameter), IGM-LPB 4534–4546 (slides with thin sections).

*Repository:* Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, Mexico.

*Stratigraphical horizon:* Olmos Formation, late Campanian–early Maastrichtian.

*Locality:* Trinity Factory, near Sabinas, Coahuila, Mexico. N 27° 47' 021.1" and W 101° 07' 27.1".

*Specific diagnosis:* Growth rings indistinct; wood diffuse-porous; vessels solitary, some tangential bands, exclusively simple perforation plates, vessel-ray pits with reduced borders, round and often vertically elongate, intervessel pits alternate; vasicentric tracheids; non-septate fibres; apotracheal diffuse and diffuse in aggregates parenchyma, parenchyma strands of 3–10 cells; rays homocellular, uniseriate, biseriata, and aggregate, uniseriate 4–18 cells high.

*Description:* This description is based on one sample with estimated diameter of 30 cm. The wood that has indistinct growth rings is diffuse-porous, and has predominantly solitary, round to oval vessels (Plate 1, 1, 2), some with a tendency to form tangential bands. There are 6.1 (range 3–13, sd=2.56) vessels per square mm, with mean tangential diameter of 131 (range=80–185 µm, sd=26.33 µm) and mean vessel element length of 465 µm (range=300–800 µm, sd=163.55 µm). They

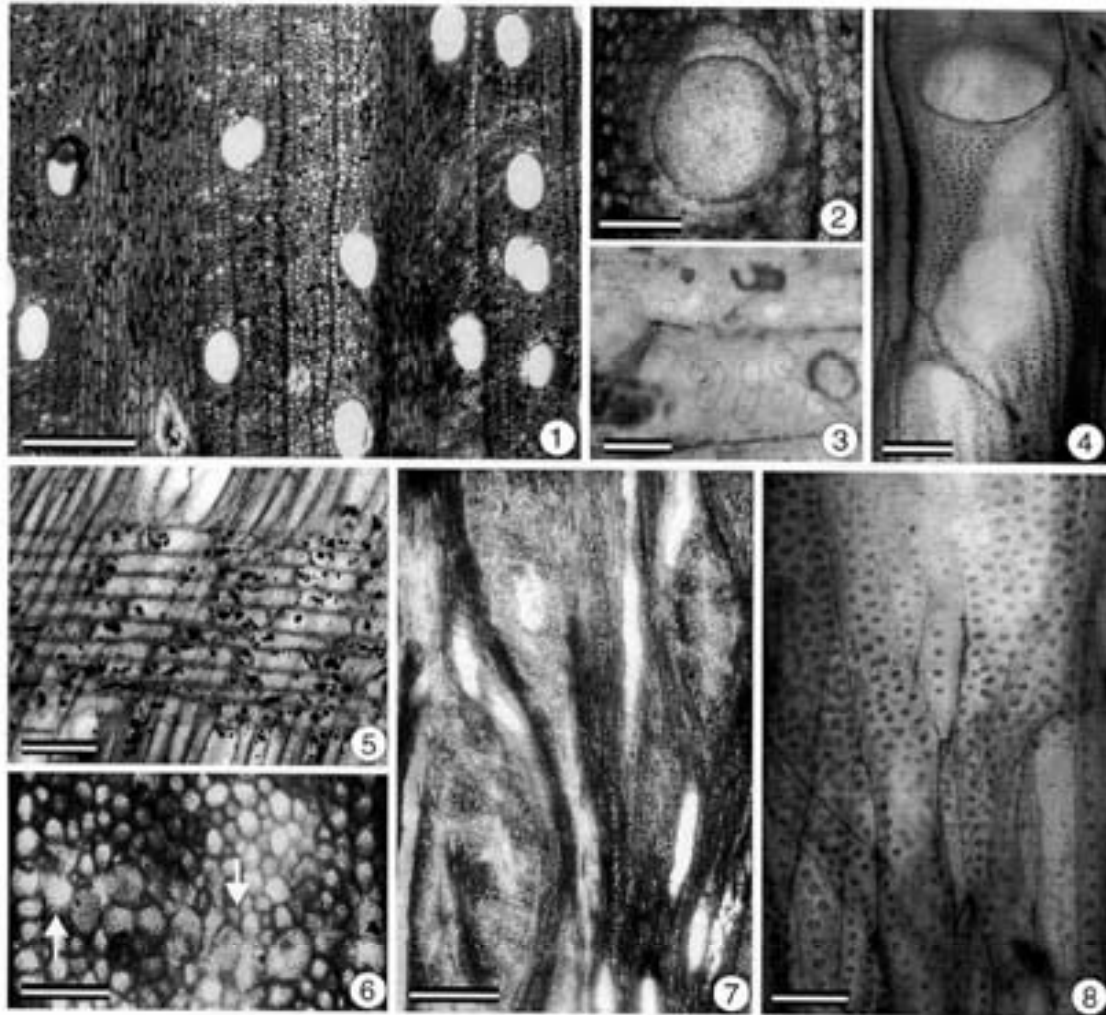


Plate I. Light micrographs of *Quercinium centense* IGM-LPB 4534–4546 (Figs. 1–8).

1. Transverse section (TS). Diffuse porous wood and exclusively solitary vessels. LPB-IGM 4535. Scale bar=450  $\mu$ m.
2. TS. Solitary vessel with simple perforation plate. LPB-IGM 4537. Scale bar=70  $\mu$ m.
3. Radial section (RS). Round to vertically elongated vessel-ray pits. LPB-IGM 4543. Scale bar=16  $\mu$ m.
4. RS. Simple perforation plate, vascentric tracheids and intervacular pits. LPB-IGM 4543. Scale bar=70  $\mu$ m.
5. RS. Homocellular ray with procumbent cells. LPB-IGM 4542. Scale bar=75  $\mu$ m.
6. TS. Diffuse and diffuse in aggregates (arrow) axial parenchyma. LPB-IGM 4535. Scale bar=100  $\mu$ m.
7. Tangential section (TG). Rays of two sizes, uniseriate and aggregate. LPB-IGM 4539. Scale bar=625  $\mu$ m.
8. RS. Vascentric tracheids. LPB-IGM 4543. Scale bar=30  $\mu$ m.

have exclusively simple perforation plate, alternate intervacular pits (Plate I,4), and round and often vertically elongate vessel-ray pits with reduced borders (Plate I,3). Vascentric tracheids have small circular pits in radial and tangential walls (Plate I,4,8). Axial parenchyma is apotracheal diffuse and diffuse in

aggregates, making short one-cell wide bands that form strands 3–10 cells high (Plate I,6). Rays are homocellular (Plate I,5), uniseriate, biseriata and aggregate; uniseriate rays are 7.7 (range=4–18 cells, sd=3.04 cells) cells high, while aggregate rays are 25.3 cells in width (range=14–36 cells, sd=5.52 cells) (Plate I,7).

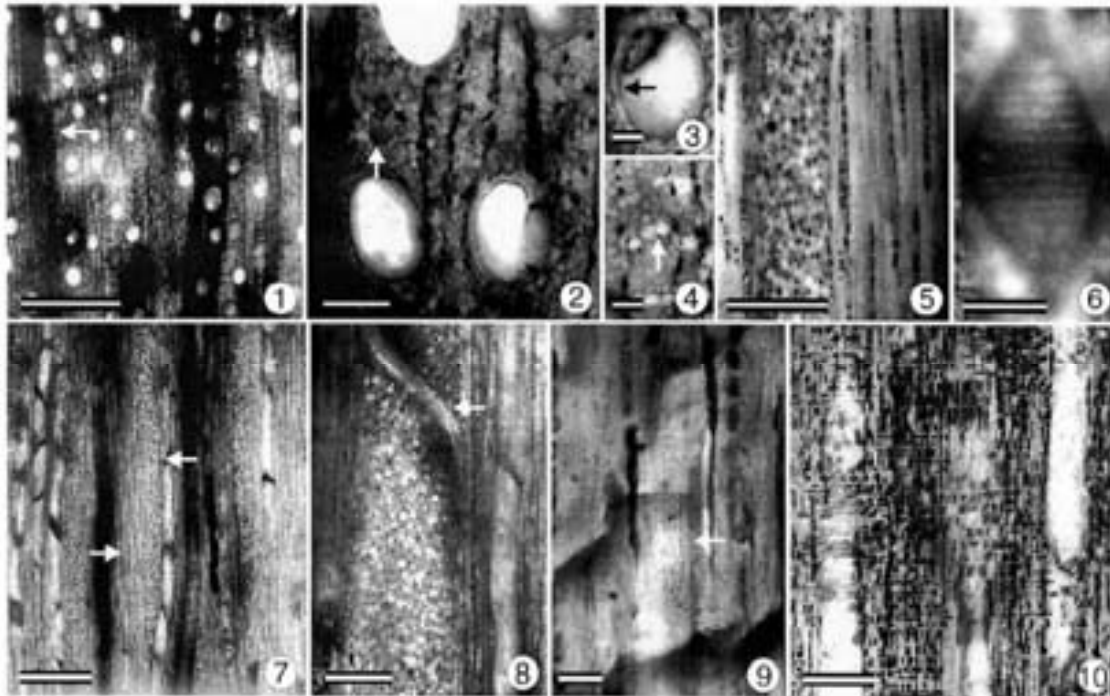


Plate II. Light micrographs of *Sabinoxylon pasac* IGM-LPB 4511–4533 (Figs. 1–10).

1. TS. Diffuse porous wood with exclusively solitary vessels (arrow). LPB-IGM 4519. Scale bar=1 mm.
2. TS. Apotracheal diffuse and diffuse in aggregates (arrow) axial parenchyma. LPB-IGM 4529. Scale bar=100  $\mu$ m.
3. TS. Paratracheal vasicentric (arrow) axial parenchyma. LPB-IGM 4529. Scale bar=50  $\mu$ m.
4. TS. Diffuse in aggregates forming one cell wide bands (arrow) axial parenchyma. LPB-IGM 4529. Scale bar=50  $\mu$ m.
5. TG. Rays of two distinct sizes, uniseriate and wide compound rays. LPB-IGM 4525. Scale bar=250  $\mu$ m.
6. RS. Scalariform perforation plate. LPB-IGM 4520. Scale bar=100  $\mu$ m.
7. TG. Uniseriate and compound rays (arrow). LPB-IGM 4525. Scale bar=1 mm.
8. TG. Compound rays (arrow). LPB-IGM 4525. Scale bar=250  $\mu$ m.
9. TG. Vasicentric tracheids (arrow). LPB-IGM 4525. Scale bar=100  $\mu$ m.
10. RS. Heterocellular ray with procumbent, square and upright cells. LPB-IGM 4522. Scale bar=250  $\mu$ m.

*Family:* Fagaceae?

*Genus:* *Sabinoxylon* gen. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

*Generic diagnosis:* Diffuse porous wood; exclusively solitary vessels, scalariform and very rare simple perforation plates, alternate to opposite intervessel pits; vasicentric tracheids; non-septate fibres; diffuse and diffuse in aggregates apotracheal and paratracheal vasicentric parenchyma; rays homocellular and heterocellular, uniseriate and compound.

*Species:* *Sabinoxylon pasac* gen. et sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz (Plate II, 1–10).

*Etymology:* The generic name refers to Sabinas, the closest city to the fossiliferous outcrop. The specific epithet acknowledges the commitment of Paleontólogos

Aficionados de Sabinas A.C. (PASAC) with the study of the local fossil flora.

*Holotype:* Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1243 (wood sample, N7 cm in diameter), IGM-LPB 4511–4533 (slides with thin sections).

*Repository:* Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, Mexico.

*Stratigraphical horizon:* Olmos Formation, late Campanian–early Maastrichtian.

*Locality:* Trinity Factory, near Sabinas, Coahuila, Mexico. N 27° 47' 021.1" and W 101° 07' 27.1".

*Specific diagnosis:* Growth rings indistinct; wood diffuse-porous; exclusively solitary vessels, scalariform (7–16 bars per perforation) and some simple perforation



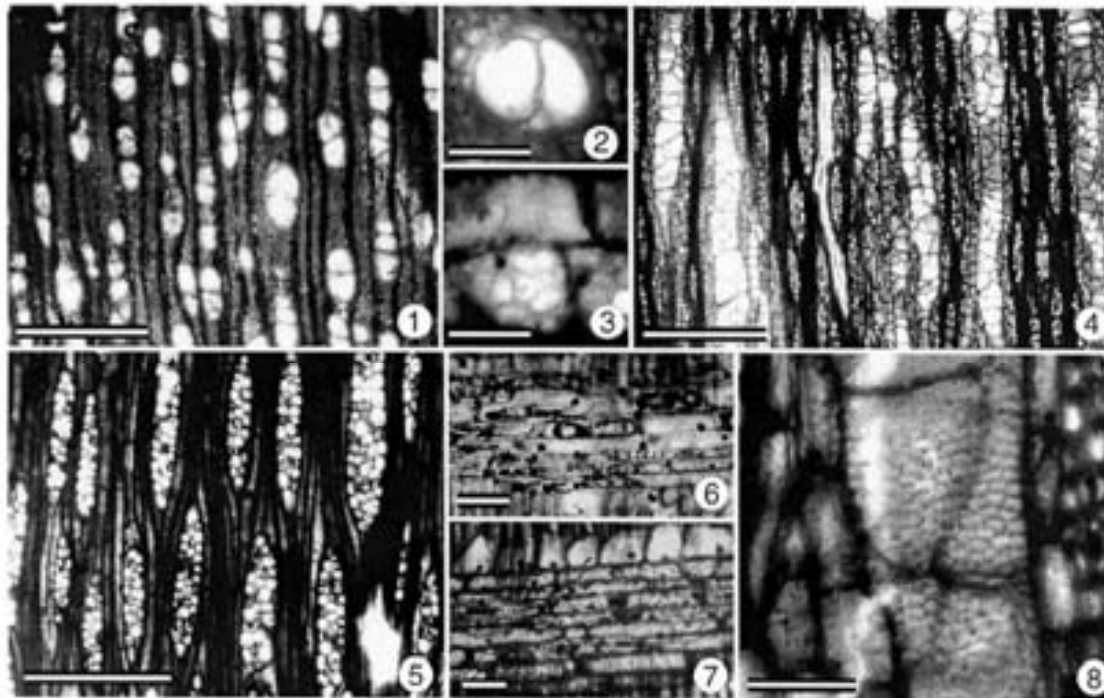


Plate III. Light micrographs of *Juvaleucocylon weberi* IGM-LPB 4547–4561; 4562–4576; 4577–4593 (Figs. 1–8).

1. TS. Diffuse-porous wood with solitary and in radial multiple vessels. LPB-IGM 4578. Scale bar = 500  $\mu\text{m}$ .
2. TS. Scanty paratracheal axial parenchyma. LPB-IGM 4550. Scale bar = 50  $\mu\text{m}$ .
3. RS. Vessel-ray and parenchyma pits. LPB-IGM 4557. Scale bar = 20  $\mu\text{m}$ .
4. TG. Tyloses common in vessels; rays. LPB-IGM 4552. Scale bar = 500  $\mu\text{m}$ .
5. TG. Storied multiseriate rays. LPB-IGM 4552. Scale bar = 200  $\mu\text{m}$ .
6. RS. Homocellular ray with only procumbent cells. LPB-IGM 4557. Scale bar = 50  $\mu\text{m}$ .
7. RS. Heterocellular ray with procumbent and marginal square cells. LPB-IGM 4557. Scale bar = 50  $\mu\text{m}$ .
8. TG. Alternate crowded intervessel pits. LPB-IGM 4552. Scale bar = 100  $\mu\text{m}$ .

plates, intervessel pits rare, alternate, some opposite; ground tissue composed of vascentric tracheids and non-septate fibres; paratracheal vascentric parenchyma and diffuse, diffuse in aggregate, and one cell wide bands of apotracheal parenchyma, parenchyma strands of 8–9 cells; multiseriate rays heterocellular, uniseriate and compound; uniseriate rays 3–15 cells high.

**Description:** This description is based on one sample with estimated diameter of 7 cm. The wood has indistinct growth rings, and is diffuse-porous; however, in one sample (IGM LPB 4519), representing the same tree, a very weak tendency to semi-ring porous in the outer growth layers can be distinguished. Vessels are round to oval and exclusively solitary (Plate II, 1,3). There are 6.1 (range = 3–10,  $sd = 1.4$ ) vessels per square mm, that have 122  $\mu\text{m}$  (range = 75–170  $\mu\text{m}$ ,  $sd = 24.4 \mu\text{m}$ ) in tangential diameter, scalariform

perforation plate with 7–16 bars per perforation plate (Plate II, 6), and sporadically simple perforation plates. Vessel elements have mean length of 1125  $\mu\text{m}$  (range = 675–1575  $\mu\text{m}$ ,  $sd = 184 \mu\text{m}$ ). The intervessel pits are extremely rare, alternate, but some are opposite. Vessel-ray and vessel-parenchyma pits were not observed. Thin-walled tyloses. Ground tissue composed of non-septate fibres with no evident pits, and vascentric tracheids with small circular pits in radial and tangential walls (Plate II, 9). Axial parenchyma is paratracheal vascentric, and apotracheal diffuse and diffuse in aggregates, forming short one-cell wide bands; axial parenchyma strands are 8–9 cells high (Plate II, 2,3,4). Rays are homocellular and heterocellular (Plate II, 7,10), uniseriate and compound; uniseriate rays are 11.3 (range = 3–31,  $sd = 6.48$ ) cells high (Plate II, 5,7), while compound rays are up to 25

Table 1  
Comparison of anatomical characters in species of *Quercinium*

Species	MVD	VG	V/ MM <sup>2</sup>	PP	APAR	UR	C, AR	N° cells in parenchyma strands
<i>Quercinium centroseae</i>	80–185 µm	Solitary, tangential bands	3–13	Simple	Apotracheal diffuse and diffuse in aggregate, uniseriate bands	4–18 cells high, biseriate	Aggregate 14–36 cells wide	3–10
<i>Quercinium crystallifera</i>	144–217 µm	Solitary	–	Simple, rarely scalariform	Apotracheal diffuse and diffuse in aggregate, uniseriate bands	6–30 cells high	Aggregate	8 or more
<i>Quercinium amehystianum</i>	110–200 µm (earlywood) 33– 94 µm (latewood)	Solitary	–	Simple	–	2–20 cells high, rarely biseriate	Aggregate and compound up to 31 cells wide	–
<i>Quercinium larumense</i>	80–250 µm (earlywood) 50–120 µm (latewood)	Solitary	–	Simple	Apotracheal, in distinct bands 1 to 3 cells wide; paratracheal	2–20 cells high, rarely biseriate	Aggregate, mostly 8-cells wide	–
<i>Quercinium portusum</i>	80–270 µm	Solitary	6–10	Simple	Diffuse	2–30 cells high	Aggregate, up to 20 cells wide	–
<i>Quercinium paranioides</i>	60–200 µm	Solitary, radial or oblique pairs	9	Simple	Mostly in bands, 1–4 cells wide	3–20 cells high	Aggregate, up to 20 cells wide	up to 12

MVD=mean vessel diameter; VG=vessel grouping; V/MM<sup>2</sup>=vessels per square mm; PP=perforation plates; APAR=axial parenchyma; UR=uniseriate rays; C, AR=compound aggregate rays.

cells in width (Plate II,7,8); 10.3 (range=6–15, sd=2.68) rays per mm can be counted.

Family: Malvaceae

Genus: *Javelinoxylon* Wheeler, Lehman et Gasson.

Species: *Javelinoxylon weberi* sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz (Plate III,1–8).

*Etymology*: The specific epithet is after Reinhard Weber, in recognition of his work in the Olmos Formation.

*Holotype*: Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM. IGM-LPB 4547–4561 (ca. 14 cm in diameter, slides with thin sections).

*Additional material*: IGM-LPB 4562–4576 (ca. 12 cm in diameter, slides with thin sections); IGM-LPB 4577–4593 (ca. 12 cm in diameter, slides with thin sections).

*Repository*: Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, Mexico.

*Stratigraphical horizon*: Olmos Formation, late Campanian–early Maastrichtian.

*Locality*: Trinity Factory, near Sabinas, Coahuila, Mexico. N 27° 47' 021.1" and W 101° 07' 27.1".

*Specific diagnosis*: Growth rings indistinct; wood diffuse-porous; vessels solitary and in radial multiples of 2–7, perforation plates exclusively simple, intervascular pits alternate, vessel-ray pits round to oval, angular, with reduced to simple borders; exclusively septate fibres, with 2 to 3 septa per fibre; axial parenchyma scanty paratracheal; rays homocellular

and heterocellular, uniseriate rare, multiseriate 2–4 cells wide.

*Description*: This description is based on three samples with estimated diameter of 14, 12 and 12 cm. The wood of this plant has indistinct growth rings and is diffuse-porous. Vessels are solitary and in radial multiples of 2 to (3) 7, and form vessel groupings with index of 2.4. There are 20 (range=14–35, sd=7) oval vessels per square mm (Plate III,1), with mean tangential diameter of 96 µm (range=50–150 µm, sd=29 µm), perforation plates exclusively simple, and occasionally storied vessel elements. Abundant thin-walled tyloses (Plate III,4). Intervascular pits are alternate, oval, and measure 7–12 µm (range=9.4 µm, sd=1.3 µm) in diameter (Plate III,8). Vessel-ray and vessel-parenchyma pits larger than intervascular ones, round to oval, with simple to reduced borders (Plate III,3). Exclusively septate fibres with 2 to 3 septa per fibre, pitting was not observed (Plate III,5), mean wall thickness is 3.9 µm (range=3–5 µm, sd=0.6 µm), and have a mean tangential diameter of 10.7 µm (range=5–15 µm, sd=2.2 µm); occasionally they are storied. Axial parenchyma is scanty paratracheal (Plate III,2); parenchyma strands are composed of 4–5 cells, and occasionally storied. Rays are homocellular and heterocellular (Plate III,6,7); multiseriate rays are 2–4 cells wide, and 318 µm (range=220–770 µm, sd=49 µm) in



Table 2  
Character comparison between the two species of the *Javelinoxylon*

Species	VG	VD	VF	Fibre	Ray width	Marginal rows	Storied elements	N° cells in parenchyma strands
<i>Javelinoxylon multiporum</i>	Up to 8	72	17–30	Occasionally 2–3 septa	2–3 cells	1	Rays	7
<i>Javelinoxylon weberi</i>	Up to 7	96	14–35	Exclusively septate (2–3)	2–4 cells	1–2	Irregular, in rays, vessels, fibres and axial parenchyma	4–5

VG=vessel grouping; VD=vessel diameter; VF=vessel frequency.

height. They are composed of exclusively procumbent cells in their body and have 1–2 rows of square and/or upright marginal cells; uniseriate rays rare; irregularly storied (Plate III,5), and sometimes vertically fused. 7.6 (range=5–11, sd=1.6) per mm can be counted.

#### 4. Discussion

##### 4.1. Affinities

###### 4.1.1. *Quercinium centenoae*

The combination of solitary vessels, diffuse and diffuse in aggregates apotracheal parenchyma, round, vertically to horizontally elongated with reduced borders vessel-ray pits, homocellular uniseriate, biseriate and aggregate rays, and vasicentric tracheids suggest affinity of *Quercinium centenoae* to Fagaceae. The fossil wood specially resembles evergreen species of *Quercus* and *Lithocarpus*. The woods of the evergreen *Quercus* and *Lithocarpus* are very similar and therefore they cannot be distinguished only based on their wood structure (Brett, 1960). In this sense, Brett (1960), emending the diagnosis of *Quercinium* offered by Unger (1842), designated the genus to refer woods resembling evergreen plant of these taxa. *Quercinium centenoae* slightly differs in qualitative and quantitative characters from other species included in this genus (e.g., Platen, 1908; Brett, 1960; Wheeler et al., 1978; Scott and Wheeler, 1982; Wheeler and Manchester, 2002; Table 1). The tangential vessel pairs present in *Q. centenoae* have not been seen in other species of *Quercinium* (Table 1); most of them have solitary vessels or, more rarely, radial to oblique pairs as in *Q. pasanioides*. *Quercinium amethystianum* and *Q. laramense* can be distinguished from *Q. sabineensis* by their semi-ring porous nature (Table 1); besides, *Q. amethystianum* has both aggregate and compound rays (Wheeler et al., 1978). *Quercinium centenoae* lacks the characteristic crystals found in *Q. crystallifera* (Wheeler and Manchester, 2002); and its axial parenchyma pattern contrasts with that of *Q. porosum* (diffuse) and *Q. pasanioides* (bands 1–4 cell wide; Brett, 1960; Table 1).

###### 4.1.2. *Sabinoxylon pasac*

Like *Quercinium centenoae*, *Sabinoxylon pasac* shares many characters with extant evergreen oaks and *Lithocarpus*, but the high proportion of heterocellular rays, the virtual absence of simple perforation plates along with the presence of some vasicentric parenchyma, made difficult its inclusion in *Quercinium*. However, none of these characteristics is absent from Fagaceae. Scalariform perforation plates are infrequent in *Quercinium* and, when present, they are restricted to narrow vessels (Brett, 1960). Wheeler and Manchester (2002) observed only one scalariform perforation plate with 4 bars in *Q. crystallifera* (Wheeler and Manchester, 2002), later, they reported additional material with scalariform perforation plates with 8 bars. The occurrence of scalariform perforation plates is rare in Quercoideae; nevertheless, they are present, in combination with simple perforation plates, in species of *Fagus*, *Chrysolepis*, *Castanea* and *Castanopsis* (InsideWood, 26-07-2006). Although vasicentric parenchyma is not characteristic of Fagaceae and it is not present in *Quercinium*, it does occur in evergreen, white and red oaks (InsideWood, 26-07-2006). *Quercus* has homocellular rays or rays with only one layer of square or upright marginal cell; similarly, in some species of *Quercinium* (*Q. pasanioides* and *Q. laramense*; Brett, 1960 and Wheeler et al., 1978, respectively) heterocellular rays with few marginal rows of square and upright cells have been reported. Some species of *Fagus* have rays that are more markedly heterocellular, condition that resembles the ray structure of *Sabinoxylon*. The intervessel pit pattern of *S. pasac*, opposite to alternate, is present in *Fagus* and *Chrysolepis chrysophylla* (InsideWood, 26-07-2006), while sub-opposite to alternate intervessel pits can be found in *Quercinium* (Brett, 1960).

Scalariform perforation plates in combination with solitary vessels, opposite pits and wide rays, are very common characteristics in Cretaceous and early Tertiary woods (Wheeler and Lehman, 2000), that might superficially resemble the wood of some species of *Plataninum* (e.g., Page, 1968; Wheeler et al., 1995;

Poole et al., 2002; Takahashi and Suzuki, 2003), *Icacinoxylon* (Thayn et al., 1985; Takahashi and Suzuki, 2003) or in general to the platanoid/icacinoïd wood type (see Wheeler et al., 1995; Wheeler and Lehman, 2000; Takahashi and Suzuki, 2003). The presence of some vasicentric parenchyma in *Sabinoxylon pasac* suggests resemblance to the wood of *Plataninum platanoides* and *P. californicum* (Page, 1968), but the high frequency of the uniseriate rays in *Sabinoxylon pasac* contrasts with the scarcity of them in the mentioned *Plataninum* species. In relation with ray structure, *Icacinoxylon* has large multiseriate rays in combination with uniseriate, like *Sabinoxylon*, but they are more markedly heterocellular than in the fossil wood from Coahuila. Further relationship of *Sabinoxylon* with either *Plataninum* or *Icacinoxylon* could be discarded since the latter does not have alternate intervacular pits and vasicentric tracheids.

In sum, *Sabinoxylon pasac* resembles the wood structure of evergreen oaks and *Lithocarpus*, but it bears characters that are not typical for *Quercinium*. Although all its features are individually present in modern Fagaceae, these are not present in the combination found in *Sabinoxylon pasac*. The new character combination, specially the high proportion of scalariiform perforation plates and the fact that the vessel-ray pits were not observed (important character for Fagaceae), supports the recognition of a new taxon with probable relationship to Fagaceae.

#### 4.1.3. *Javelinoxylon weberi*

Storied rays, septate fibres, vessel-ray and vessel-parenchyma pits with reduced borders and scarce axial parenchyma are common in Malvaceae s.l. (Wheeler et al., 1994). The presence of vessel multiples of 3 (2–7), simple perforation plates, vessel-parenchyma and vessel-ray pits larger than intervacular ones, scanty paratracheal parenchyma, septate fibres, and storied rays typical of this Olmos Formation wood are seen in the Cretaceous *Javelinoxylon multiporosum* (Wheeler et al., 1994). However, some features (Table 2) of the Olmos Formation wood differ from those of *J. multiporosum*, the type species (Wheeler et al., 1994). Quantitative deviations in vessel diameter, density and grouping, differences in the number of cells of the uniseriate extension, width of the multiseriate rays, exclusively septate fibres, and irregular ray storied support the recognition of a new taxon. Several other fossil woods assigned to the malvalean families have been described (e.g., Müller-Stoll and Müller-Stoll, 1949; Beauchamp et al., 1973; Manchester, 1979, 1980; Privé-Gill and Pelletier, 1981; Guleria, 1983; Crawley, 1989; Wheeler

and Lehman, 2000), but none has the combination of characters exhibited by *Javelinoxylon* (Wheeler et al., 1994). We agree with Wheeler et al. (1994) that indicated that *Javelinoxylon* shares more characters with Tiliaceae (Grewioideae, Tilioideae; Bayer et al., 1999) and Sterculiaceae than with Malvaceae and Bombacaceae (Sterculioideae, Malvoideae and Bombacoideae, respectively; Bayer et al., 1999); nevertheless we include the wood in Malvaceae s.l., because recent phylogenetic analyses have resulted in the Malvaceae s.l. including members of Malvaceae, Sterculiaceae, Tiliaceae, and Bombaceae.

#### 4.2. Paleogeography and paleoecology

Three of the four fossil plants described based on wood material from the Olmos Formation (woods described here and *Paraphyllanthoxylon* [Cevallos-Ferriz and Weber, 1992]) have been reported in other North American localities. *Javelinoxylon* is only known from southern Texas (Maastrichtian, Javelina Formation; Wheeler et al., 1994; Wheeler and Lehman, 2000), while *Quercinium* (e.g., Brett, 1960; Wheeler et al., 1978; Scott and Wheeler, 1982) and *Paraphyllanthoxylon* (e.g., Bailey, 1924; Spackman, 1948; Prakash, 1958; Midel, 1962; Cahoon, 1972; Thayn et al., 1983; Prakash et al., 1986; Wheeler, 1991; Herendeen, 1991) have wider spatial and sedimentary distribution.

Biogeographically, the presence of *Javelinoxylon* in the Olmos Formation is noteworthy because it was, before this report, temporarily and geographically restricted to the early-late Maastrichtian Javelina Formation of Texas (Wheeler and Lehman, 2000). The Olmos and the Javelina Formations can be linked by their geographical proximity (Fig. 1) as well as by the presence of this taxon, but the age of these formations seems different, and further data are needed to corroborate it. The interpretation of both formations as flood-plains (Robeck et al., 1956; Martínez-Hernández et al., 1980; Flores Espinoza, 1989; Lehman, 1990) is well supported, but the Javelina Formation represents an inland flood-plain facies while the Olmos Formation is interpreted as a deltaic system (Flores Espinoza, 1989). Thus, this report broadens the environments where this tree occurred. The main sedimentological difference between these two formations corresponds probably with the thick horizons of coal at the Olmos Formation.

The interpretation of the leaf assemblage of the Olmos Formation suggests a sub-tropical-tropical climate (Weber, 1972, 1975) and a landscape dominated by plants associated with deltaic environments, and sub-

aquatic environments associated to deltas, like paleochannels and levees (Martínez-Hernández et al., 1980). Martínez-Hernández et al. (1980) highlighted the presence of spores of aquatic ferns like *Styx* and other pteridophytes like Cyatheaceae, Dicksoniaceae, Schizaceae, Matoniaceae, and Osmundaceae that support the flood plain interpretation where plants were able to grow. Weber (1972) suggested that the anatomy of some plants supported adaptations to an aquatic habitat (e.g., aerenchyma), and considered the floating plants of the formation as restricted to fresh and calm water. In the few woods recovered to date, characters like absence of growth rings suggest equable conditions. *Quercinium centenoae*, for example, is diffuse-porous and resembles evergreen *Quercus-Lithocarpus*, and therefore no marked fluctuations in water availability and/or temperature are suggested by this species. In agreement with the wood structure of the plants from Olmos Formation, isotopic and leaf character analyses (e.g., Upchurch and Wolfe, 1993) have suggested a globally warmer climate during the Cretaceous. These same data suggest warm and dry environment for the adjacent Javelina Formation (Ferguson et al., 1991) suggesting a more continental setting, in contrast, it is possible that the Olmos Formation flora represents a more humid environment due to its closer proximity to the epicontinental sea.

#### Acknowledgements

We would like to acknowledge PASAC (Paleontólogos Aficionados de Sabinas A.C.), M. Sc. René Hernández, M. Sc. José Luis Ramírez, Ing. Geól. Judith Callejas, Ing. Geól. José Juan González and Mr. Martín Galicia for their field assistance. Some wood samples were kindly provided by PASAC. Josefina Barajas-Morales and Patricia Olvera are thanked for allowing access to the slide collections at MEXU (Instituto de Biología, UNAM) and INIFAP. Comments by Dra. Laura Calvillo-Canadell and Dr. Francisco Vega-Vera enhanced our discussion. Dr. Fernando Chiang Cabrera oriented us in the correct use of scientific names. This work was improved with the comments of two anonymous reviewers. Comments by Mrs. Magdalena Alcayde, Editorial Department, Instituto de Geología, UNAM, improved a preliminary English version. This study is based in part on the PhD thesis of Emilio Estrada Ruiz at Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM. Funds by CONACyT (45065) and DGAPA-UNAM (IN208500 and IN201103) through grants to S.R.S.C.F., and a CONACyT (188612) and DGEP-UNAM student loans to E.E.R. are appreciated.

#### References

- Bailey, I.W., 1924. The problem of identifying the wood of Cretaceous and later dicotyledons: *Paraphyllanthoxylon arizonense*. *Ann. Bot.* 38, 439–451.
- Bayer, C., Fay, M.F., De Bruijn, A.Y., Savolainen, V., Morton, C.M., Kubitzki, K., Alverson, W.S., Chase, M.W., 1999. Support for an expanded family concept of Malvaceae with a circumscribed order Malvales: a combined analysis of plastid *atpB* and *rbcL* DNA sequences. *Bot. J. Linn. Soc.* 129, 267–303.
- Beauchamp, J., Lemoigne, Y., Petrusca, J., 1973. Les paléofloras tertiaires de Debet-Libanos (Éthiopie). *Ann. Soc. Géol. Nord* 93 (1), 17–32.
- Brett, D.W., 1960. Fossil oak wood from the British Eocene. *Palaeontology* 3, 86–92.
- Burckhardt, C., 1930. Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicain, deuxième partie. *Mém. Soc. Paléontol. Suisse* 50, 125–280.
- Cabon, E.J., 1972. *Paraphyllanthoxylon alabamense*— a new species of fossil dicotyledonous wood. *Am. J. Bot.* 59 (1), 5–11.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1992. Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Méx. Ser. Bot.* 63 (2), 111–137.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Ricalde-Moreno, O.S., 1995. Palmeras fósiles del norte de México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Méx. Ser. Bot.* 66, 37–106.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Weber, R., 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Méx. Inst. Geol., Rev.* 19 (1), 65–70.
- Crawley, M., 1989. Dicotyledonous wood from the lower Tertiary of Britain. *Palaeontology* 32 (3), 597–622.
- Détienne, P., Jacquet, P., 1983. Atlas d'identification des bois de l'Araucario et des régions voisines. Centre Technique Forestier Tropical.
- Estrada Ruiz, E., 2004. Frutos permineralizados de la Formación Cerro del Pueblo (Maastrichtiano), Coahuila, México. M.Sc. Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ferguson, K.M., Lehman, T.M., Gregory, R.T., 1991. C- and O-isotopes of pedogenic soil nodules from two sections spanning in West Texas. *Geol. Soc. Am., Abstr. Program* 23 (5), 302.
- Flores Espinosa, E., 1989. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Manclavia area, northern Mexico. Ph. Dissertation, University of Texas at Austin, 315p.
- Guleria, J.S., 1983. Some fossil wood from the Tertiary of Kachhbh, western, India. *Palaeobotanist* 31 (2), 109–128.
- Haas, H., Rowe, N.P., 1999. Thin sections and wafering. In: Jones, T.P., Rowe, N.P. (Eds.), *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*. Geological Society, London, pp. 76–81.
- Herendeen, P.S., 1991. Lauraceous wood from the mid-Cretaceous Potomac group of eastern North America: *Paraphyllanthoxylon marylandense* sp. nov. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 69, 277–290.
- Hernández-Castillo, G.R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1999. Reproductive and vegetative organs with Halcongaceae affinity from the Huapac chert, Upper Cretaceous of Sonora, Mexico. *Am. J. Bot.* 86, 1717–1734.
- IAWA Committee, 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* 10 (3), 219–329.
- Ilie, J., 1987. The CSIRO Family Key for Hardwood Identification. EJ Brill, Leiden.
- Ilie, J., 1991. CSIRO Atlas of Hardwoods. Springer-Verlag.
- InsideWood, 2006. Published on the Internet. <http://insidewood/lib.ncsu.edu/search> [26-07-2006].
- Lehman, T.M., 1990. Paleosols and the Cretaceous/Tertiary transition in the Big Bend region of Texas. *Geology* 18, 362–364.

- Mädel, E., 1962. Die fossilen Euphorbiaceen-hölzer mit besonderer berücksichtigung neuer Funde aus der Oberkreide Süd Afrikas. *Senckenb. Lethaea* 43 (4), 283–321.
- Manchester, R.S., 1979. *Triplachyrodium* (Sterculiaceae): a new genus of wood from the Eocene Clarno of Oregon and its bearing on xylem evolution in the extant genus *Triplachium*. *Am. J. Bot.* 66, 699–708.
- Manchester, R.S., 1980. *Chattaroyia* (Sterculiaceae): a new genus of wood from the Eocene Clarno of Oregon and its implications for xylem evolution of the extant genus *Pterispermum*. *Am. J. Bot.* 67, 59–67.
- Martínez-Hernández, E., Almeida-Lefero, L., Reyes-Salas, M., Betancourt-Aguilar, Y., 1980. Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuertes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila. *Univ. Nac. Auton. Méx., Inst. Geol., Rev.* 4 (2), 167–185.
- Metcalfe, C.R., Chalk, L., 1950. *Anatomy of Dicotyledons*, vols. 1 and 2. Clarendon Press, Oxford.
- Müller-Stoll, W.R., Müller-Stoll, H., 1949. *Sterculioidium rhenanum* nov. spec. aus dem Almetil Südwestdeutschlands. (Studien über fossile Laubbölzer I.). *Palaeontographica* 89B, 204–221.
- Page, V.M., 1968. Angiosperm wood from the Upper Cretaceous of central California: part II. *Am. J. Bot.* 55 (2), 168–172.
- Possagno, E.A., 1969. Upper Cretaceous Stratigraphy of the Western Gulf Coast Area of Mexico, Texas and Arkansas. *Geological Society of America, Memoir*, vol. 111, 139 pp.
- Platen, P., 1908. Untersuchungen fossiler Hölzer aus dem Westen der Vereinigten Staat von Nordamerika, Leipzig.
- Poole, I., Davies, K.L., Wilkinson, H.P., 2002. A review of the platanaceous woods from the Eocene pantropical rainforest of south-east England. *Bot. J. Linn. Soc.* 139, 181–191.
- Prakash, U., 1958. Studies in the Deccan Intermontane flora, 4: two silicified woods from Madhya Pradesh. *Palaeobotanist* 7 (1), 12–20.
- Prakash, U., Bande, M.B., Lalitha, V., 1986. The genus *Phyllanthus* from Tertiary of India with critical remarks on the nomenclature of fossil woods of Euphorbiaceae. *Palaeobotanist* 35, 106–114.
- Privé-Gill, C., Pelletier, H., 1981. Sur quelques bois silicifiés du Tertiaire de Limagne dans la région D'Aiguperse (Puy-De-Dôme), France. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 34, 369–405.
- Robeck, R.C., Pesquera, V.R., Ulloa, A.S., 1956. Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila. XX Congreso Geológico Internacional, México, 109 pp.
- Rodríguez-de la Rosa, R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1994. Upper Cretaceous zingiberalean fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *Int. J. Plant Sci.* 155 (6), 786–805.
- Rodríguez-de la Rosa, R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Silva-Pineda, A., 1998. Paleobiological implications of Campanian coprolites. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 142, 231–254.
- Rooda-Gaxiola, J., 1967. Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon crétacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique. PhD thesis. Faculté des Sciences, Université de Lille, 3 vols.
- Serlin, B., Delevoryas, T.H., Weber, R., 1980. A new conifer pollen cone from the Upper Cretaceous of Coahuila, Mexico. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 31, 241–248.
- Scott, R.A., Wheeler, E.A., 1982. Fossil woods from the Eocene Clarno Formation of Oregon. *IAWA Bull.* 3, 135–154.
- Spackman Jr., W., 1948. A dicotyledonous wood found associated with the Idaho Tertiary. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 35, 107–116.
- Stephenson, L.W., 1927. Notes on the stratigraphy of the Upper Cretaceous formations of Texas and Arkansas. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 11 (1), 1–17.
- Takahashi, K., Suzuki, M., 2003. Dicotyledonous fossil wood flora and early evolution of wood characters in the Cretaceous of Hokkaido, Japan. *IAWA J.* 24 (3), 269–309.
- Thayn, G.F., Tidwell, W.D., Stokes, W.L., 1983. Flora of the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation of Utah and Colorado. Part I: *Paraphyllanthodendron utahense*. *Great Basin Nat.* 43 (3), 394–402.
- Thayn, G.F., Tidwell, W.D., Stokes, W.L., 1985. Flora of the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation of Utah and Colorado. Part III: *Isacinoxylon pittensis* n. sp. *Am. J. Bot.* 72 (2), 175–180.
- Unger, F., 1842. Synopsis lignorum fossilium plantarum acanthophytorum. *Endlichen, Genera Plantarum, Suppl.* 2.
- Upchurch Jr., G.R., Wolfe, J.A., 1993. Cretaceous vegetation of the Western Interior and adjacent regions of North America. *Geol. Assoc. Can., Spec. Pap.* 39, 243–281.
- Vaughan, T.W., 1900. Reconnaissance in the Rio Grande coal fields of Texas. *U.S. Geol. Surv. Bull.* 164, 100.
- Weber, R., 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Bolet. Soc. Geol. Mex.* 33, 5–19.
- Weber, R., 1973. *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana* 10, 173–190.
- Weber, R., 1975. *Aschenia leoblochii* n. sp. an interesting conifer of the Upper Cretaceous Olmos Formation of northeastern Mexico. *Palaeontographica* 152B, 76–83.
- Weber, R., 1976. *Dorfolia auriculata* f. gen. nov. sp. nov. Un género de helechos aculeados del Cretácico Superior de México. *Bol. Asoc. Latinoam. Paleobot. Palinol.* 3, 1–13.
- Wheeler, E.A., 1991. Paleocene dicotyledonous trees from Big Bend National Park, Texas: variability in wood types common in the late Cretaceous and early Tertiary, and ecological inferences. *Am. J. Bot.* 78 (5), 658–671.
- Wheeler, E.A., Lehman, T.M., 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Agraja and Javelina Formations, Big Bend National Park, Texas, USA. *IAWA J.* 21 (1), 83–120.
- Wheeler, E.A., Manchester, S.R., 2002. Woods of the Eocene Nat Beds Flora Clarno Formation, Oregon, USA. *IAWA J.* 3.
- Wheeler, E.A., Scott, R.A., Barghoorn, E.S., 1978. Fossil dicotyledonous woods from Yellowstone National Park. II. *J. Arnold Arb.* 59, 1–31.
- Wheeler, E.A., Lehman, T.M., Gassen, P.E., 1994. *Javelinocylon*, an Upper Cretaceous dicotyledonous tree from Big Bend National Park, Texas, with presumed malvacean affinities. *Am. J. Bot.* 81 (6), 703–710.
- Wheeler, E.A., McClammer, J., LaPasha, C.A., 1995. Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene, San Juan Basin, New Mexico, USA. *IAWA J.* 16 (3), 223–254.
- Zaitzeff, J.B., Cross, A.T., 1970. The use dinoflagellates and acritarchs for zonation and correlation of the Navajo Group (Maestrichtian) of Texas. *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.* 127, 341–397.

**UPPER CRETACEOUS WOODS FROM THE OLMOS FORMATION (LATE  
CAMPANIAN-EARLY MAASTRICHTIAN), COAHUILA, MEXICO<sup>1</sup>**

Emilio Estrada-Ruiz<sup>2</sup>, Hugo I. Martínez-Cabrera<sup>3</sup> and Sergio R.S. Cevallos-Ferriz<sup>4</sup>

<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México D.F. [emilioer@geologia.unam.mx](mailto:emilioer@geologia.unam.mx)

<sup>3</sup>Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, 75 North Eagleville Road, Unit 3043 Storrs, CT. 06269-3043, U.S.A.  
[hugo.martinez\\_cabrera@uconn.edu](mailto:hugo.martinez_cabrera@uconn.edu)

<sup>4</sup>Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México D.F. [scrscfb@servidor.unam.mx](mailto:scrscfb@servidor.unam.mx)

<sup>1</sup>Manuscript received \_\_\_\_\_; revision accepted \_\_\_\_\_.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

We acknowledge P.A.S.A.C. (Paleontólogos Aficionados de Sabinas A.C.), specially to H. Porras Múzquiz, Director of the Museum of Múzquiz, Coahuila, J. C. González Galván and R. D. Zuñiga Montemayor and R. Ramírez Briones, J. Callejas-Moreno, L. Arrazola, A. Sainz and O. Rodríguez members of the Paleobotanical Laboratory, UNAM for field assistance. The municipal authorities of Melchor Múzquiz and INAH Coahuila, provided administrative help. E. Ortiz Montejo helped in sectioning the fossil wood for anatomical comparison. We thank Dr. T. Terrazas-Salgado (Instituto de Biología, UNAM) for comments on the affinity of the Anacardiaceae fossil wood and F. Chiang-Cabrera (Instituto de Biología, UNAM) for orientation on the correct use of scientific names. Comments by Dr. F. Vega-Vera enhanced our discussion. M. Martínez-Millán and Dr. L. Calvillo-Canadell (Instituto de Geología, UNAM) commented on a previous manuscript. Comments by M. Alcayde, Editorial Department, Instituto de Geología, UNAM, improved a preliminary English version. Dr. Gustavo Tolson (Director of the Instituto de Geología, UNAM), supported E.E.R. to finish this Ph.D. program. This study is based in part on the Ph.D. thesis of E.E.R. Funds by CONACyT (45065) and DGAPA-UNAM (IN208500 and IN201103) through grants to SRSCF, and CONACyT (167138) and DGEP-UNAM scholarships to EER and HIMC are appreciated.

## **ABSTRACT**

The Olmos Formation (late Campanian–early Maastrichtian) has the most diverse Cretaceous fossil plant assemblage in Mexico. The five new species and two new types of eudicotyledoneous plants identified in this paper add to the nearly 100 different leaf morphotypes described from the Olmos Formation. Some of the genera present in the Olmos Formation such as *Javelinoxylon* and *Metcalfeoxylon* have been described from other geologic units in the USA, suggesting similarity in the taxonomic composition of the floras that inhabited southern portions of the occidental margin of the Campanian-Maastrichtian Epicontinental Sea. Other species, however, have only been reported for the Olmos Formation indicating particular taxonomic composition for this geologic unit. New genera of the families Lauraceae (*Olmosoxylon*), Anacardiaceae (*Coahuiloxylon*), Cornaceae (*Muzquizoxylon*) and Malvaceae s.l. (*Wheeleroxylon*) are also described. Preliminary interpretations of wood characters support evidence from foliar physiognomic analyses suggesting that the Olmos Formation plants grew under humid tropical climate, most probably a paratropical forest.

**KEYWORDS** – Angiosperms woods, Coahuila, Mexico, Olmos Formation, Upper Cretaceous

## INTRODUCTION

Fossil wood has provided information on evolution and ecology of plants through geologic time that is valuable to understand past environments and biodiversity (Poole, 2002). However, as information on past life has been gathered and discussed through detailed comparison with extant counterparts, the need to understand not only the different types of organisms, but their variability and close relationship to the geologic scenario and environment have become evident. This has allowed a better understanding of the floras and vegetation types through time, and has also been an important source of information to document changes in paleo-latitude (e.g., Miller et al., 2006) and paleo-altitude (e.g., Castañeda-Posadas, 2007). Thus, this information has motivated discussion of biodiversity, in areas like Mexico where it is quite large, based on the geologic evolution which altered the physiographic characters of the country, and acted as an important impulse of biological processes that generated biodiversity. The report and discussion of Cretaceous woods add fine level information to understand biodiversity and past plant communities, and represent a great source of taxonomic and ecological data that may guide discussion to explain the development of new plant communities as the different continental exposed areas became accessible to various life forms.

Reports of Cretaceous angiosperm woods are scarce. In an extensive survey Wheeler and Bass (1993) found about 98 records worldwide. Most of these reports are from the Northern Hemisphere (Wheeler and Baas, 1993), although many important records have been recently reported from the Southern Hemisphere (e.g., Poole et al., 2000a, b). Eudicotyledonous wood records in North America go back to the Albian of Texas, and probably Utah (Serlin, 1982; Thayne et al., 1983, 1985); though, a variety of Cretaceous floras containing wood have been found in North America (e.g., Page, 1979, 1980; Wheeler et al., 1987; Herendeen, 1991; Wheeler et al., 1995; Wheeler and Lehman, 2000; Estrada-Ruiz et al., 2007).

In Northern Mexico, as part of the Sabinas Basin, an economically important zone for coal exploitation, several outcrops of the Olmos Formation contain great plant diversity (e.g., Weber, 1972; Estrada-Ruiz et al., 2007; Estrada-Ruiz et al.,



2008). Though this formation contains the most diverse paleobotanical assemblage in Mexico, relatively little material has been studied in detail. Among the plants so far described are *Salvinia* and *Dorfiella* (Weber, 1973; 1976), a couple of conifers (Weber, 1975; Serlin et al., 1981; Cevallos-Ferriz, 1992), angiosperms identified based on leaves (e.g., Nelumbonaceae, Menispermaceae, Laurales), woods and stem (e.g., *Paraphyllanthoxylon*, *Palmoxylon*, Fagaceae and Malvaceae, [Weber, 1978; Cevallos-Ferriz and Weber, 1992; Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995; Estrada-Ruiz et al., 2007, 2008; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, in press]). More information on this flora supporting the unusual high plant diversity contained in these sediments comes from palynological analysis (Rueda-Gaxiola, 1967; Martínez-Hernández et al., 1980).

The Olmos Formation is located in the Sabinas Basin and represents the southern portion of the Western Interior of North America, where a delta system developed towards the occident of the Epicontinental Sea during the Campanian-Maastrichtian. There is much to be documented regarding the Cretaceous flora of this geographic area, vegetation along the Epicontinental Sea occupied large areas as suggested by the presence of common elements in different localities, but at the same time, other taxa with more restricted distribution, perhaps endemic, in the different localities, suggest differences among this otherwise homogeneous vegetation (Estrada-Ruiz et al., 2008). The seven new eudicotyledoneous described here add evidence to the diverse and complex flora that inhabited the Western Interior in Northern Mexico some 73 mya and contribute to establish floristic relationships among the geologic formations along the western margin of the Cretaceous Epicontinental Sea, further north of the Western Interior Basin.

## **MATERIAL AND METHODS**

The Olmos Formation is located in the northern region of the Sabinas Basin. It is underlying the San Miguel Formation (late Campanian) and it is overlaid by the Escondido Formation (early Maastrichtian). The Olmos Formation is composed of mainly continental sediments that can be divided into deltaic and fluvial

environments (Flores Espinoza, 1989).

The age assigned to the Olmos Formation based on foraminifers, dinoflagellates, acritarchs and pollen is lower Maastrichtian (Pessagno, 1969; Zaitzeff and Cross, 1970; Martínez-Hernández et al., 1980; Fig., 1). However, Flores-Espinoza (1989) proposed late Campanian, based on ammonites. In Piedras Negras, Coahuila, near the contact of the Escondido and Olmos Formations, Vega-Vera (pers. comm., 2006) found bivalves like *Exogyra costata* Say and *Pycnodonte mutabilis* (Morton), both index fossils of the early Maastrichtian, supporting that the Olmos Formation might at least in part be late Campanian. Therefore, in this paper we suggest that the age of the Olmos Formations should be referred as late Campanian–early Maastrichtian.

We collected nearly 100 fossil woods samples. Cross, tangential and radial sections were obtained using the standard thin section technique (Haas and Rowe, 1999). The descriptions have been made according to the IAWA committee recommendations (1989). Affinities were determined by consulting literature (e.g., Metcalfe and Chalk, 1950; Détienne and Jacquet, 1983; Ilic, 1987, 1991) and searches on a woods identification database, InsideWood (2008). The fossil woods described in this article are housed in the Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

## SYSTEMATIC PALEOBOTANY

**Order** – Malvales

**Family** – Malvaceae s.l.

**Genus** – *Wheeleroxylon* gen. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Generic diagnosis** – Indistinct growth rings; solitary and multiple radials of 2 and 3 vessel elements, simple perforation plates; alternate, polygonal intervascular pits, vessel element-ray pits circular, of two different sizes; apotracheal and

paratracheal axial parenchyma; stratified homocellular rays; non septate libriform fibers.

**Species** – *Wheeleroxylon atascosense* gen. et sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Specific diagnosis** – Indistinct growth rings, diffuse porous wood; vessel elements solitary and in radial multiples of 2 – 3 (4), simple perforation plates; alternate, polygonal intervascular pits, vessel element-ray pits of two sizes with reduced borders, circular; apotracheal and paratracheal diffuse axial parenchyma; homocellular rays, uniseriate and 2 – 3 – seriate; non-septate libriform fibers.

**Etymology** – The generic name is after Dr. Elisabeth A. Wheeler, for her excellent and extensive work on wood anatomy.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1290 (wood sample, ca. 8.1 cm in diameter), IGM-LPB 4608–4634 (slides with thin sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Atascoso Ranch, 7 km N of Melchor Múzquiz town, Melchor Múzquiz Municipality, Coahuila, Mexico.

**Description** – Description is based on a single wood sample with indistinct growth rings. Diffuse porous wood (Fig. 2A). Vessels are solitary or in radial multiples of 2 – 3 (4), counting 11 (6 – 21)/mm<sup>2</sup> (Fig. 2A, 2B). They are oval in outline, but some solitary ones tend to be circular in transverse section. Their wall-thickness is 4 (2 – 6) μm, the tangential diameter is 124 (100 – 170) μm (Fig. 2A), and reach a length of 308 (110 – 470) μm. Vessel elements are storied, have simple perforation plate (Fig. 2C), small alternate and polygonal intervascular pits with aperture 3.1 (2 – 5) μm in length (Fig. 2E), and vessel-ray pits of two sizes, mostly circulars, both with reduced borders (Fig. 2F). Some vessel have tyloses and dark contents (Fig. 2G). Axial parenchyma scanty paratracheal and vasicentric, and apotracheal diffuse (Fig. 2D). Storied homocellular rays, multiseriate, 2 (3) cells wide, composed of procumbent cells, 332 (410 – 260) μm high; few unicellular rays, 5 (2 – 7) cells or 159 (100 – 300) μm high (Fig. 2H). Non-septate libriform fibers with wall-thickness of 4.2 (2 – 7) μm and lumen of 10.2 (5 – 15).

**Affinity** – Character combination like mainly bi-seriate rays, storied vessel elements with tangential diameters above 100  $\mu\text{m}$ , simple perforation plates, alternate intervascular pits, big to small circular vessel element-ray pits, presence of apotracheal and paratracheal parenchyma, and 2 – 3 seriate homocellular stratified rays are characteristics commonly found in Malvaceae s.l. However, the inclusion of *Wheeleroxylon atascosense* in a particular group within Malvaceae s.l. which includes Bombacaceae, Sterculiaceae, Tiliaceae and Malvaceae (APG, 2003) is not possible. The fossil record of Malvaceae s.l. around the world is large (see Wheeler et al., 1994; Wheeler and Lehman, 2000); these records, on the other hand, lack stratified elements except for two species of *Javelinoxylon* (Wheeler et al., 1994; Estrada-Ruiz et al., 2007). *Javelinoxylon multiporosum* described from the Javelina Formation (early Maastrichtian) Big Bend National Park, Texas, is different from *Wheeleroxylon atascosense* since it has larger number of vessel elements forming the multiple radial vessels, its vessel elements have smaller tangential diameter, but larger number of vessel elements/ $\text{mm}^2$ , and heterocellular ray. The other species of *Javelinoxylon*, *J. weberi*, from the Olmos Formation, also has larger number of vessel elements forming radial multiple vessels, vessel element-ray pits of different form (e.g., oval, round), and heterocellular rays, occasionally storied vessels, rays and parenchyma; therefore, the new wood is suggested to represent a new plant within Malvaceae s.l.

**Genus** – *Javelinoxylon* Wheeler, Lehman et Gasson

**Type 1** – *Javelinoxylon* sp. 1.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1291 (wood sample, ca. 100 cm in diameter), IGM-LPB 4635–4664 (slides with thin sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Fabrica Trinity, near Sabinas, Sabinas Municipality.

**Description** – A single sample with indistinct growth rings, has diffuse porous wood, solitary and in radial multiples of 2-3 vessels, and 8 (5 – 15) vessels/ $\text{mm}^2$  (Fig. 3A, 3B). Vessels are rounded to oval, have tangential diameter of 94 (60 –

130)  $\mu\text{m}$ , length of 347 (210 – 500)  $\mu\text{m}$ , simple perforation plates (Fig. 3C), alternate intervacular pits 3.5 (2 – 5)  $\mu\text{m}$  in diameter (Fig. 3D), vessel - parenchyma pits oval or elongated with reduced borders (Fig. 3E), and abundant thin-walled tyloses (Fig. 3F). Axial parenchyma is diffuse, diffuse in aggregates (Fig. 3A), and occasionally vasicentric (Fig. 3B). Multiseriate rays are 3 (2 – 3 [4]) seriate or 54 (40 – 80)  $\mu\text{m}$  wide and 12 (7 – 21) cells or 349 (230 – 520)  $\mu\text{m}$  high (Fig. 3G), sometimes tend to be storied; uniseriate rays are 4 (2 – 6) cells or 154 (70 – 320)  $\mu\text{m}$  high. Ray body cells are mainly procumbent, and in their margins one or two rows of square to erect cells are present. Non-septate fibers with wall thickness of 4.4 (3 – 6)  $\mu\text{m}$  and lumen of 11.7 (7 – 2)  $\mu\text{m}$  in diameter.

**Type 2** – *Javelinoxylon* sp. 2.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1292 (wood sample, ca. 9.0 cm in diameter), IGM-LPB 4665–4678 (slides with thin sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Santa Elena Ranch, 6 km W of Múzquiz town, Melchor Múzquiz, Municipality, Coahuila.

**Description** – A single sample with indistinct growth rings, though in thin section a single growth ring boundary was observed (Fig. 4B). It is diffuse porous (Fig. 4A), has solitary and multiple radial of 2 (3 [4]) vessels, 14 (9 – 24) vessel/ $\text{mm}^2$ . Tangential vessel element diameter is of 89 (70 – 145)  $\mu\text{m}$ , length of 226 (100 – 400)  $\mu\text{m}$ , wall thickness of 8.7 (6 – 13)  $\mu\text{m}$ . Vessels have simple perforation plates (Fig. 4C), small alternate intervacular pits with aperture diameter of 4.6 (3 – 6)  $\mu\text{m}$  (Fig. 4E), rounded to oval vessel-ray pits (Fig. 4F), and abundant thin-walled tyloses (Fig. 4D). Axial parenchyma vasicentric and apotracheal diffuse, scarce (Fig. 4B). Biseriate rays common, with few uni- and tri-seriate ones (Fig. 4H), they are storied (Fig. 4G), homocellular and heterocellular, and composed of procumbent cells, but multiseriate ones with one or two rows of erect cells in the margins (Fig. 4I). Uniseriate rays are 6 (2 – 11) cells or 192 (60–280)  $\mu\text{m}$  high, biseriate ones are 14 (9 – 33) cells or 322 (200 – 500)  $\mu\text{m}$  high. Fibers are both,

septate and non-septate, septa are thin and difficult to observe, lumen tangential diameter of 7.5 (3 – 10)  $\mu\text{m}$ , and wall thickness of 3 (2 – 5)  $\mu\text{m}$ .

**Affinity** – Presence of radial multiple vessels, small intervascular pits, simple perforation plates, vessel-ray pits with reduced borders and larger than intervascular pits, scanty axial paratracheal and diffuse apotracheal parenchyma, as well as stratified vessel elements, fibers and rays characterize Malvaceae s.l.

These characters also match the anatomical description of *Javelinoxylon* (Wheeler et al., 1994; Estrada-Ruiz et al., 2007), but there are important differences, like degree of vessel density and grouping, small mean tangential diameter of vessel, and absence of parenchyma bands with *Javelinoxylon multiporosum* and *Javelinoxylon weberi* (Wheeler et al., 1994; Estrada-Ruiz et al., 2007) (Table, 1). In *Javelinoxylon* sp. 1, the lower vessel density and grouping, non-septate fibers, and occasionally storied rays, suggest the presence of a new species (Table, 1). However, since only one sample with these differences has been collected so far, and since differences may represent variability within a single species a decision requires comparison with new materials that need to be collected.

Regarding *Javelinoxylon* sp. 2, quantitative characters highlight differences with other members of the genus (Table, 1). It is different from *J. multiporosum* in the degree of vessel grouping, and tangential diameter. On the other hand, it is different from *J. weberi* in the number and density of vessel, its tangential diameter, the storied structure of vessel (only rarely) and fibers, and the lack of septate fibers (Table, 1). *Javelinoxylon* sp. 2 has greater similarity with *J. multiporosum*, but again quantitative characters pull them apart (Table, 1). *Javelinoxylon* species/samples seem to reflect a wide variability within this taxon, but the number of samples so far known does not allow a detailed statistical approach to discuss the pertinence of creating new species. We prefer to wait for new collections since variability of this morphospecies has to be further documented.

**Order** – Sapindales

**Family** – Anacardiaceae.

**Genus** – *Coahuiloxylon* gen. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Generic diagnosis** – Diffuse porous; solitary and multiple radial of 2 vessels, simple perforation plate, alternate intervascular pits, circular to elongated medium size vessel – ray pits with reduced borders; apotracheal and paratracheal parenchyma; heterocellular rays type IIA; libriform, non-septate and septate fibers.

**Species** – *Coahuiloxylon terrazasiae* gen. et sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Specific diagnosis** – Indistinct growth rings, diffuse porous, solitary and multiple radials of 2 vessels, simple perforation plate, alternate intervascular pits with elliptical aperture, vessel– ray pits of 2 sizes with reduced borders, some are elongated; axial parenchyma paratracheal and apotracheal; uniseriate and multiseriate 2 – 5 cells wide heterocellular rays type IIA; libriform, non-septate and septate fibers.

**Etymology** – The generic name refers the Coahuila State, Mexico, where the wood was collected; the specific epithet recognizes Dr. Teresa Terrazas-Salgado contribution to understand wood and leaf anatomy of Anacardiaceae.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1293 (wood sample, ca. 9.0 cm in diameter), IGM-LPB 4679–4693 (slides with thin sections).

**Additional material** – IGM-PB 1294 (wood sample, ca. 10 cm in diameter) IGM-LPB 4694–4706 (slides with thin sections); IGM-PB 1295 (wood sample, ca. 9.0 cm in diameter) IGM-LPB 4707–4724 (slides with thin sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Atascoso Ranch, 7 km North of Melchor Múzquiz town, Múzquiz Municipality, Coahuila, Mexico.

**Description** – Description is based in three samples with indistinct growth rings; they have diffuse porous wood (Fig. 5A, 5B), solitary and radial multiples of 2 – 3 (4) vessels, and 11 (4 – 14) vessels /mm<sup>2</sup>, that are oval in transverse section, have wall-thickness of 4.5 (3 – 8) µm, tangential diameter of 96 (70 – 130) µm (Fig. 5A, 5B, 5C, 5D), length of 236 (150 – 510) µm, and some have dark contents. Their

perforation plates are simple (Fig. 5E) and have alternate and polygonal, 9.7 (8 – 14)  $\mu\text{m}$ , intervascular pits with aperture of 5  $\mu\text{m}$  (3 – 7)  $\mu\text{m}$  in length (Fig. 5F). Vessel -ray pits are of medium size with reduced borders, some are circular others elongated (Fig. 5G, 5H). Some vessels have tyloses. Axial parenchyma is scanty paratracheal and vasicentric, and apotracheal diffuse (Fig. 5C, 5D), with small, simple pits, 3 - 5  $\mu\text{m}$  in width (Fig. 5I). Rays are heterocellular, rarely uniseriate with 4 (1 – 7) cells or 148.8 (80 – 250)  $\mu\text{m}$  high, multiseriate rays are (2)3 – 4(5) cells or 51.6  $\mu\text{m}$  (30 – 70)  $\mu\text{m}$  wide and 394 (180 – 700)  $\mu\text{m}$  high (Fig. 5J); their body is composed of procumbent cells, and towards their margins square and erect cells are present (Fig. 5K). Libriform non-septate and rarely septate fibers, have wall-thickness of 3.2 (1 – 4)  $\mu\text{m}$  and lumen diameter of 7.9 (4 – 15)  $\mu\text{m}$  (Fig. 5J).

**Affinity** – Presence of indistinct growth rings, septate and/or non-septate fibers, alternate intervascular pits and vessel-ray pits with reduced borders, and simple perforation plates are characters typical of Anacardiaceae (Terrazas, 1994, 1999). Vessel element-ray pits in Anacardiaceae are different from intervascular pits, as in the fossil material; however, these are rounded to angular in most extant taxa (Terrazas, 1994), while in *Coahuiloxylon terrazasiae* vessel-ray pits are vertical and horizontal elongated. Vasicentric and apotracheal diffuse parenchyma in the fossil also suggest similarity with Anacardiaceae since in the family most species have scanty paratracheal and vasicentric, and/or apotracheal diffuse and in bands, and marginal (Terrazas, 1994). Presence of non-septate and septate fibers resembles some members of the tribe Rhoeeae (e.g. *Loxostylis*, *Mauria* and *Smodingium*) Anacardiaceae (e.g. *Androtium*, *Buchanania*) and Dobineae (*Dobinea*). Relationship of the *C. terrazasiae* with members of the tribes Semecarpeae and Spondiadeae is precluded by the presence of exclusively non-septate and exclusively septate fibers respectively (Terrazas, 1994).

Rays in Anacardiaceae are heterogenous type IIA and IIB (Terrazas, 1994), though type III are present in some species of *Anacardium* and if there are homogenous rays these are I; *Coahuiloxylon* has heterogenous rays type IIA, and occasional uniseriate rays. *Androtium* and *Buchanania* of the Anacardiaceae have



heterogeneous rays type IIA (Terrazas, 1994), but in contrast to *Coahuiloxylon* only paratracheal parenchyma is present. Some genera in the Rhoeeae resemble *Coahuiloxylon* (*Loxostylis*, *Mauria*, *Smodingium*) in having both paratracheal (scanty to vasicentric) and apotracheal (diffuse) parenchyma. However, only *Mauria* has rays type IIA. While radial canals are present in ca. 60% of the family (Terrazas, 1994), these are absent in *Coahuiloxylon*, character that is also shared with *Mauria*. Indeed, *Coahuiloxylon* and *Mauria* share very important diagnostic features within Anacardiaceae such as presence of non-septate and septate fibres, paratracheal and apotracheal parenchyma, heterogeneous rays type IIA and lack of radial canals. Although simple perforation plates are dominant, Terrazas (1994) and Leon (2003) described the presence of some reticulate perforation plates in *Mauria*. The character combination found in *Coahuiloxylon terrazasiae* suggest that the wood represents an Anacardiaceae plant, but its particular mosaic of characters precludes its inclusion in an extant taxon, thus most probably representing a new one.

The fossil record of the family is large; some 120 records have been suggested based on pollen, leaves, and wood, representing ca. 30 genera (Ramírez, J. L., 1996). Wood material has been described from Asia, America and Africa (Awasthi, 1966; Kruse, 1954; Poole and Davies, 2001; Wheeler and Manchester, 2002; Martínez-Cabrera and Cevallos-Ferriz, 2004). *Anacardioxylon* (Felix, 1882; 1894) can be distinguished from *Coahuiloxylon terrazasiae* based on the presence of aliform parenchyma, less and thinner rays, as well as the presence of radial canals. Kruse (1954) described *Schinoxylon* and *Edenoxylon* from the Eocene *Eden Valley*, Wyoming, U.S.A. *Schinoxylon* has vessel elements with larger lumen, and lacks parenchyma, while *Edenoxylon* has more vessel elements/mm<sup>2</sup>, more uniseriate rays, septate fibers and lacks parenchyma, thus making *Coahuiloxylon terrazasiae* distinct from these plants. *Mangiferoxylon*, described by Awasthi (1966), has distinct growth rings, aliform and banded of apotracheal parenchyma, and crystals. *Melanorrhoeoxylon* differs from *Coahuiloxylon terrazasiae* in having more than 2 vessel elements arranged as radial multiple, banded parenchyma, radial canals, homocellular rays, and number of uniseriate rays (Ghosh, 1980).

*Glutoxylon* differs from *Coahuiloxylon terrazasiae* in vessel density, and degree of vessel grouping, proportion of uniseriate rays and presence of radial canals (Chowdhury, 1936; Awasthi, 1966; Poole and Davies, 2001). It is clear that the wood of the new plant does not correspond with a fossil Anacardiaceae previously described; therefore, it has to be assigned to a new genus, which for the moment represents the oldest undisputable record of the family which in the Cenozoic apparently underwent an extraordinary diversification in low latitude North America.

**Order** – Cornales

**Family** – Cornaceae.

**Genus** – *Muzquioxylon* gen. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Generic diagnosis** – Diffuse porous; mainly solitary vessel, scalariform perforation plate, transitional intervacular pits; abundant apotracheal axial parenchyma; heterocellular rays; non-septate with minutely bordered pits fibers; vertical traumatic canals.

**Species** – *Muzquioxylon porrasii* gen. et sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Specific diagnosis** – Indistinct-growth rings, diffuse porous; solitary vessel, though sometimes pairs are observed, scalariform perforation plates with more than 40 bars, transitional intervacular pits; axial parenchyma apotracheal in tangential lines, forming a reticulum; heterocellular uni- and multi (2 – 6) seriate rays; non septate with minutely bordered pits fibers; traumatic vertical canals in tangential lines.

**Etymology** – The generic name refers the Múzquiz Municipality, where the material was collected. The specific epithet recognizes the support given by Mr. Héctor G. Porras Múzquiz during the fossil recollection in Múzquiz Municipality.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1296 (wood sample, ca. 8.5 cm in diameter), IGM-LPB 4721–4746 (slides with thin sections).

**Additional material** – IGM-PB 1297 (wood sample, ca. 7.0 cm in diameter) IGM-LPB 4747–4759 (slides with thin sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Santa Elena Ranch, 6 km W of Melchor Múzquiz town, Múzquiz, Municipality, Coahuila.

**Description** – Two samples with indistinct growth rings, and diffuse porous wood (Fig. 6A, 6B), with 27 (19 – 45) vessel/mm<sup>2</sup>, that are mostly solitary, but pairs occur occasionally, they are circular, have rarely oval vessel-element tangential diameter of 76.5 (40 – 110) μm (Fig. 6A, 6B, 6C), length of 1074 (730 – 1460) μm, and wall thickness of 3.4 (2 – 5) μm; some with dark contents. They have scalariform perforation plates with 48 (32 – 63) bars that sometimes bifurcate (Fig. 6F), transitional intervacular pits, with aperture of 60 (45 – 105) μm (Fig. 6G, 6H), alternate to opposite vessel-ray pits (Fig. 6I), and occasional thin-walled tyloses (Fig. 6J, 6K). Vertical traumatic canals arranged in tangential lines have circular to oval cross section outline, but some may be quadrangular and even fuse (Fig. 6D, 6E). In longitudinal section, in the area of the traumatic canals, patches of thin-walled cells resemble included phloem (preservation restricts further description of these areas). Axial parenchyma is apotracheal diffuse and diffuse in aggregates, forming band of three or four cells wide, forming a reticulum (Fig. 6M). Parenchyma cells have large simple pits, up to 5 μm in larger diameter, but mostly they have 2 μm. Rays are uni- and multiseriate (2 – 4 [6]), and heterocellular; multiseriate ones are composed of procumbent cells, but in their margins there are procumbent, square and erect cells (Fig. 6N); uniseriate rays are 13 (5 – 31) cells or 704 (210 – 1760) μm high. Non-septated, with minutely bordered pits fibers, have wall thickness of 10.9 (7 – 20) μm (Fig. 6C), and lumen of 9.6 (7 – 15) μm, and bordered pits organized in up to 4 rows in radial and tangential walls (Fig. 6L).

**Affinity** – The combination of solitary and multiple radials of 2 – 3 vessel, circular in outline, presence of vertical traumatic canals in tangential lines, exclusively scalariform perforation plates with 7 to 90 bars, transitional intervacular pits, vessel-ray pits with reduced borders, and heterocellular rays characterize Cornales (Noshiro and Baas, 1998). Included in this order are Cornaceae, Curtisiaceae,

Grubbiaceae, Hydrangeaceae, Hydrostachyaceae and Loasaceae (APG II, 2003). The mosaic of characters mentioned above, plus the presence of 90 % of solitary circular vessel elements, and perforation plates with more than 40 bars distinguish Cornaceae (Noshiro and Baas, 1998) and allows inclusion of *Muzquizoxylon porrasii* in this family.

Among the extant taxa included in Cornaceae some characters, or character combination, strongly suggest the presence of a new Cornaceae taxon (Noshiro and Baas, 1998). Among these are larger clusters of vessel elements, number of vessel element multiples, number of vessel elements/mm<sup>2</sup>, tangential diameter of vessel elements, simple perforation plates, presence of growth ring, intervacular pit size, number of bars per perforation plate, size of vessel element-ray pits, and presence of septate fibers (Table, 2). The extant plant with wood most similar to *Muzquizoxylon* is *Mastixia* (Table, 2); they share the presence of traumatic axial canals in tangential lines, a character that separates these two taxa from the other members in the family (Noshiro and Baas, 1998); nevertheless, other characteristics clearly are different (Table, 2).

Several fossil woods have been compared with those of Cornaceae and extinct taxa have been recognized (e.g., Mädler, 1959; Prakash and Barghoorn, 1961; van der Burgh, 1964; Petrescu, 1970; Suzuki, 1975; Wheeler et al., 1978). Among these, *Nyssoxylon* shares characters with *Nyssa* and *Davidia*, and is mainly reported from Cenozoic localities from North America, Europe and Asia (e.g., Mädler, 1959; Prakash and Barghoorn, 1961; van der Burgh, 1964; Petrescu, 1970; Suzuki, 1975; Wheeler et al., 1978), however, there is one Upper Cretaceous report from the border of Belgium, The Netherlands and Germany (Meijer, 2000). The smaller tangential vessel element diameter, higher vessel density and bar number per perforation plate, as well as ray width measured in number of cells distinguish these woods from the new fossil material.

*Mastixioxylon* (Mastixiaceae?/Symplocaceae?) is known from central Europe (Gottwald, 1992), and also has an Upper Cretaceous record, *M. symplocoides* from the Aachen Formation (Meijer, 2000). Differences in number of vessels per mm<sup>2</sup>, presence of growth rings, smaller vessel-ray pits, and thinner rays separates this

genus from *Muzquizoxylon*. Differences of the wood of the new Coahuila plant with those of fossil and extant Cornaceae supports the recognition of a new genus for low latitude North American.

**Order** – Laurales

**Family** – Lauraceae

**Genus** – *Olmosoxylon* gen. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Specific diagnosis** – Indistinct growth rings, diffuse porous; simple perforation plates, alternate intervascular pits, vessel-ray pits of variable form, ovals to longitudinally elongated with reduced borders, homocellular, heterocellular rays tend to be aggregate, oil cells in ray, septate and non septate fibers, scanty paratracheal parenchyma.

**Species** – *Olmosoxylon upchurchii* gen. et sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Etymology** – The generic name refers to the Olmos Formation, where the material was collected. The specific epithet honors Dr. Garland R. Upchurch Jr. in recognition of his contributions to paleobotany.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1298 (wood sample, ca. 6.0 cm in diameter), IGM-LPB 4760–4776 (slides with thin-sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Santa Elena Ranch, 6 km W of Melchor Múzquiz town, Múzquiz Municipality, Coahuila.

**Specific diagnosis** – Indistinct growth rings; diffuse porous wood; vessels solitary and in multiple radials of 2 – 4, simple perforation plates, alternate intervascular pits, large elliptical vessels-ray pits with reduced borders, septate and non septate fibers, scanty paratracheal parenchyma.

**Description** – Description is based on a single sample with diffuse porous wood and indistinct growth rings (Fig. 7A, 7B), solitary and 2 – 3 (4) radial multiple vessel elements, and 9 (4 – 14)/mm<sup>2</sup>. Vessels are oval, have tangential diameter of 108.9 (60 – 150) µm, length of 449 (250 – 750), wall thickness of 4.7 (3 – 6) µm, simple

perforation plates (Fig. 7C), and have alternate intervascular pits with oval aperture 8.5 (5 – 11)  $\mu\text{m}$  in length (Fig. 7D); vessel-ray pits are of variable form, ovals to longitudinally elongated, with aperture length of 14.3 (12.5 – 30)  $\mu\text{m}$  (Fig. 7E, 7F), and have reduced borders. All vessels have abundant thin-walled tyloses (Fig. 7G, 7H). Axial parenchyma is scanty paratracheal and very rare apotracheal diffuse. Rays are homocellular, heterocellular, multiseriate, 4.5 (3 – 7) cells wide, 990 (400 – 1430)  $\mu\text{m}$  high, composed of procumbent and one square or erect cells and tend to be aggregated (Fig. 7I), oil cells present in the rays (Fig. 7J, 7K). Libriform septate non septate fibers and have wall thickness of 4.5  $\mu\text{m}$  (2 – 7)  $\mu\text{m}$ , and lumen diameter of 9 (6 – 17)  $\mu\text{m}$ .

**Affinity** – The new plant shows characteristics that are common in woods of Upper Cretaceous and Cenozoic, some of the features are found in *Paraphyllanthoxylon*, *Laurinoxylon* and *Mezilaurinoxylon*. From Mexico, a wood related to *Parahyllanthoxylon* from the Olmos Formation was previously described (Cevallos-Ferriz and Weber, 1992). Characters shared by the two Coahuila plants, *Olmosoxylon* and *Paraphyllanthoxylon*, include solitary and radial multiple vessel, scanty or absent axial parenchyma, exclusively simple perforation plates, alternate intervascular pits with oval to elliptic aperture, vessel element-ray pits of different shapes and reduced borders, septate and non septate fibers and homocellular and heterocellular rays. However, they also have differences like vessel diameter, number of vessel per  $\text{mm}^2$ , presence of apotracheal parenchyma, vessel-ray pits shape and width of rays measured as cell number. Eleven Cretaceous species of *Paraphyllanthoxylon* have been recognized from North America, Asia and Africa (Bailey, 1924; Spackman, 1948; Mädler, 1962; Cahoon, 1972; Thayn et al., 1983; Wheeler et al., 1987; Herendeen, 1991; Cevallos-Ferriz and Weber, 1992; Wheeler et al., 1995; Wheeler and Lehman, 2000; Takahashi and Suzuki, 2003; Oakley and Falcon-Lang, 2009) (Table, 3). While *Olmosoxylon upchurchii* shares some characters with *P. idahoense*, *P. capense*, *P. alabamense*, *P. arizonense*, *P. utahense* and *P. illinoisense*, others like width and length of rays distinguish them. Besides, *P. utahense* and *P. illinoisense* have tyloses with different shapes, higher multiseriate ray and larger vessel diameter than *O. upchurchii* and lack of oil cells

(Table, 3). Others like *P. arizonense* have differences in number of vessels/mm<sup>2</sup>, and shape of vessel– ray pits (Bailey, 1924); and *P. marylandense* has vessels with smaller tangential diameter and larger number of vessel elements/mm<sup>2</sup> and ray width and lack of oil cells. In *P. anasazi* vessel diameter and width and height of rays are smaller than in the new fossil plant, and the number of vessel per mm<sup>2</sup> is larger, thus distinguish it from the new Coahuila material. Both Japanese woods, *P. cenomaniaca* and *P. obiraense*, are distinct from the new *Paraphyllanthoxylon* material in their vessel element tangential diameter and height, tyloses shapes, intervacular and vessel-ray pits, and number of vessels per mm<sup>2</sup> (Table, 3).

About 45 species of *Laurinoxylon* around the world have been described (e.g., Felix, 1883; Fliche, 1905; Süss, 1958; Privé-Gill and Pelletier, 1981). *Laurinoxylon* has features that can be associated with *Olmosoxylon* as the presence of simple perforation plate, scanty paratracheal axial parenchyma, oil cells associated with ray, and heterocellular rays. However, *Olmosoxylon* has a combination of characters not found in species of *Laurinoxylon*, like the presence of vessel -ray pits of variable form with aperture length of 12.5 – 30 µm, homocellular and heterocellular, abundance of rays which appeared to form aggregate rays (Fig. 7I), therefore, any taxonomic relation can be ruled out.

Other wood that presents characters with *Olmosoxylon* is *Mezilaurinoxylon eiporosum* (Wheeler and Manchester, 2002). The characters that both woods share are presence simple perforation plate, vessel-ray pits enlarged with reduced border (Richter type c), axial parenchyma scanty paratracheal and heterocellular ray, but other features that discarded any relationship, include presence of homocellular and heterocellular rays, with tendency to be aggregate and oil cells in the different zone of the rays (Table, 3).

*Olmosoxylon* has particular combination of characters within Lauraceae, like the presence of very large vessel-ray pits occupying the entire ray cell (Richter type c; Richter, 1989). This feature is found in extent genera such as *Anaueria*, *Clinostemon*, *Mezilaurus*, *Ocotea* and some species of *Nothaphoebe*, but none of these genera have the combination characters (e.g., homocellular and heterocellular rays, very wide and high rays with trended by to be aggregate and oil

cells in the different zone of the rays) found in *Olmosoxylon*, thus precluding any affinity with these genera.

**Family** – Insertae sedis

**Genera** – *Metcalfeoxylon* Wheeler, McClammer et LaPasha.

**Species** – *Metcalfeoxylon sanctae-elena* sp. nov. Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera et Cevallos-Ferriz.

**Etymology** – The specific epithet refers the Santa Elena Ranch, Múzquiz Municipality, where the wood was collected.

**Holotype** – Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM. IGM-PB 1299 (wood sample, ca. 6.2 cm in diameter), IGM-LPB 4777–4790 (slides with thin sections).

**Additional material** – IGM-PB 1300 (wood sample, ca. 14.2 cm in diameter) IGM-LPB 4791–4805 (slides with thin sections); IGM-PB 1301 (wood sample, ca. 17 cm in diameter) IGM-LPB 4806–4824 (slides with thin sections) and IGM-PB 1302 (wood sample, ca. 8.0 cm in diameter) IGM-LPB 4825–4838 (slides with thin sections); Rancherías locality IGM-PB 1303 (wood sample, ca. 25 cm in diameter) IGM-LPB 4839–4853 (slides with thin sections) and Doble 7 Ranch locality IGM-PB 1304 (wood sample, ca. 24 cm in diameter) IGM-LPB 4854–4866 (slides with thin sections).

**Stratigraphic horizon** – Olmos Formation, late Campanian – early Maastrichtian.

**Locality** – Santa Elena Ranch, 6 km W of Melchor Múzquiz town, Múzquiz Municipality, Coahuila.

**Specific diagnosis** – Growth rings indistinct, diffuse porous wood; exclusively solitary vessels, scalariform perforation plates, alternate intervascular pits, opposite to alternate vessel–ray pits; abundant paratracheal and apotracheal parenchyma; heterocellular, multiseriate (3 – 5 seriate), and up to 50 cells high rays, rare uniseriate ones; septate and non septate fibers.

**Description** – Description is based on 6 samples with indistinct growth rings, and diffuse porosity (Fig. 8A). Their vessel elements have an oval outline in transverse section, are solitary, and 4 (1 – 8)/mm<sup>2</sup>; some vessels have dark contents (Fig.



8B). They have tangential diameter of 121 (60 – 170)  $\mu\text{m}$ , length of 1135 (810 – 1900)  $\mu\text{m}$ , and wall thickness of 5.8 (3 – 12)  $\mu\text{m}$ ; perforation plates are scalariform with 18 (10 – 26) bars per plate (Fig. 8C), and intervascular and vessel -ray pits are alternate and opposite (Fig. 8D), 6.8 (5 – 9)  $\mu\text{m}$  in length (Fig. 8E). Paratracheal axial parenchyma is vasicentric (Fig. 8F), apotracheal parenchyma is diffuse in aggregates forming uniseriate lines (Fig. 8G). Rays are heterocellular; uniseriate ones composed of 16 (5 – 3) square and erect cells or 713  $\mu\text{m}$  (270 – 1850  $\mu\text{m}$ ) high; multiseriate ones with procumbent cells in their body (Fig. 8L), and 1002 (560 – 1920)  $\mu\text{m}$  or 31 (19 – 48) cells high, by 7.5 (5 – 10)  $\mu\text{m}$  or 4 (3 – 5) cells wide. Fibers are septate and non-septate, the former with 1 – 6 septa, thick-walled, 6.6 (4 – 9)  $\mu\text{m}$  (Fig. 8H, 8I), and lumen of 11.3 (7 – 15)  $\mu\text{m}$ . Fiber-tracheids with 1 – 2 rows of bordered pits, 7.7 (5 – 10)  $\mu\text{m}$  in diameter (Fig. 8J). In some areas vasicentric tracheids with more than 2 rows of bordered pits (Fig. 8K).

**Affinity** – The anatomical pattern of this wood type of the Olmos Formation resembles a type described first from the Kirkland Formation (late Campanian) in the San Juan Basin (Wheeler et al., 1995), Big Ben National Park, New Mexico, Texas, *Metcalfioxylon kirtlandense*. Later, similar woods have been reported from the Aguja (late Campanian) and Javelina (early Maastrichtian) Formations (Wheeler and Lehman, 2000). *Metcalfioxylon kirtlandense* has solitary oval vessel elements with scalariform perforation plate with less than 50 bars per perforation, alternate and opposite intervascular and vessel element-ray pits, and apotracheal parenchyma, characters that can be found in Rosidae and Dilleniidae (Cronquist, 1988; Wheeler et al., 1995; Wheeler and Lehman, 2000). The new wood of the Olmos Formation certainly has these characters, besides, it has vessel elements with perforation plates with 10 – 26 bars, vasicentric tracheids, septate fibers, heterocellular rays more than 10 cell high, and diffuse and diffuse in aggregates (short tangential lines) axial parenchyma strongly suggesting that the new wood represents a new species (Table, 4).

## DISCUSSION

Evidence presented here along with previous records suggest that deltaic systems of the Campanian-Maastrichtian southern portion of the Western Interior shared floristic elements along the margin of the epicontinental sea (e.g., *Metcalfioxylon* and *Javelinoxylon*) between the San Juan Basin, New Mexico and Big Bend National Park, Texas. Forests present in these regions were part of a large system that thrived from near the coast, like the floras from Kirkland, Fruitland (San Juan Basin) (Wheeler et al., 1995) and Olmos (Estrada-Ruiz et al., 2007) Formations, to the interior of the continent, like the floras represented in Aguja and Javelina Formations (Big Bend National Park) (Wheeler et al., 2000). These forests located between 20° and 40° Northern latitude were part of the *Normapolles* province as suggested by some of the woody flora elements from the Big Bend National Park (e.g., *Metcalfioxylon* and *Agujoxylon*) (Batten, 1981, 1984; Wheeler and Lehman, 2000; Lehman and Wheeler, 2001).

The Olmos Formation, located in the southern portion of the Western Interior of North America, however, has taxa that have not been described in the Northern part of the epicontinental sea. Among the taxa suggesting the Olmos Formation had a particular floristic composition are *Quercinium* (Fagaceae) (Estrada-Ruiz et al., 2007), *Muzquioxylon* (Cornaceae), *Coahuiloxylon* (Anacardiaceae), *Whelexylon* (Malvaceae s.l.), *Olmosoxylon* (Lauraceae), members of the Nelumbonaceae and Laurales (Estrada-Ruiz et al., 2008).

The anatomical characters of the woods of the Olmos Formation allow a first glance to environment characterization in the Sabinas Basin ca. 73 my. The low prevalence of growth rings (10%) among the angiosperm woods so far described strongly suggests equable conditions through the year, recalling tropical conditions with no marked seasonality (Wheeler and Baas, 1991). However, the conifers have marked growth rings, but the favorable growing season is markedly larger compared to the unfavorable season, suggesting that these plants were more sensitive to environmental changes (Poole et al., 2005). Nevertheless, the amount of angiosperms taxa with growth rings in the Coahuila material confirm the idea of these being less common in Upper Cretaceous scenarios compared with

Paleogene ones (Wheeler and Baas, 1993). Supporting the availability of water for plants growing in the Sabinas Basin is the relatively large tangential diameter (106.48  $\mu\text{m}$ ) of the vessel elements,  $> 100$  and  $< 150$   $\mu\text{m}$ , in 4 of the 10 known taxa, *Olmosoxylon upchurchii*, *Metcalfeoxylon sanctae-elenae*, *Quercinium centenoae*, *Sabinoxylon pasac* and *Coahuiloxylon terrazasiae*, and slightly smaller ( $< 100$   $\mu\text{m}$ ) ones in the other 6 taxa *Muzquizoxylon porrasii*, *Javelinoxylon* sp. 2, *Javelinoxylon* sp.1, *Javelinoxylon weberi*, *Paraphyllanthoxylon* sp. and *Wheeleroxylon*. The tangential diameter of the vessels that present wood of the flora of the Olmos trees, is comparable with areas of tropical humid forests, like the tropical forest of PortoVelho and Manaus in Brazil (104  $\mu\text{m}$  and 107  $\mu\text{m}$  respectively), Tafelberg in Surinam (91  $\mu\text{m}$ ) and the Tuxtlas in Mexico (120  $\mu\text{m}$ ) (Martínez-Cabrera and Cevallos-Ferriz, 2008). An other character state useful to establish environmental conditions is the presence of simple perforation plates in 70% of plants, like in *Javelinoxylon weberi*, *Quercinium centenoae* (Estrada-Ruiz et al., 2007), *Paraphyllanthoxylon* sp., *Javelinoxylon* sp. 1, *Javelinoxylon* sp. 2, *Wheeleroxylon* and *Coahuiloxylon* and *Sabinoxylon pasac* (Estrada-Ruiz et al., 2007). The high percentage of simple perforation plates of the Olmos Formation is similar to that in extant low land tropical forests (Wheeler and Baas, 1993), and therefore, this character can further signal the abundance of water in the environment since water conduction would be easier in systems with simple perforation plates (Wheeler and Baas, 1993). The combination of these characters suggests that the flora of the Olmos Formation grew in an environment similar to a tropical humid forest.

Wood sample have been collected from sandstones along with coprolites, insect galleries or pelecipods suggesting they grew near the water bodies. This is reinforced by the sedimentological data that indicates that the Olmos Formation was deposited in ponds, lakes, marsh and flood plains. Also, the presence of aquatic ferns, leaves of Nelumbonaceae and numerous leaves with drip tips and physiognomic analysis of the macroflora indicates paratropical-wet conditions (Estrada Ruiz et al., 2008).

The scenario outlined above for the Olmos Formation is supported by leaf traits. Using simple and multiple regressions models (e.g., Wolfe, 1979; Wing and Greenwood, 1993; Wiemann et al., 1998), foliar physiognomy suggests that the Olmos Formation flora grew under warm wet conditions (mean annual temperature 20 to 23 °C and mean annual precipitation of 1.5 to 3 m<sup>3</sup>) (Estrada-Ruiz et al., 2008). High proportion of species with entire margin (70%) and drip tips (50%) in the assemblage further support low water stress for the Olmos Formation (Estrada-Ruiz et al., 2008).

The Olmos Formation flora is probably one of the first and main precursors of the humid tropical forest in low latitude North America. Future research will explain how drier communities were selected from this original flora as the Cenozoic geologic evolution of Mexico generated varied scenarios that were occupied by different plant assemblages derived from these Cretaceous floras.

## LITERATURE CITED

- [APG] ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399–436.
- AWASTHI, N. 1966. Fossil woods of Anacardiaceae from the Tertiary of South India. *The Palaeobotanist* 14: 131–143.
- BAILEY, I. W. 1924. The problem of identifying the wood of Cretaceous and later dicotyledons: *Paraphyllanthoxylon arizonense*. *Annals of Botany* 38: 439–451.
- BATTEN, D. J. 1981. Stratigraphic, palaeogeographic and evolutionary significance of Late Cretaceous and early Tertiary *Normapolles* pollen. *Review of Palaeobotany and Palynology* 35: 125–137.
- BATTEN, D. J. 1984. Palynology, climate, and the development of Late Cretaceous floral provinces in the northern hemisphere: A review:

- Cretaceous floral provinces in the northern hemisphere: A review: New York, p. 127–164.
- CAHOON, E. J. 1972. *Paraphyllanthoxylon alabamense* a new species of fossil dicotyledonous wood. *American Journal of Botany* 59: 5–11.
- CASTEÑADA-POSADAS, C. 2007. Modelo paleoclimático basado en los caracteres anatómicos de la madera de las rocas miocénicas de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas. M.Sc. thesis. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CEVALLOS-FERRIZ, S. R. S. 1992. Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 63: 111–137.
- CEVALLOS-FERRIZ, S. R. S. AND R. WEBER. 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 10: 65–70.
- CEVALLOS-FERRIZ, S. R. S. AND O. S. RICALDE-MORENO. 1995. Palmeras fósiles del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 66: 37–106.
- CHOWDHURY, K. A. 1936. A fossil dicotyledonous wood from Assam. *Annals of Botany* 50: 501–510.
- CRONQUIST, A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. 2<sup>a</sup> edición. New York Botanical Garden, Bronx.
- DETIENNE, P. AND P. JACQUET. 1983. Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines. Centre Technique Forestier Tropical.
- ESTRADA-RUIZ, E., H. I. MARTÍNEZ-CABRERA, AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2007. Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145: 123–133.
- ESTRADA-RUIZ, E., G. R., UPCHURCH, AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian-Lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: A preliminary report. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 58: 273–283.

- ESTRADA-RUIZ, E., G. R., UPCHURCH, AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. In press. *Palmoxylon enochii* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México. *Ameghiniana*.
- FELIX, J. 1882. Studien über fossile Hölzer. Bruck von Pöschel und Trepte, Leipzig.
- FELIX, J. 1883. Untersuchungen über fossile Hölzer. *Zeitschrift der Deutsche Geologische Gesellschaft* 35: 59–91.
- FELIX, J. 1894. Untersuchungen über fossile Hölzer, 4. *Zeitschrift der Deutsche Geologische Gesellschaft* 46: 79–110.
- FLICHE, P. 1905. Note sure les bois fossiles de Madagascar. *Bulletin de la Société Géologique de France* 5: 346–358.
- FLORES ESPINOZA, E. 1989. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico. Ph. Dissertation. University of Texas at Austin.
- GHOSH, S. S. 1980. *Melanorrhoeoxylon garbetaense* sp. nov. a fossil wood of Anacardiaceae from the Tertiary of West Bengal, India. *Current Science* 49: 828–829.
- GOTTWALD, H. 1992. Hölzer aus marinen Sanden des Oberen Eozän von Helmstedt (Niedersachsen). *Palaeontographica* B225: 27–103.
- HAAS, H. AND N. P. ROWE. 1999. Thin sections and wafering. In: Jones, T.P., Rowe, N.P. (Eds.), *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*. Geological Society, London, pp. 76–81.
- HERENDEEN, P. S. 1991. Lauraceous wood from the mid-Cretaceous Potomac group of eastern North America: *Paraphyllanthoxylon marylandense* sp. nov. *Review of Palaeobotany and Palynology* 69: 277–290.
- IAWA COMMITTEE. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *International Association of Wood Anatomists Bulletin* 10: 219–329.
- ILIC, J. 1987. *The CSIRO Family Key for Hardwood Identification*. EJ Brill, Leiden.
- ILIC, J. 1991. *CSIRO Atlas of Hardwoods*. Springer-Verlag.
- INSIDEWOOD. 2008. Published on the Internet. <http://insidewood/lib.ncsu.edu/search>.

- KRAUSE, H. O. 1954. Some Eocene dicotyledonous woods from Eden Valley, Wyoming. *The Ohio Journal of Science* 54: 243–268.
- LEHMAN, T. M. AND E. A. WHEELER. 2001. Fossil dicotyledonous forest from the Upper Cretaceous of Big Bend National Park, Texas. *Palaios* 16: 102–108.
- LEON, H. W. J. 2003. Estudio anatómico del Xilema Secundario de 17 especies de la familia Anacardiaceae en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* 26: 1–30.
- MÄDEL, E. 1959. Ein fossiles Nyssa-Holz aus Japan, *Nyssoxylon japonicum* n. g., n. sp. *Senckenbergiana lethaea* 40: 211–222.
- MÄDEL, E. 1962. Die fossilen Euphorbiaceen-Hölzer mit besonderer Berücksichtigung neuer Funde aus der Oberkreide Südafrikas. *Senckenbergiana lethaea* 43: 283–321.
- MARTÍNEZ-CABRERA, H. I. AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2008. Palaeoecology of the Miocene El Cien Formation (Mexico) as determined from wood anatomical characters. *Review of Palaeobotany and Palynology* 150: 154–167.
- MARTÍNEZ-CABRERA, H. I. AND S. R. S. CEVALLOS-FERRIZ. 2004. A new species of *Tapirira* (Anacardiaceae) from Late Oligocene-Early Miocene sediments of the El Cien Formation, Baja California Sur, Mexico. *International Association of Wood Anatomists Journal* 25: 103–117.
- MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, E., L. ALMEIDA-LEÑERO, M. REYES-SALAS, AND Y. BETANCOURT-AGUILAR. 1980. Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 4: 167–185.
- MEIJER, J. J. F. 2000. Fossil woods from the Late Cretaceous Aachen Formation. *Review of Palaeobotany and Palynology* 112: 297–336.
- METCALFE, C. R. AND L. CHALK. 1950. Anatomy of dicotyledons. Vols. 1 and 2. Clarendon Press, Oxford.

- MILLER, I. M., M., BRANDON, AND L. HICKEY. 2006. Using leaf margin analysis to estimate the mid-Cretaceous (Albian) paleolatitude of the Baja BC block. *Earth and Planetary Science Letters* 245: 95–114.
- NOSHIRO, S. AND P. BAAS. 1998. Systematic wood anatomy of Cornaceae and allies. *International Association of Wood Anatomists Journal* 19:43–97
- OAKLEY, D. AND H. J. FALCON-LANG. 2009. Morphometric analysis of Cretaceous (Cenomanian) angiosperm woods from the Czech Republic. *Review of Palaeobotany and Palynology* 153: 375–385.
- PAGE, V. M. 1968. Angiosperm wood from the Upper Cretaceous of central California: part II. *American Journal of Botany* 55: 168–172.
- PAGE, V. M. 1979. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous of central California. *Journal of the Arnold Arboretum* 60: 323–349.
- PAGE, V. M. 1980. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous of central California. II. *Journal of the Arnold Arboretum* 61: 723–748.
- PESSAGNO, E. A. 1969. Upper Cretaceous stratigraphy of the Western Gulf Coast Area of Mexico, Texas and Arkansas. *Geological Society of America, Memoir* 111, 139 p.
- PETRESCU, I. 1970. *Nysoxylon romanicum* n. sp. in the Romanian Oligocene. *Contributii Botanice Universitatea Cluj.*, 331–335.
- POOLE, I. AND C. DAVIES. 2001. *Glutoxylon* Chowdhury (Anacardiaceae): the first record of fossil wood from Bangladesh. *Review of Palaeobotany and Palynology* 113: 261–272.
- POOLE, I. 2002. Fossil angiosperm wood anatomy: its role in the reconstruction of biodiversity and palaeoenvironment. *Botanical Journal of the Linnean Society* 134: 361–381.
- POOLE, I., GOTTWALD, H., AND J. E. FRANCIS. 2000a. *Illicioxylon*, an element of Gondwanan polar forest? Late Cretaceous and Early Tertiary woods Antarctica. *Annals of Botany* 86, 421–432.
- POOLE, I., CANTRILL D. J., HAYES P., AND J. E. FRANCIS. 2000b. The fossil record of Cunoniaceae: new evidence from Late Cretaceous wood of Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology* 111: 127–144.



- POOLE, I., CANTRILL D., AND UTESCHER, T. 2005. A multi-proxy approach to determine Antarctic terrestrial palaeoclimate during the Late Cretaceous and Early Tertiary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 222: 95–121.
- PRAKASH, U. AND E. S. BARGHOORN. 1961. Miocene fossil woods from the Columbia Basalts of Central Washington. *Journal Arnold of Arboretum* 42: 165–203.
- PRIVÉ-GILL, C. AND H. PELLETIER. 1981. Sur quelques bois silicifiés du Tertiaire de Limagne, dans la region d'Aigueperse (Puy-de-Dôme), France. *Review of Palaeobotany Palynology* 34: 369–05.
- RAMIREZ GARDUÑO, J. L. 1996. Análisis foliar de plantas del Terciario, Tepexi de Rodríguez, Puebla: *Pseudosmodingium* (Anacardiaceae). Bachelor thesis. Universidad Nacional Autónoma de México, FES Zaragoza, México.
- RICHTER, H. G. 1987. Lauraceae. *In*. C. R. Metcalfe [Ed.], *Anatomy of the Dicotyledons*. 2nd Ed. Vol. III, Magnoliales, Illiciales, and Laurales, 152–173. Oxford Science Publications.
- ROBECK, R. C., V. R. PESQUERA, AND A. S. ULLOA. 1956. Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila. XX Congreso Geológico Internacional, México 109 p.
- RUEDA-GAXIOLA, J. 1967. Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon cretacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique. Ph.D. thesis. Faculté des Sciences. Université de Lille. 3 vols.
- SERLIN, B. S. 1982. An Early Cretaceous fossil flora from northwest Texas: its composition and implications. *Palaeontographica B* 182: 52–86.
- SERLIN, B., T. H. DELEVORYAS, AND R. WEBER. 1981. A new conifer pollen cone from the Upper Cretaceous of Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 241–248.
- SPACKMAN, W. Jr. 1948. A dicotyledonous wood found associated with the Idaho Tempskyas. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 35: 107–116.

- SÜSS, H. 1958. Anatomische Untersuchungen über die Lorbeerhölzer aus dem Tertiär des Hasenberges bei Wiesa in Sachsen. *Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 8: 1–59.
- SUZUKI, M. 1975. Two new species of nyssaceous fossil woods from the Palaeogene of Japan. *The Journal of Japanese Botany* 50: 228–259.
- TERRAZAS, S. T. 1994. Wood anatomy of the Anacardiaceae: ecological and phylogenetic interpretation. Ph.D. Thesis, University of North Carolina, U.S.A.
- TERRAZAS, S. T. 1999. Anatomía de la madera de Anacardiaceae con énfasis en los géneros americanos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64: 103–109.
- TAKAHASHI, K. AND M. SUZUKI. 2003. Dicotyledonous fossil wood flora and early evolution of wood characters in the Cretaceous of Hokkaido, Japan. *International Association of Wood Anatomists Journal* 24: 269–309.
- THAYN, G. F., W. D. TIDWELL, AND W. L. STOKES. 1983. Flora of the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation of Utah and Colorado. Part I: *Paraphyllanthoxylon utahense*. *The Great Basin Naturalist* 43: 394–402.
- THAYN, G. F., W. D. TIDWELL, AND W. L. STOKES. 1985. Flora of the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation of Utah and Colorado. Part III: *lcacinoxylon pittense* n. sp. *American Journal of Botany* 72: 175–180.
- VAN DER BURGH, J. 1964. Hölzer der Niederrheinischen Braunkohlenformation, 1. Hölzer der Braunkohlengrube 'Anna' zu Haanrade (Niederländisch Limburg). *Acta Botanica Neerlandica* 13: 250–301.
- WEBER, R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 33: 5–19.
- WEBER, R. 1973. *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana* 10: 173–190.
- WEBER, R. 1975. *Aachenia knoblochii* n. sp. an interesting conifer of the Upper Cretaceous Olmos Formation of Northeastern Mexico. *Palaeontographica B* 152: 76–83.

- WEBER, R. 1976. *Dorfiella auriculata* f. gen. nov. sp. nov. Un género de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México. *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología* 3: 1–13.
- WEBER, R. 1978. Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperm flora of Coahuila, Mexico. *Courier Forschungs – Institut Senckenberg* 30: 38–46.
- WHEELER, E. F., R. A. SCOTT, AND E. S. BARGHOORN. 1978. Fossil dicotyledonous woods from Yellowstone National Park. II. *The Journal of the Arnold Arboretum* 59: 1–26.
- WHEELER, E. F., M. LEE, AND L. C. MATTEN. 1987. Dicotyledonous woods from the Upper Cretaceous of southern Illinois. *Botanical Journal of the Linnean Society* 95: 77–100.
- WHEELER, E. A. AND P. BAAS. 1991. A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. *International Association of Wood Anatomists Bulletin* 12: 275–332.
- WHEELER, E. A. AND P. BAAS. 1993. The potentials and limitations of dicotyledonous wood anatomy for climatic reconstructions. *Paleobiology* 19: 487–498.
- WHEELER, E. A., T. M. LEHMAN, AND P. E. GASSON. 1994. *Javelinoxylon*, an Upper Cretaceous dicotyledonous tree from Big Bend National Park, Texas, with presumed malvacean affinities. *American Journal of Botany* 81: 703–710.
- WHEELER, E. A., J. MCCLAMMER, AND C. A. LAPASHA. 1995. Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene, San Juan Basin, New Mexico, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal* 16: 223–254.
- WHEELER, E. A. AND T. M. LEHMAN. 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina Formations, Big Bend National Park, Texas, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal* 21: 83–120.

- WHEELER, E. A. AND S. R. MANCHESTER. 2002. Woods of the Eocene Nut Beds Flora Clarno Formation, Oregon, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal*, Supplement 3.
- WIEMANN, M. C., S. R. MANCHESTER, D. L. DILCHER, L. P. HINOJOSA, AND E. A. WHEELER. 1998. Estimation of temperature and precipitation from morphological characters of dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany* 85: 1796–1802.
- WING, S. L. AND D. R. GREENWOOD. 1993. Fossil and fossil climate: the case for equable continental interior in the Eocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 341: 243–252.
- WOLFE, J. A. 1979. Temperatures parameters of humid to mesic forests of eastern Asia and relation to forests of other regions of the northern hemisphere and Australasia: U.S. Geological Survey Professional Paper 1106, Washington, DC.
- ZAITZEFF, J. B. AND A. T. CROSS. 1970. The use dinoflagellates and acritarchs for zonation and correlation of the Navarro Group (Maastrichtian) of Texas. *Geological Society of America*, Special Paper 127: 341–397.

## FIGURE CAPTIONS

**FIGURE, 1. Location of the fossiliferous outcrop.**

### **FIGURE , 2. Light micrographs of *Wheeleroxylon atascosense***

**A.** Transverse section (TS). Diffuse porous wood and radial multiple vessels. LPB-IGM 4617. Scale = 350  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Two vessel. LPB-IGM 4608. Scale = 70  $\mu\text{m}$ . **C.** Radial section (RS). Simple perforation plate. LPB-IGM 4622. Scale = 75  $\mu\text{m}$ . **D.** (TS). Apotracheal diffuse parenchyma. LPB-IGM 4608. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **E.** Tangential section (TG). Small alternate intervessel pits. LPB-IGM 4619. Scale = 55  $\mu\text{m}$ . **F.** (RS). Two sizes of vessel-ray pits. LPB-IGM 4628. Scale = 15  $\mu\text{m}$ . **G.** (TG). Multiseriate ray and tyloses. LPB-IGM L4. Scale = 320  $\mu\text{m}$ . **H.** (RS). Storied rays. LPB-IGM 4629. Scale = 170  $\mu\text{m}$ .

### **FIGURE, 3. Light micrographs of *Javelinoxylon sp. 1.***

**A.** (TS). Diffuse porous wood. LPB-IGM 4636. Scale = 500  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Radial multiple vessel elements. LPB-IGM 4636. Scale = 130  $\mu\text{m}$ . **C.** (RS). Simple perforation plate. LPB-IGM 4659. Scale = 95  $\mu\text{m}$ . **D.** (TG). Alternate intervessel pits. LPB-IGM 4655. Scale = 35  $\mu\text{m}$ . **E.** (RS). Vessel-ray pits. LPB-IGM 4659. Scale = 7  $\mu\text{m}$ . **F.** (TG). Rays and tyloses in vessel elements. LPB-IGM 4648. Scale = 525  $\mu\text{m}$ . **G.** (RS). Weakly storied heterocellular ray. LPB-IGM 4657. Scale = 250  $\mu\text{m}$ .

### **FIGURE, 4. Light micrographs of *Javelinoxylon sp. 2.***

**A.** (TS). Diffuse porous wood. LPB-IGM 4666. Scale = 300  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Tendency to semi-ring porous. LPB-IGM 4666. Scale = 1000  $\mu\text{m}$ . **C.** (RS). Simple perforation plate. LPB-IGM 4673. Scale = 62.5  $\mu\text{m}$ . **D.** (TG). Rays and vessel with abundant tyloses. LPB-IGM 4669. Scale = 200  $\mu\text{m}$ . **E.** (TG). Alternate intervessel pits. LPB-IGM 4672. Scale = 10  $\mu\text{m}$ . **F.** (RS). Vessel-ray, round and elliptic pits. LPB-IGM 4674. Scale = 15  $\mu\text{m}$ . **G.** (TG). Storied rays. LPB-IGM 4672. Scale = 110  $\mu\text{m}$ . **H.**

(TG). Biseriate ray. LPB-IGM 4676. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **I.** (RS). Heterocellular rays. LPB-IGM 4677. Scale = 200  $\mu\text{m}$ .

**FIGURE, 5. Light micrographs of *Coahuiloxylon terrazasiae***

**A.** (TS). Diffuse porous wood. LPB-IGM 4679. Scale = 200  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Solitary and radial multiple vessels. LPB-IGM 4679. Scale = 130  $\mu\text{m}$ . **C.** (TS). Axial parenchyma paratracheal (arrow). LPB-IGM 4679. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **D.** (TS). Vessels and uniseriate rays (arrow). LPB-IGM 4679. Scale = 130  $\mu\text{m}$ . **E.** (RS). Simple perforation plate. LPB-IGM 4688. Scale = 75  $\mu\text{m}$ . **F.** (TG). Alternate intervessel pits. LPB-IGM 4685. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **G.** (RS). Vessel-ray pits with two sizes (arrows). LPB-IGM 4691. Scale = 10  $\mu\text{m}$ . **H.** (RS) Vessel-ray pits. LPB-IGM 4691. Scale = 10  $\mu\text{m}$ . **I.** (RS). Parenchyma with small simple pits. LPB-IGM 4693. Scale = 20  $\mu\text{m}$ . **J.** (TG). Multiseriate rays. LPB-IGM 4686. Scale = 100  $\mu\text{m}$ . **K.** (RS). Heterocellular rays. LPB-IGM 4691. Scale = 100  $\mu\text{m}$ .

**FIGURE, 6. Light micrographs of *Muzquizoxylon***

**A.** (TS). Solitary vessels and diffuse porous wood. LPB-IGM 4721. Scale = 300  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Solitary vessels. LPB-IGM 4721. Scale = 80  $\mu\text{m}$ . **C.** (TS). Vessel with dark content. LPB-IGM 4721. Scale = 70  $\mu\text{m}$ . **D.** (TS). Traumatic canals. LPB-IGM 4747. Scale = 350  $\mu\text{m}$ . **E.** (TS). Two lines with traumatic canals. LPB-IGM 4747. Scale = 350  $\mu\text{m}$ . **F.** (RS). Scalariform perforation plates. LPB-IGM 4743. Scale = 75  $\mu\text{m}$ . **G.** (RS). Opposite intervessel pits. LPB-IGM 4743. Scale = 26.25  $\mu\text{m}$ . **H.** (RS). Transitional intervessel pits. LPB-IGM 4732. Scale = 31.25  $\mu\text{m}$ . **I.** (RS). Opposite vessel-ray. LPB-IGM 4740. Scale = 17.5  $\mu\text{m}$ . **J.** (TG). Tyloses in vessels and fibers. LPB-IGM 4732. Scale = 170  $\mu\text{m}$ . **K.** (TG). Thin-walled tyloses. LPB-IGM 4732. Scale = 170  $\mu\text{m}$ . **L.** (RS). Non septate fibers. LPB-IGM 4731. Scale = 12.5  $\mu\text{m}$ . **M.** (TS). Three cells wide bands of axial parenchyma forming a reticulum (arrows). LPB-IGM 4722. Scale = 70  $\mu\text{m}$ . **N.** (RS). Heterocellular rays. LPB-IGM 4732. Scale = 300  $\mu\text{m}$ .

**FIGURE, 7. Light micrographs of *Olmosoxylon upchurchii***

**A.** (TS). Diffuse porous wood and vessels in radial multiple.. LPB-IGM 4761. Scale = 670  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Vessels with tyloses. LPB-IGM 4762. Scale = 120  $\mu\text{m}$ . **C.** (RS). Simple perforation plate. LPB-IGM 4774. Scale = 75  $\mu\text{m}$ . **D.** (TG). Alternate intervessel pits. LPB-IGM 4768. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **E.** (RS). Vessel-ray pits with reduced borders. LPB-IGM 4775. Scale = 9  $\mu\text{m}$ . **F.** (RS). Vessel-ray pits. LPB-IGM 4775. Scale = 12  $\mu\text{m}$ . **G.** (TG). Tyloses. LPB-IGM 4768. Scale = 220  $\mu\text{m}$ . **H.** (RS). Heterocellular ray. LPB-IGM 4775. Scale = 200  $\mu\text{m}$ . **I.** (TG). Aggregate ray. LPB-IGM 4768. Scale = 300  $\mu\text{m}$ . **J.** (TG). Oil cells (arrows). LPB-IGM 4768. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **K.** (RS). Oil cells (arrow). LPB-IGM 4773. Scale = 80  $\mu\text{m}$ .

**FIGURE, 8. Light micrographs of *Metcalfeoxyton sanctae-elena*.**

**A.** (TS). Diffuse porous wood. LPB-IGM 4777. Scale = 200  $\mu\text{m}$ . **B.** (TS). Vessel with dark content. LPB-IGM 4779. Scale = 200  $\mu\text{m}$ . **C.** (RS). Scalariform perforation plate. LPB-IGM 4786. Scale = 70  $\mu\text{m}$ . **D.** (RS). Alternate intervascular pits. LPB-IGM 4786. Scale = 50  $\mu\text{m}$ . **E.** (TG). Vessel-ray pits. LPB-IGM 4782. Scale = 20  $\mu\text{m}$ . **F.** (TS). Paratracheal vasicentric axial parenchyma. LPB-IGM 4777. Scale = 75  $\mu\text{m}$ . **G.** (TS). Diffuse and diffuse in aggregates axial parenchyma forming short lines. LPB-IGM 4780. Scale = 150  $\mu\text{m}$ . **H.** (TG). Thick-walled fiber. LPB-IGM 4784. Scale = 30  $\mu\text{m}$ . **I.** (TG). Ray. LPB-IGM 4781. Scale = 800  $\mu\text{m}$ . **J.** (TG). Fibers with simple pits. LPB-IGM 4782. Scale = 15  $\mu\text{m}$ . **K.** (RS). Scalariform perforation plate and vasicentric tracheids. LPB-IGM 4787. Scale = 40  $\mu\text{m}$ . **L.** (RS). Heterocellular rays. LPB-IGM 4786. Escala = 250  $\mu\text{m}$ .

## TABLE CAPTIONS

Table, 1. Character comparison of different species of *Javelinoxylon* from USA and Mexico.

Species	VG	MTDV	VMM <sup>2</sup>	Fibers	Ray width	Marginal row	Stored elements	N°CPS
<i>Javelinoxylon multiporosum</i>	Up to 8	72	17-30	Occasionally 2-3 septa	2-3 cells	1	Rays	?
<i>Javelinoxylon weberi</i>	Up to 7	96	14-35	Exclusively septate (2-3)	2-4 cells	1-2	Irregular in rays, vessels, fibres, and axial parenchyma	4-5
<i>Javelinoxylon</i> sp.1	Up to 5	95	5-15	Non-septate	2-4 cells	1-2	Occasionally in rays	?
<i>Javelinoxylon</i> sp. 2	Up to 5	89	9-24	Occasionally 2-3 septa	2-3 cells	1	Rays and vessels	?

VG = vessel element grouping; MTDV = mean tangential diameter of vessel elements; VMM<sup>2</sup> = vessel elements per square mm; N°CPS = N° of cells in parenchyma strands.



Table, 2. Character comparison of different Cornaceae genera with *Muzquizoxylon*

(modified from Noshiro and Baas, 1998).

Black = *Muzquizoxylon porrasii*.

Species	VG	VD	VMM <sup>2</sup>	Traumatic canals	IVP	V-R P	PP scalariform (bars)	Septate fibre	APAR
<i>Alangium</i>	Up to 6	41-180	3-49	No	Alternate	Reduced borders	7-16	Absent	Irregular tangential lines, diffuse, diffuse in aggregates and scanty paratracheal, vasicentric
<i>Aralidium</i>	Up to 4	84-93	12-23	No	Opposite to scalariform	Reduced borders	25-31	Septate	Scanty paratracheal
<i>Aucuba</i>	Up to 3	26-36	41-129	No	Opposite to (-scalariform)	Bordered	27-70	Septate	Diffuse apotracheal and scanty paratracheal
<i>Cornus</i>	Up to 3	31-102	21-201	No	Opposite to scalariform	Bordered	14-71	Absent	Diffuse and diffuse in aggregate
<i>Corokia</i>	Up to 3	13-36	153-453	No	Opposite to alternate	Bordered	16-23	Septate	?
<i>Curtisia</i>	Up to 2	48-55	37-42	No	Opposite to (-scalariform)	Bordered	26-39	Absent	Diffuse and diffuse in aggregate
<i>Diplopanax</i>	Up to 3	49	117	No	Opposite to scalariform	Reduced borders and bordered	37	Absent	Diffuse and diffuse in aggregate
<i>Griselinia</i>	Up to 2	23-70	26-245	No	Opposite to scalariform	Reduced borders	10-17	Occasionally septate	Diffuse in aggregate
<i>Helwingia</i>	Up to 3	24-33	84-183	No	Opposite to scalariform	Reduced borders	17-41	Septate	Diffuse rare and scanty paratracheal
<i>Kaliphora</i>	Up to 5	27-33	134-160	No	Opposite to alternate	Bordered	Rares 1-2	Absent	Scanty paratracheal
<i>Melanophylla</i>	Up to 9	88-92	23-27	No	Opposite to scalariform	Reduced borders	Rare scalariform 5-23	Septate and occasionally septate	Scanty paratracheal
<i>Toricellia</i>	Up to 8	39-127	16-84	No	Opposite to alternate	Reduced borders	NA	Septate	Scanty paratracheal
<i>Mastixia</i>	Up to 3	61-119	24-47	Yes	Opposite to scalariform	Reduced borders	38-66	Absent	Diffuse in aggregate and scanty paratrachea
<b><i>Muzquizoxylon porrasii</i></b>	<b>Up to 2</b>	<b>40-110</b>	<b>19-45</b>	<b>Yes</b>	<b>Opposite to scalariform</b>	<b>Reduced borders</b>	<b>32-63</b>	<b>Absent</b>	<b>Diffuse in aggregate and scanty paratracheal</b>

VG = vessel element grouping; VD = vessel element diameter; VMM<sup>2</sup> = vessel elements per square mm; IVP = intervascular pitting; V-R P = vessel-ray pits; APAR = axial parenchyma. PP = perforation plate.

Table 3. Character comparison of *Paraphyllanthoxylon*, *Mezilaurinoxylon* species from Tertiary and Upper Cretaceous of the world.

Black = *Olmosoxylon upchurchii*

Species	TDV	V/MM <sup>2</sup>	APAR	Tyloses	V-RP	Oil cells	MRW	MRH
<i>P. arizonense</i>	123-247 µm	8-14	Scanty, mostly paratracheal	Bubble-like	Mostly round	?	Up to 7	?
<i>P. idahoense</i>	60-160 µm	?	Very sparsely paratracheal, vasicentric	Bubble-like	Oval	?	Up to 4	?
<i>P. capense</i>	35-100 µm	24-60	Scanty paratracheal	Bubble-like	Oval	?	Up to 5	100 µm-1.5 mm
<i>P. alabamense</i>	60-260 µm	12	Very scanty paratracheal, short lines in radial form Rare	Bubble-like	Round to oval	?	Up to 5	?
<i>P. utahense</i>	48-168 µm	12	apotracheal diffuse, scanty paratracheal	Segmenting vessel	Round to elliptical	?	Up to 5	380 µm- 1.36 mm
<i>P. Illinoisense</i>	102-131 µm	12-32	No observed	Segmenting vessel	Oval to elliptical	?	Up to 6	765-888 µm
<i>P. marylandense</i>	55-114 µm	35-60	Absence	Segmenting vessel	Round to elliptical	?	Up to 4	
cf. <i>Paraphyllanthoxylon</i> sp. (Olmos Formation)	29-128 µm	9-12	?	?	?		Up to 1	214-420 µm
<i>P. anasazi</i>	84 µm	20-25	Extremely rare, scanty paratracheal	Segmenting vessel	Mostly round	?	Up to 3	234-294 µm
<i>P. cenomaniana</i>	80-240 µm	6-16	Scanty paratracheal	Bubble-like	Round to elliptical	?	Up to 5	0.32-20.5 mm
<i>P. obiraense</i>	65-130 µm	22-36	Moderately abundant, vasicentric	Segmenting vessel	Round to oval	?	Up to 3	240 µm-1.1 mm
<i>Mezilaurinoxylon</i> <i>eiporosum</i>	84-125 µm	10-45	Scanty paratracheal	?	Oval to horizontally elongate	Occasionally in margin of rays	Up to 5	194 µm-615 µm
<b><i>Olmosoxylon</i> <i>upchurchii</i></b>	<b>60-150 µm</b>	<b>4-14</b>	<b>Scanty paratracheal</b>	<b>Bubble-like</b>	<b>Round to oval</b>	<b>Throughout in the rays</b>	<b>Up to 7</b>	<b>400 µm- 1.45 mm</b>

TDV = tangential diameter of vessel element; V/MM<sup>2</sup> = vessels per square mm;

APAR = axial parenchyma; V-RP = vessel-ray pits; MRW = multiseriate ray width in

cell number; MRH = multiseriate ray height in µm/mm.

Table 4. Character comparison of *Metcalfeoxydon* species from North America.

Black = differences, white = similarities.

Species	TDV	VG	PDV	VMM <sup>2</sup>	Bars	Fibre	APAR	MRH	MRW
<i>M. kirtlandense</i> (Fm. Kirtland)	50-200 µm	Solitary	-	< 20	< 25	Non-septate	Apotracheal diffuse	327-1051 µm	-
<i>M. kirtlandense</i> (Fms. Aguja and Javelina)	115-183 µm	Solitary	-	2-15	8-16	-	Apotracheal diffuse	203-1390 µm	-
<i>M. sanctae-elenae</i>	60-170 µm	Solitary	3-12 µm	1-8	7-26	<b>1-6 septa</b>	<b>Apotracheal diffuse in aggregate in short lines and paratracheal vasicentric</b>	<b>560-1920 µm 21-48 cells</b>	60-90 µm 3-5 cells

TDV = tangential diameter of vessel element; VG = vessel element group; PDV = diameter of vessel element; VMM<sup>2</sup> = vessel elements per square mm; APAR = axial parenchyma; MRH = multiseriate ray height; MRW = multiseriate ray width.

FIGURE 1

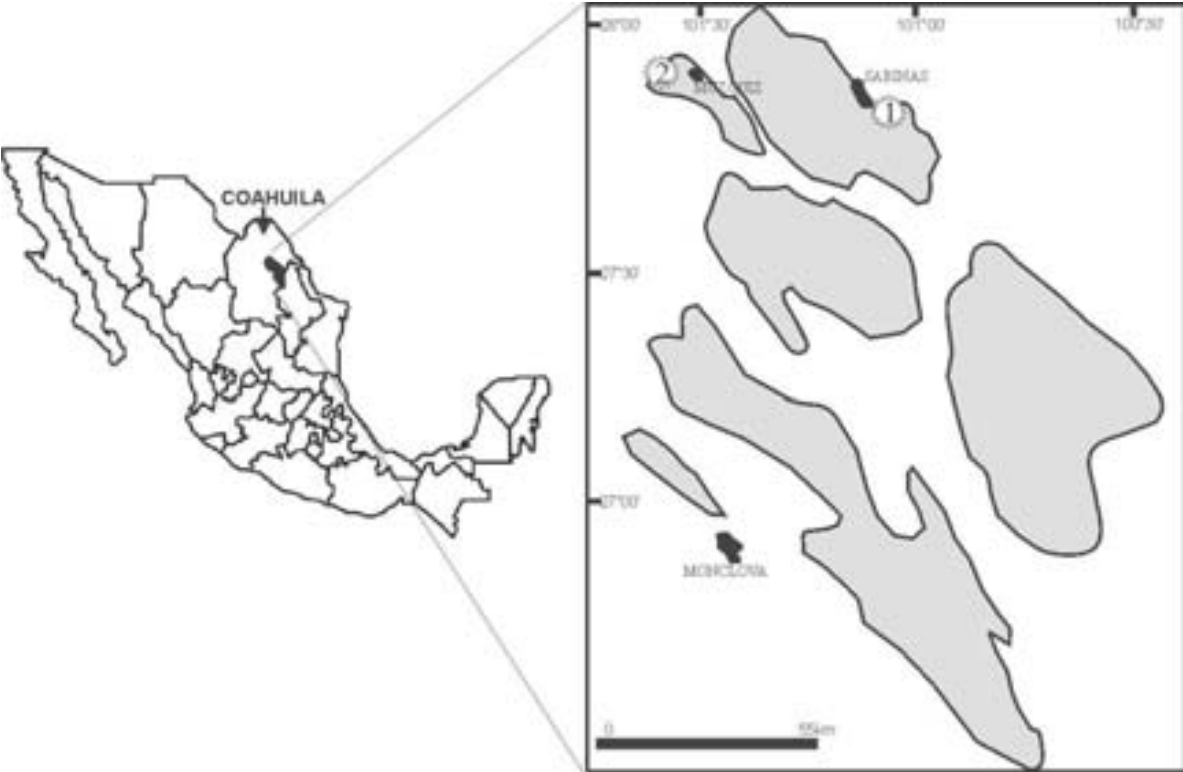


FIGURE 2

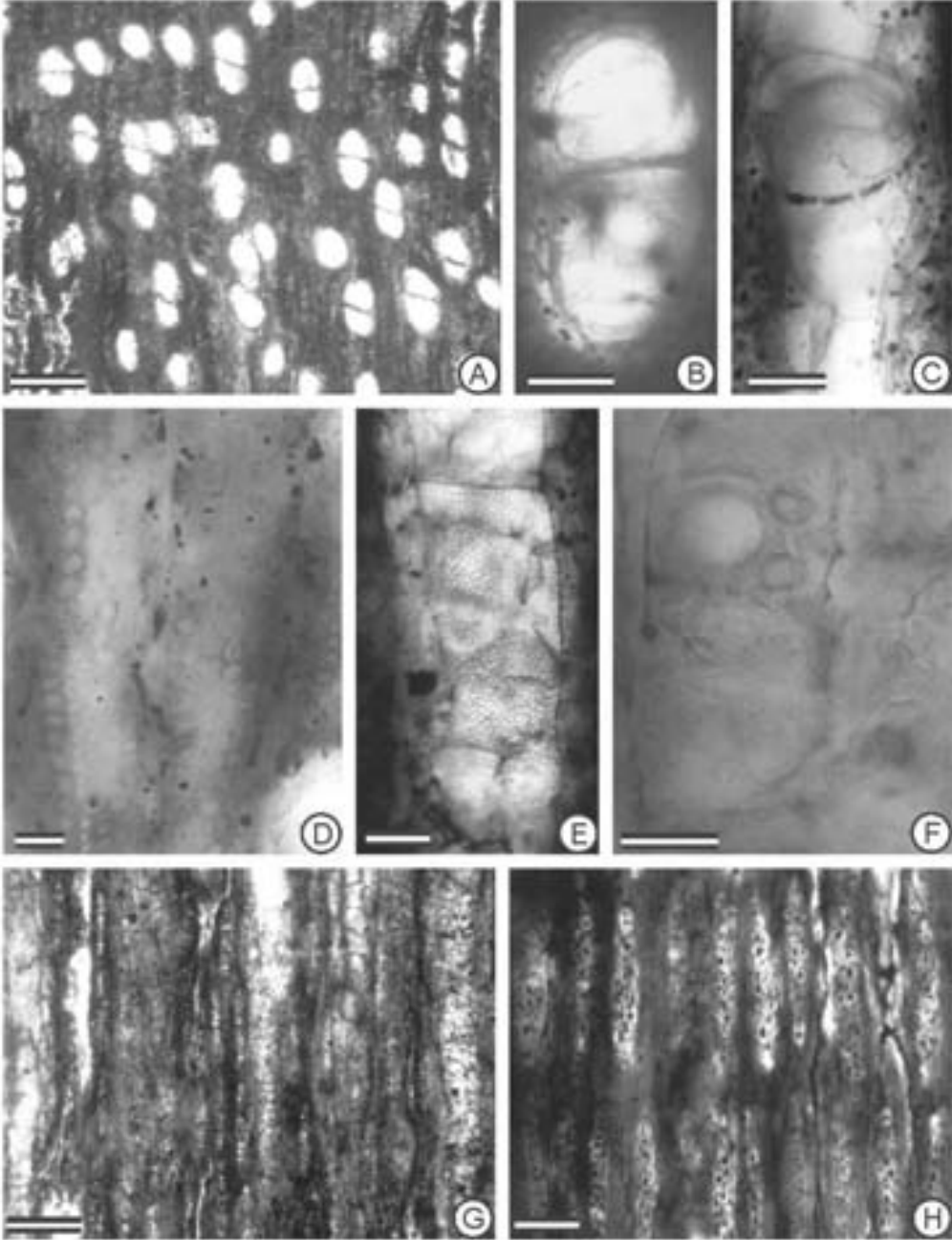


FIGURE 3

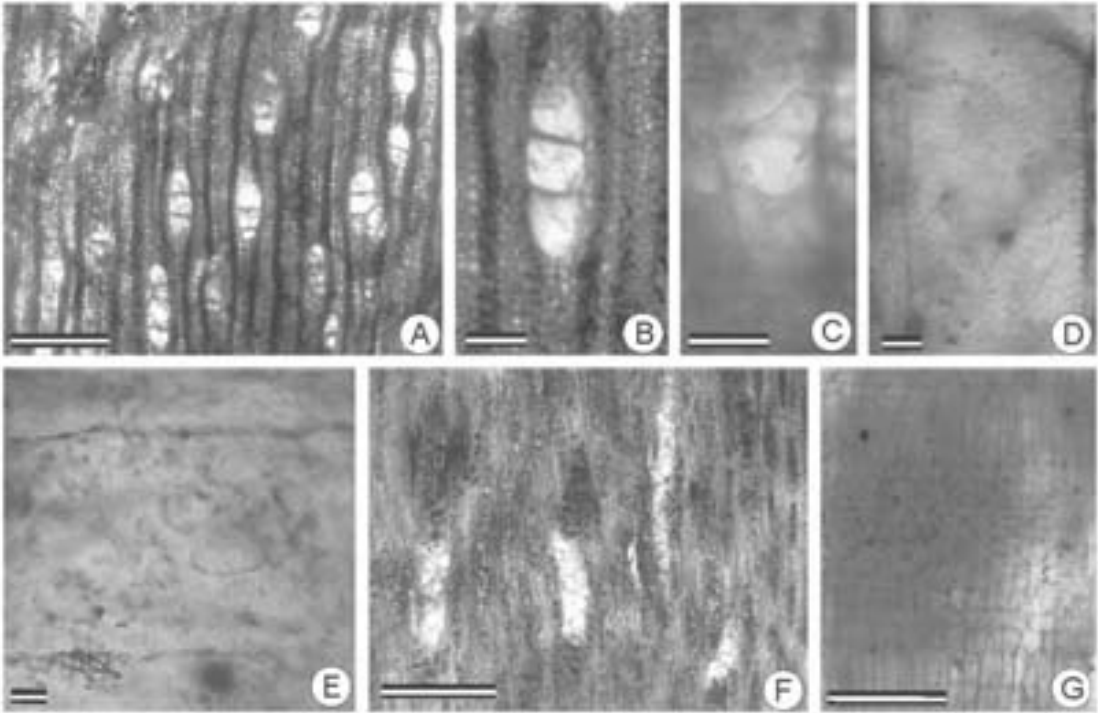


FIGURE 4

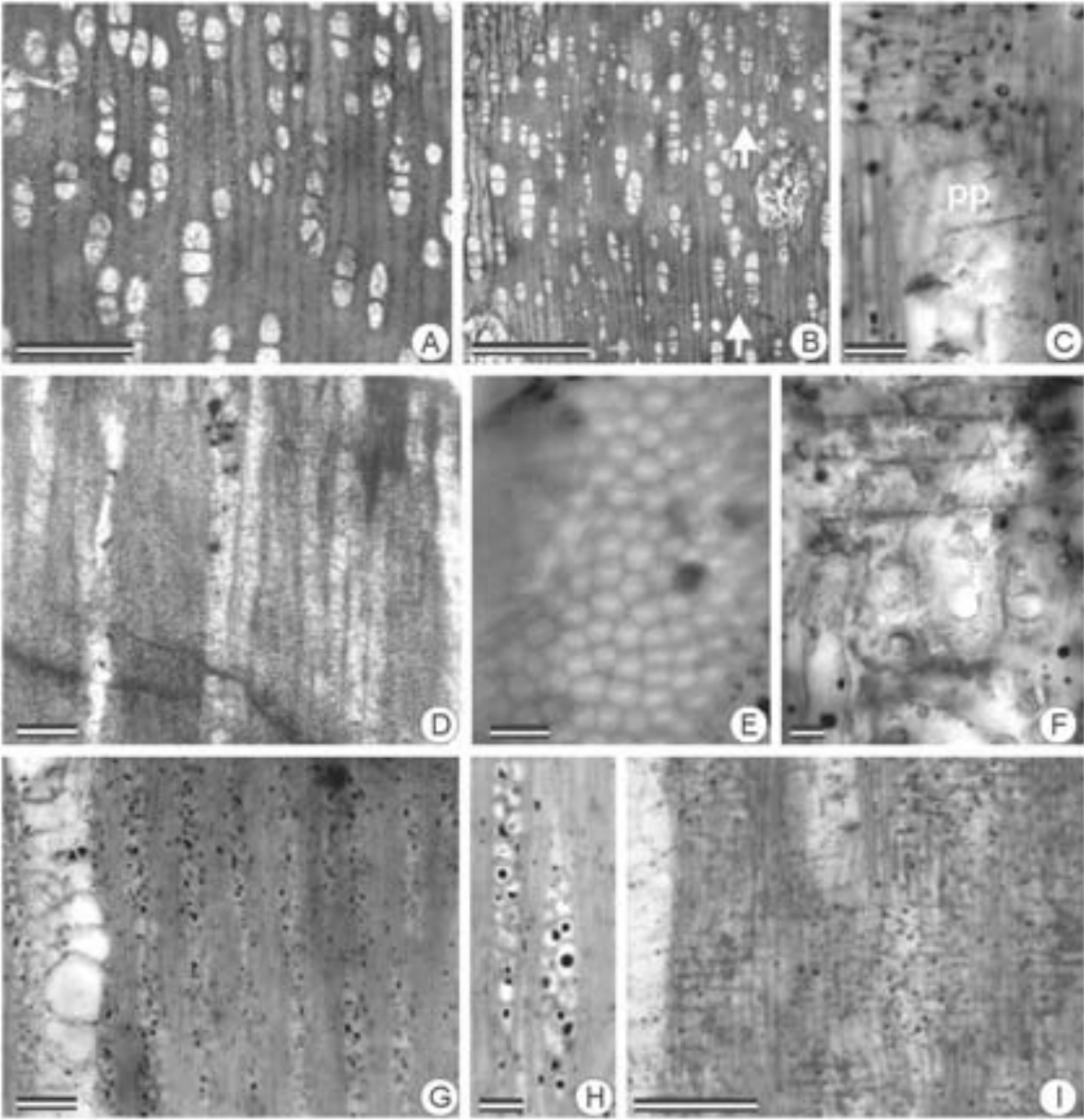


FIGURE 5

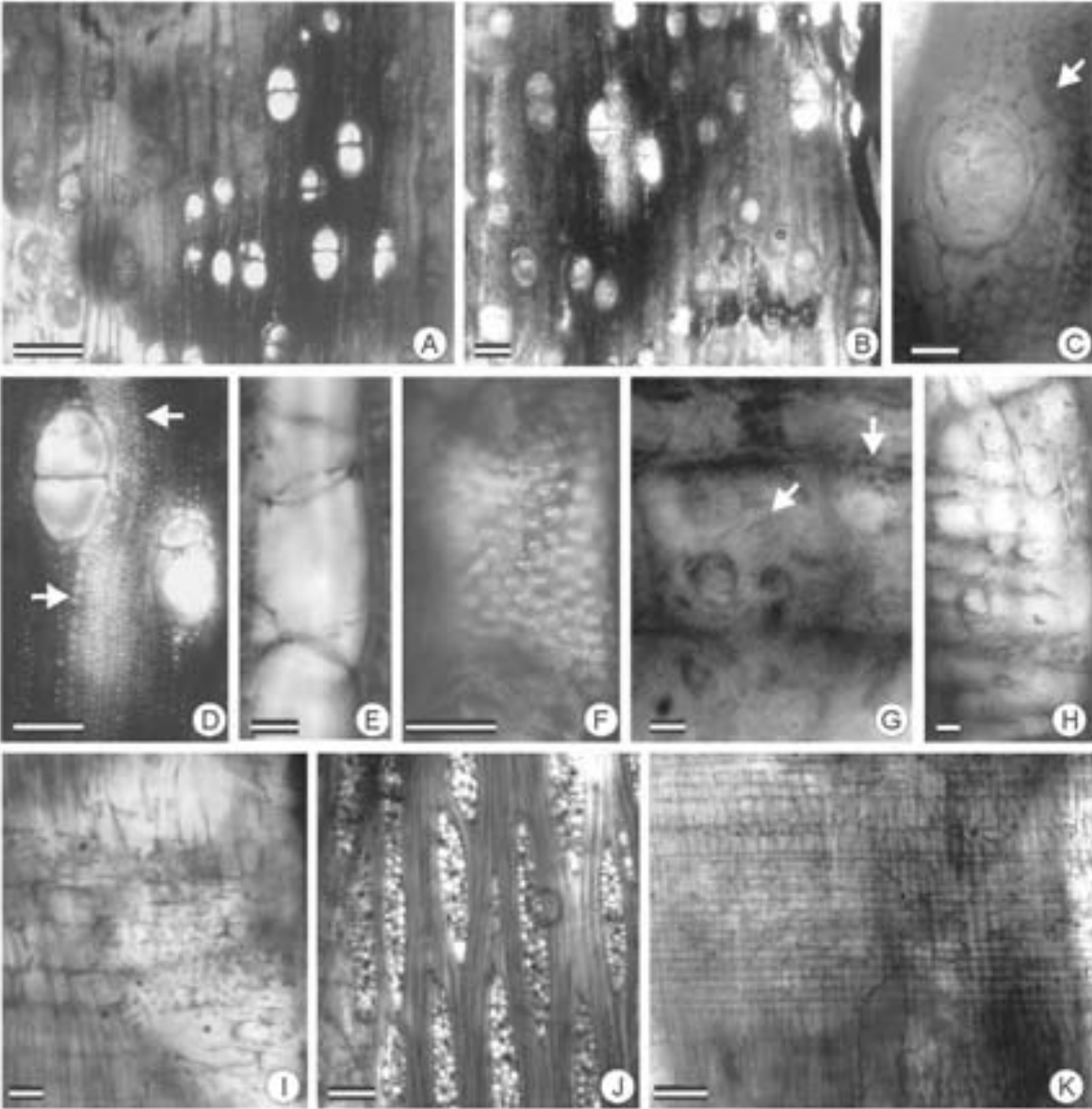




FIGURE 6

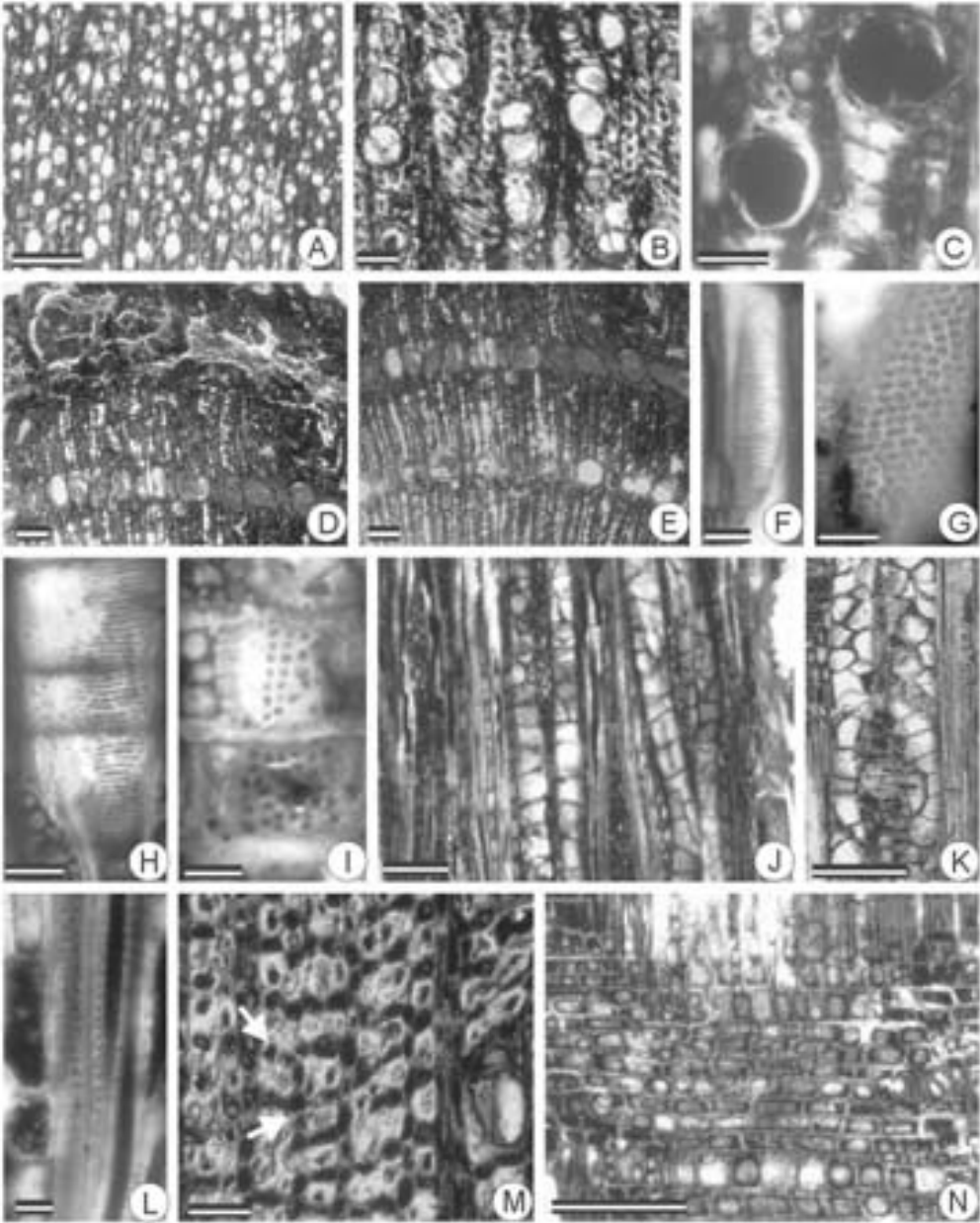


FIGURE 7

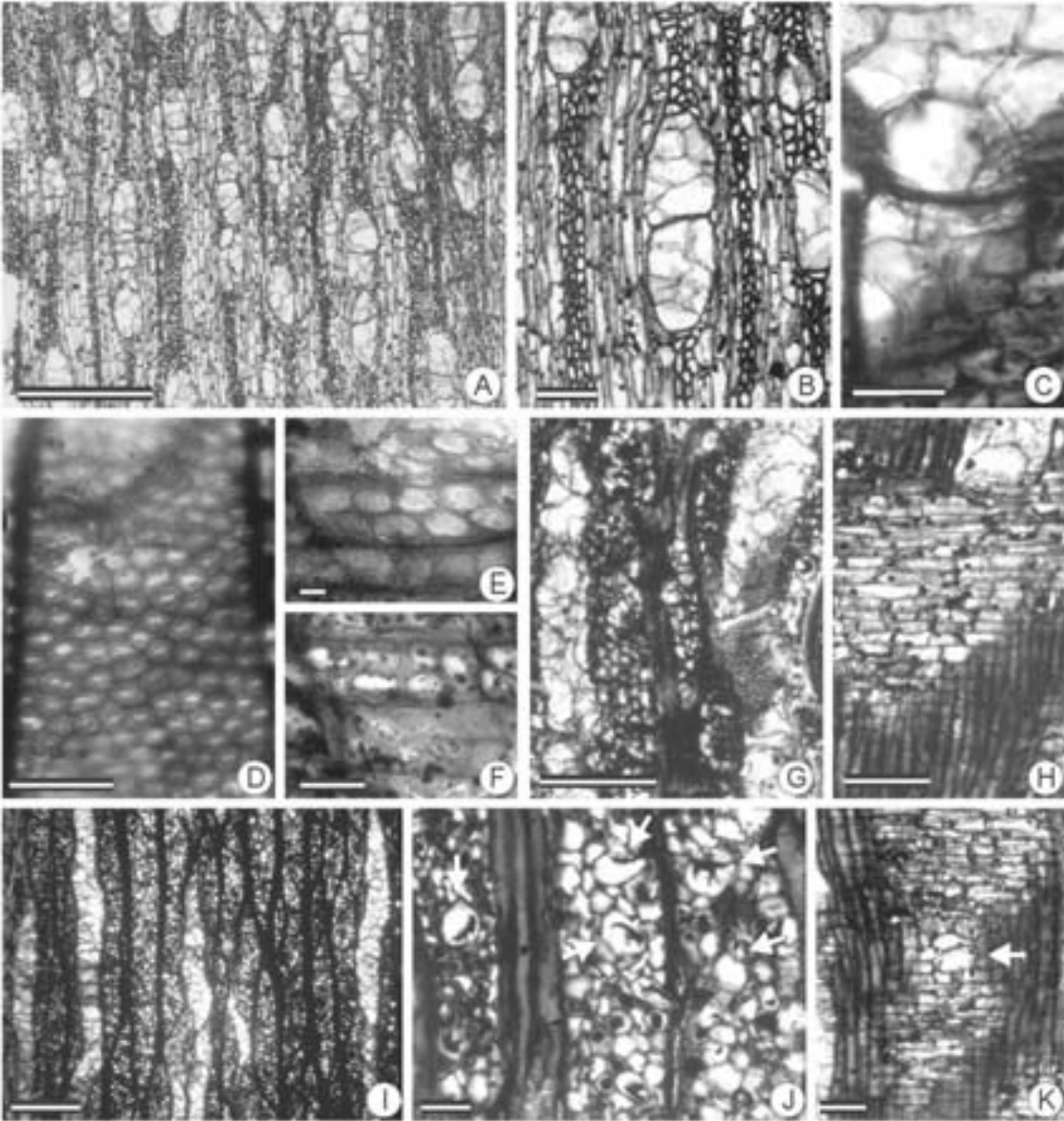
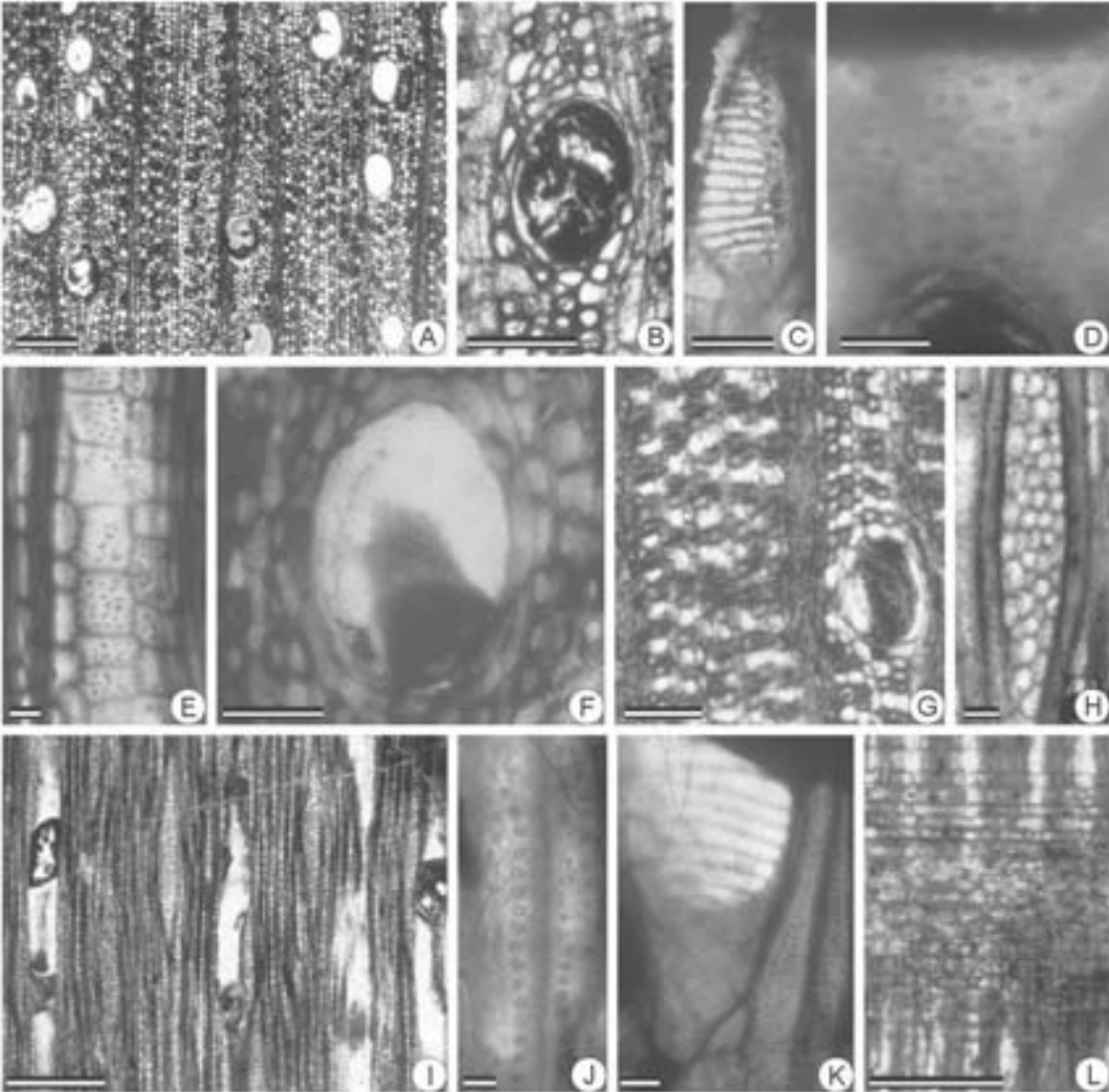


FIGURE 8



***EXNELUMBITES* GEN. NOV., A NEW GENUS RELATED TO EXTANT  
*NELUMBO* FROM THE UPPER CRETACEOUS OLMOS AND MCRAE  
FORMATIONS OF WESTERN NORTH AMERICA**

Estrada-Ruiz, E<sup>1</sup>., Upchurch, G.R. Jr.<sup>2</sup>, Wolfe, J.A.<sup>3,5</sup> and Cevallos-Ferriz, S.R.S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F. Mexico.

[emilioer@geologia.unam.mx](mailto:emilioer@geologia.unam.mx)

<sup>2</sup>Department of Biology, Texas State University, San Marcos, TX 78666, USA.

<sup>3</sup>University of Arizona, Tucson, AZ, USA.

<sup>4</sup>Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F. Mexico.

<sup>5</sup>Jack Wolfe died August 12, 2005.

**Abstract** – A number of Cretaceous macrofossils have been related to the family Nelumbonaceae on the basis of vegetative and floral morphology. In this paper we describe the foliar architecture of extant *Nelumbo* and propose a new genus, *Exnelumbites*, for newly discovered leaf macrofossils from the Upper Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) Olmos Formation of Coahuila, Mexico and Jose Creek Member of the McRae Formation of south-central New Mexico, USA. The fossils described here consist of centrally peltate leaves with 12-13 actinodromous primary veins that terminate in broadly rounded chloranthoid teeth. No secondary veins are present on the midvein, and tertiary veins are organized in an alternate percurrent to reticulate pattern. Areolation, when preserved, is of variable shape with 4-6 sides. The fossil leaves appear to be most closely related to extant Nelumbonaceae on the basis of their centrally peltate organization, the presence of a funnel-form lamina, and absence of secondary venation along the midvein, but are more primitive than extant Nelumbonaceae in having no central disc, a smaller number of primary veins, less highly organized tertiary venation, and the absence of hexagonal areolation. The newly described leaves add to a growing diversity of plant macrofossils from the Cretaceous that relate most closely to extant Nelumbonaceae but fall outside the range of variation shown by extant *Nelumbo*.

**Keywords** – *Exnelumbites*, McRae Formation, *Nelumbo*, Nelumbonaceae, Mexico, Olmos Formation, Upper Cretaceous.

The Nelumbonaceae is a monogeneric family of primitive eudicots consisting of two species: *Nelumbo lutea* Willd., native to North America and the Caribbean region, and *Nelumbo nucifera* Gaertn., native to Asia and tropical Australia. Although the family was once allied with the basal dicot family Nymphaeaceae on the basis of floral and leaf morphology, today Nelumbonaceae are placed within the eudicot order Proteales on the basis of molecular data, a result consistent with their possession of tricolpate pollen (APGII 2003). Within Proteales, Nelumbonaceae are sister to Platanaceae and Proteaceae, from which they are strongly divergent in their reproductive and vegetative morphology. Reproductive specializations of Nelumbonaceae include large flowers with an obconic floral receptacle and fruits (achenes) that are embedded in pits on the floral receptacle, at the flat end of the cone. Vegetative specializations include a rhizomatous growth habit, tubers, large centrally peltate leaves, a central pad of gas-exchange tissue on the leaf termed the central disc, actinodromous primary venation with numerous (at least 18) primary veins, and hexagonal areolation.

The fossil record indicates that past diversity of Nelumbonaceae was probably much higher than current diversity. Knowlton (1930) suggested that the fossil record of Nelumbonaceae was represented by 20 to 30 species, based on the morphology of fossil leaf remains placed in extant *Nelumbo* and extinct genera. More recent studies of *Nelumbo*-like leaves, which use modern methods of foliar architecture, support the concept of extinct genera and demonstrate the association of *Nelumbo*-like leaves with reproductive structures having *Nelumbo*-like characters. McIver and Basinger (1993) propose the genus *Nelumbago* for *Nelumbo*-like leaves that differ from extant *Nelumbo* in having reticulate, rather than percurrent, tertiary venation and quadrangular, rather than hexagonal, areolation. Upchurch et al. (1994) describe the foliar architecture of *Nelumbites extenuinervis* Upchurch et al. from the Lower Cretaceous of Virginia and associated tepals, floral receptacles, and stems. *Nelumbites extenuinervis* resembles extant *Nelumbo* in having peltate leaves with entire margins and actinodromous primary venation. However, *Nelumbites extenuinervis* differs in

having the petiole displaced towards the base of the lamina, no central disc, a significantly lower number of primary veins (<10), multiple pairs of secondary veins that depart from the midvein, and irregular reticulate tertiary and higher order venation, all probable primitive features relative to extant *Nelumbo*. Tepals found in the same bed as *Nelumbites* are comparable with those of extant *Nelumbo*, but are much smaller. Associated floral receptacles have embedded beaked fruits as in *Nelumbo* but are much smaller, and their shape is ellipsoidal, rather than obconic. Both of these differences are probably primitive relative to extant *Nelumbo*. A phylogenetic analysis of living and select fossil angiosperms places *Nelumbites* as the sister lineage to extant *Nelumbo*, a result consistent with the numerous similarities of the two genera (Doyle and Endress, personal communication).

Gandolfo and Cuneo (2005) describe leaves that they relate to *Nelumbo* and associated floral receptacles from the Upper Cretaceous of Patagonia. The leaves are more advanced than those of *Nelumbites* in their size, shape, and venation, and are most similar to those of *Nelumbago*, which differs from extant *Nelumbo* in having the primitive features of reticulate venation and quadrangular areolation. The associated floral receptacles have embedded beaked fruits reminiscent like those of *Nelumbo* but are cylindrical in shape. This cylindrical shape is intermediate between the obconic shape of extant *Nelumbo* floral receptacles and the ellipsoidal shape of fossil *Nelumbites* floral receptacles.

In this paper we propose a new extinct genus that adds to the growing diversity of leaf taxa that appear to relate to extant *Nelumbo* but have one or more features that are more primitive. Although our new taxon is represented by a small number of remains, we think that its distinctive foliar architecture and occurrence in two separate depositional basins warrant the description of a new genus. To provide context for our systematic placement, we provide a detailed description of foliar architecture in extant *Nelumbo* and review the characteristics of previously proposed genera of peltate and/or orbicular leaves.

## **MATERIALS AND METHODS**

The fossil leaves described in this paper were collected from the Olmos Formation of the Sabinas Basin, northeast Mexico, and the Jose Creek Member of the McRae Formation, south-central New Mexico (USA). The Olmos Formation in the Sabinas Basin, northeast Mexico (Fig. 1), represents fluvial-deltaic sedimentation along a low-lying coastal plain and is noteworthy for its extensive coal resources (e.g., Callejas-Moreno et al., 2009; Flores Espinosa 1989; Roberts and Kirschbaum 1995). Fossil leaves have been reported from the Olmos for over a century (e.g., Vaughan 1900; Burckhardt 1930), but not until the work of Weber (1972) did more serious and intense collection of plant material begin. Weber reported ca. 80 different species of plants and documented an unusually diverse fossil assemblage (Weber 1972, 1978). Described remains include angiosperms belonging to Arecaceae, Araceae, Lauraceae and Magnoliaceae (Weber 1978); aquatic ferns (Weber 1973, 1976) and reproductive and vegetative organs of Pinaceae and Podocarpaceae (Weber 1975; Serlin et al. 1980; Cevallos-Ferriz 1992). More recently, angiosperm diversity has been expanded through the study of woods and includes *Paraphyllanthoxylon* (Insertae sedis), Fagaceae (*Quercinium*), cf. Fagaceae (*Sabinoxylon*), and Malvaceae (*Javelinoxylon*) (Cevallos-Ferriz and Weber 1992; Estrada-Ruiz et al. 2007) and species of Arecaceae (*Palmoxylon*) (Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno 1995; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz in press). The pollen record of these rocks has further supported the concept of a highly diverse flora growing in northeastern Mexico some 72 my ago (Rueda-Gaxiola 1967; Martínez-Hernández et al. 1980).

The Jose Creek Member of the McRae Formation, New Mexico (Fig. 2) represents an early phase of depositional history in a Laramide intraforeland basin called the Cutter Sag-Love Ranch Basin. The Jose Creek Member is the lower member of the McRae Formation and represents fluvial deposition in an alluvial plain to piedmont environment (Seager et al. 1997). The fossil leaf described in this paper comes from a bed of recrystallized volcanic ash that immediately overlies an argillic paleosol indicative of humid climate and non-waterlogged conditions (G. Mack, personal communication). Leaf macrofossils collected from the same bed as our new taxon comprise over 50 species and include Araceae



(*Orontium*), *Arecaceae*, *Fagaceae*, and conifers related to *Metasequoia* and *Pinaceae* (Upchurch and Mack 1998; Bogner et al. 2007). The Jose Creek Member is tentatively dated as Maastrichtian, based on sediment accumulation rates, its conformable contact with the overlying Hall Lake Member of late Maastrichtian to Paleocene (?) age, and occurrence in this and other beds of conifer megafossils found in Maastrichtian floras from the southern and central Rocky Mountains (Upchurch and Mack 1998).

Extant leaves of *Nelumbo* were studied from herbarium specimens, living specimens, and photographs obtained from the worldwide web. Herbaria supplying specimens for study include National Herbarium (MEXU), Instituto de Biología, UNAM; Texas State University, San Marcos (SWT); the University of Texas at Austin (TEX-LL); and the Botanical Research Institute of Texas (BRIT).

## RESULTS

### Description of foliar architecture in extant *Nelumbo* (Fig. 3)

Extant *Nelumbo* produces two types of vegetative leaves: foliage leaves and cataphylls (e.g., Williamson and Schneider 1993). The foliage leaves are large and usually fall into the mesophyll or macrophyll size class. They are entire-margined and centrally peltate, with an orbicular lamina and a centrally positioned petiole. Some foliage leaves float on the water, while others are emersed. The floating leaves have a lamina that is flat, while the emersed leaves have a lamina that is funnel-form at the junction with the petiole. On the adaxial leaf surface, directly above the petiole, is a thickened pad of tissue termed the central disc (Fig. 3A, center). The central disc contains numerous stomata and is the site where the petiolar canals exchange gases with the external environment. The central disc can be bilaterally lobed; when lobed, the median line of symmetry of the central disc is defined by a primary vein, and in particular the primary that shows no branching (cf. below). The presence of a central disc, a structure unique to *Nelumbo*, is associated with a unique pattern of pressurized gas flow. In *Nelumbo*, air flows downwards in the petiole of one leaf and flows upwards to the atmosphere in the petiole of the leaf located two nodes behind the first leaf (Vogel, 2004;

Matthews and Seymour, 2006). Within a single leaf there is both upwards and downwards flow of air through the petiole.

Primary venation is actinodromous, with 18 to 24 primary veins. One primary vein is straight, unbranched, and runs directly to the leaf margin, where it can form a slight protrusion and/or be associated with a broad and shallow indentation in the lamina (Fig. 3B, arrow). The other primary veins dichotomize 2-3 times near the margin and form two orders of intramarginal loops (e.g., Fig. 3A, arrows; Fig. 3C). The inner order of intramarginal loops, formed by the first dichotomy, is exmedially elongate; the second order of intramarginal loops, formed by the second dichotomy, tends towards isodiametric in shape.

The pair of lateral primary veins to either side of the unbranched primary vein has a tendency to branch asymmetrically, whereas those primary veins most distal to the unbranched primary vein branch symmetrically. Those primary veins in regions in-between tend to be intermediate in their branching pattern.

In some foliage leaves of *Nelumbo*, the unbranched primary vein gives rise to one or two pairs of veins that are thinner than the primary veins and thicker than the tertiary veins. These veins form loops with the adjacent primary veins, like the secondary veins of a typical dicot leaf. We interpret these veins as the homologues of secondary veins, based on their thickness, position, and behavior.

The homology of the unbranched primary vein has two interpretations. Hickey and Wolfe (1975) interpret this vein as a line of suture that resulted from the fusion of the basal lamina lobes of a cordate ancestor. This also has been referred to as a “fusion vein.” In contrast, Doyle (2007) interprets this vein as the homologue of the midvein in an ancestral cordate leaf. The midvein interpretation is supported by the positioning of the unbranched primary vein during development. During development, the leaf blade is oriented parallel to the petiole during the early stages and becomes perpendicular to the petiole only as it unrolls. During the early stages of development the unbranched primary vein is located distal to the petiole, as would be the case for the midvein of a non-peltate leaf. Only branched primary veins occur over the petiole. This is the opposite of what would be expected if the unbranched primary vein resulted from the fusion of leaf lobes in a

cordate ancestor; in this case, the unbranched primary vein would be positioned over the petiole, in the location of the sinus in a cordate leaf. We favor the interpretation of Doyle (2007), based on the position of the unbranched primary vein and the fact that in some leaves it gives rise to secondary veins, as is the case for the midvein in a typical dicot leaf.

The primary veins are interconnected by numerous tertiary veins. Tertiary venation is a mix of alternate and opposite percurrent. The tertiary veins enclose areas that are elongate more-or-less perpendicular to the primary veins. Quaternary venation is a mix of opposite and alternate percurrent. Areolation is isodiametric and predominantly hexagonal, with a mix of 6- and 5-sided areoles. Freely ending veinlets are absent.

### **Taxonomic treatment**

**Family** — Nelumbonaceae

**Genus** — *Exnelumbites* gen. nov. Estrada-Ruiz, Upchurch, Wolfe et Cevallos-Ferriz.

**Holotype** — IGM-PB 1300.

**Repository** — Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM, Mexico.

**Type locality** — Tajo El Nogalito, Múzquiz Municipality, Coahuila, Mexico 27°44'51" N, 106°33'09" W.

**Stratigraphy** — Olmos Formation.

**Age** — Late Campanian-early Maastrichtian.

**Number of specimens examined** — 1.

**Derivation of generic name** — *Ex* = out of, and *Nelumbites* = like *Nelumbo*, in reference to fact that similar fossil leaves have been referred to the genera *Nelumbo* Adanson and *Nelumbites* Berry.

**Generic diagnosis** — Leaf centrally peltate, lamina orbiculate, margin with broad symmetric teeth, teeth biconvex with a broadly rounded glandular apex. Primary venation actinodromous with ca. 12 straight primary veins that have external branching; primary veins terminating in teeth (simple craspedodromous); midvein

not giving rise to secondary veins. Tertiary venation alternate percurrent to reticulate, enclosing isodiametric regions; areolation polygonal, tending towards quadrangular. Marginal venation consisting of a fimbrial vein; teeth biconvex to straight-sided, symmetrical in shape, sinuses rounded; tooth architecture a variant of the chloranthoid type, with a medial vein that terminates in an apical gland and a pair of accessory veins that run along the margin and fuse with the gland.

**Type species** — *Exnelumbites callejasiae* sp. nov. Estrada-Ruiz, Upchurch, Wolfe et Cevallos-Ferriz (Figs. 4, 5).

**Derivation of specific epithet** — The specific epithet honors Ing. Geol. Judith Callejas Moreno who collected part of the fossil material, and aided in understanding the geology of the Sabinas Basin.

**Specific diagnosis** — As for genus.

**Description** — Leaf peltate, in the mesophyll size class, lamina rounded to orbiculate, 9 to 12 cm in diameter (Fig. 4A), base of lamina funnel-shaped where it joins the petiole, funnel-shaped base ca. 0.3 cm in diameter, central disk absent (Fig. 4B); margin dentate, with prominent teeth, 0.55 to 0.8 cm tall by 0.8 to 1.2 cm wide, symmetric, regularly spaced, with rounded to blunt apex, convex on both the apical and basal sides, sides of teeth forming an acute to right angle, sinuses broadly rounded (Fig. 4C, D). Primary venation actinodromous, with 12 well-marked straight primary veins that depart from the center of the lamina (Fig. 4A, B), radially oriented, ca. 0.5 mm in diameter in the center and thinning toward the margin, the other primary veins thick, with external branching, not deflected at points of branching, the primary veins and their branches running directly to teeth (simple caspedodromous) (Fig. 4C, D). Secondary veins not observed.

Tertiary venation a mixture of alternate percurrent and reticulate (Fig. 5E, F); tertiary veins oriented at approximately right angles to the primary veins, but with non-orthogonal rooting, often deflected at points of branching and having a zig-zag course, areas enclosed by tertiary veins predominantly isodiametric to somewhat radially elongate (Fig. 5F, G). Quaternary venation reticulate, forming a regular polygonal reticulate pattern with 4–5 sided polygons, quaternary veins thick relative to tertiary veins; fifth order veins form venules, some of them do not divide, but

others do branch more than once (Fig. 5H).

Marginal venation consisting of a fimbrial vein; teeth of the chloranthoid type, with a medial vein that terminates in a gland and one pair of accessory veins that run along margin and fuse with gland (Fig. 4D).

***Exnelumbites* Type 1** (Fig. 6).

**Sample No.** — IGM-PB 1301.

**Repository** — Colección Nacional de Paleontología (National Paleontological Collection), Instituto de Geología, UNAM, Mexico.

**Type locality** — Tajo El Nogalito, Melchor Múzquiz Municipality, Coahuila, Mexico 27°44'51" N, 106°33'09" W.

**Stratigraphy** — Olmos Formation

**Age** — Late Campanian-early Maastrichtian.

**Number of specimens examined** – 1.

**Description** — Leaf peltate, in the mesophyll size class, entire margined, lamina rounded to orbiculate, ca. 12 cm in diameter, eccentric petiole (Fig. 6A), base of lamina funnel-shaped where it joins the petiole, funnel-shaped base ca. 0.5 cm in diameter, mid-vein and central disk absent (Fig. 6B).

Primary venation actinodromous, with 12 well-marked primary veins that depart from the center of the lamina; primary veins straight (Fig. 6B), radially oriented, stout, ca. 1 cm in diameter in the center, but thinning toward the margin, the other primary veins are thick, with external branching, not deflected at points of branching (Fig. 6B); the primary lateral veins and their branches run directly to the margin, forming a simple caspedodromous pattern with an acute angle (49°) (Fig. 6A). Secondary veins not observed.

Tertiary venation alternate percurrent and reticulate; tertiary veins oriented at approximately right angles to the primary veins, but with non-orthogonal rooting, often deflected at points of branching and having a zig-zag course; areas enclosed by tertiary veins predominantly isodiametric to somewhat radially elongated (Fig. 6C). Quaternary venation reticulate, forming a regular polygonal reticulate pattern, with 5–6 sided polygons about 0.5 mm in diameter (Fig. 6D). Free ending veinlets

observed.

***Exnelumbites*** Type 2 (Fig. 7).

**Sample No.** — TXSTATE TT9303-54.

**Repository** — Texas State University, Texas, U.S.A.

**Type locality** — Texas State University Paleobotanical Locality 9303, 33°14'N, 107°4'W .

**Stratigraphy** — Jose Creek Member, McRae Formation.

**Age** — Probable Maastrichtian.

**Number of specimens examined** – 1.

**Description** — Incomplete rounded to orbiculate leaf falling into the mesophyll size class, ca. 8.0 cm in diameter with dentate margin, centrally peltate, with a small funnel-shaped base at the attachment of the lamina and petiole, central disc absent (Fig. 7A); teeth symmetrical, small, but broad with prominent glands, slightly rounded sinus, teeth straight in the apical and basal sides (Fig. 7B).

Primary venation actinodromous, with 13 radially oriented principal veins departing from the center of the lamina, primary veins ca. 0.4 mm in diameter in the center but thinning toward the margin (Fig. 7B); lateral primary veins branching near the base or near the margin, forming a simple craspedodromous pattern or loops near the margin (Fig. 7A).

Tertiary venation alternate percurrent, enclosing principally elongated areas, tertiary venation poorly preserved. Higher vein orders unknown.

Teeth a variant of the chloranthoid type, with a medial vein and a pair of accessory veins run along the margins and fuse with the gland (Fig. 7C, D).

## DISCUSSION

These three leaves share a mosaic of characters that are most consistent with a relationship to Nelumbonaceae. The material comprises three incomplete, simple, thin leaves with dentate or entire margin (Fig. 4, A, C, D; 6, A; 7, A). The leaves are centrally peltate with rounded to orbiculate lamina, ca 9 to 15 cm in diameter, with length/width ratio of 1:1 (Fig. 4, A; 6, A; 7, A). The lamina is funnel

shaped at its junction with the petiole, indicating an emersed, rather than floating, leaf. The funnel-shaped area is ca. 0.3 to 0.5 cm in diameter. From this point twelve (Fig. 4, B; 6, B) or thirteen (Fig. 7, B) well-developed primary veins depart. A central disk is absent in the three leaves (Fig. 4, B; 6, B; 7, B). In at least two leaves the margin is dentate, with prominent symmetrical teeth and a small gland. The teeth are generally simple, have a rounded to blunt apex, are convex to nearly straight on both the apical and basal sides, and have broadly rounded sinuses (Fig. 4, C, D; 6, C, D), and have a medial vein and a pair of accessory veins running along the margin and fusing with gland (Fig. 4, D; 7, D). Teeth are a variant of the chloranthoid type, with a medial vein terminating in a gland and one pair of accessory veins that runs along the margin and fuses with gland (Fig. 4, C, D; 7, C, D). *Exnelumbites* Type 2 does not have dentate margin; whether the margin consists of highly reduced teeth is uncertain because of preservation.

The primary venation is actinodromous, composed of 12 (Fig. 4, B; 6, B) or 13 (Fig. 7, B) well marked primary veins that depart from the center of the lamina, diverging from each other at acute angles varying from 30° to 40° (Fig. 4, B; 6, B; 7, B). Some primary veins are more thicker than others (Fig. 4, A, B; 6, A, B; 7, A, B); they are straight, radially oriented, stout, ca. 0.5 mm in diameter in the center, but thinning toward the teeth or margin (Fig. 4, C, D; 6, C, D; 7, C, D). In the three leaves the primary veins have external branching, do not deflect at points of branching, and both the primary veins and their branches run directly to teeth and the margin, forming a simple caspedodromous pattern. The external veins diverge from the primary veins with an acute angle of 85 to 45° (Fig. 4, A, C), ca. 49° (Fig. 6, A) and ca. 40° (Fig. 7, A). Secondary veins are not observed in the three preserved leaves.

Tertiary venation is very well preserved in the Olmos specimens, with an alternate percurrent (Fig. 5, E, F; 6, C, D) and reticulate pattern (Fig. 5, E, F; 6, C, D; 7, A). The tertiary veins are oriented at approximately right angles to the primary veins but have non-orthogonal rooting, are often deflected at points of branching, and have a zig-zag course (Fig. 3, C, 5, E, F, G). In some zones, they seem to loop and enclose the fourth order veins (Fig. 5, F). The areas enclosed by

tertiary veins are predominantly isodiametric to somewhat radially elongate. These veins depart from the primary veins at right (elongate) to obtuse (isodiametric) angles (Fig. 4, C, 5, E, F). The loops and enclosed area were difficult to observe in the McRae Formation material. Higher order venation was not observed in this leaf type either.

Quaternary order venation is reticulate, forming a regular polygonal reticulate pattern. Their areoles are well developed and have two principal forms, small 4–5 sided polygons (Fig. 5, G, H) and 5–6 sided polygons about 0.5 mm in diameter (Fig. 6, C, D). Quaternary veins are thick relative to tertiary veins (Fig. 5, E, F, G, H; 6, D). Fifth order veins form venules, some of them not divide, but others branch more than once (Fig. 5, H).

Marginal venation consists of a fimbrial vein (Fig. 4, D).

The shared character combination in the leaves suggests that they belong to the same taxonomic group. However, differences like smooth vs toothed margin signal some difference that seems minor compared with similarity of the venation pattern. In fact, similarity is high enough as to include them in the same genus, but the limited information in the McRae material prevents their inclusion in a single species. Furthermore, differences encourage more collection of these materials to better discuss diversity and variability within Nelumbonaceae.

**Comparison with other fossil material** — Various authors have proposed extinct genera related to Nelumbonaceae. *Nelumbites* Berry was proposed by Berry in 1911 for leaves previously included within *Menispermites*, and was formally diagnosed by Vakhrameev in 1952. Leaves assigned to *Nelumbites* tend to be orbicular, with an eccentric peltate base, an entire to crenulate margin, and fewer than 10 radiating primary veins. The lateral primary veins form a festooned brochidodromous pattern, and the secondary veins are brochidodromous (Upchurch et al. 1994). With the exception of a crenulate margin, all these characters are absent from *Exnelumbites* (Table 1).

Knowlton (1930) described *Paleonelumbo macroloba* Knowlton, a leaf that he related to Nelumbonaceae. *Paleonelumbo macroloba* is an orbicular, centrally peltate, leaf ca. 30 centimeters in diameter. It has large, regularly spaced biconvex



teeth that are glandular, symmetric, and have rounded sinuses. The primary venation is actinodromous, with 12 or 13 well-developed primary veins that each end in a tooth. A midvein is present, and this gives rise to a small number of secondary veins. Brochidodromous secondary veins loop within the large tooth. Higher order veins form an alternate percurrent pattern (Knowlton 1930; Barclay et al. 2003). Tooth venation appears to represent a variant of the chloranthoid type and consists of a median vein and two pairs of lateral veins that run parallel to the margin and fuse with the gland. While *Paleonelumbo* shares some characters with *Exnelumbites*, others, such as the tooth venation and presence of distinct secondary veins along the midvein, are distinctly different (Table, 1). We think that these differences warrant a distinction at the generic level, based on the importance of tooth architecture and primary venation in distinguishing genera of extant angiosperms.

Mclver and Basinger (1993) described *Nelumbago montanum* Mclver et Basinger from the early Paleocene of the Ravenscrag Formation, Canada. Previously described as *Nelumbium montanum* (Brown 1962), *Nelumbago montanum* has centrally peltate leaves that are orbicular to suborbicular, with an entire to undulate margin, and actinodromous primary venation with about 24 radiating primary veins. The tertiary and higher order venation is orthogonal reticulate, and the areoles are strongly quadrangular. *Nelumbago* differs from *Exnelumbites* in having an entire margin and a larger number of primary veins. *Nelumbago* is very similar to extant *Nelumbo* in its features of foliar architecture, but differs in having the probable primitive features of reticulate, rather than percurrent, tertiary and higher order venation, and quadrangular, rather than hexagonal, areolation. In addition, *Nelumbago* does not appear to have a central disc, a feature unique to extant *Nelumbo*.

Gandolfo and Cuneo (2005) described *Nelumbo puertae* Gandolfo et Cuneo from the Campanian-Maastrichtian La Colina Formation of Patagonia, Argentina (Gandolfo and Cuneo 2005). *Exnelumbites* differs from this taxon in having well marked lateral veins, arcs formed by the principal veins, a lower number of primary veins (12-13), and smaller size. *Nelumbo puertae* differs from extant *Nelumbo* in

having no central disc and in having reticulate tertiary and higher order venation and quadrangular areolation. We think that the remains described by Gandolfo and Cuneo are sufficiently distinct to warrant their exclusion from extant *Nelumbo* and are best placed within the extinct genus *Nelumbago* (Table1).

Gandolfo and Cuneo (2005) illustrated floral receptacles in association with the leaves of *N. puertae*. The floral receptacles appear to be cylindrical and have numerous pits with apical protrusions, which the authors interpret as pits containing beaked fruits. While clearly similar to the floral receptacles of extant *Nelumbo*, the Argentinian fossils differ in having a cylindrical, rather than obconic, shape, and pits on the floral receptacle that occur on both the distal surface and on the sides, rather than just in the distal surface, as in extant *Nelumbo*. Thus, while clearly related to extant *Nelumbo*, we think that the Argentinian material represents an extinct taxon, and that the cylindrical shape of the floral receptacle and the presence of fruits on both the distal and lateral surfaces of the receptacle are primitive features relative to extant *Nelumbo*.

**Comparison with other fossil leaves of aquatic plants** — The Albian plant recently described from the Dakota Formation of Kansas as *Brasinites kansense* Wang et Dilcher (cf. Cabombaceae) (Wang and Dilcher 2006) has some characters that resemble *Exnelumbites*, including an orbiculate to suborbiculate lamina and actinodromous venation. However, *B. kansense* differs from *Exnelumbites* in having bilateral, rather than radial, symmetry, an entire margin, and suborbicular lamina (Table 1). Taylor et al. (2008) described *Scutifolium jordanicum* Taylor, Brenner et Hasan Basha, from Albian rocks of Jordan, also related to Cabombaceae. Its leaves are elliptical to suborbiculate in shape, have an entire margin, four to seven primary veins that depart radially from the center toward the margin, secondary venation that is festooned brochidodromous, and random reticulate tertiary venation. These characters are not found in *Exnelumbites* (Table, 1).

From the Turonian of Israel, Drobuskina (1997) described leaves of *Nymphaea mesozoica* Drobuskina (Nymphaeaceae), characterized by their cordate base, entire, undulate, to slightly denticulate margin, palmate venation, and

seven to nine primary veins that depart from the base toward the margin. It is evident that all these characteristics are not present in *Exnelumbites*.

Mclver and Basinger (1993) described an interesting fossil plant, *Harmsia hydrocotyloidea* Mclver et Basinger (Incertae sedis) from the Ravenscrag Formation, Canada. Its leaves are orbiculate, with shallowly dentate and glandular margin, actinodromous venation with eight primary veins, brochidodromous secondary veins that form loops and either join with the super adjacent secondary vein or run directly to the margin through center of teeth. The tooth type in *Harmsia* is a standard chloranthoid tooth, rather than the type where the accessory veins run along the margin. These last three characters are absent from *Exnelumbites* (Table, 1).

**Comparison with other extant plants** — *Exnelumbites* has characters that are found in other flowering plant groups with cordate to peltate leaves, including Cabombaceae, Nymphaeaceae, Tropaeolaceae, and Apiaceae, but is sufficiently distinct to warrant exclusion from these groups. The leaves of Cabombaceae differ from those of *Exnelumbites* in being shield-shaped, elliptical, entire-margined, in having brochidodromous secondary veins, and in lacking percurrent tertiary veins (Cook 1996; Taylor et al. 2008) (Table, 1). In Nymphaeaceae, two genera have leaves that resemble those of *Exnelumbites*, *Euryale* salisb. and *Victoria* Lindl. The leaves of *Euryale* and *Victoria* are large (up to 7 meters), orbicular or rounded, and pseudopeltate, with a basal cordate notch. Primary venation is actinodromous, and numerous festooned brochidodromous secondary veins arise from the midvein (Taylor et al. 2008). *Exnelumbites* differs from these two genera in having a smaller diameter leaf with truly peltate organization, no secondary veins arising from the midvein, and glandular teeth. In addition, the primary, secondary, and tertiary venation of *Euryale* and *Victoria* together are organized into a series of cells that obscure the distinction between vein orders, unlike the case for *Exnelumbites*.

In Tropaeolaceae, *Tropaeolum* L. has leaves that trend to be orbicular or circular, with an undulate to lobed or dentate margin. The primary vein is central to marginal ones, that form a brochidodromous secondary pattern, but do not have

even dichotomies of the lateral primaries. Leaves of this plant further differ from those of *Exnelumbites* presents primary veins and dichotomies of the lateral primaries (simple caspedodromous), lack of secondary and mid-primary vein (Table, 1).

The leaves of *Hydrocotyle* L. are cordate, peltate to centrally peltate, entire and dentate, and have an angular lobed margin. The primary venation is actinodromous, with brochidodromous and craspedodromous secondary veins, and agrophic venation on each primary vein (Contance and Dillon 1990) (Table 1). *Exnelumbites* differs in having teeth with a medial vein that terminates in a gland and one pair of accessory veins that run along the margin and fuse with the gland; besides, it has no secondary veins or agrophic venation.

The new fossil leaf of the Olmos and McRae Formations has a combination of characters not found in any other genus of extant or fossil aquatic plants. However, *Exnelumbites* has suite of characters that suggests a closer relationship to Nelumbonaceae than any other extant family of flowering plants. In particular, the funnel-form lamina, the presence of a single primary vein within each leaf that shows no branching, and the absence of basal branches from either side of the primary veins, together are most like extant *Nelumbo* than any other genus. However, the absence of a central disc, the presence of no more than 13 primary veins, the presence of reticulate tertiary and higher order venation, and the absence of hexagonal areolation are features of *Exnelumbites* that are more primitive than what occurs in extant *Nelumbo*.

The presence of chloranthoid teeth in *Exnelumbites* might at first seem anomalous within the context of Nelumbonaceae and Proteales as a whole. However, *Nelumbites*, a leaf associated with floral receptacles having *Nelumbo*-like specializations, has species with broadly crenate margins (e.g., *Nelumbites minimus*, *N. virginiensis*), and a crenulate margin is found as a rare variant in *N. extenuinervis*, the best characterized species of the genus. Platanaceae have their own tooth type, the platanoid tooth (Hickey and Wolfe, 1975). However, other lineages of basal eudicots are characterized by the chloranthoid tooth type, and the

platanoid tooth has been interpreted as a variant on the chloranthoid type in which the accessory veins approach but do not fuse with the medial vein (Doyle, 2007).

Ecologically, the leaf morphology of *Exnelumbites* suggests that the plants had an aquatic habit with emersed leaves or lived in moist terrestrial habitats, like *Hydrocotyle* and other mesic dicot herbs with centrally peltate leaves. This is based on the funnel-shaped lamina, indicative of emersed leaves. Characters such as orbicular leaf shape, centrally peltate base, and radially oriented primary venation indicate that the leaf lived in a habitat where wind or water currents exerted little directional force on the lamina. This suggestion is strengthened by climatic analysis of the associated sediments and floras, which indicate moist to rainforest vegetation in the Olmos Formation and the Jose Creek Member of the McRae Formation (Upchurch and Mack 1998; Estrada-Ruiz et al. 2008), and by the sedimentological analyses of the section where the Olmos Formation leaf was found, which is reconstructed as an environment with lakes and ponds.

The question of past diversity within Nelumbonaceae depends on how the family is defined relative to the other families of Proteales, and in particular whether Nelumbonaceae is defined as consisting solely the crown group (extant *Nelumbo*) or whether the family is defined as consisting of the crown group and extinct branches from the stem lineage (e.g., see Cantino et al., 2007, and references therein, for a discussion of this issue). If both the crown group and extinct branches of the stem lineage are included within the family, then the occurrence of *Exnelumbites*, along with previously described genera such as *Nelumbites*, *Nelumbago* and *Paleonelumbo*, indicates that Nelumbonaceae had significantly higher generic diversity during the mid- to Late Cretaceous and Paleogene than they did during the Neogene and Recent.

Despite higher past generic diversity, plants of Nelumbonaceae seem to have occupied similar environments through their geologic history, based on their common occurrence in pond and lake environments and their co-occurrence with other aquatic taxa. However, the occurrence of at least one specimen of *Exnelumbites* in a non-aquatic setting (McRae Formation) indicates that the family probably had greater ecological breadth in the past than it does today.

The higher morphological differentiation between members of Nelumbonaceae and the occurrence of a mosaic of primitive and advanced features in each genus finds a parallel with families such as Platanaceae, Lauraceae, Icacinaceae, Musaceae, Fagaceae, and Malvaceae, in which their Cretaceous representatives have characters, or character mosaics, not found in more recent members of the lineage. This situation highlights the need for caution when extrapolating the environmental tolerances of recent representatives to the deep geologic past. We think that additional studies of Cretaceous plants will widen our understanding of vegetative and reproductive biology during the Cretaceous and facilitate comparison with Cenozoic plants.

### **ACKNOWLEDGEMENTS**

We thank specially PASAC (*Paleontólogos Aficionados de Sabinas, A.C.*) for guiding facilities during field work. The Department of Biology, Texas State University, supported the visit of E.E.R. to complete comparison of the plant material of the Tajo El Nogalito, Múzquiz, Coahuila. Judith Callejas-Moreno, Liliana Arrazola, Alejandra Sainz, Oris Rodríguez and Carlos Castañeda are recognized for their assistance in the field. Héctor Porras Múzquiz, Director of the Museum of Múzquiz, Coahuila, J. C. González Galván and R. D. Zuñiga Montemayor facilitated visiting localities in private land. The municipality presidency of Melchor Múzquiz and INAH, Coahuila, for provided administrative facilities. F. Chiang-Cabrera (Instituto de Biología, UNAM) gave orientation on the correct use of scientific names. Comments by Dr. F. Vega-Vera (Instituto de Geología, UNAM) enhanced our discussion and Dr. L. Calvillo-Canadell (Instituto de Geología, UNAM) guided the initial description in the leaf. M. Alcayde, Instituto de Geología, UNAM, improved a preliminary English version. Dr. Gustavo Tolson (Director of the Instituto de Geología, UNAM), supported to E.E.R. of the end of this Ph.D. program. This study is based in part on the Ph.D. thesis of Emilio Estrada Ruiz at *Posgrado en Ciencias de la Tierra*, Instituto de Geología, UNAM. Grants by *Coordinación de la Investigación Científica*, UNAM and CONACyT

(45065) and DGAPA-UNAM (IN208500 and IN201103) to S.R.S.C.F., and a CONACyT (167138) and DGEP-UNAM student loans to E.E.R. are appreciated.

## LITERATURE CITED

- APG II, 2003. An update fo the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering palnts: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- Barclay, R. S., K. R., Johnson, W. J., Betterton, and D. L. Dilcher. 2003. Stratigraphy and megaflora of a K–T boundary section in the eastern Denver Basin. *Rocky Mountain Geology* 38: 45-71.
- Berry, E. W. 1911. Systematic paleontology, Lower Cretaceous: fossil plants. In: Clark, W.B. (Ed.), Lower Cretaceous. Maryland Geological Survey Baltimore, USA, pp. 214-508.
- Bogner, J., Z. Kvacek, K. R. Johnson, and G. R. Upchurch. 2007. New fossil leaves of Araceae from the Late Cretaceous and Paleogene of western North America. *Zitteliana A* 47: 133-147.
- Brown, R. W. 1962. Paleocene flora of the Rocky Mountains and Great Plains. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 375: 1-119.
- Burchkardt, C. 1930. Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicain, deuxième partie. *Mém. Soc. Paléontol. Suisse* 50: 125-280.
- Callejas-Moreno, J., E. Estrada-Ruiz, and S. R. S. Cevallos-Ferriz. 2009. Litofacies y biofacies de la Formación Olmos, Coahuila, México. IX Congreso Nacional de Paleontología. Abst. 10.
- Cantino, P. D., J. A. Doyle, S. W. Graham, W. S. Judd, R. G. Olmstead, D. E. Soltis, P. S. Soltis, and M. J. Donoghue. 2007. Towards a phylogenetic nomenclature of *Tracheophyta*. *Taxon* 56: 822-846.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S. 1992. Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 63: 111-137.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., and R. Weber. 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila. *Universidad Nacional*

- Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista 10: 65-70.*
- Cevallos-Ferriz S. R. S., and O. Ricalde-Moreno. 1995. Palmeras fósiles del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 66: 37-106.
- Constance, L., and M. O. Dillon. 1990. A new peltate *Hydrocotyle* from northern Peru. *Brittonia* 42: 257-259.
- Cook, C. D. K. 1996. Aquatic plant book. SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands.
- Doyle, J. A. 2007. Systematic value and evolution of leaf architecture across the angiosperms in light of molecular phylogenetic analyses. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 258: 21-37.
- Dobruskina, I. A. 1997. Turonian plants from the southern Negev, Israel. *Cretaceous research* 18: 87-107.
- Estrada-Ruiz, E. and S. R. S. Cevallos-Ferriz. In press. *Palmoxylon enochii* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México. *Ameghiniana*.
- Estrada-Ruiz, E., G. R., Upchurch, and S. R. S. Cevallos-Ferriz. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (upper Campanian-lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: A preliminary report. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 58: 273-283.
- Estrada-Ruiz, E., H. I. Marínez-Cabrera, and S. R. S. Cevallos-Ferriz. 2007. Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145: 123-133.
- Flores Espinoza, E. 1989. *Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico*. Ph. Dissertation. University of Texas at Austin, 315 p.
- Gandolfo, M. A., and R. N. Cuneo. 2005. Fossil Nelumbonaceae from the La Colonia Formation (Campanian–Maastrichtian, Upper Cretaceous), Chubut, Patagonia, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology* 133: 169-178.
- Hickey, L. J., and J. A. Wolfe. 1975. The bases of angiosperm phylogeny:



- vegetative morphology. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 62: 538-589.
- Knowlton, F. H. 1930. The flora of the Denver and associated formations of Colorado. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 155: 1-142.
- Marínez-Hernández, E., L. Almeida-Leñero, M. Reyes-Salas, and Y. Betancourt-Aguilar. 1980. Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 4: 167-185.
- Matthews, P. G. D., and R. S. Seymour. 2006. Anatomy of the gas canal system of *Nelumbo nucifera*. *Aquatic Botany* 85: 147-154.
- McIver, E. E., and J. F. Basinger. 1993. Fossil flora of the Ravenscrag Formation (Paleocene), southwestern Saskatchewan, Canada. *Palaeontographica Canadiana* 10: 167 pp.
- Roberts, L. N. R., and M. A. Kirschbaum. 1995. Paleogeography of the Late Cretaceous of the Western Interior of Middle North America – Coal distribution and sediment accumulation. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 1561: 1-115.
- Rueda-Gaxiola, J. 1967. *Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon cretacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique*. Ph.D. thesis. Faculté des Sciences. Université de Lille. 3 vols.
- Seager, W. R., Mack, G. H., and T. F. Lawton. 1997. Structure kinematics and depositional history of a Laramide uplift basin pair in southern New Mexico: Implication for the development of intraforeland basins. *Geological Society of America Bulletin* 109: 1389-1401.
- Serlin, B., Delevoryas, T. H., and R. Weber. 1981. A new conifer pollen cone from the Upper Cretaceous of Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 241-248.
- Upchurch, G. R., P. R. Crane, and A. N. Drinnan. 1994. The megaflora from the Quantico locality (upper Albian), Lower Cretaceous Potomac Group of Virginia. *Virginia Museum of Natural History, Memoir* 4: 1-57.

- Upchurch, G. R., and G. H. Mack. 1998. Latest Cretaceous leaf megafloras from the Jose Creek Member, McRae Formation of New Mexico. New Mexico Geological Society Guidebook, 49<sup>th</sup> Field Conference, Las Cruces Country II: 2-9-222.
- Taylor, D. W., Brenner, G. J., and S. H. Basha. 2008. *Scutifolium jordanicum* gen. et sp. nov. (Cabombaceae), an aquatic fossil plant from the Lower Cretaceous of Jordan, and the relationships of related leaf fossils to living genera. *American Journal of Botany* 95: 340-352.
- Vakhrameev, V. A. 1952. Stratigraphy and fossil flora of the Cretaceous deposits in the western Kazakhstan. Akademia nauk SSSR, Moscow, SSSR.
- Vaughan, T. W. 1900. Reconnaissance in the Rio Grande coal fields of Texas. *U.S. Geological Survey Bulletin* 164: 100.
- Vogel, S. 2004. Contributions to the functional anatomy and biology of *Nelumbo nucifera* (Nelumbonaceae) I. Pathways of air circulation. *Plant Systematics and Evolution* 249: 9-25.
- Wang, H., and D. L. Dilcher. 2006. Aquatic angiosperms from the Dakota Formation (Albian, lower Cretaceous), Hoisington III locality, Kansas, USA. *International Journal of Plant Sciences* 167: 385-401.
- Weber, R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 33: 5-19.
- Weber, R. 1973. *Salvinia coahuilensis* n. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana* 10: 173-190.
- Weber, R. 1975. *Aachenia knoblochii* n. sp. an interesting conifer of the Upper Cretaceous Olmos Formation of northeastern Mexico. *Palaeontographica*, Abt. B152: 76-83.
- Weber, R. 1976. *Dorfiella auriculata* f. gen. nov., sp. nov. Un género nuevo de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México. *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología* 3: 1-13.
- Weber, R. 1978. Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperm flora of Coahuila, Mexico. *Courier Forschungs – Institut Senckenberg* 30: 38-46.
- Williamson, P. S., and E. L. Schneider. 1993. Nelumbonaceae. Pp. 470–473 In

*The families and genera of vascular plants* vol. 3, ed. K. Kubitzki, Berlin:  
Springer Verlag.

## FIGURE CAPTIONS

**Figure 1.** Location of fossiliferous outcrops. 1). Tajo El Mezquite (modified of Flores Espinoza, 1989).

**Figure 2.** McRae Formation with location of fossiliferous outcrops (asterisk).

**Figure 3 (A – D).** Leaf architecture of extant *Nelumbo lutea*.

**A.** Orbicular shape leaf with entire margin and caspedodromous lateral veins (arrows). Scale = 5.2 cm. **B.** Midvein unbranched, single-stranded (arrow). Scale = 2.6 cm. **C.** Lateral primary veins branch dichotomously and loop within margin. Scale = 2.5 cm. **D.** Percurrent tertiary veins (arrows). Scale = 2.6 cm.

**Figure 4 (A – D).** *Exnelumbites callejasiae*.

**A.** Round leaf with dentate margin and caspedodromous lateral veins. IGM-PB 1300. Scale = 0.95 cm. **B.** Centrally peltate, petiolar attachment where twelve well developed veins originates. IGM-PB 1300. Scale = 0.4 cm. **C.** Dentate margin, to each tooth a vein comes (arrows). IGM-PB 1300. Scale = 0.7 cm. **E.** Tooth with a gland small (arrow). IGM-PB 1300. Scale = 0.2 cm.

**Figure 5 (E – H).** *Exnelumbites callejasiae*.

**E.** Lateral veins primary order (arrows) and alternate percurrent third order veins. IGM-PB 1300. Scale = 0.7 cm. **F.** Alternate percurrent third order veins (arrows), regular polygonal reticulate fourth order veins. IGM-PB 1300. Scale = 0.5 cm. **G.** Regular polygonal reticulate fourth order veins with 4–5 sided polygons. IGM-PB 1300. Scale = cm. **H.** Polygon with venules, which branch out more than once. IGM-PB 1300. Scale = cm.

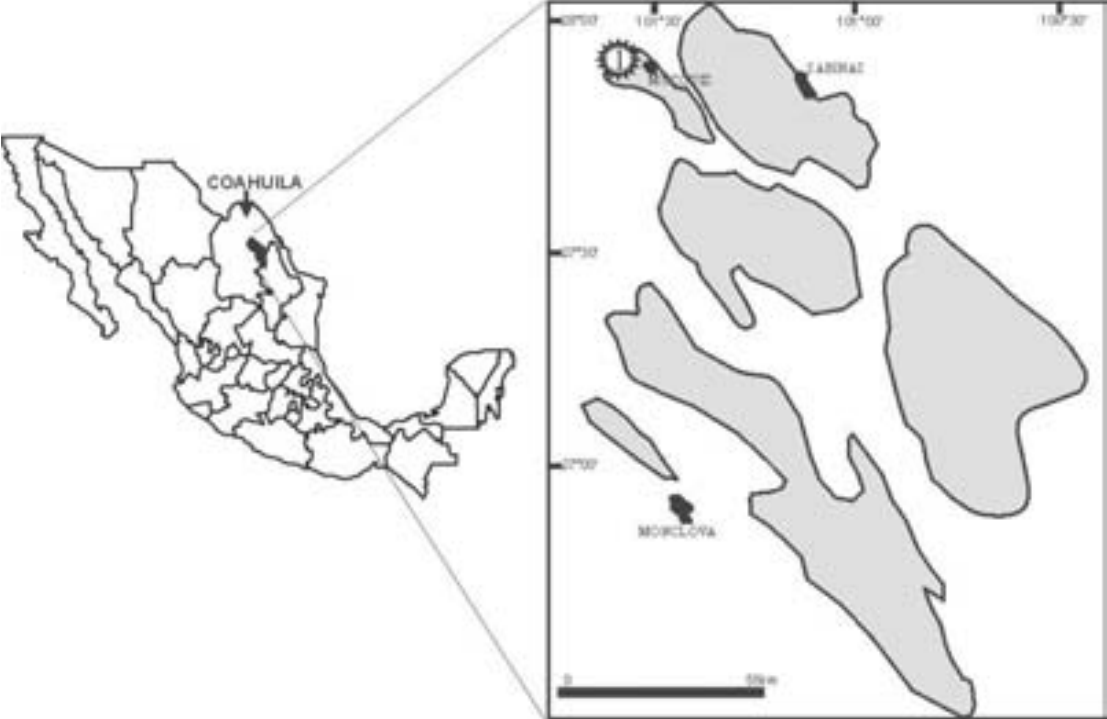
**Figure 6 (A – D).** *Exnelumbites* Type 1.

**A.** Round leaf with entire margin. IGM-PB 1301. Scale = 1.7 cm. **B.** Peltate eccentric petiolar attachment, from it twelve well developed primary veins originate. IGM-PB 1301. Scale = 0.5 cm. **C.** Alternate percurrent third order veins. IGM-PB 1301. Scale = 0.5 cm. **D.** Regular polygonal reticulate fourth order veins. IGM-PB 1301. Scale = 0.3 cm.

**Figure 7 (A – D). *Exnelumbites* Type 2.**

**Figure A.** Round leaf with dentate margin. TXSTATE93-3#36. Scale = 2 cm. **B.** Peltate central, petiolar attachment where thirteen well developed veins originate. TXSTATE93-3#36. Scale = 0.7 cm. **C.** Teeth with glandules (arrows). TXSTATE93-3#36. Scale = cm. **D.** Loop near of the margin and four teeth. TXSTATE93-3#36. Scale = 0.4 cm.

Figure 1



**Figure 2**

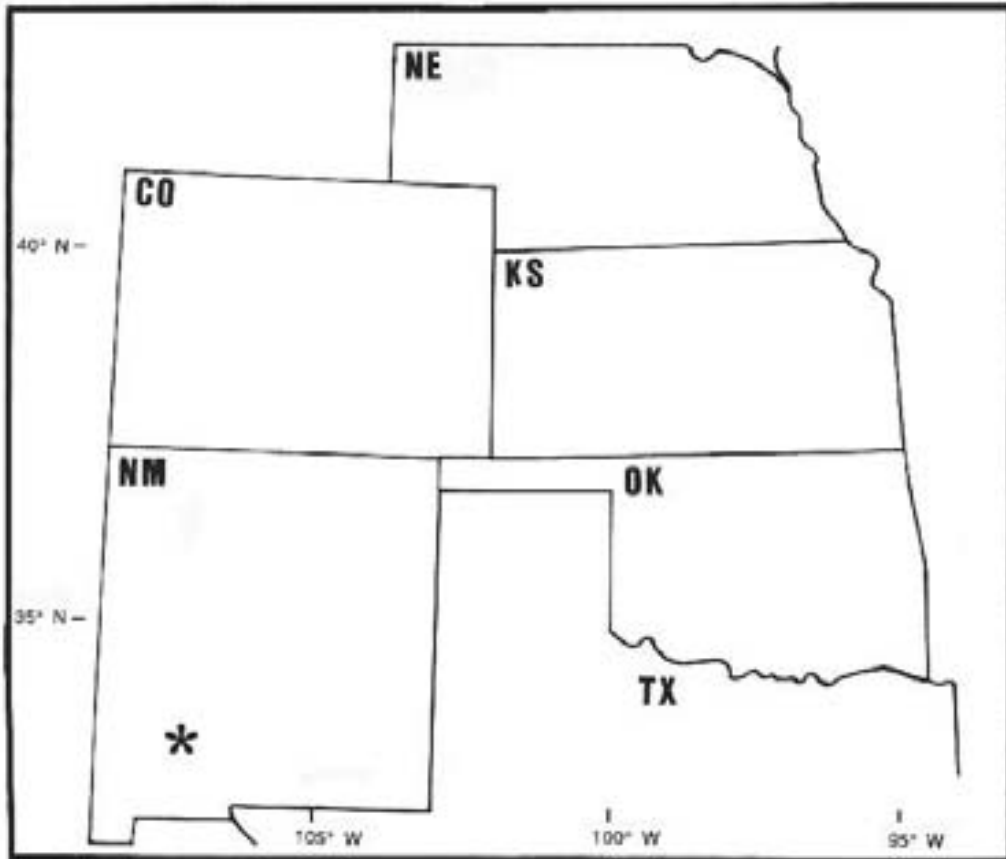


Figure 3

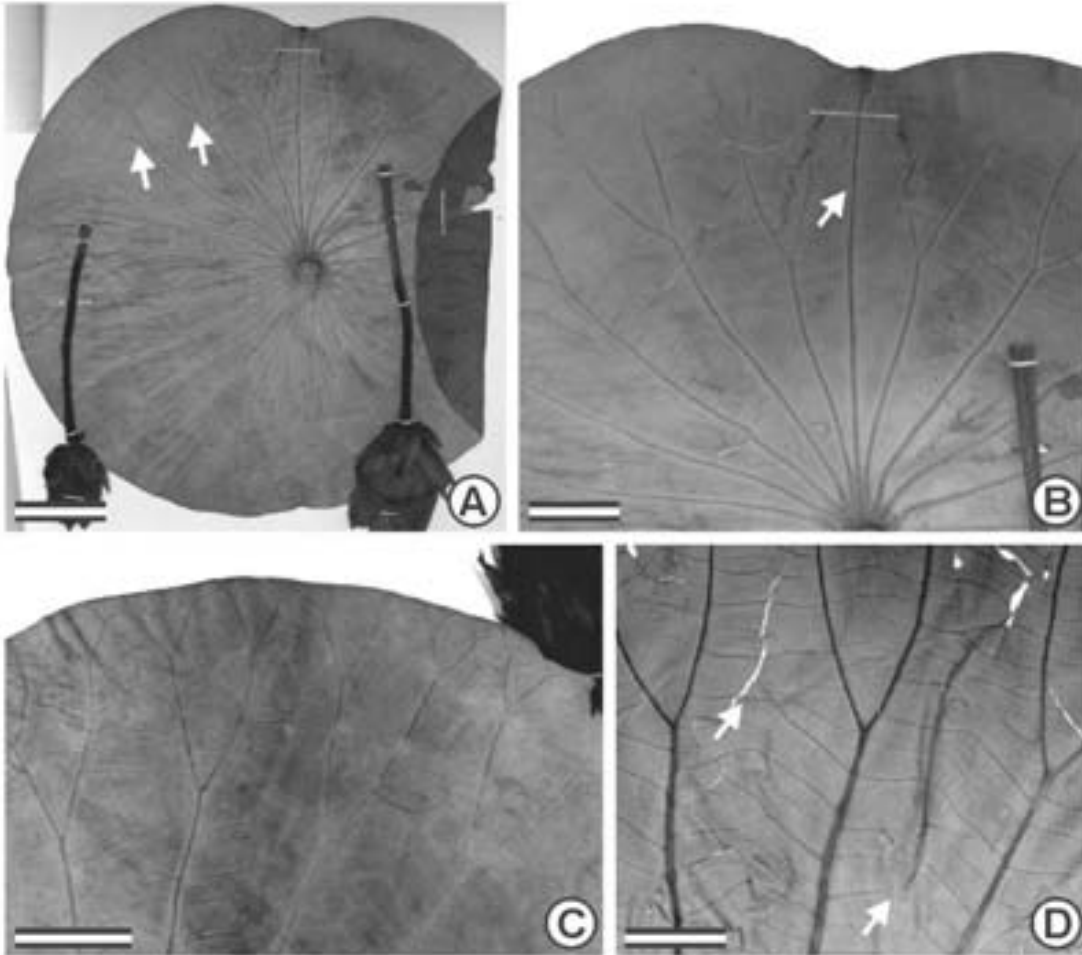




Figure 4

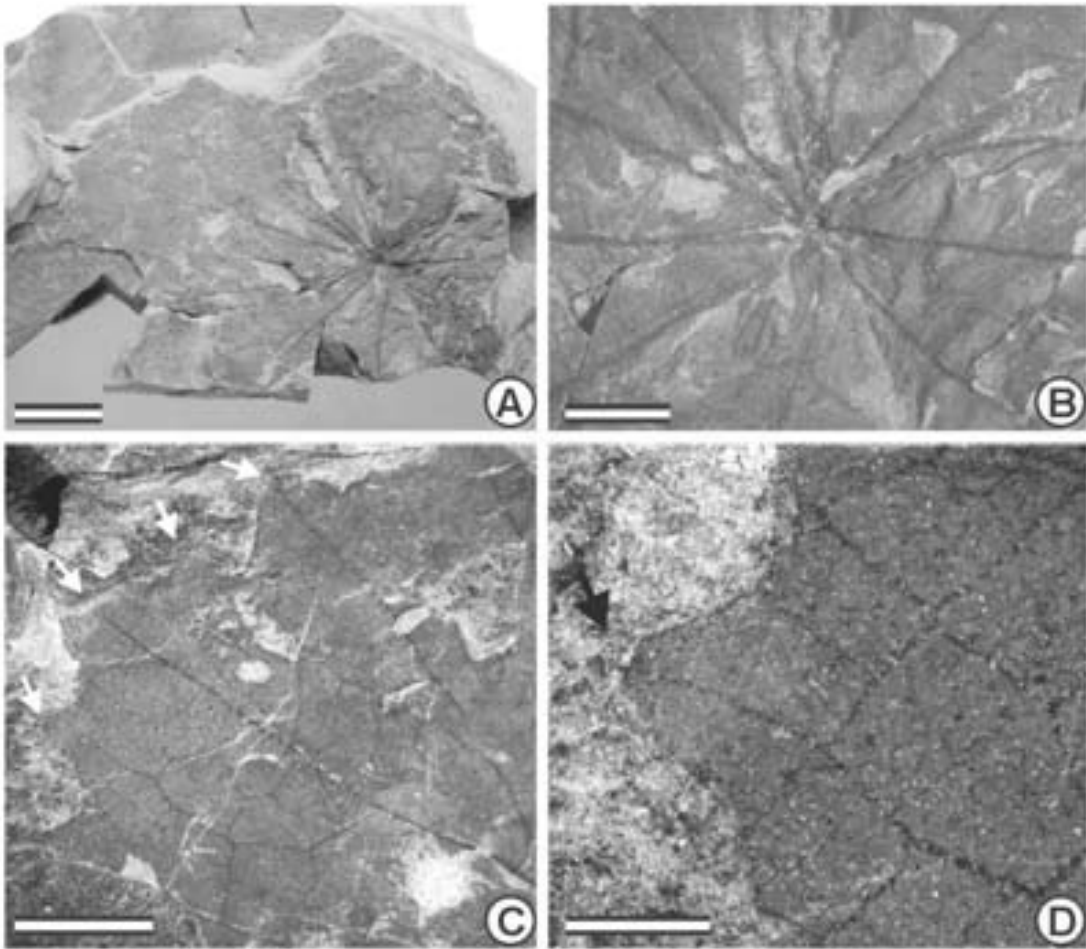


Figure 5

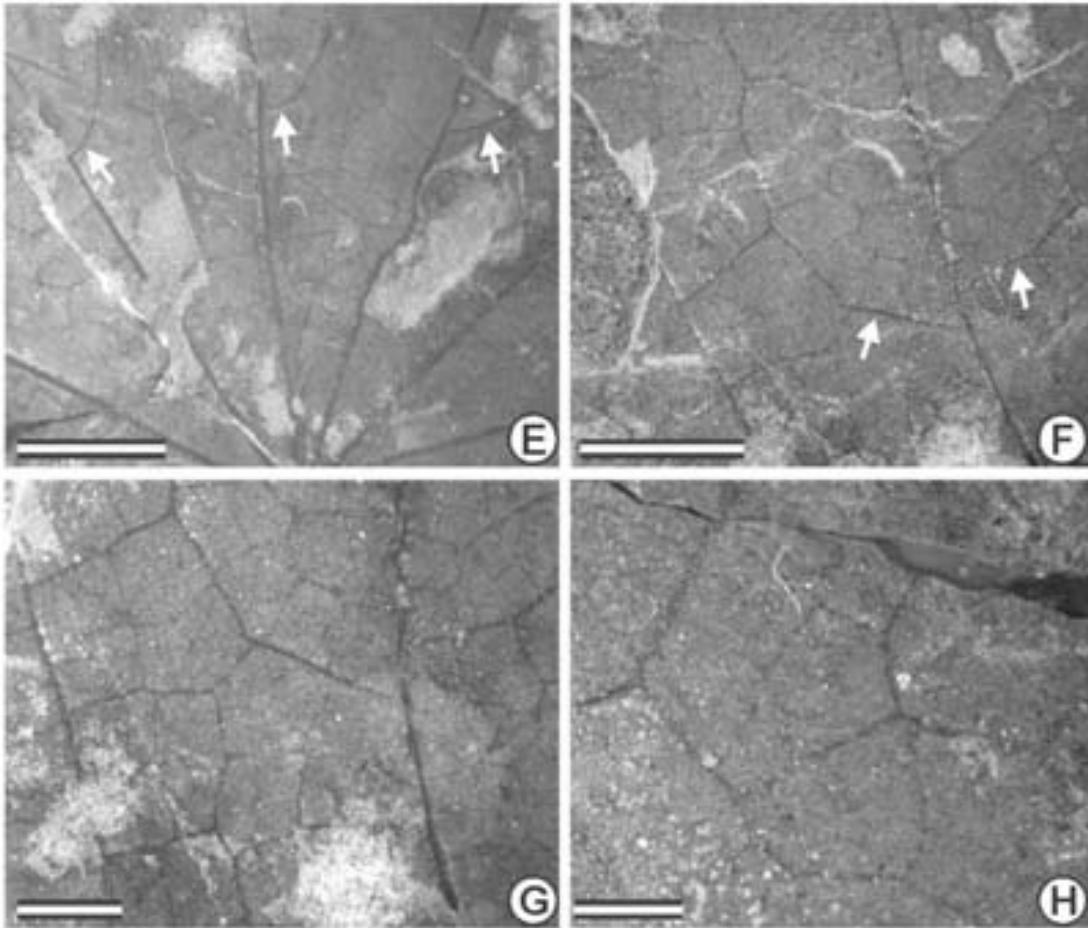


Figure 6

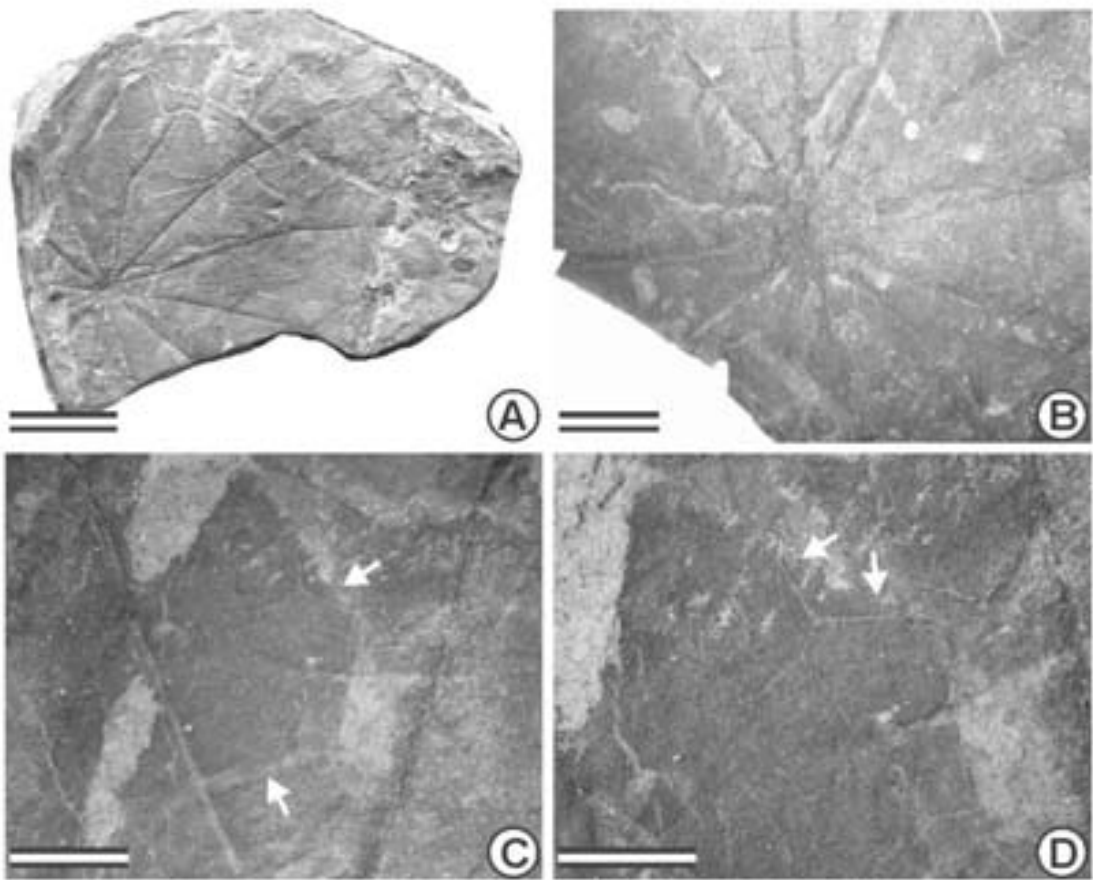
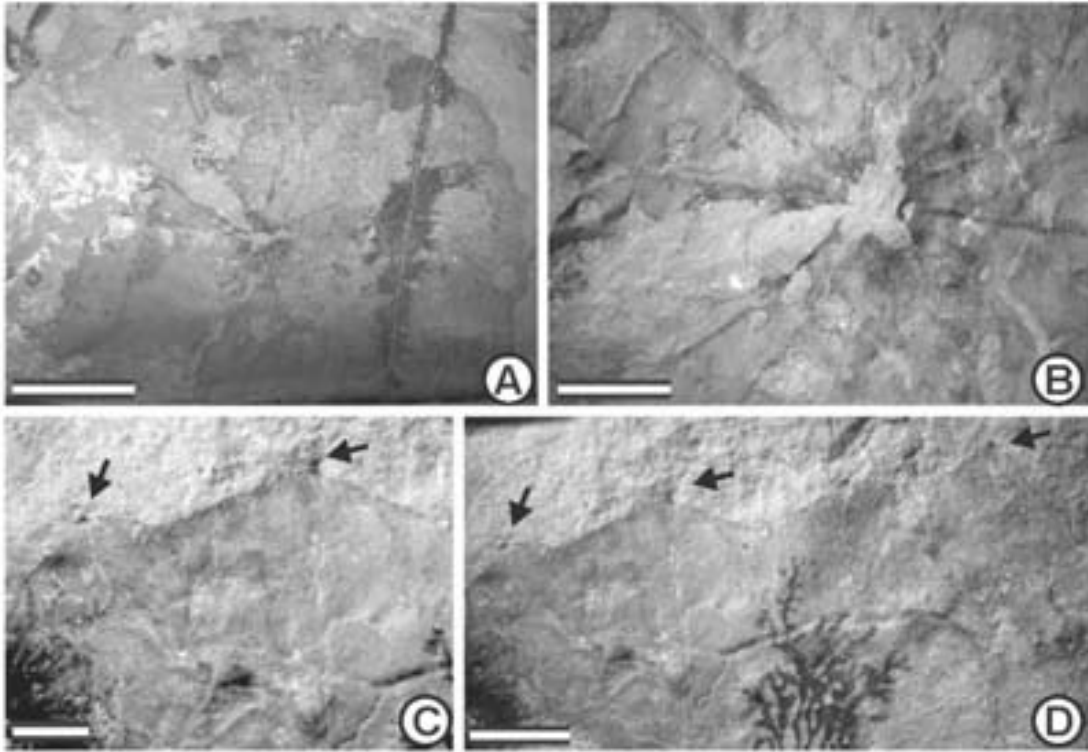


Figure 7



**TABLE, 1**

Comparison table of *Exnelumbites* with extant and fossil aquatic plants.

## OTRAS HOJAS

**Localidad Tajo El Mezquite, Sabinas, municipio de Sabinas, Coahuila, México.**

### TIPO 1

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo I, simétrica, peciolada, forma ovada ancha (Fig. 1, A, B, C, D); de 12 cm de largo por 15.8 cm de ancho, la relación largo ancho es 1:1; base lobada, formando un ángulo ampliamente obtuso ( $215^\circ$ ), pecíolo incompleto recto de 2.5 mm de grosor y 4 mm de largo (Fig. 1, E); el ápice redondeado con ángulo del ápice obtuso ( $180^\circ$ ); margen entero (Fig. 1, B, C). Venación de primer orden actinódroma (Fig. 1, B, C, D), partiendo desde la base una vena media con 5 hasta 7 venas basales bien desarrolladas, el curso de estas venas son rectas hacia el ápice, la vena media en la parte proximal con 2 mm de espesor y hacia la parte distal se adelgaza con una vena media que se bifurca hacia el ápice, tomando el rol de vena secundaria, las venas laterales primarias se bifurcan hacia el margen (Fig. 1, D), las venas basales primarias sólo se dicotamizan por un lado varias veces. Algunas venas de las secundarias llegan al margen, otras forman arcos ligeramente desarrollados, el ángulo de las secundarias es agudo ( $35^\circ$ ). Venación de tercer orden percurrente. Venación de cuarto orden regular poligonal reticulado. Presencia de areolas de moderadas a bien desarrolladas con cuatro a cinco lados, variando en tamaño y forma (Fig. 1, H). Venación de quinto orden la constituye la presencia de venulas, algunas no se ramifican y otras al menos una vez (Fig. 1, H). Similar a este material existen al menos cuatro muestras más de hojas sobre una laja de roca de limolita de 50 x 60 cm (Fig. 1, A, B, C, D).

### TIPO 2

#### **Orden: Fagales**

**Descripción:** Hoja incompleta, mesófila tipo I, de forma elíptica–obovada; de 14 cm de largo por 6.7 cm de ancho; la relación largo ancho es 3:1 (Fig. 2, A); base simétrica aguda cuneada, formando un ángulo agudo ( $50^\circ$ ); ápice no presente; el

primer tercio de la lámina foliar es entero y hacia el ápice se vuelve dentado, con dientes obtusos. Venación de primer orden pinnada, vena media recta y muy desarrollada, ésta es más ancha hacia la base, con un espesor de 3 mm, en la parte más proximal y hacia la parte distal se adelgaza, con un grosor de 1 mm (Fig. 2, A). Venas secundarias delgadas y moderadamente agudas, broquidódroma con arcos poco desarrollados (Fig. 2, B), estas venas forman un ángulo agudo de 33° a 50° hacia el ápice, tienen un espaciamiento uniforme con respecto a la vena media. Presencia de venas intersecundarias poco desarrolladas (Fig. 2, A, B). Venación de tercer orden transversal percurrente, con un curso recto (Fig. 2, C). Venación de cuarto orden reticular al azar.

### **TIPO 3**

**Orden:** Laurales

**Grupo:** cf. "*Ficus*" *praetrinervis* Knowlton

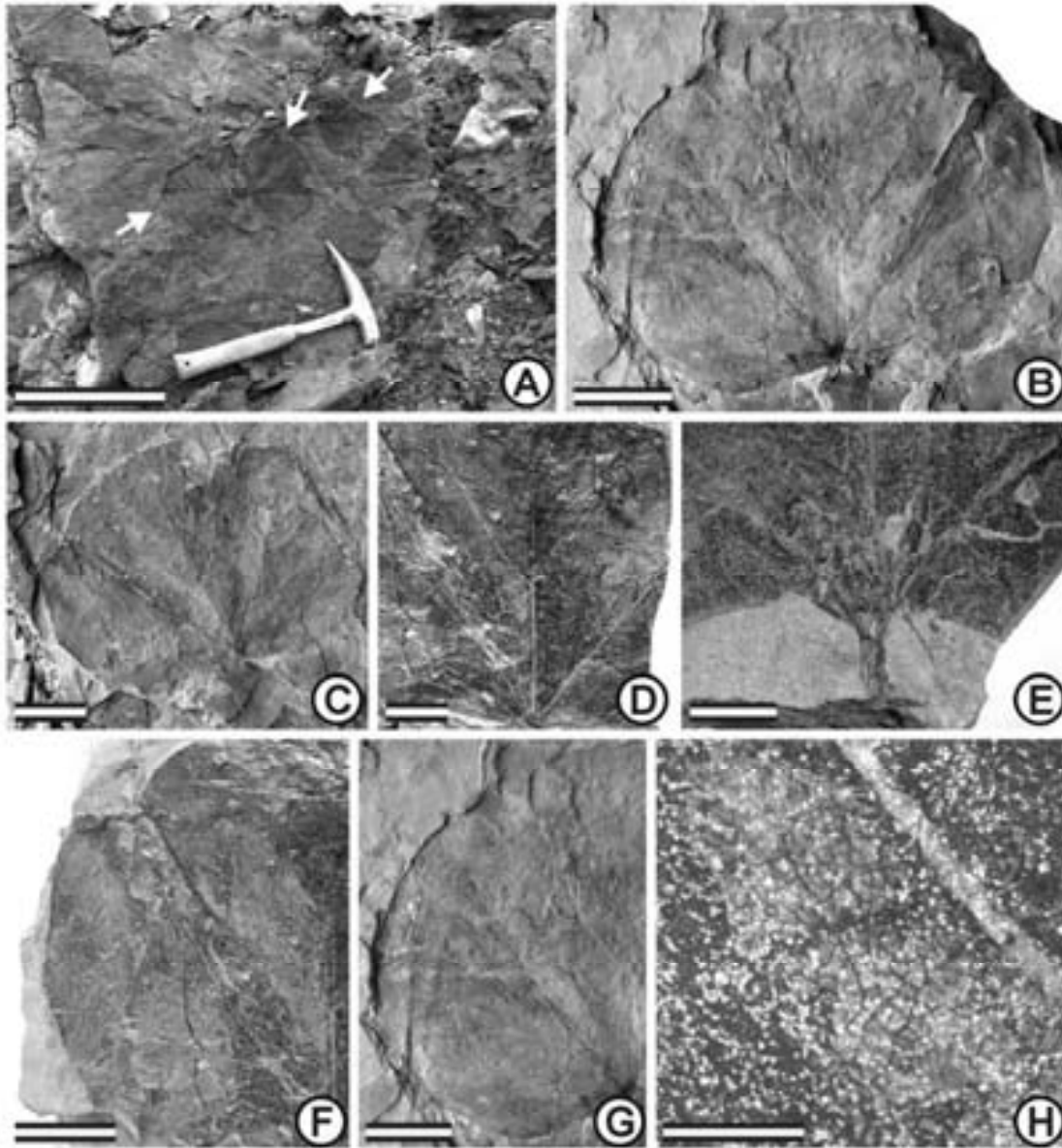
**Descripción:** Hoja simple completa, micrófila tipo III, simétrica, forma elíptica; de 9.3 cm de largo por 5.2 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 3, A, B, C); base cuneada y decurrente cercano al pecíolo formando un ángulo obtuso (104°) (Fig. 3, D); ápice acuminado formando un ángulo agudo (67°) (Fig. 3, C); margen entero. Venación palmada con una vena media con dos pares de venas laterales, éstas son decurrentes hacia el pecíolo, estas mismas corren desde el pecíolo hasta el ápice formando un patrón acródromo, las dos venas próximas a la vena media, se aprecian fuertemente desarrolladas, y se curvan hacia el ápice, con un grosor hacia la parte más proximal de 1.7 mm de espesor y adelgazándose hacia la parte distal (0.9 mm), las otras dos venas laterales son más delgadas (Fig. 3, D). Venación de segundo orden se observa sólo cerca al ápice (25% de la lámina), el ángulo de éstas es principalmente de 90° (Fig. 3, E, F). Vena fimbrial se observa fuertemente en la base.

### **TIPO 4**

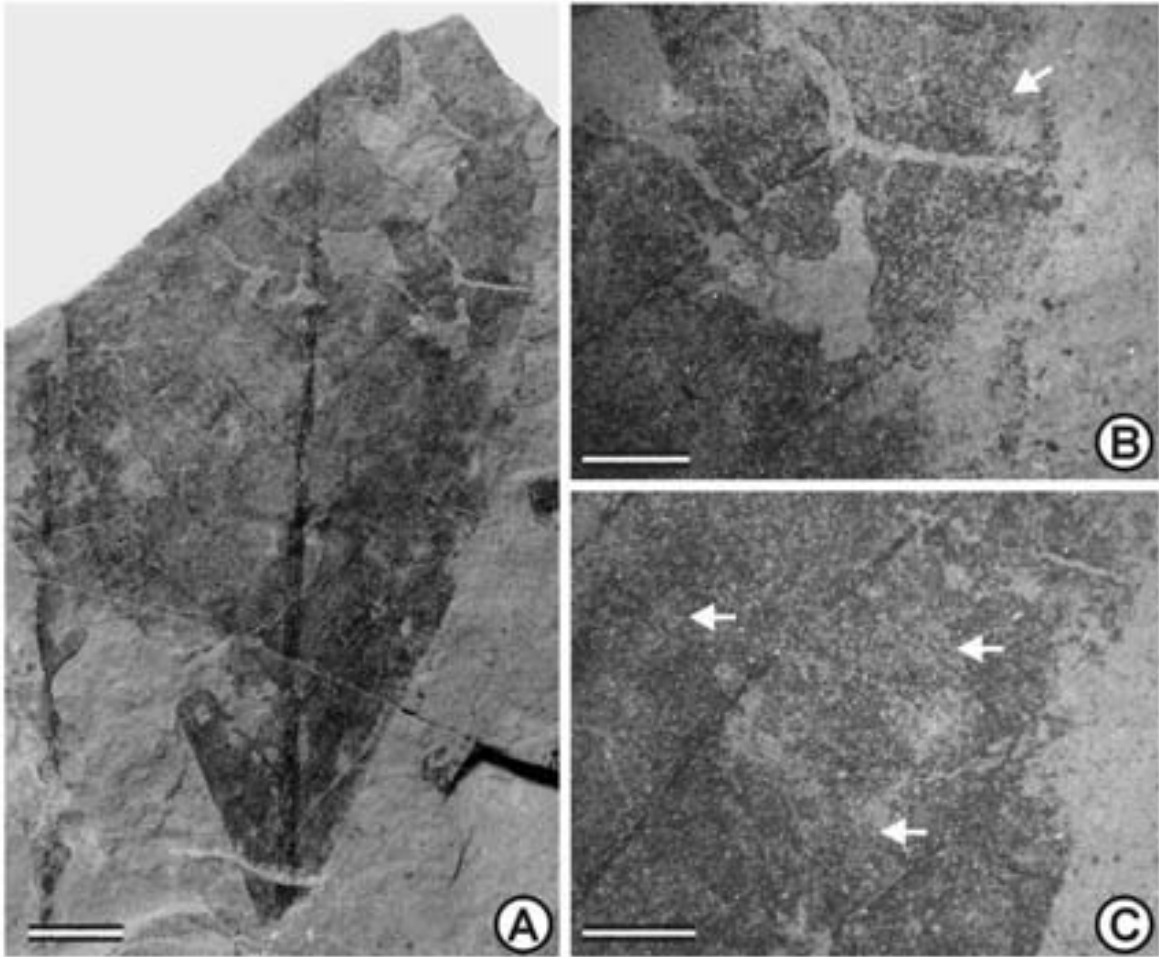
**Descripción:** Hoja simple incompleta, micrófila tipo III, simétrica, forma elíptica (Fig. 4, A,B); de aproximadamente 10.7 cm de largo (el largo es mayor pero los ejemplares no están completos) de 3.0 cm a 4.5 de ancho, la relación largo ancho

es 3:4 (Fig. 4, A, B); base aguda decurrente formando un ángulo agudo ( $34^\circ$ ), (Fig., 4, A,B); ápice agudo ( $35^\circ$ ); el primer tercio de la lámina foliar es entero y hacia el ápice se vuelve serrado, con dientes de primer orden, el sinus entre los dientes es redondeado, con tres dientes por cm, el espacio entre los dientes es regular, de forma recta del lado apical cóncavo y cóncavo del lado basal (Fig., 4, A,B). Venación de primer orden pinnada, en la parte proximal la vena media tiene 3 mm de espesor y hacia la parte distal se adelgaza (Fig. 4, A,B,C). Venación de segundo orden mixto, semi-festonado y caspedódromo, hacia la base se observan un par de venas marginales que corren hacia el ápice (basilamina), se observan más de diez pares de venas secundarias. El ángulo de las secundarias es agudo ( $47^\circ$ ). Se observan venas intersecundarias muy bien desarrolladas (Fig. 4, D). Venación de tercer orden mixta con un espacio irregular, pueden ser ramificadas y no ramificadas, transversales, frecuentemente no ramificadas a alternas percurrentes, con un curso sinuoso. Venación de cuarto orden regular poligonal reticular (Fig. 4, B,C,D). Venación de quinto orden formado por vénulas las cuales se ramifican más de una vez (Fig. 4, E).

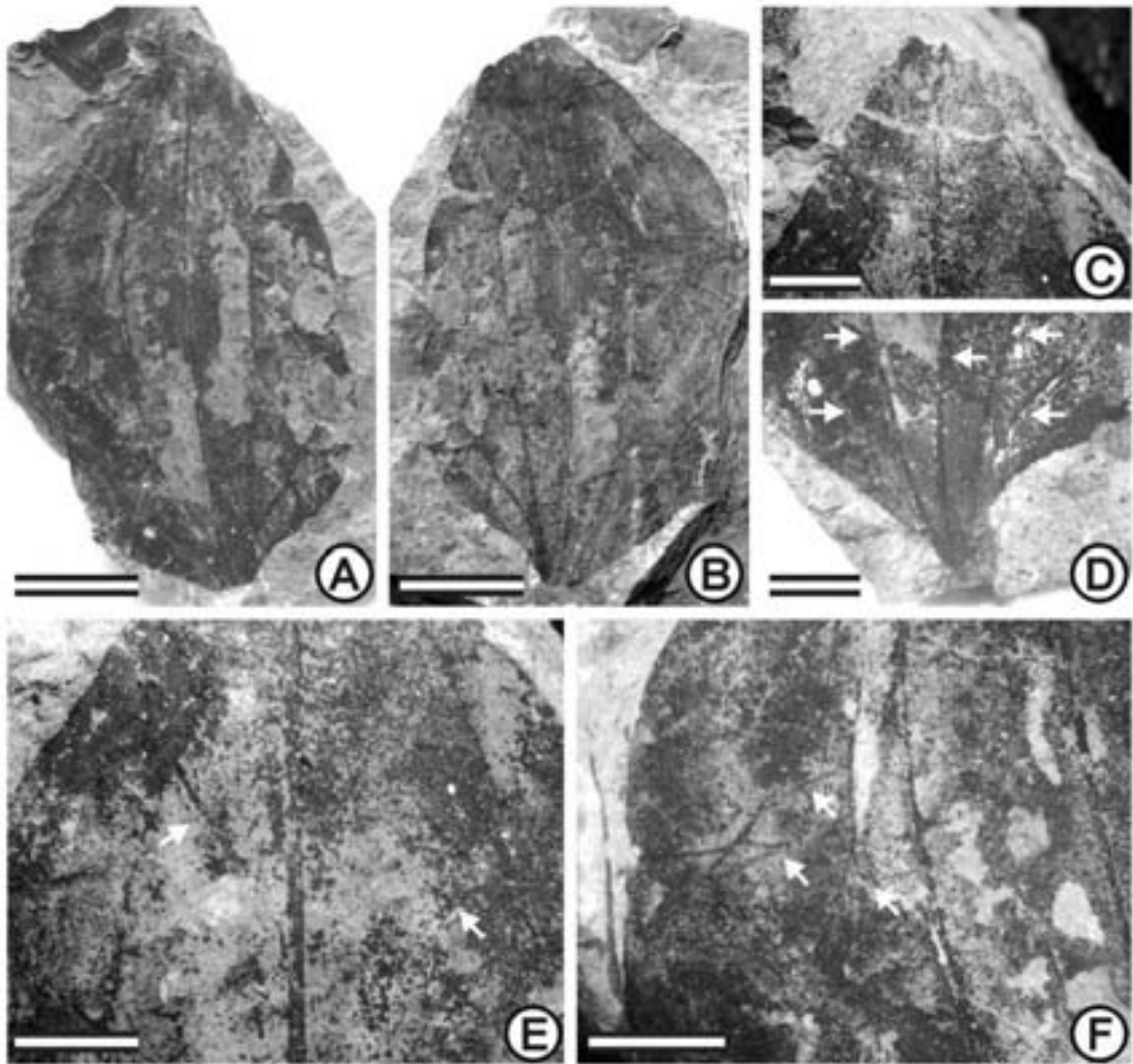




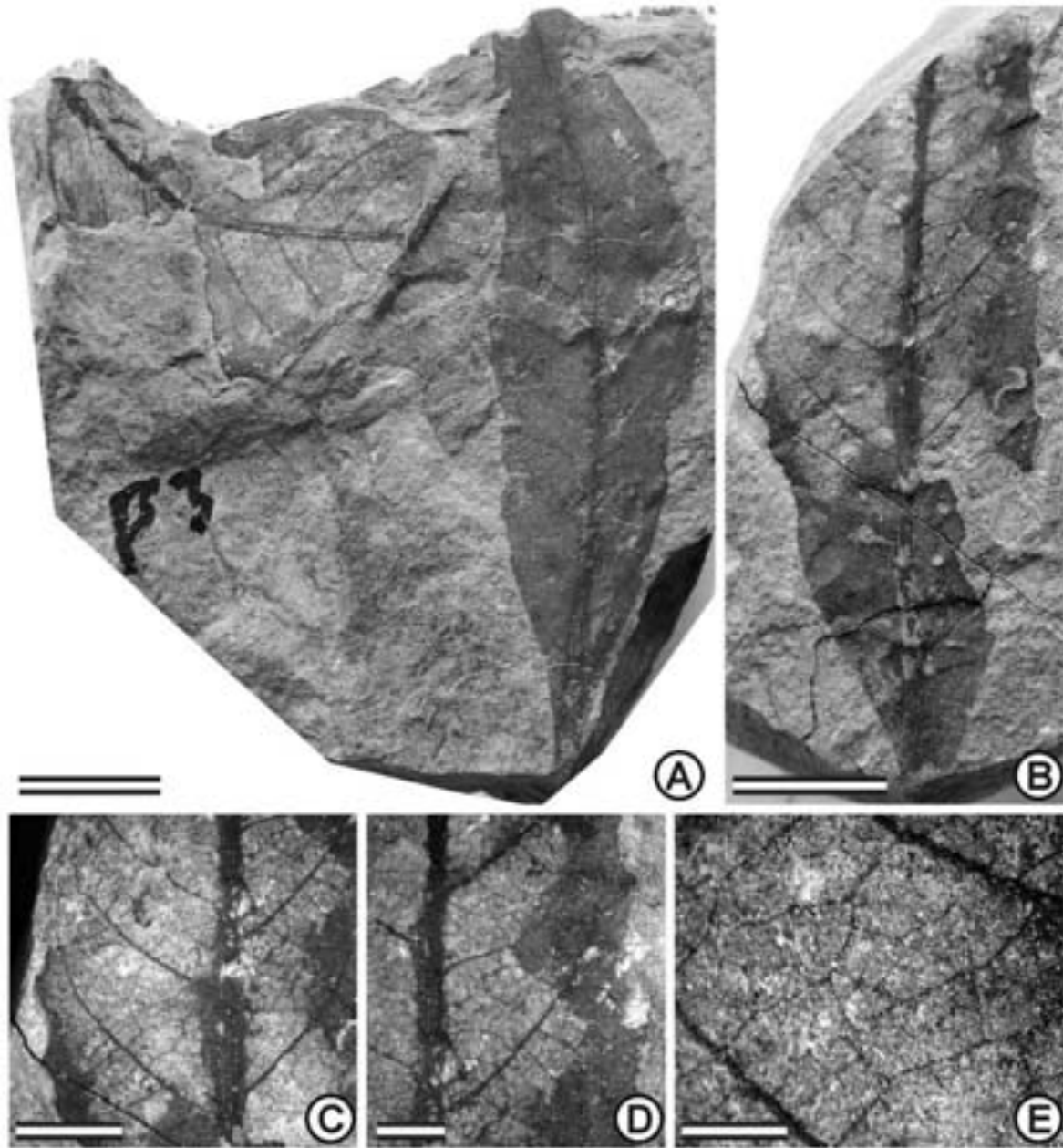
**Figura 1, (A – H).** **A.** Varias hojas encontradas en una lutita en campo (flechas). IGM. Escala = 26.5 cm. **B.** Hoja completa con venación actinódroma. IGM. Escala = 2.5 cm. **C.** Ejemplar completo. IGM. Escala = 3.1 cm. **D.** Vena media que llega al margen y se dicotomiza hacia ambos lados. IGM. Escala = 1.6 cm. **E.** Base de una hoja. IGM. Escala = 0.8 cm. **F.** Venación de segundo orden broquidódroma. IGM. Escala = 2.7 cm. **G.** Ejemplar con venación de segundo y tercer orden. IGM. Escala = 2.8 cm. **H.** Venación de tercer orden alterno percurrente y cuarto orden regular poligonal reticular. IGM. Escala = 0.3 cm.



**Figura 2 (A – C)** **A.** Hoja incompleta, mostrando venación de segundo orden broquidódroma. IGM . Escala = 1 cm. **B.** Margen de la hoja y venación de segundo orden formando un arco de las venas secundarias (flecha). IGM. Escala = 0.5 cm. **C.** Venación de tercer orden alterna percurrente (flechas). IGM . Escala = 0.5 cm.



**Figura 3 (A – F)** **A.** Hoja completa, con venación palmada. IGM . Escala = 1.8 cm. **B.** Contraparte de la misma hoja. IGM . Escala = 1.8 cm. **C.** Ápice de la hoja. IGM . Escala = 0.4 cm. **D.** Cinco venas que parten de la base, las tres centrales se ven mejor desarrolladas que las laterales. IGM. Escala = 0.75 cm. **E.** Venación de segundo orden (flecha). IGM . Escala = 0.85 cm. **F.** Venación de segundo orden (flechas). IGM . Escala = 0.65 cm.



**Figura 4 (A – E)** **A.** Hoja completa con venación pinnada. IGM. Escala = 1.9 cm. **B.** Otro ejemplar. IGM. Escala = 1.4 cm. **C.** Venación de segundo orden broquidódroma y de tercer orden alterna y opuesta percurrente. IGM. Escala = 0.7 cm. **D.** Vena intersecundaria y venación de tercer orden. IGM. Escala = 0.4 cm. **E.** Venación de cuarto orden reticular regular poligonal. IGM. Escala = 0.2 cm.

**Localidad Tajo Block 6 (Minerales Monclova, S.A.), San Juan de Sabinas, municipio de San Juan de Sabinas, Coahuila, México.**

**TIPO 1 (5)**

**Descripción:** Hoja completa peciolada, mesófila tipo II, lámina elíptica – ovada; de 15 cm de largo por 8.2 cm de ancho, la relación largo ancho es 1.5:1 (Fig. 5, A, B); ápice convexo, formando un ángulo obtuso ( $90^\circ$ ), base redonda, formando un ángulo obtuso ( $130^\circ$ ) (Fig. 5, C); margen serrado formado por dientes compuestos con un espaciado irregular entre ellos (Fig. 5, A, B). Los dientes de primer orden tienen forma apical y basal convexa (Fig. 5, A, B, D). Los de segundo orden cóncavo-convexa; la forma del sinus es redondeada con dos dientes por cm, el espacio entre los dientes es irregular, y tienen un ápice simple (Fig. 5, A,B,D). Venación de primer orden pinada, con una vena media gruesa y recta, más ancha hacia la base y adelgazándose hacia el ápice (Fig. 5, A, B); venación de segundo orden broquidódroma, de los arcos pobremente desarrollados, surgen venas que llegan a los dientes, el ángulo que forman éstas es agudo ( $65^\circ$ ) con respecto a la vena media (Fig. 5, E). Venación de tercer orden opuesta percurrente (Fig. 5, F). Venación de cuarto orden reticular poligonal.

**TIPO 2 (6)**

**Orden: Laurales**

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo II, simétrica peciolada, lámina elíptica–ovada; de 13.0 cm de largo por 9.8 cm de ancho; la relación longitud ancho es 1:1 (Fig. 6, A); base de forma cóncavo-convexo, formando un ángulo agudo ( $47^\circ$ ), con un pecíolo largo de 2.6 cm (Fig. 6, A). El ápice de tipo convexo, formando un ángulo obtuso ( $95^\circ$ ), margen entero. Venación de primer orden acródroma, con cinco venas principales que se originan desde la base, las tres venas centrales se aprecian fuertemente desarrolladas en la parte basal y hacia la parte distal se adelgazan, las otras dos venas laterales son más delgadas desde la base (Fig. 6, A, B). Venación de segundo orden cladódroma, el ángulo de las secundarias agudo ( $70^\circ$ ) con espacios irregulares (Fig. 6, C). Venación de tercer orden opuesto percurrente. Venación de cuarto orden reticulado al azar.

### TIPO 3 (7)

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo III, simétrica, lámina elíptica – ovada; de aproximadamente 9.5 cm de largo por 5.3 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 7, A, B); la base no se observa claramente, al parecer es decurrente, formando un ángulo obtuso ( $105^\circ$ ), ápice atenuado, formando un ángulo agudo ( $60^\circ$ ); margen entero (Fig. 7, A, B). Venación de primer orden pinada, la vena media no es recta, probablemente sea por la diagénesis o al proceso de fosilización, hacia la base es más ancha y hacia el ápice se adelgaza. Venación de segundo orden broquidódroma con arcos poco desarrollados, éstas forman un ángulo agudo ( $40^\circ$ ) con respecto a la vena media, el espacio entre ellas es irregular, hacia la zona proximal el ángulo de las venas secundarias cambia a  $20^\circ$ , además son más curvadas hacia la base y hacia el ápice son más rectas. Venación de tercer orden alterno percurrente, con un curso recto (Fig. 7, C, D). Venación de cuarto orden regular poligonal reticulado, formando areolas moderadamente desarrolladas principalmente de cuatro lados. Venación de quinto orden formando por vénulas que se dicotomizan dos veces.

### TIPO 4 (8)

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo III, simétrica, elíptica o palmatilobada, dividida en tres lóbulos; de 5.5 cm de largo por 5.1 cm de ancho, la relación longitud ancho es 1:1 (Fig. 8, A); base cordada, el ángulo de la base ampliamente obtuso ( $270^\circ$ ) (Fig. 8, B), ápice lobado, formando un ángulo obtuso ( $110^\circ$ ) (Fig. 8, A); margen eroso (Fig. 8, A). Venación de primer orden actinódroma, distinguiéndose cinco venas basales (Fig. 8, B). Venación de segundo orden broquidódroma, el ángulo de las venas secundarias agudo ( $50^\circ$ ), el espacio entre ellas es irregular (Fig. 8, C, D), venas intersecundarias bien desarrolladas con un ángulo agudo de  $85^\circ$  a  $87^\circ$  con respecto a la vena media. Venación de tercer orden alterno percurrente (Fig. 8, E, F). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular (Fig. 8, E, F), formando polígonos de cuatro a

cinco lados. Venación de quinto orden formado por vénulas las cuales se ramifican más de una vez.

#### **TIPO 5 (9)**

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila, de forma orbicular o redonda, presencia de un disco bien desarrollado, con un diámetro de la lámina de, aproximadamente 8.3 cm, la relación largo ancho es 1:1 (Fig. 9, A); inserción del pecíolo en la parte central (Fig. 9, B); margen probablemente entero. Venación de primer orden actinódroma radial, distinguiéndose 8 venas bien desarrolladas que parten del centro de la lámina, extendiéndose a lo largo de toda la lámina hacia el margen (Fig. 9, A,B). Venación de segundo orden caspedódroma. Venación de segundo orden alterna percurrente (Fig. 9, C). Venación de tercer orden regular poligonal reticular, formando polígonos de 4 ó 5 lados (Fig. 9, D).

#### **TIPO 6 (10)**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila, simétrica, forma de la lámina elíptica – ovada; de 8.5 cm de largo por 3.9 cm de ancho, la relación largo ancho es 3:1 (Fig. 10, A); base decurrente (recta), formando un ángulo agudo ( $81^\circ$ ) (Fig. 10, B), ápice agudo ( $65^\circ$ ) (Fig. 10, A); margen serrado con puntas bien definidas en cada diente, compuesto por dientes de segundo orden, formado por dientes de diferente tamaño, con tres dientes por cm, el espacio entre ellos es regular, el primer diente de forma recta del lado apical y cóncavo del lado basal y el segundo diente de forma recta del lado apical y recta del lado basal, la forma del sinus es redondeada, el ápice del diente esferulado (Fig. 10, D). Los dientes son enervados por las venas secundarias. Venación de primer orden pinada con la vena media recta (Fig. 10, A, C). Venación de segundo orden caspedódromas, con un ángulo agudo ( $43^\circ$ ) (Fig. 10, A), con espacio irregular. Venas intersecundarias bien desarrolladas. Venación de tercer orden alternas percurrentes, con recorrido sinuoso (Fig. 10, C,E), venación de cuarto orden reticular al azar.

#### **TIPO 7 (11)**

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo III, simétrica, lámina elíptica; de aproximadamente 8.2 cm de largo por 4.0 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 11, A); la base no está completa pero se logra determinar un ángulo agudo ( $62^\circ$ ), ápice atenuado, formando un ángulo agudo ( $55^\circ$ ); margen entero (Fig. 11, A). Venación de primer orden pinada, el recorrido de la vena media no es recto, probablemente sea por la diagénesis (Fig. 11, A,B). Venación de segundo orden caspedódroma, el ángulo de las venas secundarias agudo ( $28^\circ$ ), el espacio entre ellas es regular, midiendo 4 cm de espacio entre ellas (Fig. 11, A, B). Venación de tercer orden reticulada al azar. Venación de cuarto orden regular poligonal reticular, formando pequeñas areolas moderadamente desarrolladas de cuatro lados (Fig. 11, C). Venación de quinto orden formado por pequeñas vénulas no divididas.

#### **TIPO 8 (12)**

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo I, simétrica, lámina elíptica; de 8 cm de largo y 4.9 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 12, A); base compleja, con un ángulo obtuso ( $95^\circ$ ), ápice incompleto pero tiende a ser acuminado formando un ángulo obtuso ( $92^\circ$ ) (Fig. 12, A); margen entero. Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base la vena es más ancha y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 12, A). Venación de segundo orden broquidódroma con arcos poco desarrollados, el ángulo de las venas secundarias agudo ( $40^\circ$ ) (Fig. 12, A). Venación de tercer orden mixta, alternas y opuestas percurrentes (Fig. 12, B,C), con curso recto. Venación de cuarto orden regular poligonal reticular, formando areolas moderadamente desarrolladas de cuatro lados.

#### **TIPO 9 (13)**

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo II, simétrica, lámina elíptica; de 4.5 cm de largo por 3.8 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 13, A); base no se observa, ápice de forma atenuada, formando un ángulo agudo ( $60^\circ$ ); margen crenado (Fig. 13, B), formado por dientes de segundo orden con dos



dientes de diferente tamaño, con tres o cuatro dientes por cm., el primer diente de forma recta del lado apical y cóncavo del lado basal y el segundo diente de forma recta del lado apical y cóncavo del lado basal. Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base la vena es más gruesa y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 13, A). Venación de segundo orden broquidódroma, formando un ángulo agudo ( $40^\circ$ ) (Fig. 13, A). Venación de tercer orden alterna y opuesta percurrente (Fig. 13, C). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular, formando areolas de cuatro lados.

#### **TIPO 10 (14)**

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo III, simétrica, elíptica, de 14.4 cm de largo por 3.2 cm de ancho, la relación largo ancho es 3:1 (Fig. 14, A); la base no se observa, aunque tiende a formar un ángulo agudo ( $63^\circ$ ), ápice acuminado, formando un ángulo agudo ( $30^\circ$ ); margen entero (Fig. 14, A). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, que se engruesa en la base y se adelgaza hacia el ápice (Fig. 14, A,B). Venación de segundo orden broquidódroma, el ángulo de las venas secundarias ( $44^\circ$ ) con un curso de las venas no recto, el espacio entre ellas es irregular con respecto a la vena media, con venas intersecundarias moderadas, algunas venas secundarias se ramifican hacia el margen (Fig. 14, B,C,D). Venación de tercer orden percurrente mixta, opuestas y alternas, con curso sinuoso (Fig. 14, C,D). Venación de cuarto orden reticular al azar muy bien definido (Fig. 14, D,E).

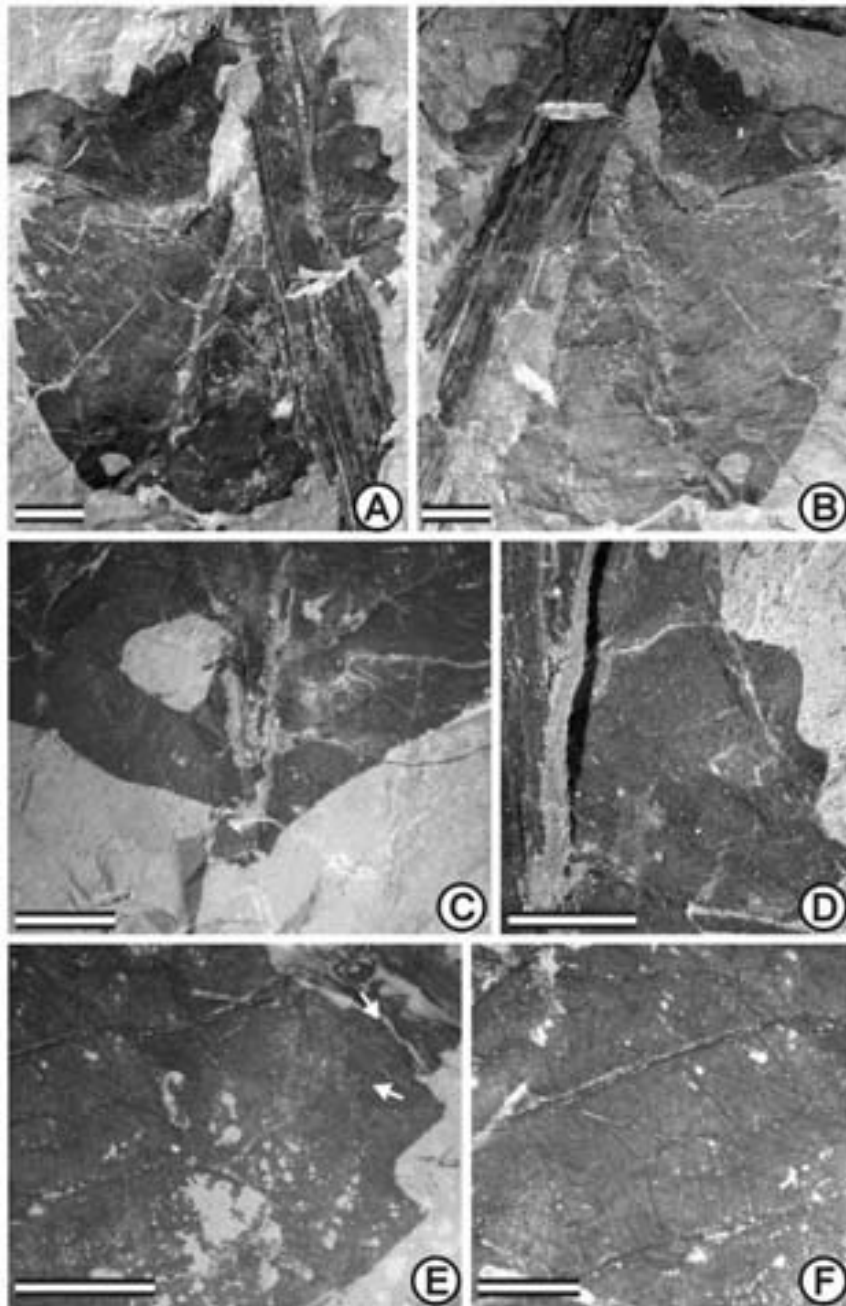
#### **TIPO 11 (15)**

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo I, simétrica, elíptica ancha, de 8.3 cm de largo por 8.2 cm de ancho, la relación largo ancho es 1:5:1 (Fig. 15, A,B); base redonda, con la posición del pecíolo excéntrica peltada (Fig. 15, A,B); ápice emarginado, formando un ángulo obtuso ( $146^\circ$ ) (Fig. 15, A,B); margen entero. Venación de primer orden pinada, vena media recta, que se engruesa en la base y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 15, A). Venación de segundo orden caspedódromas, con cuatro venas basales, todas estas venas secundarias tienen

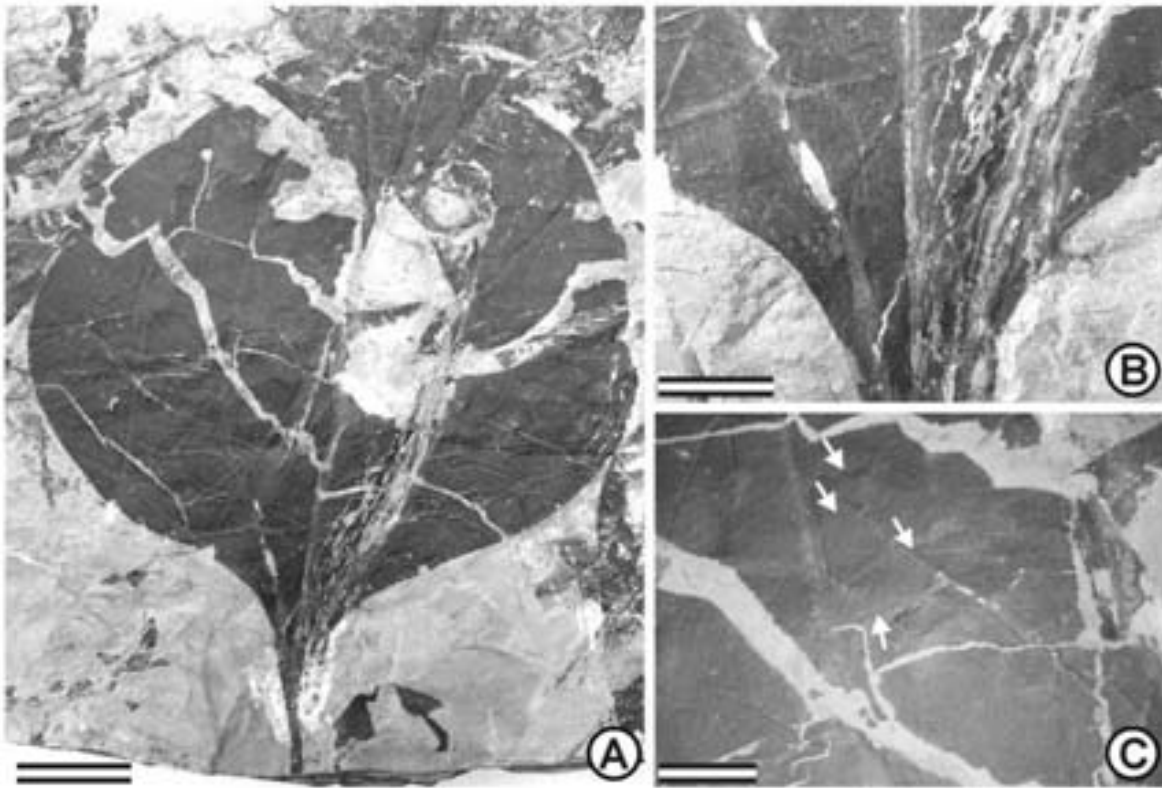
un recorrido no recto, el ángulo de éstas es agudo ( $40^\circ$ ) el espacio entre ellas es irregular con respecto a la vena media (Fig. 15, A,B,C). Venación de tercer orden opuestas percurrentes, éstas llegan hasta el margen, tienen un recorrido sinuoso (Fig. 15, D). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular.

### **TIPO 12 (16)**

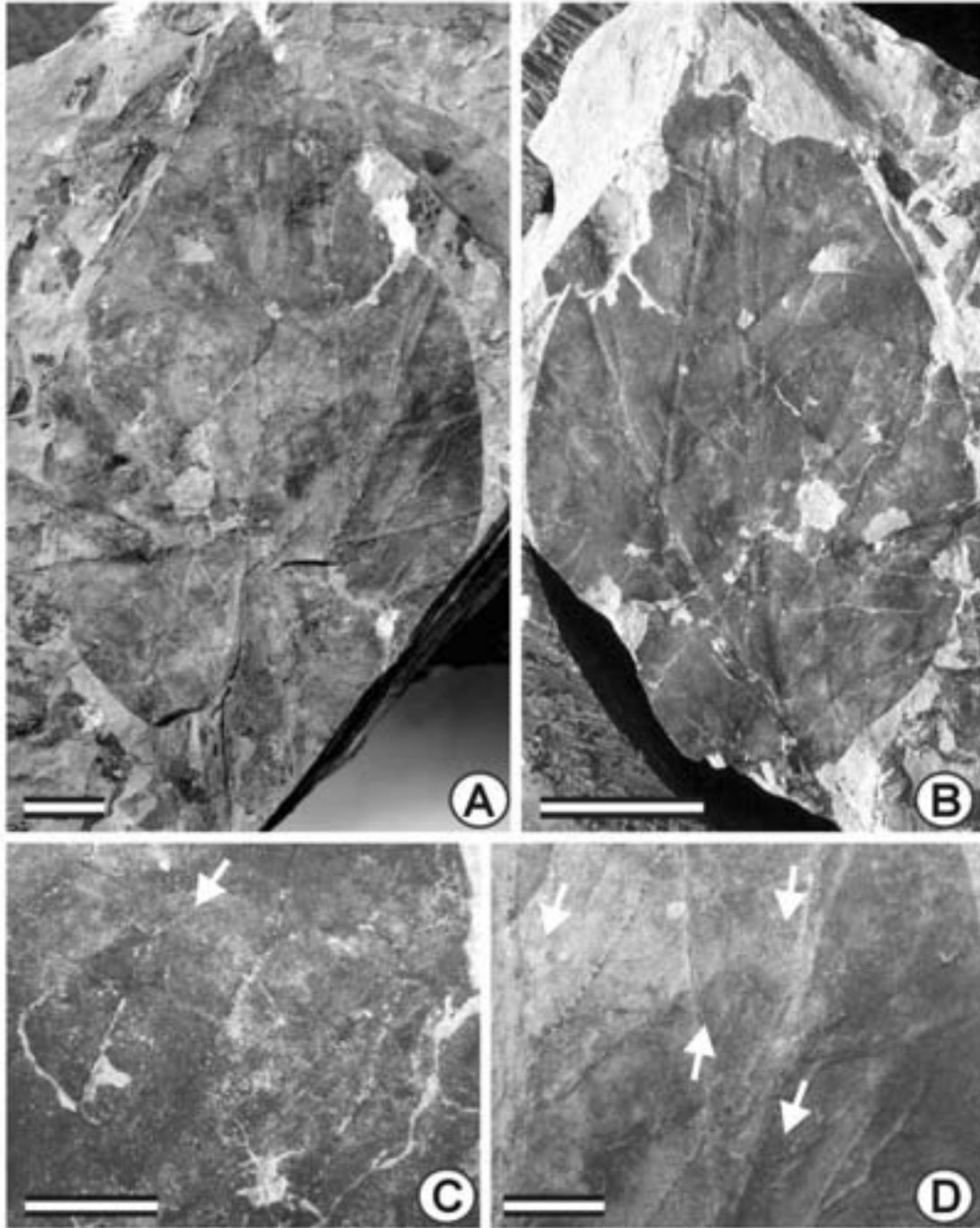
**Descripción:** muestra de roca con 10 hojas, completas e incompletas, micrófila tipo II, simétrica, láminas ovadas; de cm de largo por cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1; base cuneada, formando un ángulo agudo ( $55^\circ$ ) (Fig. 16, C); ápice agudo ( $63^\circ$ ); margen entero (Fig. 16, A, B). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base la vena es más gruesa y hacia el ápice se hace más delgada (Fig, 16, A, B, C, D). Venación de segundo orden broquidódroma, el ángulo de las venas secundarias agudo ( $54^\circ$ ) (Fig. 16, D,E). Presenta venas intersecundarias desarrolladas, algunas son pequeñas y otras ligeramente largas (Fig. 16, B,D,E). Venación de tercer orden reticulado al azar, formando algunas areolas moderadamente desarrolladas de 4 y 5 lados (Fig. 16, E).



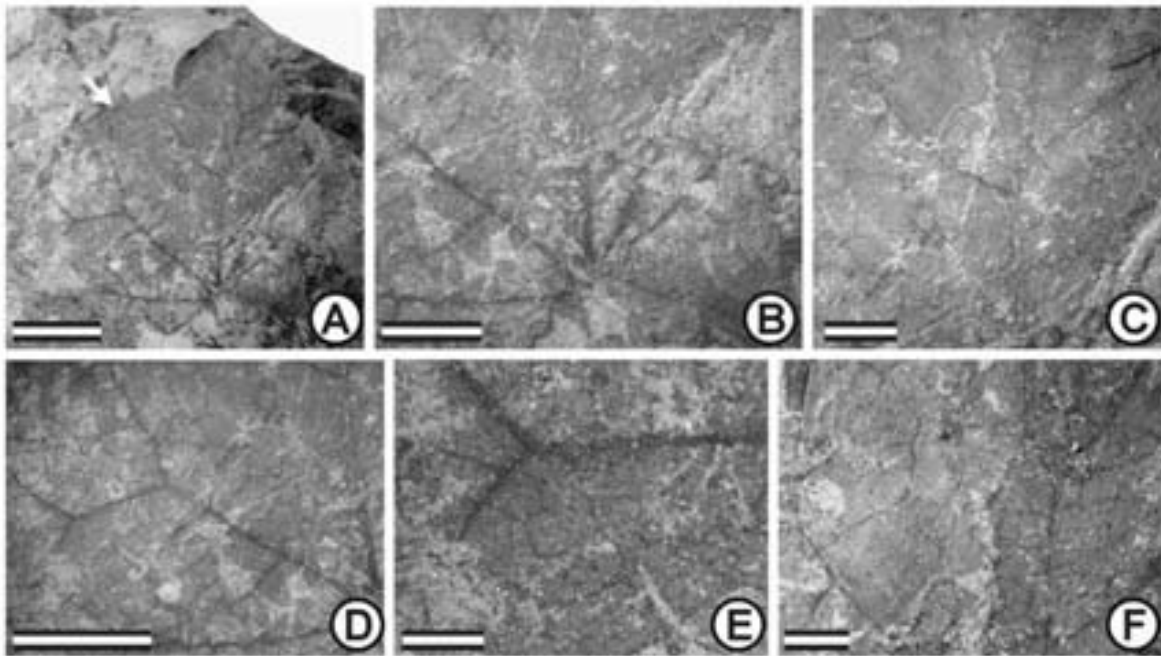
**Figura 5 (A – F)** **A.** Hoja completa con margen serrado. IGM. Escala = 1.4 cm. **B.** Contraparte de la misma hoja. IGM. Escala = 1.4 cm. **C.** Base redonda con un pecíolo incompleto. IGM. Escala = 0.6 cm. **D.** Margen serrado, dientes. IGM. Escala = 0.8 cm. **E.** Venación de segundo orden broquidódroma (arco, flechas). IGM. Escala = 0.5 cm. **F.** Venación de tercer orden opuesta opuesta percurrente. IGM. Escala = 0.3 cm.



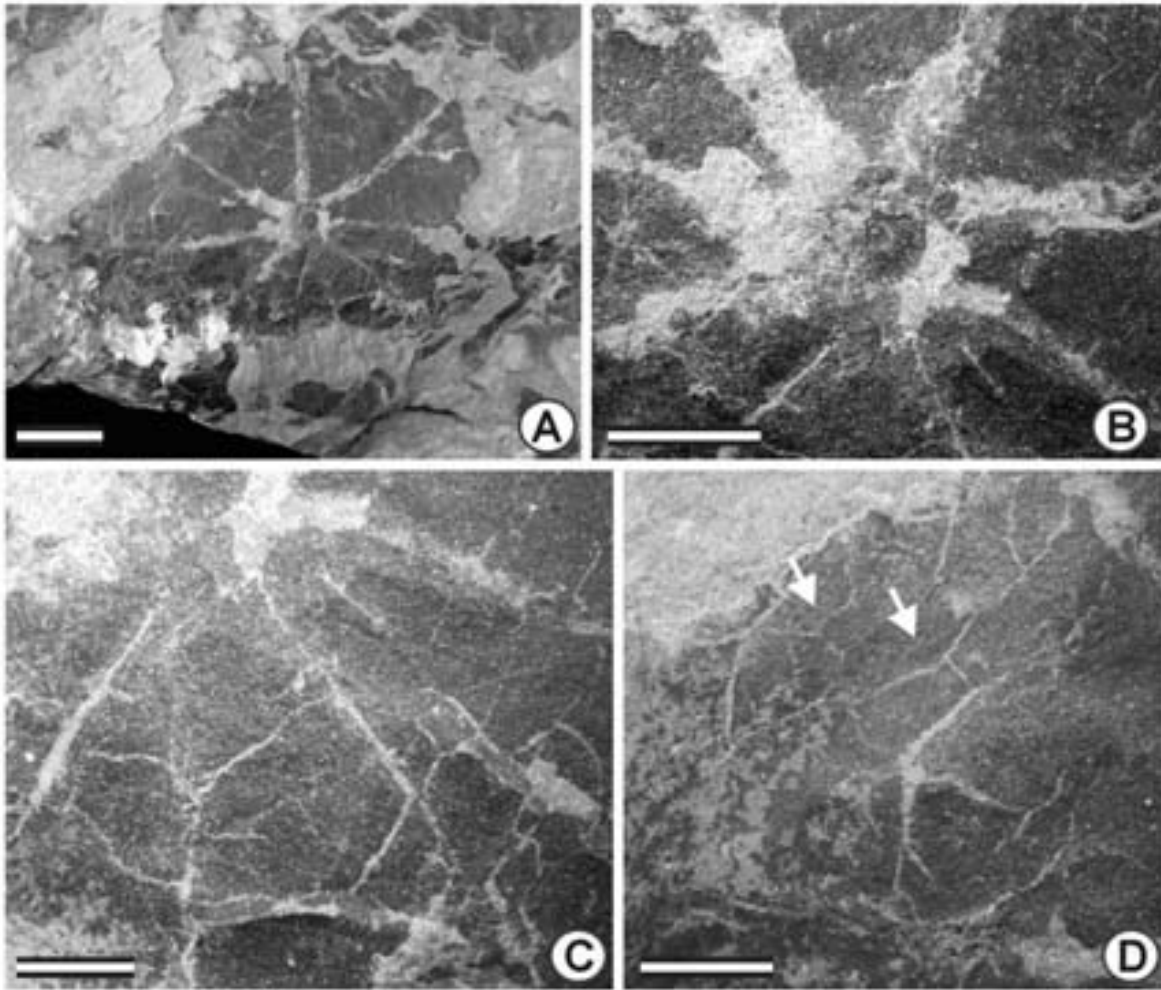
**Figura 6 (A – C).** **A.** Hoja completa de forma eplítica – lobada, con un pecíolo largo. IGM. Escala = 1.8 cm. **B.** Base cóncavo – convexo. IGM. Escala = 0.7 cm. **C.** Venación de segundo orden cladódroma (flechas). IGM. Escala = 0.5 cm.



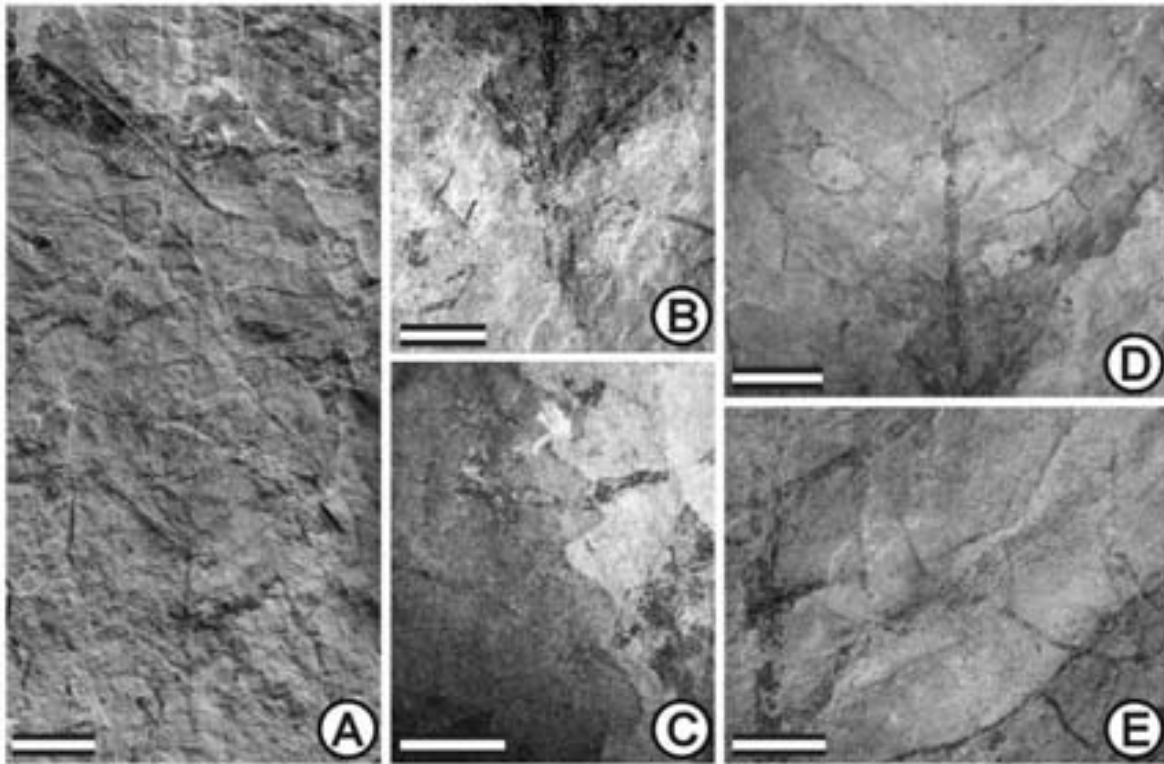
**Figura 7 (A – D).** **A.** Hoja completa con ápice agudo. IGM. Escala = 0.9 cm. **B.** Contraparte de la hoja, se observa hacia la base que el espacio de las venas secundarias se reduce. IGM. Escala = 1.5 cm. **C.** Venas secundarias formando un arco por las venas secundarias. Venación de tercer orden alterno percurrente (flecha). IGM. Escala = 0.5 cm. **D.** Venación de tercer orden alterno percurrentes (flechas). IGM. Escala = 0.45 cm.



**Figura 8 (A – F).** **A.** Hoja elíptica – palmati-lobada, venación de segundo orden broquidódroma (flecha). IGM. Escala = 0.8 cm. **B.** Base con cinco venas principales, formando un patrón actinódromo. IGM. Escala = 0.6 cm. **C.** Venación de segundo orden broquidódroma. IGM. Escala = 0.4 cm. **D.** Venación de segundo orden broquidódroma. IGM. Escala = 0.9 cm. **E.** Venación de tercer alterno percurrente y cuarto orden regular poligonal reticular. IGM. Escala = 0.15 cm. **F.** Venación de tercer alterno percurrente. IGM. Escala = 0.3 cm.

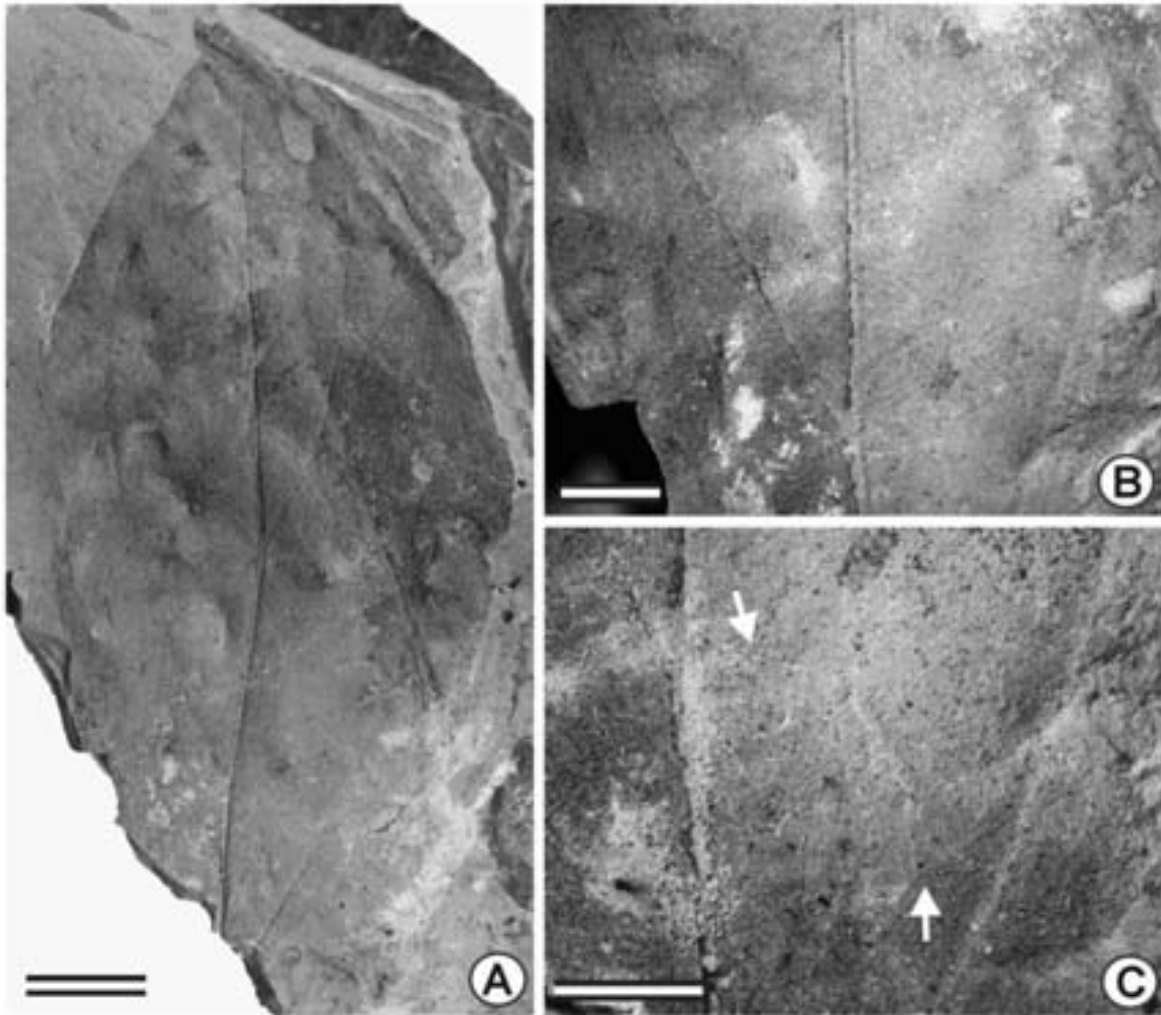


**Figura 9 (A – D).** **A.** Hoja incompleta, con 8 venas que parten del centro al margen. IGM. Escala = 1.3 cm. **B.** Inserción del pecíolo con un disco bien desarrollado. IGM. Escala = 2.8 cm. **C.** Venación de segundo orden al parecer caspedódorma y tercer orden alternas percurrentes IGM. Escala = 0.5 cm. **D.** Venación de tercer orden regular poligonal reticulado, formando polígonos de cuatro lados (flechas). IGM. Escala = 0.4 cm.

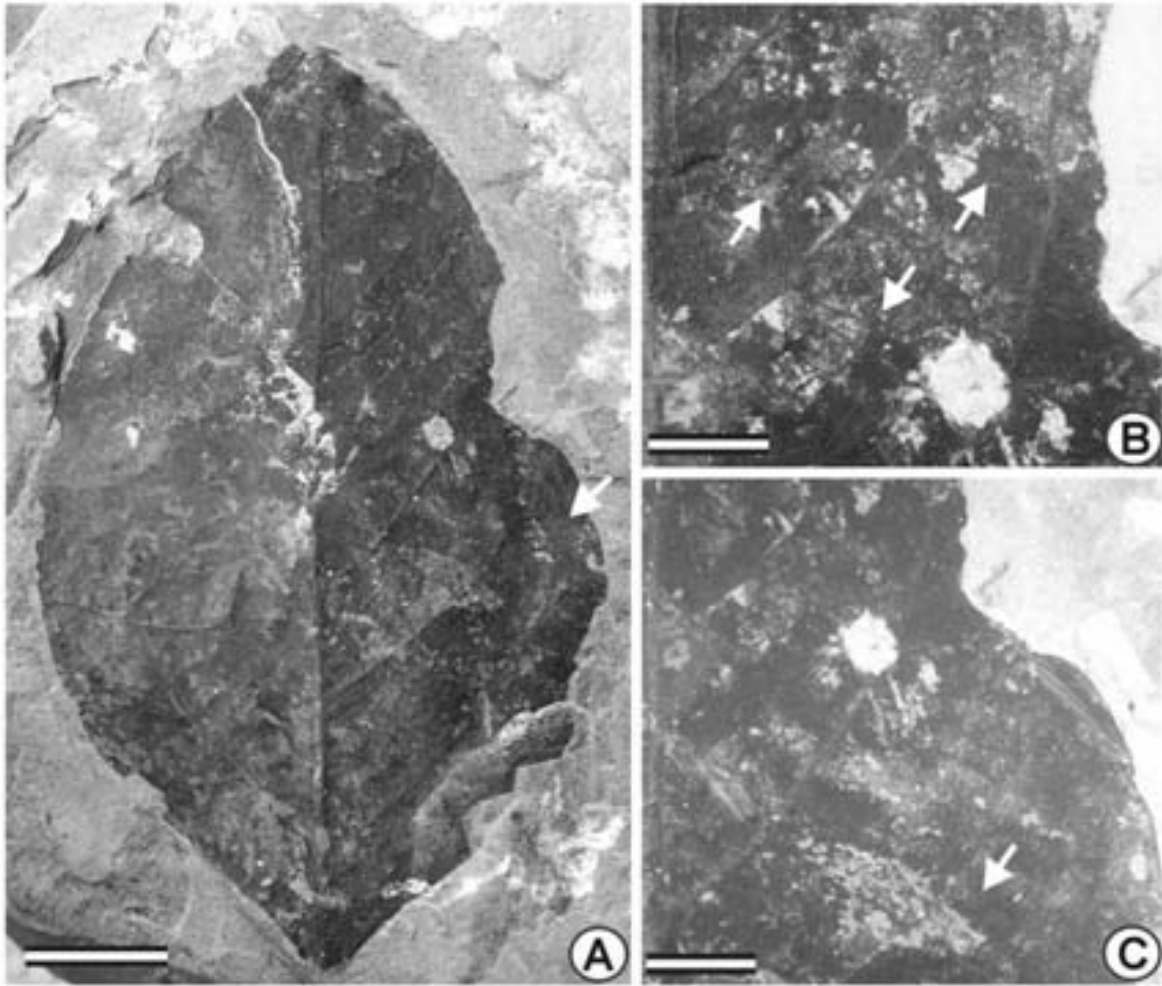


**Figura 10 (A – E).** **A.** Hoja completa de forma elíptica, con margen serrado. IGM. Escala = 1.3 cm. **B.** Base decurrente. IGM. Escala = 0.3 cm. **C.** Dientes. IGM. Escala = 0.3 cm. **D.** Venación de segundo orden craspedódromas y tercer orden alternas percurrentes. IGM. Escala = 0.45 cm. **E.** Vena intersecundaria y venación de tercer orden alterna percurrente. IGM. Escala = 0.2 cm.

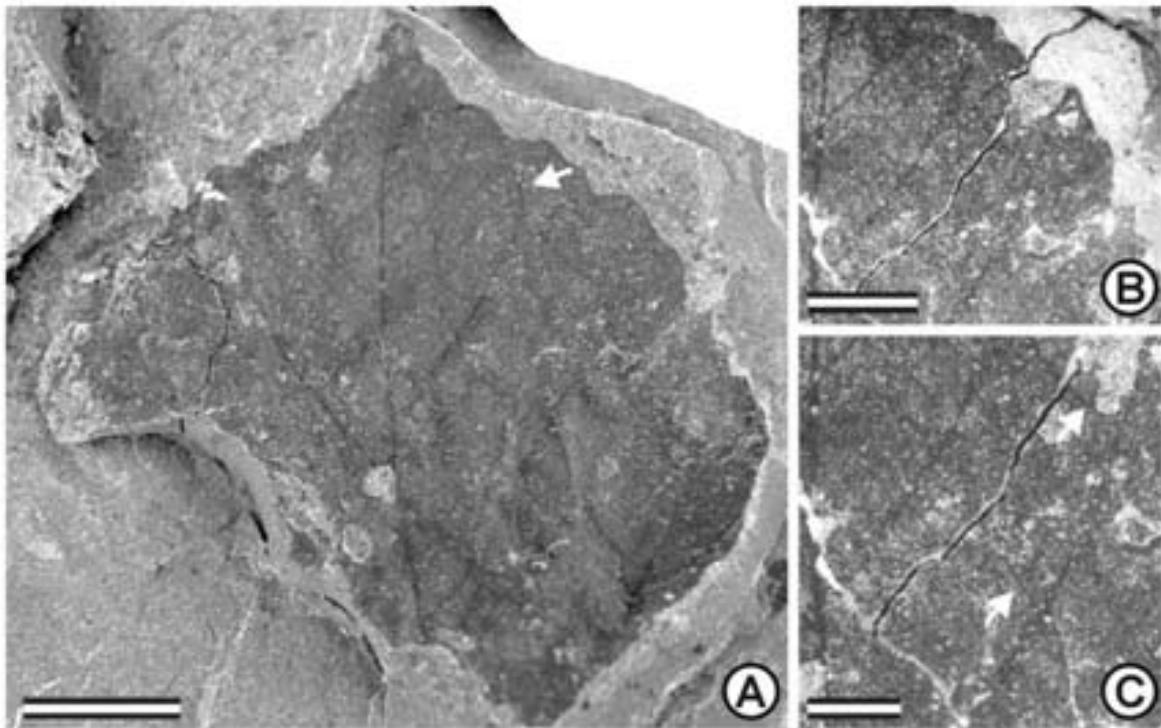




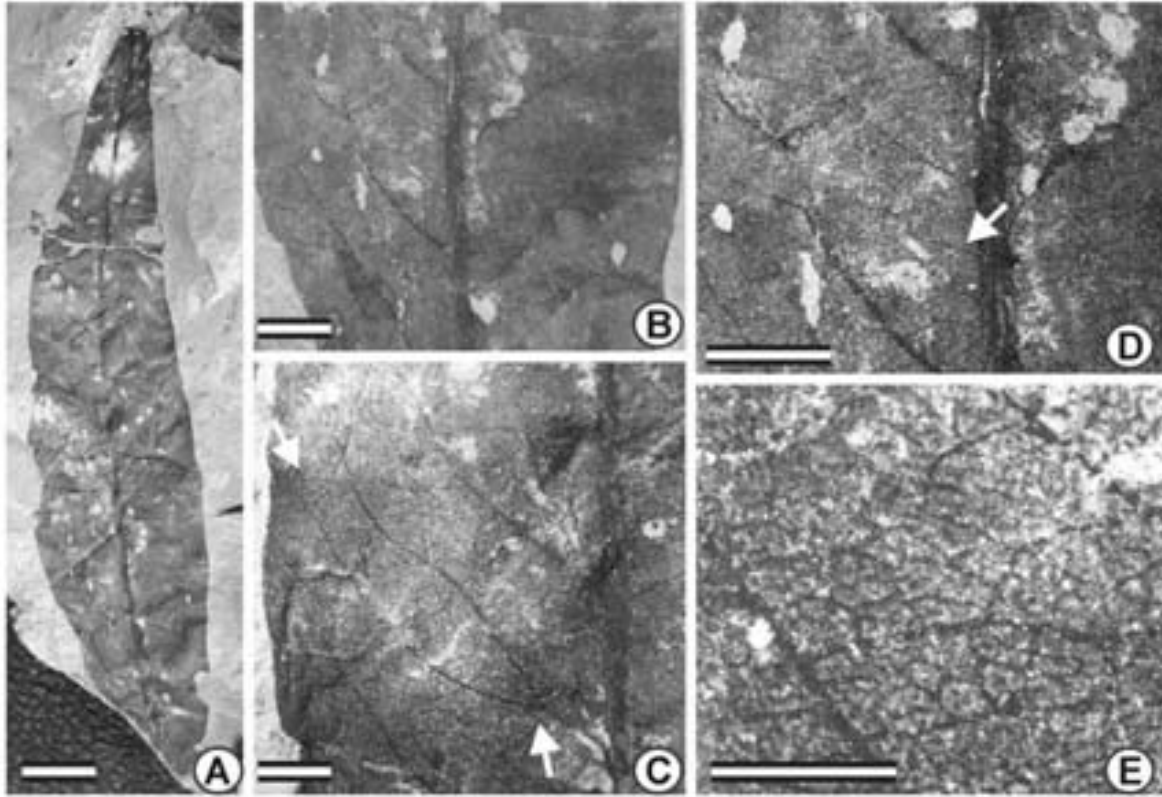
**Figura 11 (A – C).** **A.** Hoja incompleta sin base, con un espacio marcado entre cada vena secundaria. IGM. Escala = 1.0 cm. **B.** Venación de segundo orden caspedódroma. IGM. Escala = 0.35 cm. **C.** Venación de tercer orden reticulado al azar y cuarto orden regular poligonal reticular (flechas). IGM. Escala = 0.30 cm.



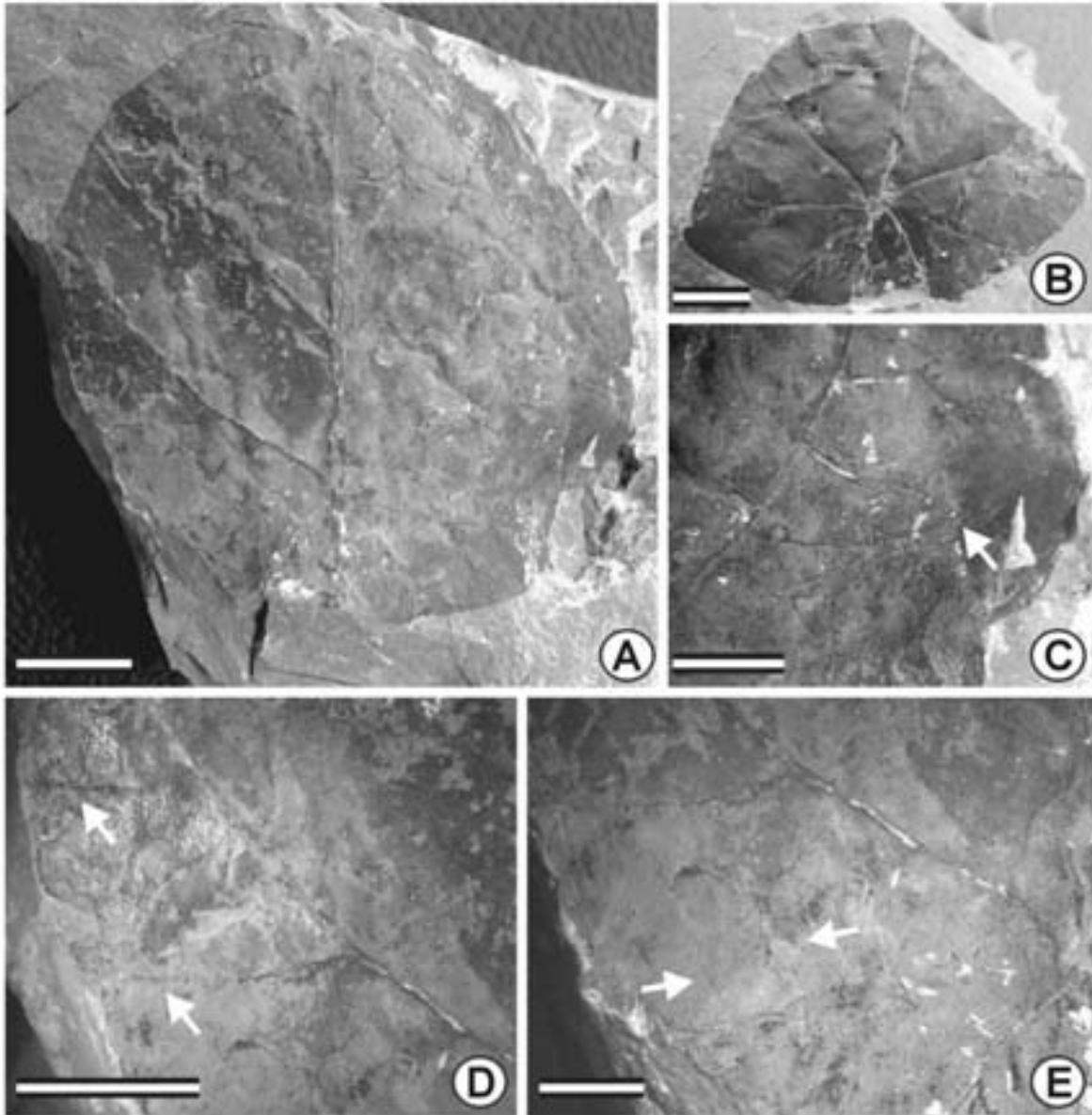
**Figura 12 (A – C ).** **A.** Hoja completa, ápice convexo, se observan los arcos formados por las venas secundarias (flecha). IGM. Escala = 1.1 cm. **B.** Venación de segundo orden broquidódroma y venación de tercer orden alternas percurrentes. IGM. Escala = 0.5 cm. **C.** Venas de segundo y tercer orden (flecha). IGM. Escala = 0.4 cm.



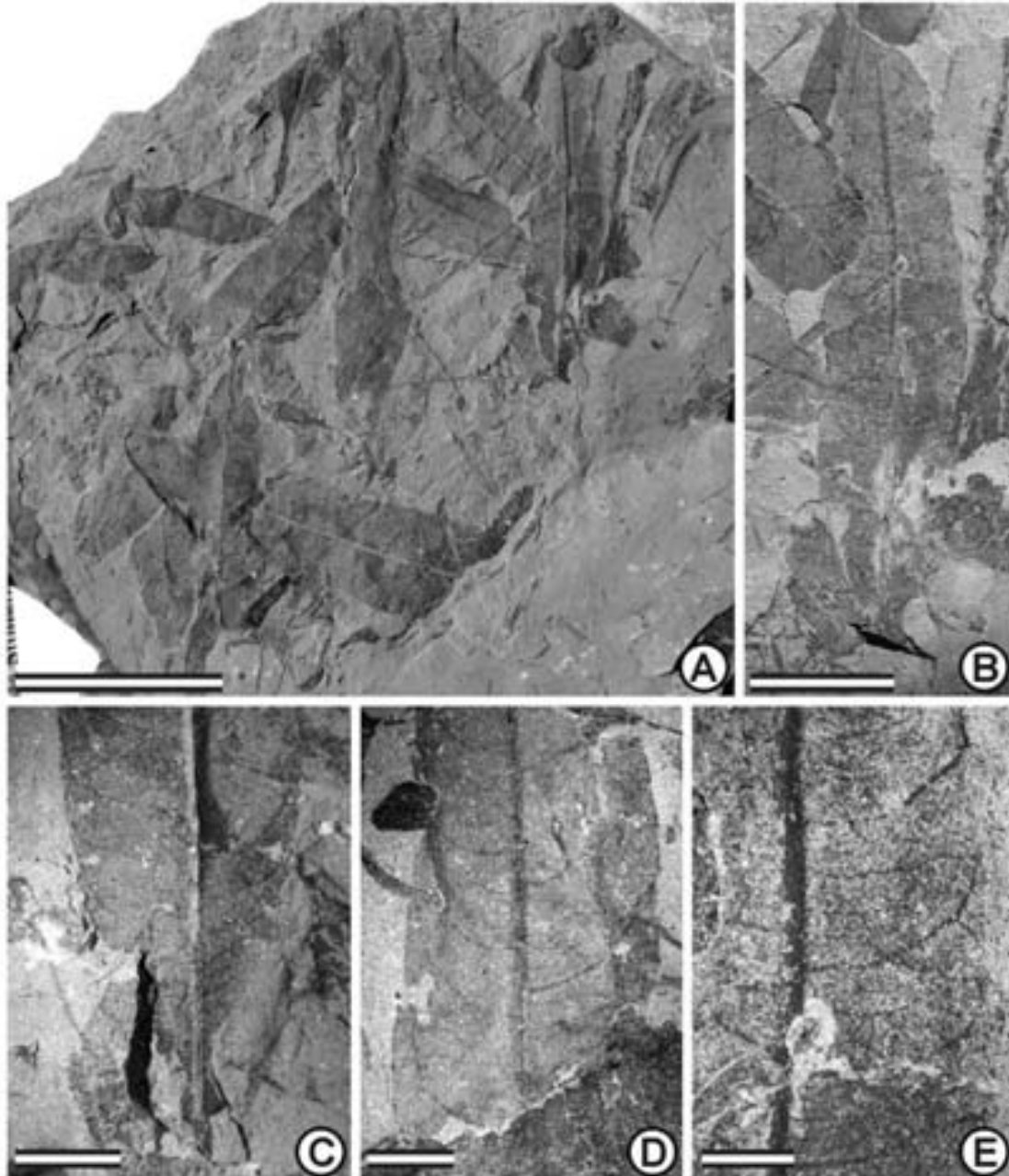
**Figura 13 (A – C).** **A.** Hoja incompleta con ápice agudo, se observa la venación secundaria broquidódroma, un arco (flecha) formado por venas secundarias. IGM . Escala = 0.7 cm. **B.** Venación de segundo y tercer orden alternas y opuestas percurrente. IGM . Escala = 0.45 cm. **C.** Venación de tercer orden alternas y opuestas percurrente (flechas). IGM . Escala = 0.3 cm.



**Figura 14 (A – E).** **A.** Hoja completa, de forma elíptica, con margen entero. IGM. Escala = 1.3 cm. **B.** Venación de primer orden pinada y segundo orden broquidódroma. IGM. Escala = 0.35 cm. **C.** Venación de segundo orden broquidódroma (arco prominente, flecha) y tercer orden percurrente mixta, opuestas y alternas. Algunas venas secundarias se ramifican hacia el margen (flecha). IGM. Escala = 0.20 cm. **D.** Otra zona de la misma hoja mostrando la venación de segundo y tercer orden, y una vena intersecundaria (flecha). IGM. Escala = 0.35 cm. **E.** Venación de cuarto orden reticular al azar, formando polígonos de cuatro a cinco lados. IGM. Escala = 0.15 cm.



**Figura 15 (A – E).** **A.** Hoja completa, de forma elíptica ancha, con margen entero y venación de segundo orden caspedódroma. IGM. Escala = 1.1 cm. **B.** Base redonda, inserción del pecíolo de tipo peltado excéntrico. IGM. Escala = 0.75 cm. **C.** Venación de segundo y tercer orden opuestas percurrentes. Las venas secundarias se dicotomizan hacia el margen (flecha) formando el tercer patrón. IGM. Escala = 0.75 cm. **D.** Otra zona de la misma hoja mostrando la venación de segundo y tercer orden (flechas). IGM. Escala = 1.3 cm. **E.** Venación de cuarto orden, regular poligonal reticular (flechas). IGM. Escala = 0.45 cm.



**Figura 16 (A – E).** **A.** Varias hojas de diferente tamaño con margen entero y venación de primer orden pinada. IGM. Escala = 4.3 cm. **B.** Venación brochidódroma con margen entero, se observan venas intersecundarias. IGM. Escala = 1.5 cm. **C.** Base cuneada (flecha). IGM. Escala = 0.5 cm. **D.** Venación tipo brochidódroma, el espacio de las secundarias es regular. IGM. Escala = 0.45 cm. **E.** Venación brochidódroma, los espacios de las venas son menores en este ejemplar, y venación de tercer orden reticular al azar. IGM. Escala = 0.3 cm.

**Localidad Tajo # 17, Ing. Nerio, Nueva Rosita, municipio de San Juan de Sabinas, Coahuila, México.**

### **TIPO 1 (17)**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo II, lámina trulada, simétrica semisésil (Fig. 17, A); base asimétrica cóncavo-cuneada (Fig. 17, B); de 6.8 cm de longitud por 2.8 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 17, A); ápice atenuado, formando un ángulo agudo ( $40^\circ$ ) (Fig. 17, C); margen serrado, dientes compuestos, con tres o cuatro dientes por lado, el espacio entre cada diente es marcado por una zona cóncava, y el espacio de éstos llega hacer de 0.9 hasta 1.3 cm (Fig. 17 A, D), el ápice del diente es simple, forma del sinous redonda, lado apical del diente convexo y lado basal retroflexo. Venación de primer orden pinnada, la vena media recta, hacia la base es más ancha y hacia el ápice se va adelgazando. Con venas secundarias basilaminar, con un orden de tipo mixto, festonado semicaspedodromo con arcos muy provinentes y caspedódroma simple; el ángulo de las venas secundarias agudo ( $35^\circ$ ), hacia la parte media, una vena secundaria llega hasta el ápice, otras venas secundarias se ramifica y llega hasta el diente, sin formar arcos, hay pequeñas venas intersecundarias moderadamente desarrolladas (Fig. 17, D, E). Venación de tercer orden reticulado al azar (Fig. 17, D, E). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular. Areolación bien desarrollada, de forma y tamaño irregular, con cinco a seis lados. Venulas de quinto orden bien desarrolladas con más de una ramificación (Fig. 17, D, E, F).

### **TIPO 2 (18)**

#### **Orden: Laurales**

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo II, simétrica, lámina elíptica; de 14.3 cm de largo por 5.5 cm de ancho, la relación largo ancho es 1.5:1 (Fig. 18, A); pinnada lobada, dividida en tres lóbulos por lado de forma ovada, alternos entre si, y con distintas dimensiones en largo y ancho, el lóbulo de la parte derecha de la zona inferior de la lámina tiene 1.6 cm y de largo desde la vena media hasta la punta de lóbulo es de 4.1 cm, hacia el ápice el segundo lóbulo es más pequeño y el tercero

lóbulo es de menor tamaño (Fig. 18, A). Los lóbulos que están en la parte izquierda también se van haciendo más pequeños hacia el ápice. Base redonda, formando un ángulo obtuso ( $95^\circ$ ), el ápice de forma redonda, formando un ángulo agudo ( $65^\circ$ ); margen entero (Fig. 18, A). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base es más ancha, adelgazándose hacia el ápice (Fig. 18, A). Venación de segundo orden mixta caspedódroma y broquidódroma; el ángulo de las secundarias agudo ( $40^\circ$ ) (Fig. 18, B, C, D), las venas secundarias que llegan al lóbulo se encuentran bien desarrolladas y marcadas, el recorrido de éstas no es recto (Fig. 18, A, B, C, D, E). Venación de tercer orden alternas percurrentes al azar, divergiendo en ángulo recto con respecto a la vena media. Venación de cuarto orden regular poligonal reticulado (Fig. 18, F, G). Venación de quinto orden, formado por pequeñas vénulas, que se dicotomizan 2 veces (Fig. 18, F, G). Vena fimbrial presente.

### **TIPO 3 (19)**

#### **Orden: Laurales**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo II, simétrica, lámina elíptica; de 4.5 cm de largo por 3.3 cm de ancho, la relación largo ancho es 1.5:1 (Fig. 19, A); base cuneada, formando un ángulo agudo ( $80^\circ$ ) (Fig. 19, B); ápice convexo, formando un ángulo agudo ( $82^\circ$ ); margen entero (Fig. 19, A). Venación de primer orden pinnada, con vena media recta, hacia la base la vena es más ancha y hacia el ápice se va adelgazando (Fig. 19, A). Venas secundarias delgadas o poco desarrolladas, broquidódroma, el ángulo de las venas secundarias agudo ( $57^\circ$ ) (Fig. 19, C), con pequeñas venas intersecundarias de moderada a débilmente desarrolladas, el espacio entre ellas es irregular. Un par de venas basales decurrentes con ramificación externa (Fig. 19, D). Venación de tercer orden irregular (Fig. 19, E, F). Venación de cuarto altamente variable, ramificándose forma un retículo, con áreas elongadas a isodiamétricas (Fig. 19, E, F). Venación de quinto orden formado por vénulas que pueden ramificarse una o más veces (Fig. 19, E, F).



#### **TIPO 4 (20)**

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo II, simétrica, lámina elíptica; de 5 cm de largo por 4.2 cm de ancho, la relación largo ancho es 1:1 (Fig. 20, A); base cóncavo-convexo, formando un ángulo obtuso ( $122^\circ$ ) (Fig. 20, A); ápice convexo, formando un ángulo obtuso ( $120^\circ$ ); margen serrado, formado por dientes de primer orden, el sinus entre los dientes es redondeado; con 3 dientes por centímetro, el espacio entre los dientes es regular. El ápice de los dientes es simple pero en algunos dientes se observa una pequeña glándula; la forma del diente es lado apical recto y lado basal convexo (Fig. 20, A). Venación de primer orden palmada, con tres venas bien desarrolladas, decurrentes hacia la base, hacia la zona proximal son más anchas y hacia la parte distal se van adelgazando (Fig. 20, A). Venación de segundo orden broquidódroma con arcos adicionales con respecto al primer arco, el ángulo de las venas secundarias agudo ( $40^\circ$ ), el espacio entre ellas es irregular con respecto a la vena media (Fig. B, C). Venación de tercer orden reticular al azar (Fig. 20, A, B). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular con areolas de cinco y seis lados (Fig. 20, B, C, D).

#### **TIPO 5 (21)**

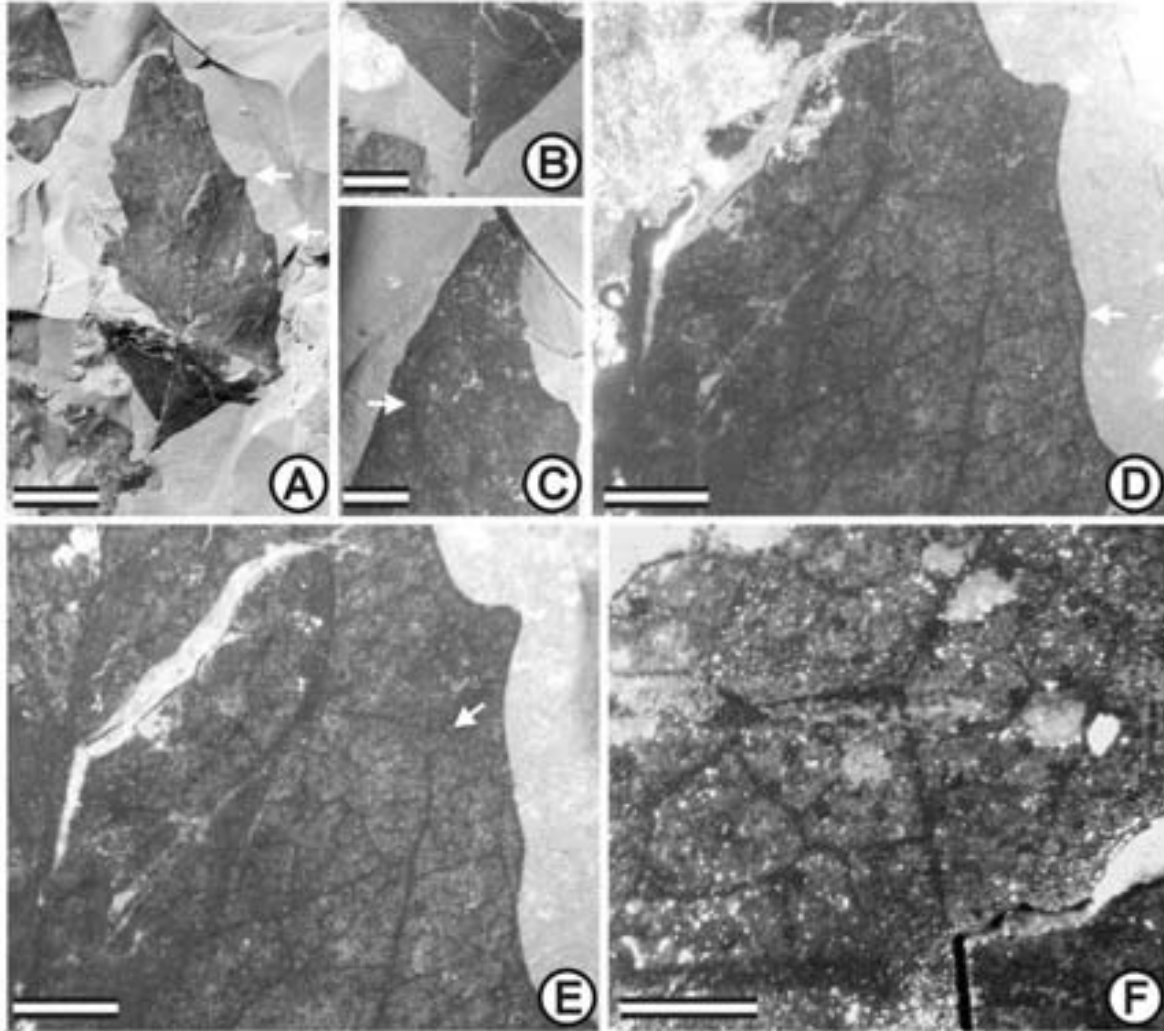
##### **Orden: Laurales**

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo I, ligeramente asimétrica, lámina elíptica y dividida en dos lóbulos; de 11.5 cm de largo por 5.8 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 21, A); base cuneada-cuneada (recta), pero decurrente sobre el pecíolo, formando un ángulo agudo ( $30^\circ$ ) (Fig. 21, B); ápice posiblemente recto; margen entero, incluye dos lóbulos por lado, los lóbulos proximales terminan en forma redonda y los lóbulos distales en forma aguda (Fig. 21, A). Venación de primer orden pinado, la vena media es más ancha en la base y hacia la parte distal se van adelgazando (Fig. 21, C). Venación de segundo orden mixta, caspedódroma y broquidódromo, el ángulo que forman las venas secundarias es agudo ( $40^\circ$ ) (Fig. 21, D, E, F). Venación de tercer orden reticulado al azar (Fig. 21, D, E, F). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular,

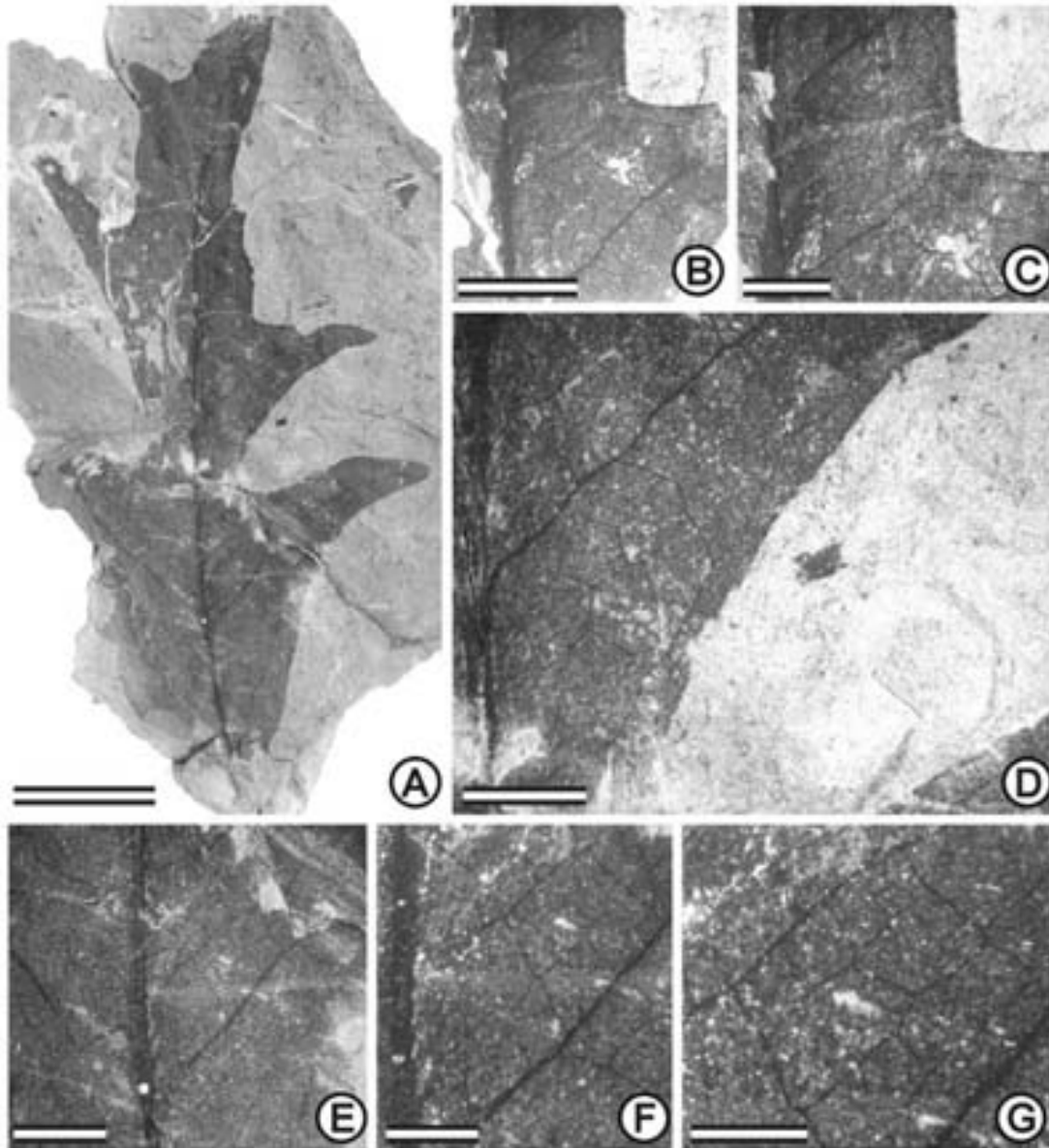
formando polígonos de cuatro, cinco y seis lados (Fig. 21, G). Venación de quinto orden formado por venulas que se dicotomizan una y dos veces (Fig. 21, G).

### **TIPO 6 (22)**

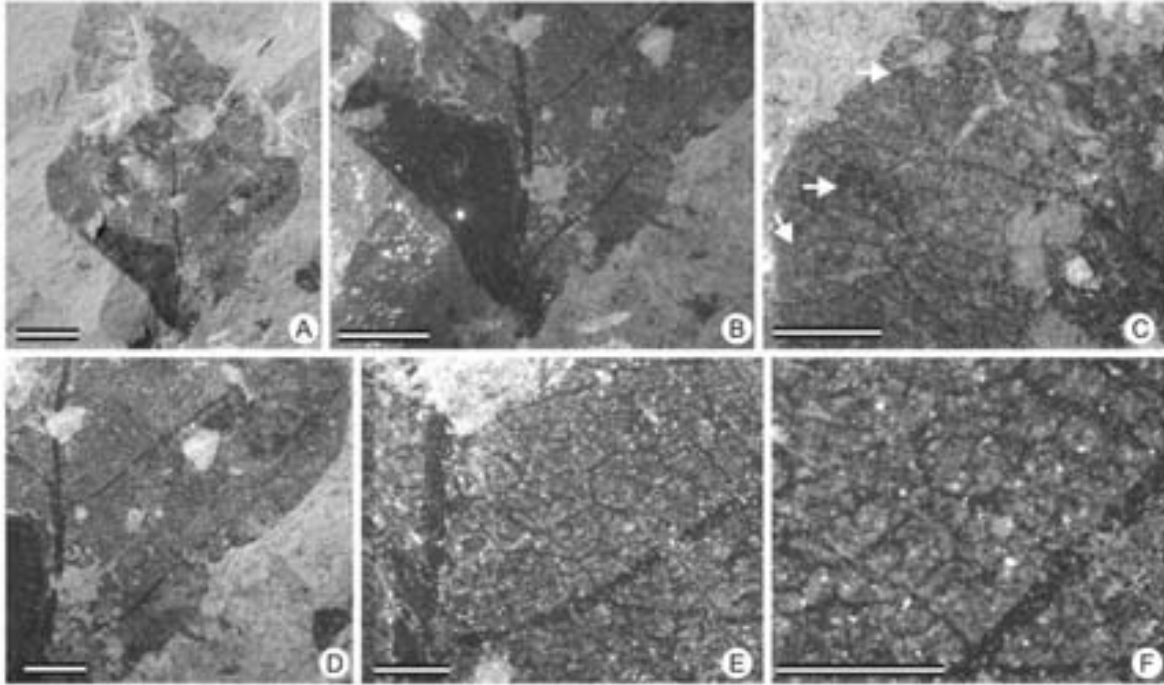
**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo II, simétrica, lámina ovada; de 4.7 cm de largo por 2.6 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 22, A); base incompleta al parecer tiende a ser convexa, el ángulo de la base agudo ( $45^\circ$ ), ápice incompleto, el ángulo del ápice obtuso ( $90^\circ$ ); margen entero. Venación de primer orden pinada, con la vena media no recta, hacia la base la vena es más ancha y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 22, A, B). Venación de segundo orden broquidódroma festonada, éstas forman un ángulo agudo ( $40^\circ$ ) con respecto a la vena media (Fig. 22, B, C, D, E). Venación de tercer orden reticular al azar, algunas divergiendo en ángulo recto con respecto a la vena primaria (Fig. 22, B, C, D, E). Venación de cuarto orden formando polígonos de cuatro o cinco lados, con areolas bien desarrolladas (Fig. 22, C,D,F). Venación de quinto orden formado por venulas no divididas, otras se dicotomizan una vez y dos veces.



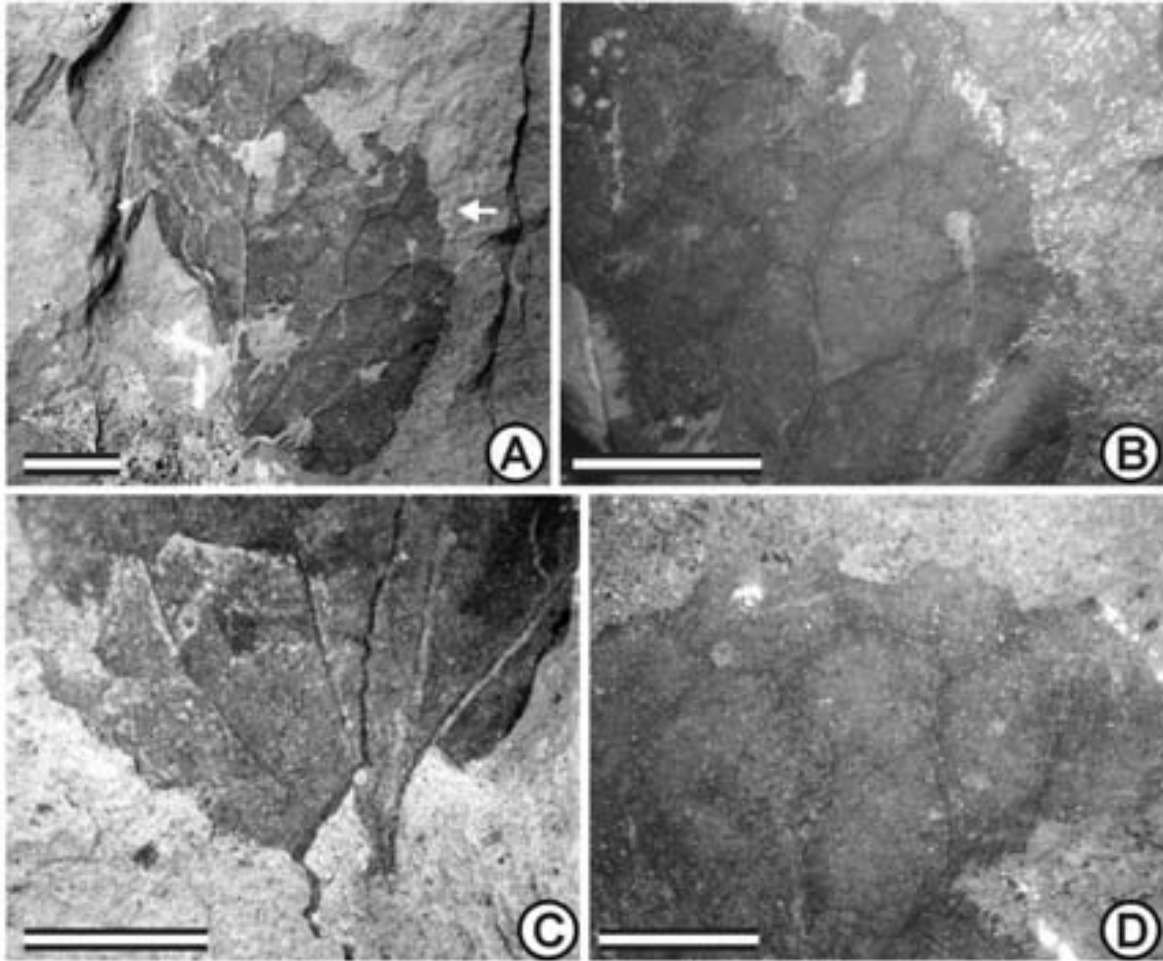
**Figura 17 (A – F).** **A.** Hoja completa con margen serrado (flechas). IGM . Escala = 1.6 cm. **B.** Base asimétrica cóncavo-cuneada. IGM . Escala = 0.4 cm. **C.** Ápice agudo (flecha). IGM. Escala = 0.2 cm. **D.** Venación de segundo orden mixta, brochidódroma y caspedódroma y tercer orden reticular al azar. IGM . Escala = 0.2 cm. **E.** Acercamiento del segundo, tercer y cuarto orden de venación. IGM . Escala = 0.2 cm. **F.** Venación de quinto orden formado por vénulas. IGM . Escala = 0.15 cm.



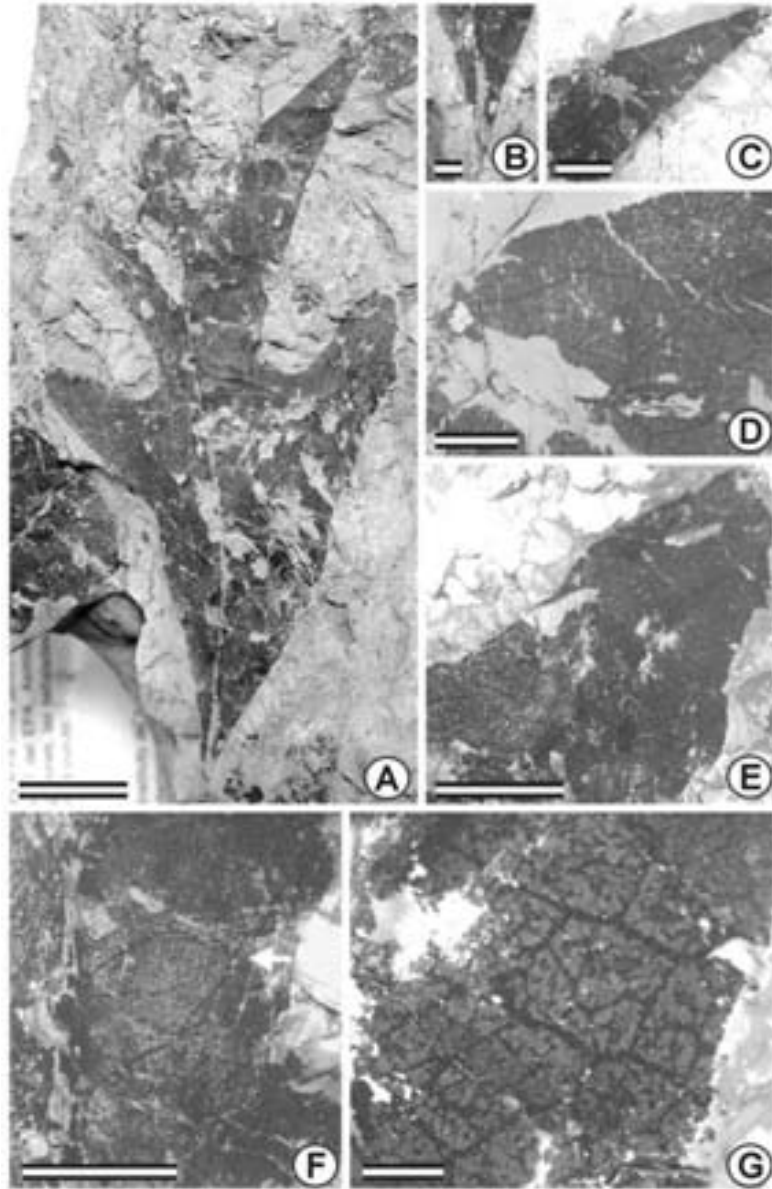
**Figura 18 (A – G).** **A.** Hoja completa con la lámina lobada. IGM . Escala = 2.5 cm. **B.** Venas secundarias formando arcos. IGM. Escala = 0.8 cm. **C.** Acercamiento de un arco formado por las venas secundarias, se observa la venación de tercer orden alternas percurrentes al azar. IGM . Escala = 0.35 cm. **D.** Venación de segundo y tercer orden en un lóbulo. IGM . Escala = 0.5 cm. **E.** Venación de segundo y tercer orden, la vena media es gruesa con respecto a las demás. IGM . Escala = 0.5 cm. **F.** Venación de tercer orden alternas percurrentes al azar y cuarto orden regular poligonal reticular. IGM . Escala = 0.3 cm. **G.** Venación de cuarto orden. IGM . Escala = 0.3 cm.



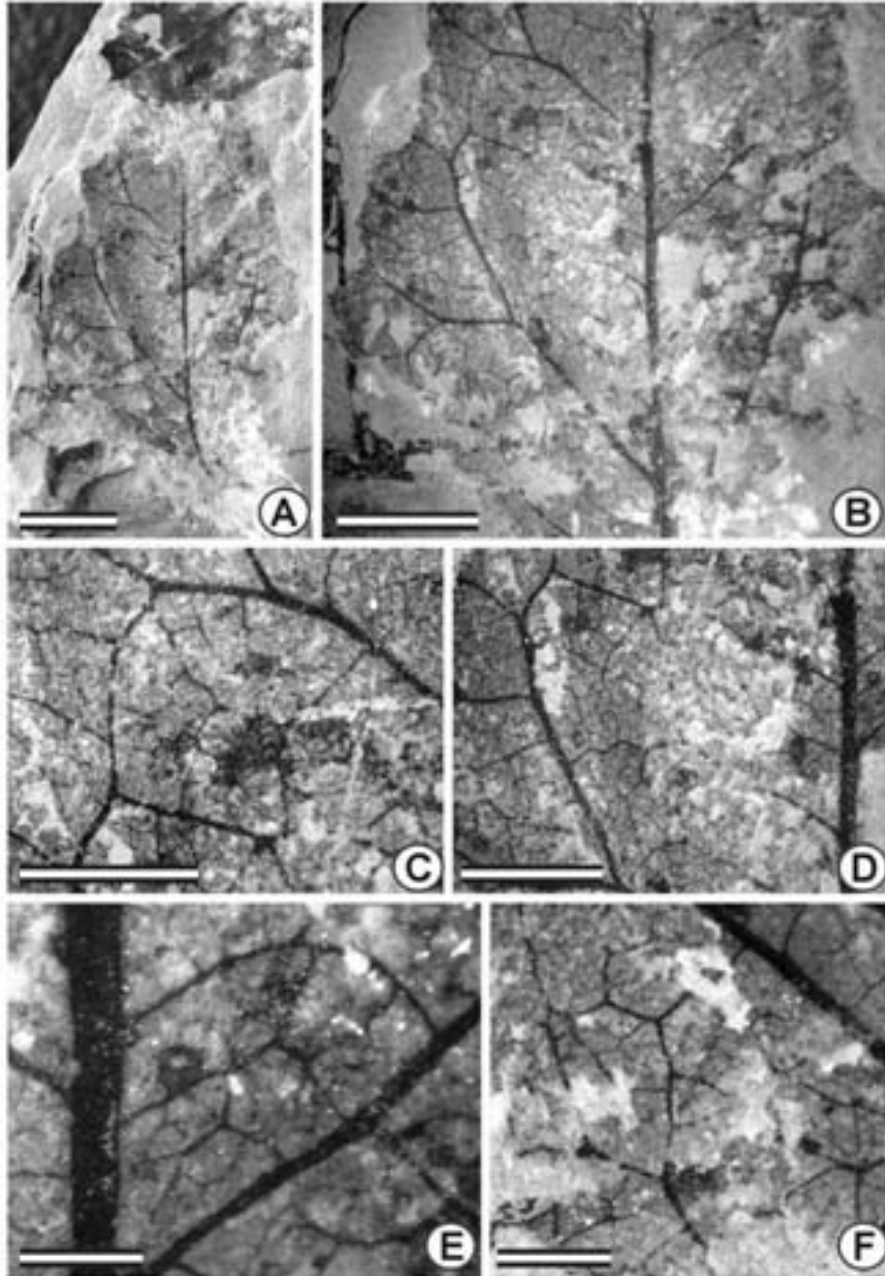
**Figura 19 (A – F).** **A.** Hoja completa con la lámina elíptica. IGM . Escala = 0.8 cm. **B.** Base compleja. IGM . Escala = 0.6 cm. **C.** Arcos formados por las venas secundarias (flechas). IGM . Escala = 0.3 cm. **D.** Venación de segundo orden broquidódroma y tercer orden regular poligonal reticulado. IGM. Escala = 0.3 cm. **E.** Venación de tercer y cuarto orden regular poligonal reticulado. IGM . Escala = 0.1 cm. **F.** Venación de quinto orden regular poligonal. IGM. Escala = 0.1 cm.



**Figura 20 (A – D).** **A.** Hoja de forma elíptica con margen dentado (flecha). IGM . Escala = 1.0 cm. **B.** Venación de segundo orden broquidódroma. Margen dentado. IGM . Escala = 0.9 cm. **C.** Base cóncavo-convexo. IGM . Escala = 0.6 cm. **D.** Venación que llega al margen de la lámina. IGM . Escala = 0.4 cm.



**Figura 21 (A – G).** Hoja elíptica, con dos lóbulos en cada costado. IGM. Escala = 1.6 cm. **B.** Base cuneada–cuneada (recta). IGM. Escala = 0.35 cm. **C.** Lóbulo derecho de la parte distal, termina en forma aguda. IGM. Escala = 0.65 cm. **D.** Lóbulo derecho de la parte distal con la venación de tercer orden reticulado al azar, cuarto orden regular poligonal reticular y quinto orden formado por vénulas. IGM. Escala = 0.20 cm. **E.** Lóbulo derecho de la parte proximal, con venación de segundo, tercer y cuarto orden. IGM. Escala = 0.50 cm. **F.** Vena media y vena secundaria formando un arco. IGM. Escala = 0.75 cm. **G.** Vénulas que corresponden a la venación de quinto orden. IGM. Escala = 0.09 cm.



**Figura 22 (A – F).** **A.** Hoja con margen entero, venación secundaria broquidódroma. IGM. Escala = 0.9 cm. **B.** Venación de segundo orden formando arcos muy bien marcados. IGM. Escala = 0.6 cm. **C.** Venación de tercer orden alterno al azar y cuarto orden formando polígonos. IGM. Escala = 0.25 cm. **D.** Venación de tercer y cuarto orden. IGM. Escala = 0.35 cm. **E.** venación de tercer y cuarto orden. IGM. Escala = 0.1 cm. **F.** Venación de cuarto y quinto orden formado por venulas. IGM. Escala = 0.15 cm.



**Localidad Tajo El Nogalito, 6 Km al norte de Múzquiz, municipio de Melchor Muzquiz, Coahuila, México.**

### **TIPO 1 (23)**

**Descripción:** Hoja incompleta, micrófila tipo III, simétrica, elíptica, de 10 cm de largo por 7.2 cm de ancho, la relación largo ancho es 1.5:1 (Fig. 23, A); la base y ápice no se observan, pero se puede inferir que forma un ángulo agudo ( $77^\circ$ ); margen crenado (Fig. 23, A). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, que se engruesa en la base y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 23, A,B). Venación de segundo orden cladódroma, el ángulo que forman las secundarias es agudo ( $37^\circ$ ), éstas se ramifican hacia al margen, son rectas, el espacio entre ellas es uniforme, con venas intersecundarias moderadamente desarrolladas (Fig. 23, A,B,C,D). Venación de tercer orden percurrente mixta, es decir, opuestas y alternas, con curso sinuoso (Fig. 23, C,D). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular, formando areolas moderadamente desarrolladas de cuatro a cinco lados (Fig. 23, E). Venación de quinto orden formado por pequeñas vénulas no ramificadas (Fig. 23, E).

### **TIPO 2 (24)**

#### **Orden: Laurales**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo III, simétrica peciolada, lámina redonda elíptica (Fig. 24, A); de 8.3 cm de largo por 6.0 cm de ancho; la relación largo ancho es 1:1; base ampliamente redonda, formando un ángulo obtuso ( $170^\circ$ ), pecíolo largo (2.3 cm) (Fig. 24, A); ápice redondo; margen entero. Venación de primer orden palmada, con tres venas principales que se originan desde la base, éstas son más anchas en la parte basal, y tienen espesor de 1 mm, hacia la parte distal se adelgaza. Laterales primarias divergen de diferentes niveles de la lamina, una lateral primaria diverge desde el pecíolo, formando un orden acródromo, con un ángulo de ca.  $80^\circ$  en la base, recorriendo hacia el ápice (Fig. 24, A,B). Venación de segundo orden broquidódroma, con arcos poco desarrollados, el ángulo de éstas es agudo ( $50^\circ$ ) (Fig. 24, A,E). Venación de tercer orden percurrente,

cercanamente espaciadas (enclosing elongate regions) (Fig. 24, D,E). Venación de cuarto orden reticular al azar con presencia de vénulas no divididas y moderadamente desarrolladas. Vena fimbrial presente.

### **TIPO 3 (25)**

**Orden: Laurales**

**Genero: cf. *Pandemophyllum***

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo III, simétrica, lámina ovada; de 4.6 cm de largo por 2.1 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 25, A); base cuneada, formando un ángulo agudo (70°) (Fig. 25, B), ápice atenuado, formando un ángulo agudo (26°); margen entero (Fig. 25, A). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base la vena es más gruesa y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 25, A). Venación de segundo orden broquidódroma, con arcos poco desarrollados, el ángulo de las venas secundarias agudo (70°) (Fig. 25, C). Como ordenes de venación mayor se observa un retículo al azar, aunque es difícil determinar si corresponde a la venación de tercer o cuarto orden.

### **TIPO 4 (26)**

**Orden: Laurales**

**Familia: Lauraceae**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo III, simétrica, ovada; de 10.1 cm de largo por 3.0 cm de ancho, la relación largo ancho es 3:1 (Fig. 26, A); base convexa, formando un ángulo agudo (73°) (Fig. 26, B), ápice atenuado, formando un ángulo agudo (38°); margen entero (Fig. 26, A). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base la vena es más gruesa y hacia el ápice se delgadaza. Venación basilaminar, de segundo orden con cuatro pares de venas eucamptódromas, el ángulo de las secundarias agudo (30°) (Fig. 26, A,C), hacia la base están fuertemente curvadas. Venación de tercer orden se observaron ligeramente percurrentes, con un curso recto. Venación de cuarto orden reticulado al azar (Fig. 26, C).

### **TIPO 5 (27)**

**Descripción:** Hoja incompleta, macrófila, simétrica con forma elíptica, de 22.5 cm de largo, el largo es mayor, pero no está completa 14.7 cm de ancho, la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 27, A); la base y el ápice no se observan; margen eroso muy irregular (Fig. 27, A). Venación de primer orden pinada, con la vena media recta, hacia la base la vena es más gruesa y hacia el ápice se hace más delgada (Fig. 27, A). Venación de segundo orden cladódroma, el ángulo de las secundarias agudo ( $36^\circ$ ), las secundarias se ramifican en forma recta hacia al margen, sin llegar hasta el mismo, el espacio entre ellas es uniforme, no se observan venas intersecundarias (Fig. 27, B). Venación de tercer orden alterno percurrente (Fig. 27, C). Venación de cuarto orden reticular al azar. Venación de quinto orden formado por areolas moderadamente desarrolladas.

### **TIPO 6 (28)**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo III, simétrica, lámina elíptica ancha; de 3.9 cm de largo por 6.5 cm de ancho; la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 28, A,B); base ligeramente cordada-truncada, la inserción del pecíolo excéntrico peltado (Fig. 28, C); ápice redondo, formando un ángulo obtuso ( $130^\circ$ ) (Fig. 30, A,B); margen eroso (Fig. 28, A,B). Venación de primer orden actinódroma, con cinco venas principales que parten de la base, siendo más anchas hacia la base las tres venas centrales, y delgadas hacia la parte distal (Fig. 28, B,C). Venación de segundo orden festonado broquidódroma, y forman un ángulo agudo ( $55^\circ$ ) (Fig. 28, D,E). Venación de tercer orden regular poligonal reticulado. Venación de cuarto orden regular poligonal reticulado (Fig. 28, D,E). Venación de quinto orden formado por vénulas que se dicotomizan más de una vez, otras no llegan a dicotomizar.

### **TIPO 9 (29)**

**Orden:** Laurales

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo II, lámina simétrica de forma ovada; de 9.3 cm de largo por 1.5 cm de ancho; la relación largo ancho es 3:1 (Fig. 29, A); base cuneada a decurrente hacia el peciolo con tejido en forma de alas, el ángulo de la base agudo ( $52^\circ$ ) (Fig. 29, B); ápice recto, formando un ángulo agudo ( $33^\circ$ ); margen entero (Fig. 29, A). Venación de primer orden pinada, la vena media es recta, y más ancha hacia la base, y hacia la parte distal se adelgaza (Fig. 29, A,D). Venación de segundo orden broquidódroma, hacia la base de forma basilaminar, formando un ángulo de las secundarias de agudo ( $53^\circ$ ), con un espaciamiento y ángulo con respecto a la vena media uniforme (Fig. 29, C, D). Venación de tercer orden, reticulada al azar (Fig. 29, C,D). Venación de cuarto orden, regular reticular poligonal, presencia de areolas bien desarrolladas formando polígonos de tres, cuatro y cinco lados. Venación de quinto orden dicotomizándose dos o más veces formando las vénulas bien desarrolladas (Fig. 29, D,E).

#### **TIPO 10 (30)**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo II, asimétrica, lámina elíptica; de 4.7 cm de largo por 2.2 cm de ancho; la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 30, A); base truncada–convexa, peciolo de 3 mm de longitud, formando un pulvino no dividido (Fig. 30, A,B); el ápice convexo, el ángulo del ápice agudo ( $75^\circ$ ) (Fig. 30, A); margen crenado, formado por dientes de primer orden, el sinus entre los dientes es angular; el espacio entre los dientes es regular. El ápice de los dientes es simple; lado apical recto y convexo del lado basal (Fig. 30, C). Los dientes se distribuyen a lo largo del margen de una manera irregular, por ejemplo, del lado izquierdo de la lámina, los dientes se distribuyen de la parte media de la lámina hasta el ápice y del lado derecho por todo margen. Venación de primer orden pinada, la vena media bien definida aunque no sigue un curso recto, hacia la base es más gruesa, adelgazándose hacia el ápice. Venación de segundo orden broquidódroma, formando un ángulo agudo ( $52^\circ$ ) con respecto a la vena media, arcos poco desarrollados. Venación de tercer orden reticular al azar (Fig. 30, A,D).

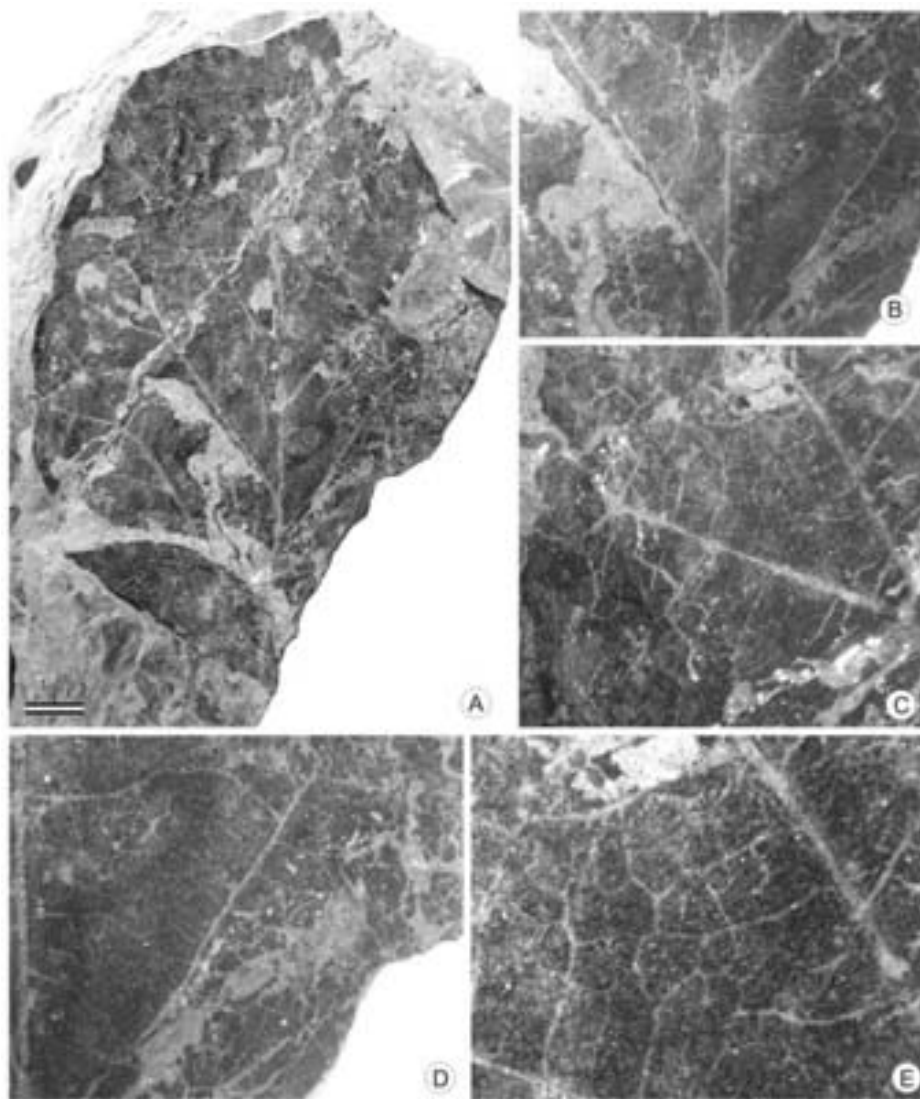
#### **TIPO 11 (31)**

**Descripción:** Hoja completa, micrófila tipo II, simétrica, lámina ovada; de 10.6 cm de largo por 5.9 cm de la parte más ancha; la relación largo ancho es 2:1 (Fig. 31, A); base convexa, formando un ángulo obtuso ( $130^\circ$ ), pecíolo con 0.7 mm de largo (Fig. 31, B); el ápice incompleto, formando un ángulo agudo ( $74^\circ$ ) (Fig. 31, A); margen entero. Venación de primer orden pinada con la vena media recta y muy bien definida, hacia la base es más gruesa, adelgazándose hacia el ápice (Fig. 31, A,C). Venación de segundo orden broquidódroma, el ángulo de las secundarias agudo ( $46^\circ$ ), formando arcos pocos desarrollados (Fig. 31, A,D). Ordenes de venación mayor forman un retículo al azar, aunque es difícil determinar si corresponde a la venación de tercer o cuarto orden.

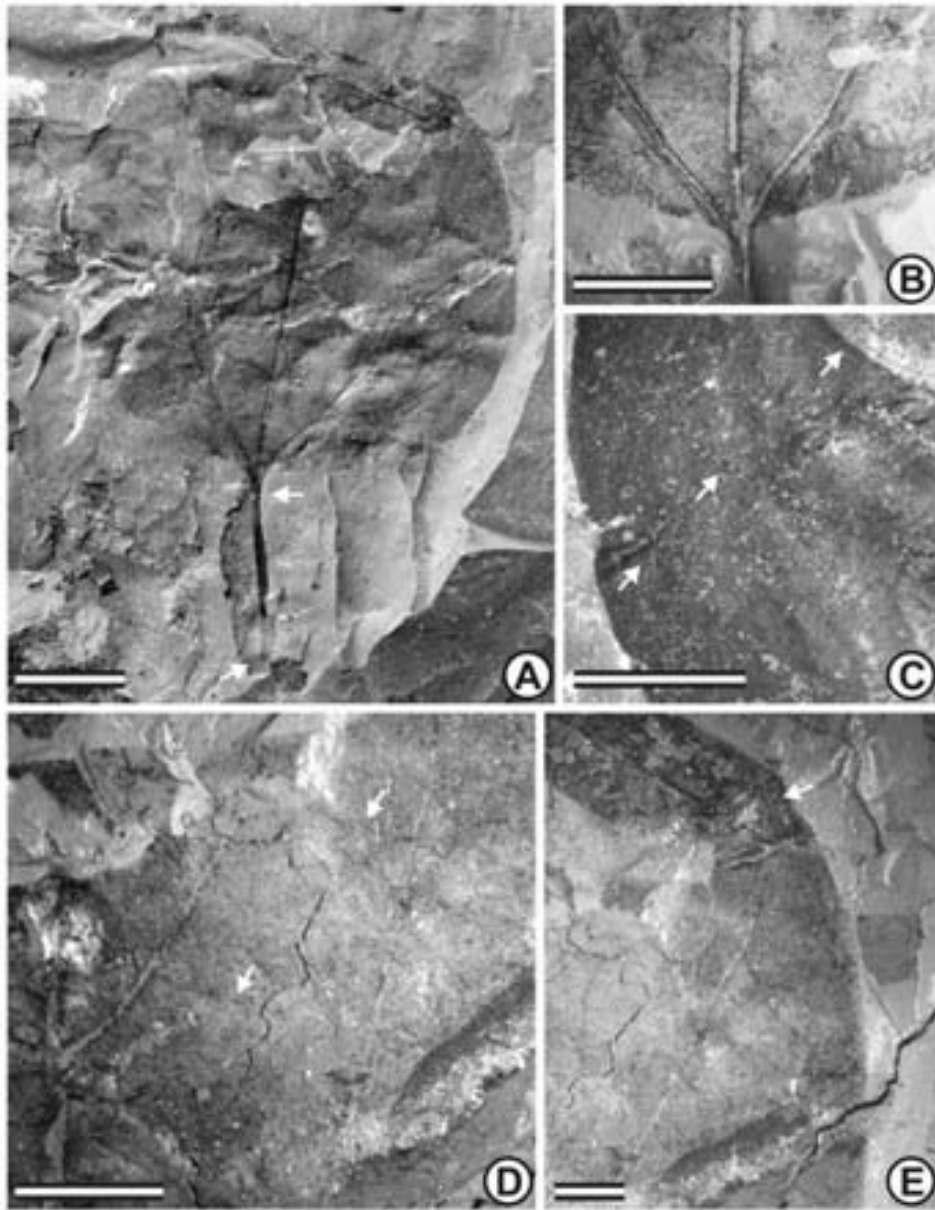
### **TIPO 12 (32)**

**Descripción:** Hoja completa, mesófila tipo I, simétrica, ovada; de 13.8 cm de largo con 8.65 cm de ancho, la relación largo ancho es 1.5:1 (Fig. 32, A); base convexa, ángulo de la base obtuso ( $115^\circ$ ), pecíolo largo de 1.7 cm de largo y 0.3.5 cm de ancho (Fig. 32, B). Ápice convexo con el ángulo agudo ( $85^\circ$ ); margen serrado, formado por dientes de primer orden hacia la base y compuestos de segundo orden de la parte media hacia el ápice, el sinous entre los dientes es redondeado a angular (Fig. 32, A,C,D), la presencia de dientes es a partir del primer 25% de la lámina (Fig. 32, A,B,D), de 3 a 4 dientes por centímetro, el espacio entre los dientes es irregular. En general el ápice de los dientes es simple, pero en algunos dientes se observa mayor concentración de materia orgánica, lo que podría sugerir la presencia de algún tipo glandular no específico; la forma es recta, del lado apical recto y del lado basal convexo. Venación de primer orden pinada, con la vena media recta muy bien marcada, hacia la base la vena es más gruesa y hacia el ápice se delgadaza (Fig. 32, A,D); venación secundaria de tipo broquidódroma, con arcos poco desarrollados (Fig. 32, A,D), el espaciamiento de las venas secundarias con respecto a la vena media varía de 0.8 cm a 1 cm, el ángulo de las secundarias es agudo ( $20^\circ$ ), se observan venas intersecundarias bien desarrolladas, que divergen de la vena media en ángulo agudo de  $20^\circ$ . Venación

de tercer orden mixta, opuesto y alterno percurrente (Fig. 32, E). Venación de cuarto orden regular poligonal reticular (Fig. 32, F).

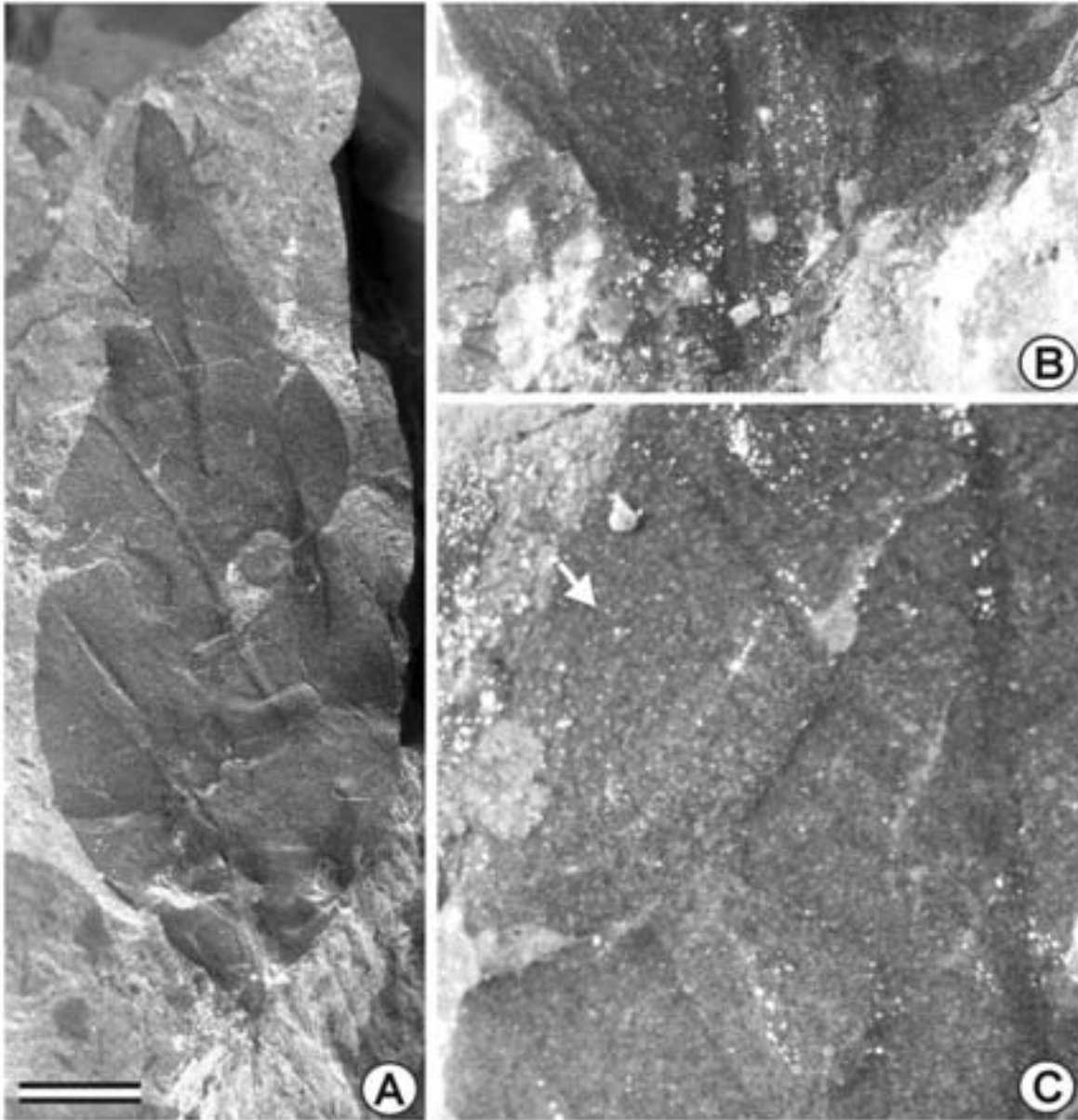


**Figura 23 (A – E).** **A.** Hoja con lámina elíptica y margen crenado. IGM. Escala = 1.1 cm. **B.** Venación de segundo orden cladódroma. IGM. Escala = 0.45 cm. **C.** Venación de tercer orden percurrente mixta (opuestas y alternas) y cuarto orden reticulado al azar. IGM. Escala = 0.35 cm. **D.** Venación de tercer y cuarto orden. IGM. Escala = 0.35 cm. **E.** Venación de cuarto orden, formando polígonos de cuatro a cinco lados. IGM. Escala = 0.20 cm.



**Figura 24 (A – E).** **A.** Hoja peciolada. IGM. Escala = 1.4 cm. **B.** Acercamiento de la base y de las tres venas principales que parten del mismo. Se observa parte del segundo orden de venación. IGM. Escala = 1.4 cm. **C.** Acercamiento del segundo orden de venación. IGM. Escala = 0.6 cm. **D.** Venación de tercer tipo alterna percurrente (flechas). IGM. Escala = 0.7 cm. **E.** Venación de segundo orden broquidódroma (flecha , arco) y tercer tipo que llega al margen (flecha). IGM. Escala = 0.4 cm.

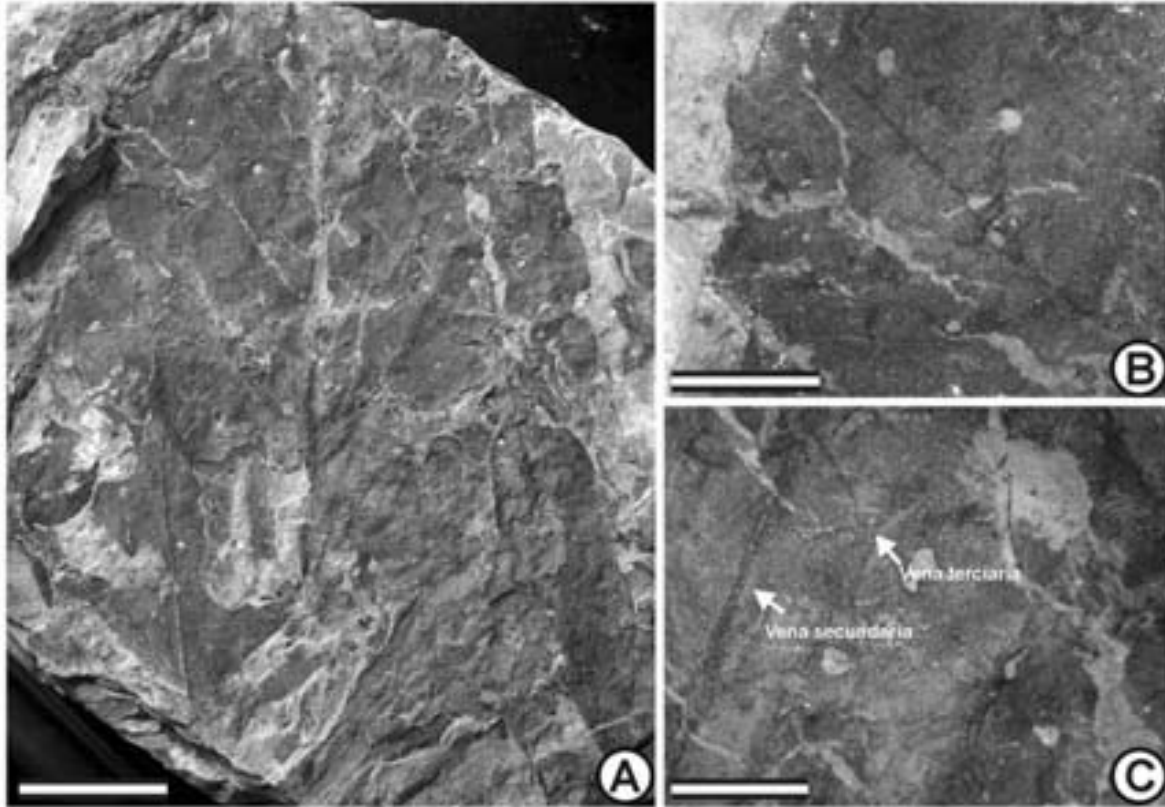




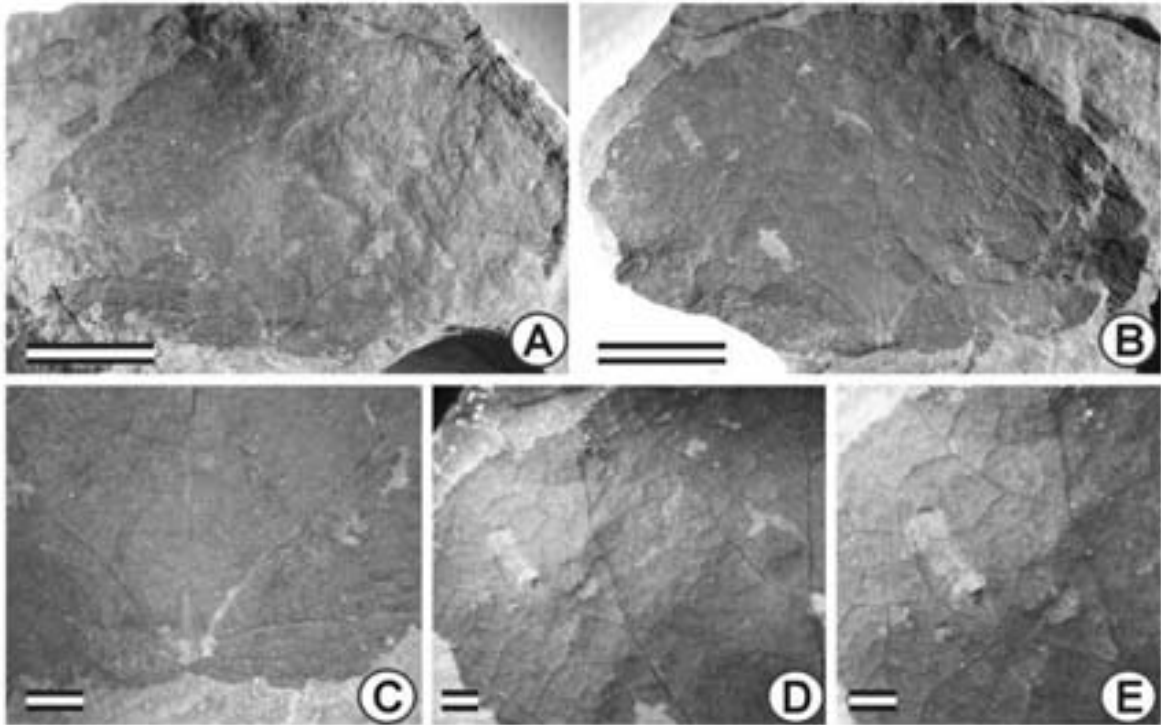
**Figura 25 (A – C).** **A.** Hoja con margen entero, vena media prominente, venación secundaria broquidódroma. IGM. Escala = 0.85 cm. **B.** Base de la hoja. IGM. Escala = 0.20 cm. **C.** Venación de segundo orden formando arcos (flecha). IGM. Escala = 0.30 cm.



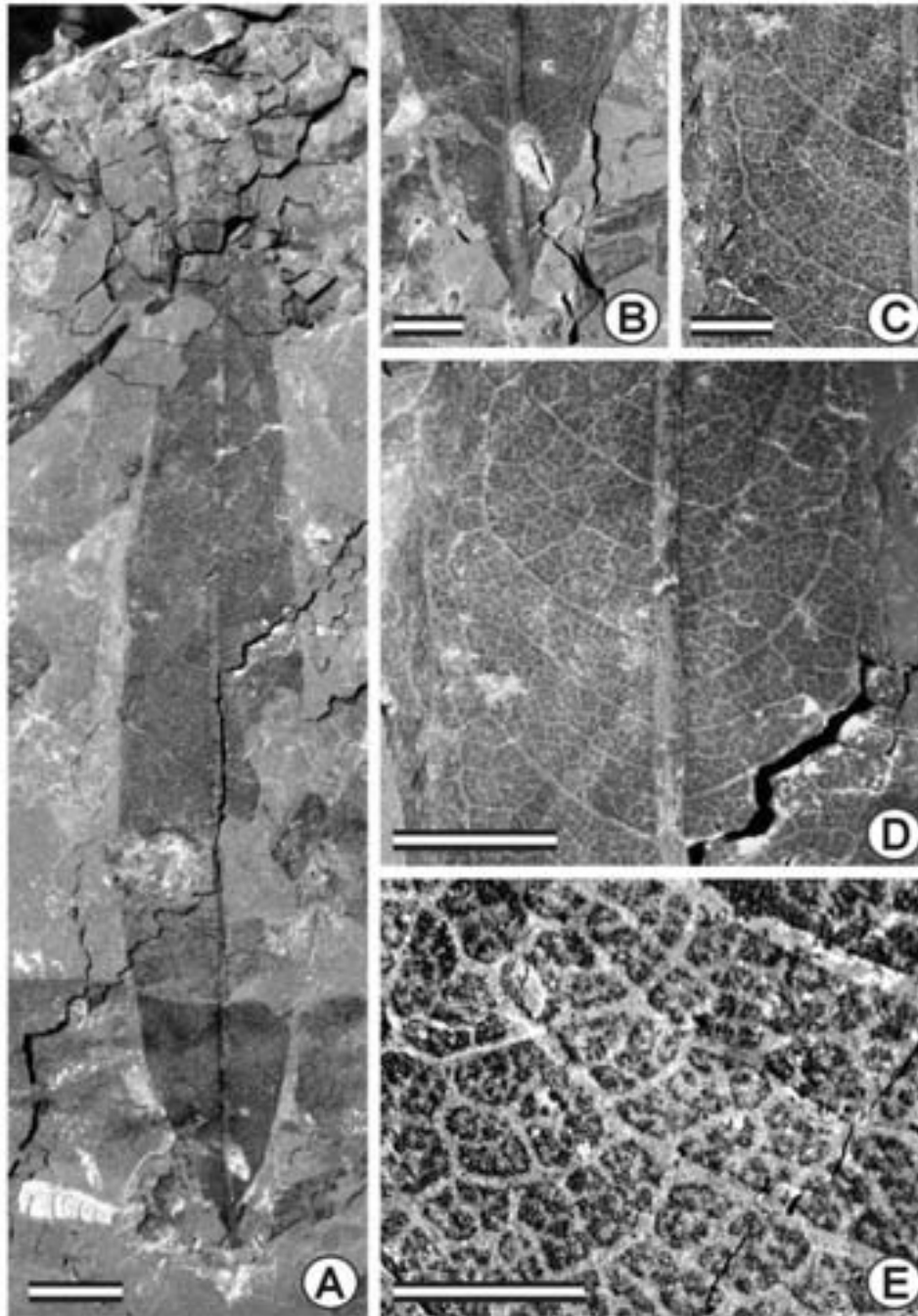
**Figura 26 (A – C).** **A.** Hoja con el segundo patrón de venación eucamptódroma. IGM. Escala = 1.0 cm. **B.** Base compleja. IGM. Escala = 0.8 cm. **C.** Venación de segundo orden eucamptódroma. Escala = 0.5 cm.



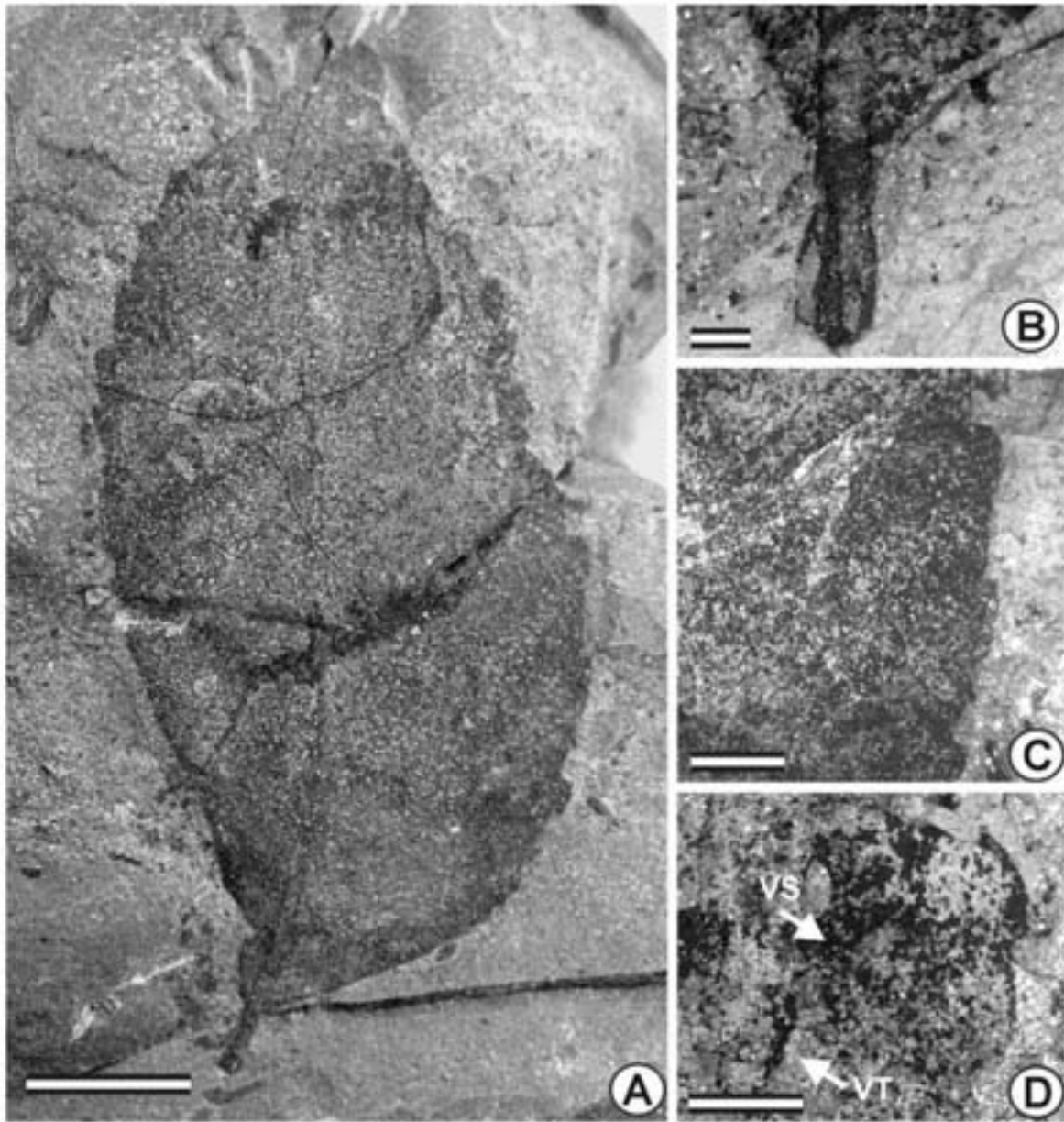
**Figura 27 (A – C).** **A.** Hoja con lámina simétrica con margen eroso muy irregular. IGM. Escala = 3.5 cm. **B.** Venación de segundo orden cladódroma. IGM. Escala = 0.8 cm. **C.** Venación de segundo orden cladódroma y tercer orden alterno percurrente. IGM. Escala = 0.9 cm.



**Figura 28 (A – E).** **A.** Hoja con lámina elíptica. IGM. Escala = 1.15 cm. **B.** Contraparte de la misma hoja y mostrando el segundo orden de venación brochidódroma. IGM. Escala = 1.15 cm. **C.** Base de la hoja, con la inserción del pecíolo excéntrico peltado. IGM. Escala = 0.3 cm. **D.** Acercamiento del segundo orden brochidódroma y tercer orden de venación reticulado al azar. IGM. Escala = 0.2 cm. **E.** Acercamiento del tercer y cuarto orden de tipo reticular poligonal reticulado, además se observan los arcos formado por las venas secundarias. IGM. Escala = 0.2 cm.

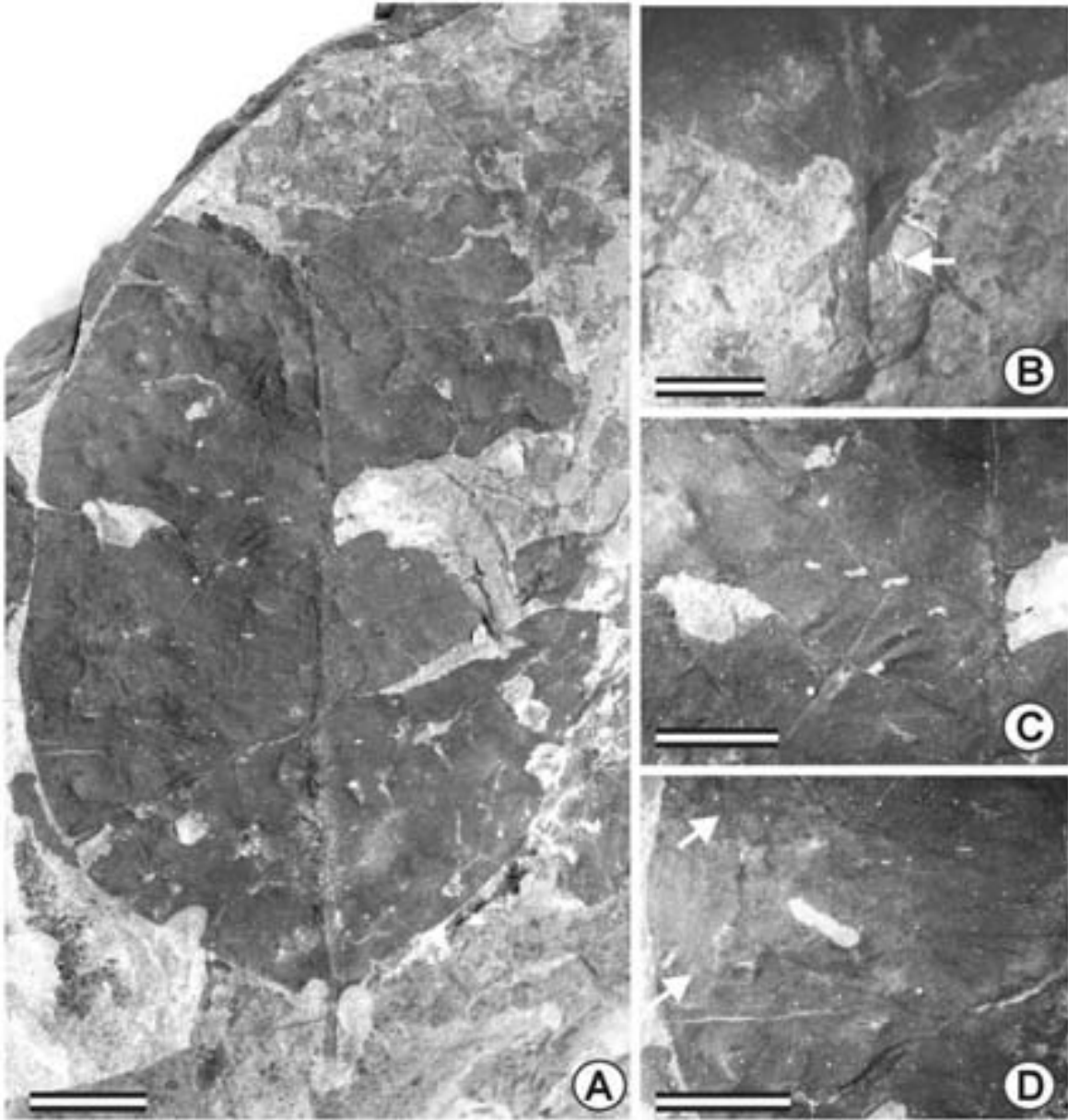


**Figura 29 (A – E).** **A.** Hoja con lámina elíptica. IGM. Escala = 0.7 cm. **B.** Base recta. IGM. Escala = 0.25 cm. **C.** Venación de segundo orden broquidódroma y tercer orden reticulado al azar. IGM. Escala = 0.30 cm. **D.** Vista general del segundo, tercer orden y cuarto orden regular poligonal reticulado. IGM. Escala = 0.4 cm. **E.** Venación de quinto orden formado por vénulas. IGM. Escala = 0.15 cm.

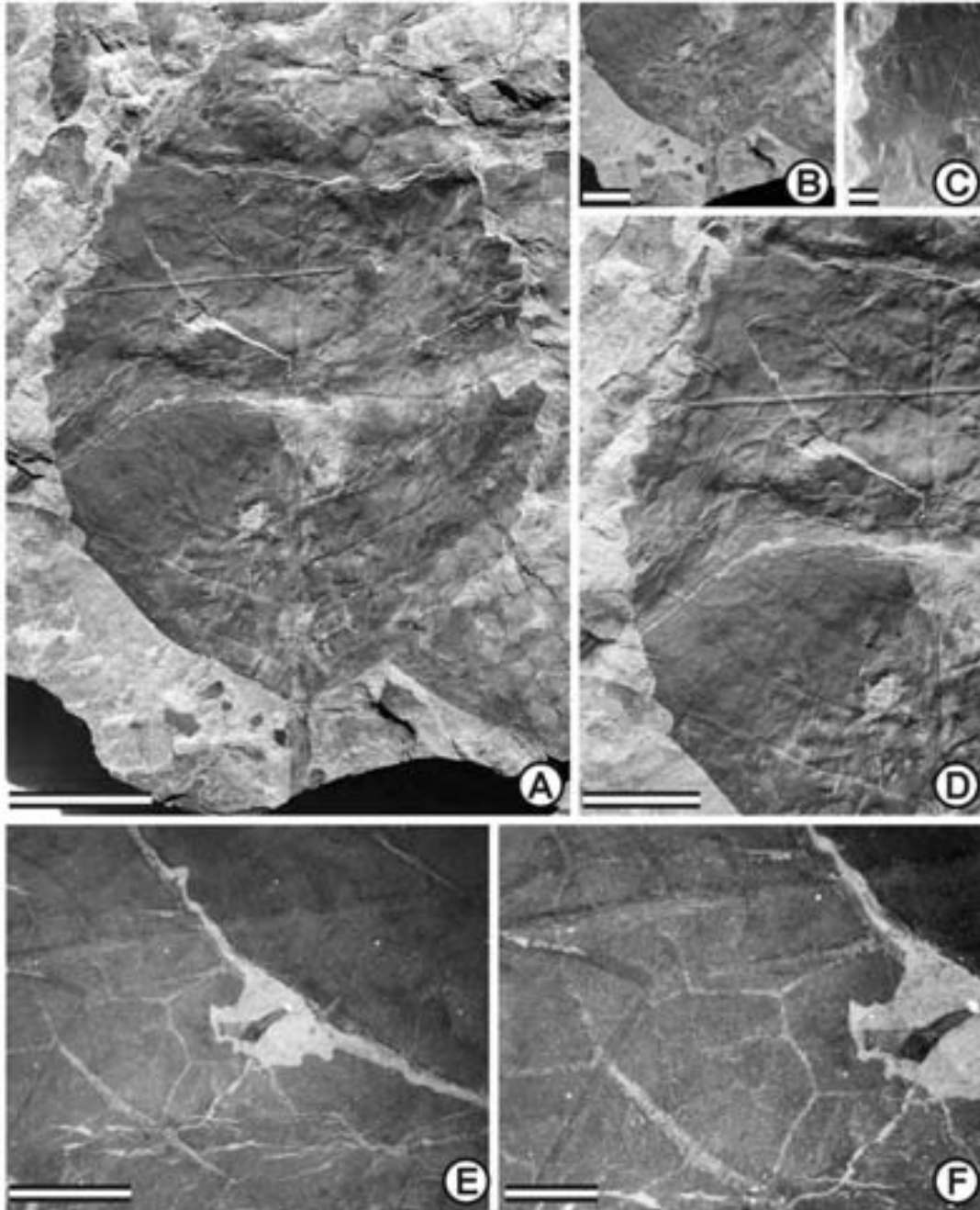


**Figura 30 (A – D).** **A.** Hoja con forma elíptica con el margen crenado. IGM. Escala = 0.65 cm. **B.** Base truncada–convexa; pecíolo pulvinado corto. IGM. Escala = 0.1 cm. **C.** Margen crenado. IGM. Escala = 0.15 cm. **D.** Venación de segundo orden broquidódroma y tercer orden. IGM. Escala = 0.2 cm.





**Figura 31 (A – D).** **A.** Hoja con lámina ovada. IGM. Escala = 1.0 cm. **B.** Base convexa y con pecíolo (flecha). IGM. Escala = 0.7 cm. **C.** Parte de la venación de segundo orden broquidódroma. IGM. Escala = 0.8 cm. **D.** Venación de segundo orden formando arcos (flechas). IGM. Escala = 0.7 cm.



**Figura 32 (A – F).** **A.** Hoja ovada, con margen serrado. IGM. Escala = 2.45 cm. **B.** Pecíolo largo y grueso. IGM. Escala = 1.35 cm. **C.** Margen serrado, con dientes de primer y segundo orden. IGM. Escala = 0.25 cm. **D.** Venación de segundo orden brochidódroma, con arcos poco desarrollados. IGM. Escala = 1.6 cm. **E.** Venación de tercer orden percurrente al azar. IGM. Escala = 0.6 cm. **F.** Venación de cuarto orden, formando polígonos. IGM. Escala = 0.3 cm.



## *Palmoxylon enochii* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México



Emilio ESTRADA-RUIZ<sup>1</sup> y Sergio R.S. CEVALLOS-FERRIZ<sup>2</sup>

**Abstract.** *PALMOXYLON ENOCHII* SP. NOV. FROM THE OLMOS FORMATION (UPPER CAMPANIAN-LOWER MAASTRICHTIAN), COAHUILA, MEXICO. Different types of flowering plants and conifers have been collected in the Olmos Formation, Upper Cretaceous (upper Campanian-lower Maastrichtian). A stem represents a new species of *Palmoxylon* Schenk (Arecaceae), *P. enochii* Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz. The stem portion known of this new plant has vascular bundles organized in radial strands; each vascular bundle has 2 or 3 metaxylem and 3 to 9 protoxylem vessel elements. The ground tissue consists of thin-walled cells forming a not compact tissue with intercellular spaces, rarely described in Upper Cretaceous palms. The diversity of palm trees of the Olmos Formation flora further supports the presence of a diverse paleovegetation that later contributed with important elements to the humid and dry tropics during Cenozoic time in southern North America and northern and central Mexico.

**Resumen.** En la Formación Olmos, Cretácico Superior (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), se han recolectado diferentes tipos de plantas con flor y coníferas. Un nuevo estípote representa una nueva especie del morfógenere *Palmoxylon* Schenk (Arecaceae), *P. enochii* Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz. La porción del estípote conocida de esta nueva planta tiene haces vasculares organizados espacialmente con tendencia radial, cada uno con 2 ó 3 vasos de metaxilema y entre 3 a 9 de protoxilema. El tejido fundamental que lo compone es no compacto, formando espacios intercelulares debido a la forma tabular de sus células de pared delgada, característica no común en palmas del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano). La diversidad de palmeras y otras angiospermas que se desarrollaron en la flora de la Formación Olmos apoya la idea de una paleovegetación húmeda que fue importante en la generación de otras comunidades que tiempo después se desarrollaron en el trópico húmedo y seco del Cenozoico de América del Norte y del norte y centro de México.

**Key words.** Arecaceae, *Palmoxylon*, Olmos Formation, Upper Cretaceous, Coahuila, Mexico.

**Palabras clave.** Arecaceae, *Palmoxylon*, Formación Olmos, Cretácico Tardío, Coahuila, México.

### Introducción

En la cuenca de Sabinas, en el área de Monclova-Sabinas, en el norte de Coahuila, afloramientos de la Formación Olmos, Cretácico Tardío (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), representan deltas de la porción oeste del mar epicontinental del Western Interior, en donde áreas con diferente composición florística han sido reportadas (e.g., Wheeler *et al.*, 1995; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2008). En particular,

en el gran sistema deltaico de la Formación Olmos se desarrolló una flora muy variada y compleja (Weber, 1972, 1978; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2008) que ha llamado la atención por su diversidad de angiospermas y coníferas, muchas de ellas únicas para México, y otras con distribución restringida a América del Norte (Weber, 1972, 1978; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007). No obstante, a la fecha son pocas las investigaciones que documentan esta diversidad (e.g., Weber, 1972, 1978; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2008). Trabajos formales de esta paleoflora los inició Weber (1972) quien menciona la presencia de 80 morfoespecies con base en hojas, frutos y maderas de angiospermas y coníferas. Distintas hojas de angiospermas se han relacionado con Arecaceae, Magnoliaceae, Araceae, Palmae, Lauraceae, Nelumbonaceae y diversas Laurales (Weber, 1972, 1978; Estrada-Ruiz *et al.*, 2008). Además, otras plantas se conocen con base en sus maderas, algunas relacionadas con *Paraphyllanthoxylon*, Fagaceae y Malvaceae (Cevallos-Ferriz

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del Coyoacán, 04510 México D.F. México  
emilior@geologia.unam.mx

<sup>2</sup>Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del Coyoacán, 04510 México D.F. México  
scrsjfb@servidor.unam.mx

y Weber, 1992; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007); o a través de sus tallos, mediante los cuales se han conocido varias especies del morfógeno *Palmoxylon* (Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1995), y cuando menos otro tipo de paleohierba aún por identificar. Con respecto a los helechos, se ha demostrado la presencia de formas acuáticas como *Salvinia* y *Dorfiella* (Weber, 1973, 1976), además de cuando menos otros 5-7 miembros de filicales. Conos, brácteas y maderas de coníferas, también señalan la presencia de formas endémicas y variadas (Weber, 1975; Serlin *et al.*, 1981; Cevallos-Ferriz, 1992).

Del material de hojas de angiospermas se han recolectado, se realizó la reconstrucción paleoclimática a partir del análisis de fisonomía foliar, para esto se utilizaron diferentes ecuaciones de regresión simple y múltiple, propuestas por varios autores (e.g., Wolfe, 1979; Gregory, 1994). Se analizaron un total de 35 tipos distintos de hojas de eudicotiledóneas, prevaleciendo el orden Laurales y en menor proporción *cf.* Menispermaceae y Nelumbonaceae (Estrada-Ruiz *et al.*, 2008). El hecho de que el 72% de las hojas utilizadas en este estudio tengan margen entero, 30% sean macrófilas, y 50% de hojas tengan ápice atenuado (punta de goteo), aunado a los estimados de temperatura media anual de 20-23 °C, temperatura del mes más frío menor a 10° C y precipitación media anual de 1.5 a 3 m, sugiere que la flora de la Formación Olmos representa una selva paratropical (Estrada-Ruiz *et al.*, 2008). Esto se ve apoyado por la carencia de anillos de crecimiento en las maderas de angiospermas y la presencia de diversas palmas, además de la cantidad de carbón sub-bituminoso (con más del 80% de materia orgánica) típico de zonas con flora muy diversa (Flores Espinoza, 1989).

Se describe aquí una nueva especie de palmera con base a una porción distal y periférica de estípites. El registro fósil de palmas en México es amplio, abarcando desde el Cretácico Tardío de Coahuila hasta el Mioceno de Baja California Sur (Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1995).

Este nuevo estudio apoya a un más que durante el Cretácico Tardío en la flora de la Formación Olmos, la diversidad de palmas, en particular del morfógeno *Palmoxylon* fue alta y que algunas especies como *P. enochii* crecieron en ambientes cercanos a cuerpos de agua. Por otra parte, entender mejor la anatomía de estos tallos podrá esclarecer a un más las formas de vida que ha tenido el grupo a través del tiempo.

## Material y métodos

El espécimen de *Palmoxylon enochii* con número de IGM-PB 1289 se encuentra resguardado en la Colección Nacional de Paleontología, Instituto de AMEGHINIANA 46 (4), 2009

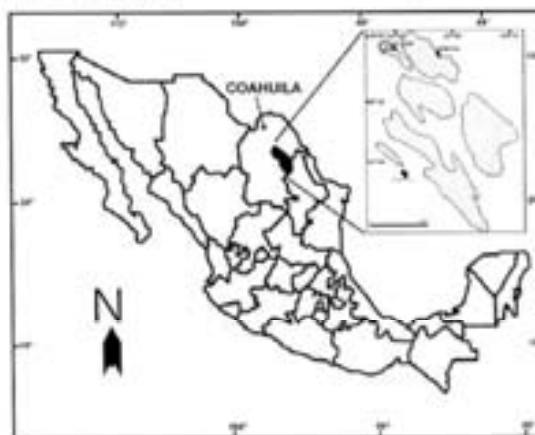


Figura 1. Localización del área de estudio. 1=Rancho Atascoso, a 6 km de la población de Múzquiz, Coahuila, México / location of the study area. 1=Atascoso Ranch, 6 km from the town of Múzquiz, Coahuila, Mexico.

Geología, UNAM. El material fósil se recolectó en afloramientos de la Formación Olmos, en la localidad conocida como Rancho Atascoso, N 27° 53' 35.77 y W 101° 34' 30.7, al noroeste del poblado de Múzquiz, Municipio de Melchor Múzquiz, Coahuila (figura 1). Esta formación geológica se encuentra dentro de la cuenca de Sabinas en la parte norte-central de Coahuila, en la zona de la Región Carbonífera, siendo la formación más importante para la extracción de carbón fósil en México.

La Formación Olmos ha sido dividida en dos sistemas, el deltaico y el fluvial; hacia la base se distingue el sistema deltaico, contenedor de las hojas y frutos, mismo que representa un ambiente de poca elevación, bajo gradiente, con zonas muy pantanosas y lagunas con aguas tranquilas y cristalinas (Flores Espinoza, 1989; Estrada-Ruiz *et al.*, 2008). Hacia la cima, donde se conservaron las maderas, se evidencia el sistema fluvial con planicies de inundación, sugiriendo que se trata de un área de mayor elevación (Flores Espinoza, 1989).

Se revisaron secciones transversal y longitudinal del estípites. Las afinidades y terminología se hicieron consultando la literatura especializada en el tema (e.g., Sahní, 1964; Tidwell *et al.*, 1973; Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1995). Se utilizó un microscopio óptico Olympus BH-2 para la observación microscópica de las láminas delgadas obtenidas, y un microscopio estereoscópico Olympus SZH para la observación macroscópica. Las microfotografías y fotografías fueron hechas con un sistema Olympus, modelo PM-10AD-4 y una cámara fotográfica Olympus C-35AD-4. En algunas de las fotografías se utilizó luz adicional por medio de un iluminador de fibra óptica Indumex, modelo LPS 200.

### Paleontología sistemática

Orden ARECALES Bromeard, 1840  
Familia ARECACEAE Schultz, 1832

Género *Palmoxyton* Schenk, 1882

**Especie tipo.** *Palmoxyton enochii* sp. nov.

**Diagnosis.** Trunk composed of fundamental tissue and radially arranged vascular bundles; fundamental tissue with tubular cells that are isodiametric in transverse section, thin wall cells, branching and fusing forming well-marked intercellular spaces; vascular bundles reniform shaped in cross section, surrounded by three to four layers of rectangular, elongated, thin wall cells; vascular bundles have a fibrous cap, composed thick-walled cells, some with black contents, each vascular bundles with 2 to 3 metaxylem vessels with simple perforation plates and opposite pits, and 3 to 9 protoxylem cells.

**Diagnosis.** Estipite compuesto por tejido fundamental y haces vasculares arreglados con tendencia radial; tejido fundamental con células tubulares, tendientes a isodiamétricas, de pared delgada, ramificándose para formar zonas con espacios intercelulares bien marcados; los haces vasculares tienen forma reniforme en corte transversal, están rodeados por tres a cuatro capas de células rectangulares, alargadas, con pared delgada; los haces vasculares tienen un área fibrosa, con células de pared gruesa y algunas con contenido negro, metaxilema con 2 a 3 vasos con placas de perforación simples y punteaduras opuestas, y con protoxilema 3 a 9 elementos.

**Horizonte estratigráfico.** Formación Olmos, Campaniano superior - Maastrichtiano inferior.

**Localidad.** Rancho Atascoso, 6 km al Noroeste del poblado de Múzquiz, Municipio de Melchor Múzquiz, Coahuila, México, N 27° 53' 35.7" y W 101° 34' 30" (figura 1).

**Etimología.** El epíteto específico honra al Sr. Enoch Ortiz Montejó por su apoyo técnico en el Laboratorio de Paleobotánica, Instituto de Geología, UNAM, especialmente en la elaboración de láminas delgadas y corte de muestras.

**Holotipo.** Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, IGM-PB 1289 (muestra del estipite, ca. 11 cm en diámetro), IGM-LPB 4594-4607 (muestras en láminas delgadas).

**Descripción.** Porción distal del estipite, pequeña, ca. 11 cm de ancho por 8.5 cm de alto, en donde se observa el tejido fundamental (figuras 2.1 - 2 y 2.5 - 6) y haces vasculares de diferente forma y tamaño (figuras 2.1 - 5), con promedio de 25 (rango = 17-34) haces vasculares por cm<sup>2</sup>, ordenados radialmente (figuras 2.1 - 2 y 2.5), el diámetro del área vascular es de 1228 (rango = 1000-1500) µm. Los haces tienen forma reniforme (figuras 2.1 - 2 y 3.1), y un casquete de esclerénquima de forma orbicular con pared gruesa

sa y lumen pequeño (figuras 2.4 y 3.1); dentro de esta área fibrosa hacia su parte exterior hay células esteogmáticas que forman hileras continuas (figura 3.4), mismas que también se encuentran en áreas fibrosas aisladas (figura 3.7). El xilema tiene usualmente 3 vasos de metaxilema pero algunas veces está formado por 2 (figuras 2.2 - 3 y 3.1). Los elementos de vasos del metaxilema son en corte transversal, de forma redonda a oval, algunos están comprimidos por el proceso de fosilización, lo que dificultó su medición. Su diámetro promedio es de 83 (rango = 30-150) µm, además presentan punteaduras opuestas y placas de perforación simple (figura 3.5). En algunas zonas vasculares se observan de 3 hasta 9 elementos traqueales del protoxilema, cuyo diámetro varía entre 35 a 55 µm (figura 3.1), tienen engrosamientos anulares a helicoidales, y no ha sido posible observar placas de perforación (figuras 3.2 - 3). Los elementos conductores de los haces vasculares están rodeados por células del parénquima de pared delgada (figura 3.1). Los elementos traqueales y el área fibrosa se encuentran rodeados por células del parénquima que llegan a formar 3 a 4 capas (figura 3.1), son de forma rectangular y tienen pared delgada de forma ondulante.

En el tejido fundamental se observa dos tipos de células. El primero, rodea a los haces vasculares formando 3 a 4 capas (figuras 2.3 - 4 y 3.1) compuestas por células alargadas de pared delgada. El segundo tipo forma al resto del tejido fundamental; en corte transversal sus células se organizan en un tejido no compacto, son tubulares, se ramifican, y limitan espacios intercelulares muy bien marcados (figuras 2.5 - 6 y 3.5 - 6), recordando el tejido de Tipo A de Weiner y Liese (1993), aunque las células que describen estos autores tienen forma irregular o ameboideo (ver pag. 59, Weiner y Liese, 1993), y por lo tanto son distintas a las de *P. enochii* (figuras 2.2 y 2.5 - 6). Estas mismas células, pero en corte longitudinal, tienen forma isodiamétricas, algunas son grandes y tubulares, alargadas, de pared delgada, y también forman espacios intercelulares; en algunas se observan punteaduras simples irregulares (figura 3.6).

**Afinidad.** *Palmoxyton enochii* contiene hacia el centro del estipite células del tejido fundamental de forma alargada o ramificada al azar, llegando a formar espacios intercelulares bien marcados, semejantes al tipo A de Weiner y Liese (1993), formando un aerénquima. Este tipo de aerénquima sólo se ha descrito para una palma del Cretácico Tardío, *Palmoxyton blisensis* de la Formación Lameta de la India (Dutta *et al.*, 2007), pero puede diferenciarse de la nueva palma por el ordenamiento radial de los haces vasculares y la forma de las células en su tejido fundamental (tabla 1). *Palmoxyton enochii* difiere claramente de las otras cuatro especies antes descritas en la Formación

AMEGHINIANA 46 (4), 2009

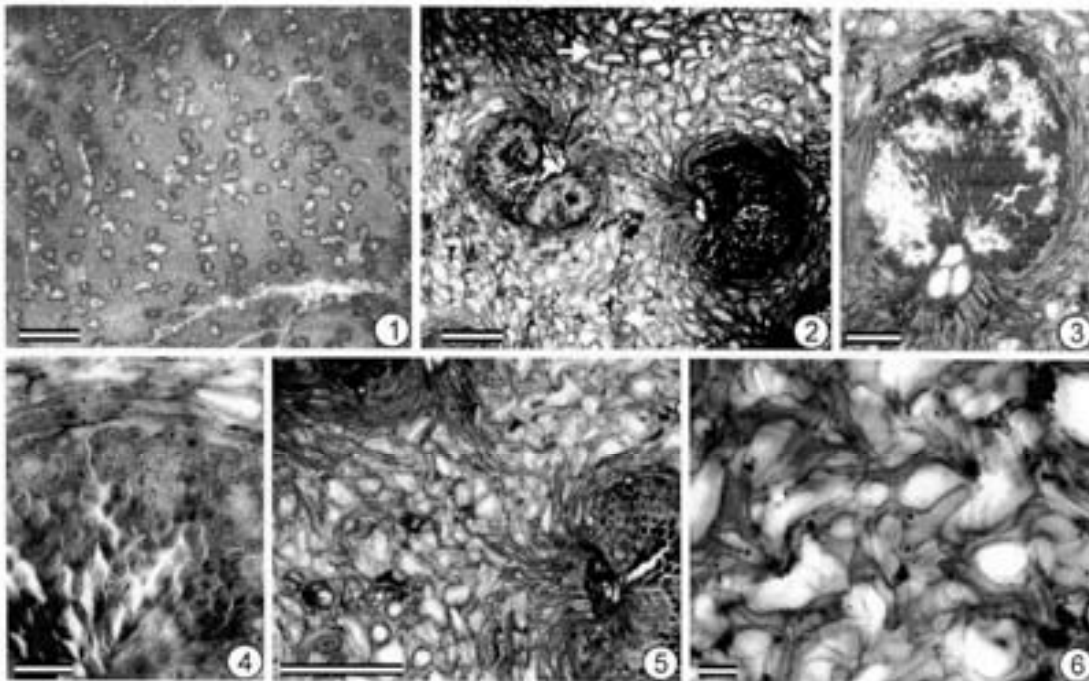
**Tabla 1.** Comparación de caracteres de especies de *Palmoxylon* del Cretácico Tardío / *characters comparison of Palmoxylon species from the Upper Cretaceous.*

Especies	DV	HV/CM <sup>2</sup>	DHV	MX	TJF	PP	PITVM
<i>Palmoxylon simperi</i>	200-130 µm	?	Al azar	2-3	Compacto	Simple	Escalariforme
<i>P. pristina</i>	120-40 µm	?	Al azar	2-5	Compacto	?	?
<i>P. uszei</i>	70 (150-200) µm	?	Al azar	2-6	Compacto	Simple	?
<i>P. longum</i>	23-38 µm	31	Al azar	2	Compacto	Simples y transversas	Opuestas y transicionales
<i>P. commune</i>	37 (25-55) µm	48	Al azar	2-8	Compacto	?	Escalariformes
<i>P. fibrosum</i>	112 (52-160) µm	83	Al azar	2-8	Compacto	?	?
<i>P. polymorphum</i>	51 (35-80) µm	40	Al azar	2 a más de 10	Compacto	Escalariformes	Escalariformes
<i>P. sandriense</i>	77 µm	?	Al azar	1-2	Compacto	Escalariformes	Escalariformes y algunas opuestas
<i>P. riograndense</i>	52 µm	?	Al azar	4-6	Compacto	Escalariformes	Escalariformes
<i>P. salchense</i>	54 µm	?	Al azar	2-3	Compacto	Escalariformes	Escalariformes
<i>P. pichilucensis</i>	150-200 µm	85-105	Al azar	2-3	Compacto	Simple	Escalariformes
<i>P. hisiensis</i>	100-200 µm	30-35	Al azar	2	No compacto	Simple	Escalariformes
<i>P. enochii</i>	83 (30-150) µm	17-34	Tendencia radial	2-3	No compacto	Simple	Opuestas

DV = diámetro tangencial de vasos del metaxilema / *tangential diameter of metaxylem vessels*. HV/CM<sup>2</sup> = haces vasculares por cm<sup>2</sup> / *vascular bundle per square cm*. DHV = disposición de los haces vasculares / *arrangement of vascular bundles*. MX = metaxilema / *metaxylem*. TJF = tejido fundamental / *ground tissue*. PP = placas de perforación / *perforation plate*. PITVM = punteaduras intervasculares en el metaxilema / *metaxylem intervascular pits*.

Olmos. Por ejemplo, *Palmoxylon longum* Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, *P. commune* Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, *P. fibrosum* Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno y *P. polymorphum* Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno tienen tejido fundamental compacto, mientras en *P. enochii* se forman espacios intercelulares muy bien definidos (figuras 2.2 y 2.4 - 6). Aunque en *P. longum* las células del tejido fundamental son alargadas radialmente, similares con *P. enochii*, en *P. longum* el tejido fundamental es compacto (tabla 1). Además, la disposición de los haces vasculares en *Palmoxylon enochii* tienen una tendencia radial, mientras que las cuatro especies mencionadas no presentan esta característica, por lo que se descartan.

ta alguna relación taxonómica (tabla 1). De la India, Sahni (1964) describe del Paleógeno varias especies de *Palmoxylon* con espacios intercelulares, pero ninguna tiene el tipo de células alargadas como tubos del tejido fundamental de *P. enochii*. Tidwell *et al.* (1970) describieron dos palmas que se pensaba eran pre-cretácicas pero estudios geológicos más detallados mostraron que pertenecían al Paleógeno. En *Palmoxylon simperi* Tidwell *et al.* y *P. pristina* Tidwell *et al.* el tejido fundamental es compacto, y los haces vasculares se distribuyen al azar, caracteres que no se comparten con *P. enochii*. Por otra parte, la densidad de haces vasculares es menor en *Palmoxylon enochii*. Delevoryas (1964) describe a *P. uszei* Delevoryas de



**Figura 2.** 1-6, Descripción anatómica de *Palmoxylon enochii* sp. nov. / *anatomical description of Palmoxylon enochii* sp. nov. 1, Corte transversal (CT) Haces vasculares con tendencia radial / *Transversal section (TS) Vascular bundles with radial trend*. IGM-PB 1289. Escala / scale = 0.8 cm. 2, (CT) Dos haces vasculares y células del tejido fundamental. Se observa zonas aerénquimatosas (flechas) / *(TS) Two vascular bundles and cells of fundamental tissue, note aerenchymatous areas (arrows)*. IGM-LPB 4594. Escala / scale = 750  $\mu$ m. 3, (CT) Un haz vascular, mostrando la forma de las células del esclerénquima / *(TS) Vascular bundle showing form of sclerenchyma cells*. IGM-LPB 4594. Escala / scale = 200  $\mu$ m. 4, (CT) Detalle de las células del esclerénquima / *(TS) Details of sclerenchyma cells*. IGM-LPB 4594. Escala / scale = 150  $\mu$ m. 5, (CT) Vista general del tejido fundamental / *(TS) General view of fundamental tissue*. IGM-LPB 4594. Escala / scale = 650  $\mu$ m. 6, (CT) Acercamiento y detalle del tejido fundamental, se observa el espacio intercelular y células con diferentes formas / *(TS) Close up of fundamental tissue, intercellular space limited by cells with different forms*. IGM-LPB 4594. Escala / scale = 200  $\mu$ m.

la Formación Fox Hills (Maastrichtiano) Cretácico Tardío del Western Interior, Dakota del Sur, pero esta palma tiene tejido fundamental compacto, y promedio en el diámetro tangencial del metaxilema de 70  $\mu$ m, caracteres distintos con los de *P. enochii*, por lo que se descarta alguna afinidad con esta palma (Delevoryas, 1964) (tabla 1). De Argentina, Ancibor (1995) describe a *P. riograndense*, *P. santarosense*, *P. valchertense* del Cretácico Tardío, pero difieren con la nueva especie porque presentan placas de perforación escalariiformes y vasos con diámetro tangencial promedio pequeño (52 a 77  $\mu$ m), debilitando cualquier relación con *P. enochii* (tabla 1). Recientemente, Ottone (2007) describe una palmera del Cretácico Tardío de Argentina, *P. pichailuensis* Ottone, con un total de 175 a 195 haces vasculares por cm<sup>2</sup> de 1 a 5 vasos de metaxilema por 6 a 12 de protoxilema, y tejido fundamental compacto; estos caracteres cuantitativos no se comparte con la nueva planta de la Formación Olmos, por lo que también se descarta alguna relación taxonómica (tabla 1). Entonces, es claro que la nueva palmera representa una nueva espe-

cie dentro de *Palmoxylon* para el Cretácico Tardío de México.

### Discusión

Las características anatómicas de este estipite claramente evidencian la presencia de un atactosteles. La presencia de haces vasculares en el tejido fundamental formando un atactosteles, haces fibrosos en los haces vasculares, forma del tejido fundamental, y tamaño y forma del esclerénquima son caracteres que se comparten con el morfógeno *Palmoxylon* (Schenk, 1882).

La historia de este grupo se remonta al Cretácico Tardío, aunque son pocas las localidades contenedoras de estas plantas hasta ahora conocidas para ese tiempo. Su registro está mejor representado en el Paleógeno-Neógeno. Harley (2006) hace un resumen del registro fósil de palmas, señalando a los registros de México como importantes para el entendimiento de este grupo.



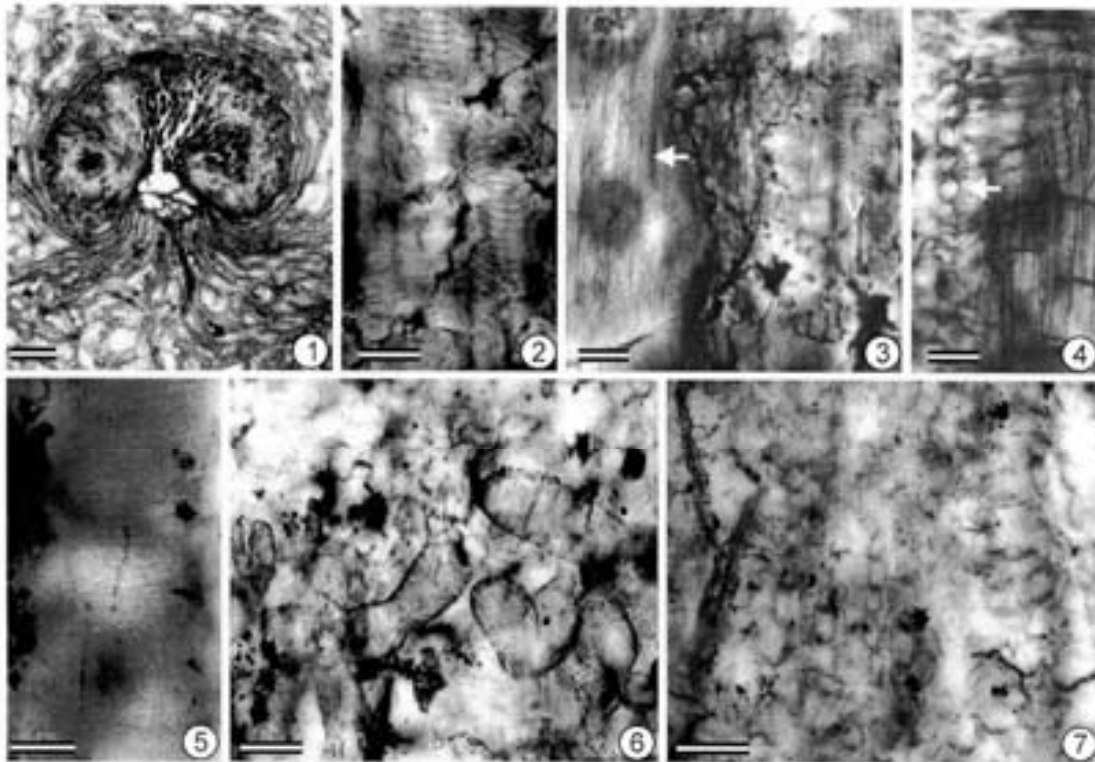


Figura 3. 1-7, Descripción anatómica de *Palmoxylon encobii* sp. nov. / anatomical description of *Palmoxylon encobii* sp. nov. 1, (CT) Haz vascular con metaxilema, protóxilema y las células que se encuentran alrededor del haz / (TS) Vascular bundle with metaxylem, protoxylem and cells that surround the bundle. IGM-LPB 4594. Escala / scale = 235  $\mu$ m. 2, Corte longitudinal (CL) Engrosamiento anular de los vasos del protóxilema / longitudinal Section (LS) Annular thickening of protoxylem tracheary elements. IGM-LPB 4599. Escala / Scale = 65  $\mu$ m. 3, (CL) Un vaso del protóxilema (V), traqueidas con ornamentación anular (flecha) / (LS) Protoxylem tracheary elements with annular thickening (V). IGM-LPB 4599. Escala / scale = 150  $\mu$ m. 4, (CL) Acercamiento de las estegmatas (flecha) / (LS) Close up of stegmata (arrow). IGM-LPB 4599. Escala / scale = 100  $\mu$ m. 5, (CL) Vaso con pueritaduras opuestas / (LS) Vessel element with opposite pits. IGM-LPB 4601. Escala / scale = 100  $\mu$ m. 6, (CL) Células del tejido fundamental / (LS) Cells of the fundamental tissue. IGM-LPB 4599. Escala / scale = 150  $\mu$ m. 7, (CL) Vista general con fibras, células, espacios intercelulares del tejido fundamental / (LS) General view with fibres, ground tissue cells and lacuna. IGM-LPB 4607. Escala / scale = 100  $\mu$ m.

En México, y en particular, en la Formación Olmos (Campaniano superior -Maastrichtiano inferior) donde se desarrolló una selva paratropical contiene una flora compleja y diversa (Weber, 1972; Estrada-Ruiz *et al.*, 2008) y en ella se han recolectado diferentes órganos o partes de palmeras. Además de los estípites, se han recolectado hojas de *Phoenicites*, *Sabalites* y una inflorescencia comparables con la de *Mimicaria* (Weber, 1972, 1978). La distribución de este grupo durante el Cretácico Tardío está bien documentada a lo largo de las costas del mar epicontinental de América del Norte, aparentemente siendo más diverso en la flora de la Formación Olmos (Estrada-Ruiz *et al.*, 2008). Las distintas especies de *Palmoxylon*, por ejemplo la del Cretácico Tardío de Dakota del Sur (Delevoryas, 1964), así como el *Sabalites* en la Formación Aguja en el National Park, Texas (Dorf, 1939), sugieren que *Arecaceae* tuvo una distribución continua a lo largo del Western Interior y, aparente-

mente en la Formación Olmos alcanzó su mayor diversidad, donde cohabitaron con otras angiospermas y helechos de hábitos acuáticos. En los estratos donde se han recolectado las hojas de *Sabalites* y *Phoenicites* de la Formación Olmos, las primeras en particular se han encontrado completas, y con diferentes tamaños, lo que sugiere que las hojas de estas plantas se depositaron cerca de su hábitat (figuras 3.1 - 3). Esto es apoyado por observaciones de Weber (1972) en las minas de carbón, donde documentó tocones y sistemas de raíces sugiriendo que algunas de las plantas se depositaron *in situ* (Weber, 1972). Además, en las mismas capas se han recolectado hojas con afinidad con *Nelumbonaceae* (Estrada-Ruiz *et al.*, 2008) y helechos acuáticos atribuidos a *Salvinia* (Weber, 1973), lo que apoya aun más la idea de que estas plantas se depositaron cerca de su hábitat, que puede sugerirse como parte de ambientes lagunares o cercanos a cuerpos de agua. Este ambiente se ve

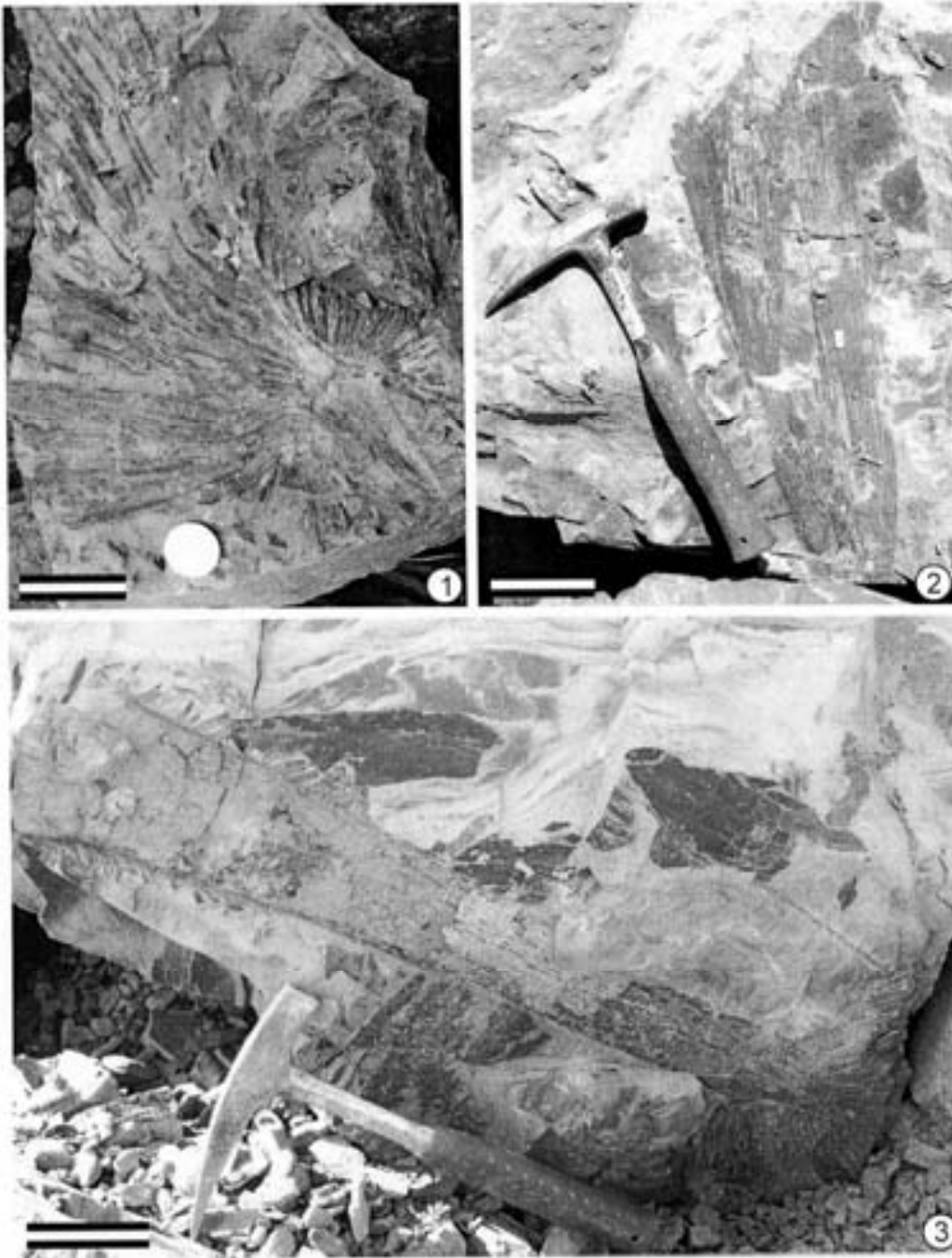


Figura 4. 1-3, Diferentes tamaños de hojas de *Sabalites* sp. encontradas en afloramientos de la Formación Olmos / different size of *Sabalites* leaves found in outcrops of the Olmos Formation. 1-2, Hojas de diferente tamaño encontradas en el Tajo Block 6 (San Juan de Sahinas) / leaves of different size found in the Tajo Block 6. Escala / scale 1 = 5 cm, Escala / scale 2 = 9 cm. 3, Petiolo de una hoja de palma, Tajo El Nogalito, Muzquiz / petiole of a palm leaf, Tajo El Nogalito. Escala / scale = 8.5 cm.

apoyado por el buen desarrollo del aerénquima en el estípite de la nueva planta. Sin embargo, el estípite de *Palmoxylon* se recolectó en capas más superiores

que las contenedoras de hojas (30 ó 50 m) en un ambiente más fluvial, dominado por ríos o canales aluviales, en donde la palma seguramente también cre-  
AMEGHINIANA 46 (4), 2009

ció en íntimo contacto con el agua. Aunque el aerénquima por sí mismo no refleja asociación con cuerpos de agua, sino el límite en la accesibilidad de oxígeno, este es común en órganos de plantas que entran en contacto con el agua.

La paleovegetación en donde creció *Palmoxyylon enochii*, incluye además, otras plantas como *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.), *Sabinoxylon* (cf. Fagaceae), *Quercinium* (Fagaceae), *Paraphyllanthoxylon* (insertae sedis), y *Metcalfeoxylon* (insertae sedis) que llegaron a formar varios estratos arbóreos dentro de la selva paratropical (Wheeler y Lehman, 2000). Esto es sugerido por el hallazgo en areniscas de árboles de *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.) con longitud de 14 m y ca. 80 cm de diámetro. Lehman y Wheeler (2001) mencionan que este mismo género y *Metcalfeoxylon* fueron árboles grandes que formaron distintos estratos arbóreos en la Formación Aguja y Javelina; algunas de estas plantas llegaron a crecer entre 30 a 50 m de alto.

Las plantas antes mencionadas no desarrollaban anillos de crecimiento, tenían placas de perforación simple y elementos de vaso con diámetro tangencial promedio de 90 a 120  $\mu\text{m}$ , lo que sugiere alta eficiencia conductora. Si *Palmoxyylon enochii* creció con estas plantas es probable que haya compartido una buena capacidad de conducción del agua, que aunado al desarrollo de aerénquima en su tejido fundamental y vasos relativamente grandes (rango = 30–150  $\mu\text{m}$ ) con placas de perforación simple, sugiere cierta adaptación a ambientes con agua o muy húmedos (Fisher et al., 2002). Estas características permiten inferir que *P. enochii* vivía en contacto cercano con cuerpos de agua posiblemente cerca de planicies de inundación o en riveras de río. Bajo esas mismas circunstancias la accesibilidad al oxígeno pudo verse limitada, ayudando al desarrollo del aerénquima. Debe señalarse, aunque por el entorno botánico y ambiental sugerido para la Formación Olmos parece no ser el caso, que actualmente hay especies de palmas que presentan espacios intercelulares y no crecen cerca de cuerpos de agua como *Roystonea* (comunicación personal, Dr. Tomlinson 2009). Weber (1972) encontró un tallo de palma con un diámetro de aproximadamente 40 cm de diámetro hacia su base y perforada por pelecipodos, siendo esto otro punto a favor de que algunas especies de *Palmoxyylon* crecieron cerca de cuerpos de agua. En conclusión, es probable que las palmas hayan tenido un comportamiento del tipo arbóreo y, crecido cerca de cuerpos de agua. Este escenario ecológico-anatómico sugiere que *P. enochii* ocupaba espacios ribereños como lo indica el ambiente de depósito, y posiblemente las otras palmeras antes descritas de la Formación Olmos formaban estratos arbóreos aislados dentro de la selva paratropical.

AMEGHINIANA 46 (4), 2009

El nuevo reporte de *P. enochii* complementa la idea de que durante el Campaniano superior – Maastrichtiano inferior, en niveles de la Formación Olmos, se generó una flora muy importante, en donde sus componentes fueron diversos y variados, mismos que representan una fuente importante para formación de otras floras del Cenozoico del sur de América del Norte, norte y sur de México.

### Agradecimientos

Se agradece especialmente a J. Callejas-Moreno por todo el apoyo brindado en campo y laboratorio. A los miembros de P.A.S.A.C. (Paleontólogos Aficionados de Coahuila, A.C.), en especial a H. Porras Múzquiz, Director del Museo de Múzquiz, Coahuila, por todo el apoyo durante nuestras visitas a campo. Al R. Ramírez Briones quien recolectó la palmera fósil y nos acompañó al campo. Al INAH y a la presidencia municipal de Múzquiz, Coahuila, por las facilidades prestadas para la recolección del material fósil. A los revisores E.G. Ottone (Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina) y H.I. Martínez-Cabrera (Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, U.S.A.), que gracias a sus comentarios enriquecieron el trabajo. A R. Weber (Instituto de Geología, UNAM) por sus comentarios sobre las palmeras fósiles de la Formación Olmos. Además, a P. Barry Tomlinson por ayuda prestada sobre anatomía de las palmas actuales (Harvard University, USA). A L. Calvillo-Canadell por la recolección de material bibliográfico. A F. Chiang Cabrera (Instituto de Biología, UNAM) por la ayuda con el nombre científico de la nueva especie. Este trabajo forma parte del proyecto (45065) de SIRSC-F y reconoce la beca doctoral (167138) a EE-R, ambos del CONACYT.

### Bibliografía

- Ancibor, E. 1995. Palmeras fósiles del Cretácico Tardío de la Patagonia Argentina (Bajo de Santa Rosa, Río Negro). *Ameghiniana* 32: 287-299.
- Cevallos-Ferriz S.R.S. 1992. Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 63: 111-137.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. y Weber, R. 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 10: 65-70.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. y Ricalde-Moreno, O.S. 1995. Palmeras fósiles del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 66: 37-106.
- Delevoyas, T. 1964. Two petrified angiosperms from the Upper Cretaceous of South Dakota. *Journal of Paleontology* 38: 564-566.
- Dorf, E. 1939. Fossil plants from the Upper Cretaceous Aguja Formation of Texas. *American Museum Novitates* 1015: 1-9.
- Dutta, D., Ambwari, K. y Prasad, M. 2007. Occurrence of Upper Cretaceous fossil palm wood, *Palmsxylon bhisiensis* sp. nov. from the Lameta Formation of Bhis village, Maharashtra, India. *Journal Applied of Bioscience* 33: 8-13.
- Estrada-Ruiz, E., Upchurch, G.R. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian-Lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: A preliminary report. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 58: 273-283.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. y Cevallos-Ferriz, S.R.S.



2007. Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145: 123-133.
- Fisher, J.B., Tan, H.T.W. y Tob, L.P.L. 2002. Xylem of rattan: vessel dimensions in climbing palms. *American Journal of Botany* 89: 196-202.
- Flores Espinoza, E. 1989. *Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabins-Monclova area, northern Mexico*. Ph. Dissertation. University of Texas at Austin, 315 p. ¿Inédito? ???????????
- Gregory, K.M. 1994. Palaeoclimate and palaeoelevation of the 35 ma Florissant flora, Front Range, Colorado. *Palaeoclimates* 1: 23-57.
- Harley, M.M. 2006. A summary of fossil record for *Arecaceae*. *Botanical Journal of the Linnean Society* 151: 39-67.
- Lehman, T.M. y Wheeler, E.A. 2001. A Fossil Dicotyledonous Woodland/Forest From The Upper Cretaceous of Big Bend National Park, Texas. *Palaeo* 16: 102-108.
- Ottone, E.G. 2007. A new palm trunk from the Upper Cretaceous of Argentina. *Ameghiniana* 44: 719-725.
- Schenk, A. 1882. Die von den Gebrüder Schlägerwelt in Indien gesammelten fossilen Hölzer. *Botanischer Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie* 3: 353-358.
- Serlin, B., Delevoryas, T. y Weber, R. 1981. A new conifer pollen cone from the Upper Cretaceous of Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 241-248.
- Sahni, B. 1964. Revisions of Indian fossil plants. Part III Monocotyledons. *Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, Lucknow (India ??????)*, 89 p.
- Tadwell, W.D., Rushforth, S.M., Reveal, J.L. y Behreus, H. 1970. *Palmoxylen simperi* and *Palmoxylen pristina*: Two Pre-Cretaceous angiosperm from Utah. *Science* 168: 835-840.
- Tadwell, W.D., Medlyn, D.A. y Thayer, G.F. 1973. Three new species of *Palmoxylen* from the Eocene Green River Formation, Wyoming. *Great Basin Naturalist* 33: 61-76.
- Weber, R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 33: 5-19.
- Weber, R. 1973. *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana* 10: 173-190.
- Weber, R. 1975. *Achenia knoblochii* n. sp. an interesting conifer of the Upper Cretaceous Olmos Formation of Northeastern Mexico. *Palaeontographica* 152B: 76-83.
- Weber, R. 1976. *Dorfiella auriculata* f. gen. nov. sp. nov. un género de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México. *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología* 3: 1-13.
- Weber, R. 1978. Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperm flora of Coahuila, Mexico. *Courier Forschungs - Institut Senckenberg* 30: 38-46.
- Wheeler, E.A., McClammer, J. y LaPasha, C.A. 1995. Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene, San Juan Basin, New Mexico, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal* 16: 223-254.
- Wheeler, E.A. y Lehman, T.M. 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina Formations, Big Bend National Park, Texas, USA. *International Association of Wood Anatomists Journal* 21: 83-120.
- Wiener, G. y Liese, W. 1993. Generic identification key to rattan Palms base don stem anatomical characters. *International Association of Wood Anatomists Journal* 14: 55-63.
- Wolfe, J.A. 1979. Temperatures parameters of humid to mesic forests of eastern Asia and relation to forests of other regions of the northern hemisphere and Australasia: U.S. Geological Survey Professional Paper 1106, Washington, DC.

Recibido:  
Aceptado:

## **4. CAPITULO III**

---

### **DETERMINACIÓN PALEOCLIMÁTICA Y DE LAS CONDICIONES PALEOAMBIENTALES CON BASE EN HOJAS Y MADERAS DE LA FORMACIÓN OLMOS**

**Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian – Lower Maastrichtian), Coahuila, México: A preliminary Report**

**Reconstrucción paleoclimática – paleoambiental con base en caracteres anatómicos de las maderas de la Formación Olmos**

---

## Flora and Climate of the Olmos Formation (Upper Campanian – Lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: A Preliminary Report

Emilio Estrada-Ruiz<sup>1</sup>, Garland R. Upchurch<sup>2</sup>, and Sergio R. S. Cevallos-Ferriz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F. Mexico

<sup>2</sup>Department of Biology, Texas State University, 601 University Dr., San Marcos, Texas 78666

<sup>3</sup>Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F. Mexico

---

### ABSTRACT

In Coahuila, northeastern Mexico, the Upper Cretaceous Olmos Formation (upper Campanian – lower Maastrichtian) crops out in the Sabinas Basin, a region important for coal exploitation. Collections of plant macrofossils in the 1970s by Reinhard Weber indicated the presence of a diverse leaf flora that includes aquatic ferns, conifers, and angiosperms. Over the past three years the Laboratory of Palaeobotany of the Institute of Geology and members of P.A.S.A.C. (*Paleontólogos Aficionados de Sabinas, A.C.*) have made new collections of leaves and woods from the Olmos Formation that expand upon previous data and provide a test of hypotheses regarding the flora and vegetation. Newly collected leaf assemblages contain common palms and at least 35 species of dicotyledons. The dicotyledons are predominantly entire margined and have a high percentage of species with drip tips. Noteworthy taxa include unlobed Laurales with pinnate and palmate venation, pinnately lobed Laurales, Menispermaceae, and primitive eudicots of uncertain family affinities. Also present is a new genus of leaf with possible affinities to Nelumbonaceae. The wood flora contains abundant angiosperms that include palms, Fagaceae, Malvaceae, Cornales, and possible Lauraceae. Physiognomic analysis of the leaf flora indicates that the Olmos flora represents paratropical rainforest, with a mean annual temperature (MAT) of 20-23°C (68-73°F) and mean annual precipitation (MAP) of 1.5-3 m (5-10 ft). Minimal seasonality is indicated by the estimated MAT, the common occurrence of palms, and the absence of distinct growth rings in dicot woods. The climate inferred for the Olmos leaf flora is significantly wetter than that reported for Campanian-Maastrichtian assemblages from the southeastern U.S. and southern Western Interior, but is similar to that reported for early Paleogene assemblages from the same regions. This underscores the potential importance of the Olmos flora for understanding the origin of wet megathermal vegetation in the U.S. during the early Paleogene.

## INTRODUCTION

Fossils can contribute to many areas of Earth and biological sciences. They are especially important in reconstructing and interpreting ancient environments, paleogeography, systematics, paleoecology, and paleoclimatology. Since the work of Bailey and Sinnott, researchers have discussed the relation between leaf form and climate in angiosperms (Bailey and Sinnott, 1915; Wolfe, 1979; Greenwood et al., 1998). This relation has been used to reconstruct climate using Cenozoic and Cretaceous macrofloras, including those that contain few or no living species and genera (Wolfe and Upchurch, 1987a).

For Mexico, paleoclimatic reconstructions based on plant macrofossils are few. For the Oligocene-Miocene El Cien Formation, Martínez-Cabrera and Cevallos-Ferriz (2008) used wood anatomy to suggest that at 20 Ma wet and warm tropical forest with short, dry seasons was established on the Pacific Coast. They found that while the community growing in the area was taxonomically related to the extant dry forests of the Pacific Coast, the fossil assemblage was comparatively much more mesomorphic and resembled modern South American tropical forests.

For North America, a general picture of Upper Cretaceous non-marine climate and vegetation comes from comprehensive studies by Wolfe and Upchurch, supplemented by studies of individual sedimentary basins and floras (Wolfe and Upchurch, 1987a; Johnson et al., 2003). Climates in the continental U.S. ranged from subtropical to paratropical, with subhumid (but not wet) conditions present during most of the Upper Cretaceous. Paratropical (and tropical?) wet climates first become widespread immediately above the Cretaceous-Paleogene (C-P) boundary in the Western Interior (Wolfe and Upchurch, 1987b; Upchurch et al., 2007), and high-diversity leaf floras with megathermal rainforest physiognomy appear no later than 3 million years into the Paleocene (Johnson and Ellis, 2002). Paratropical and tropical rainforest vegetation are well established on the Gulf Coastal Plain by the late Paleocene (Wolfe, 1978). Absent from all analyses are data for the Upper Cretaceous of Mexico and Central America, regions that were closer to the paleoequator and tropical sources of moisture.

In this paper, we provide a brief overview of systematics and paleoclimate of the upper Campanian – lower Maastrichtian Olmos Formation of Coahuila, Mexico, based on newly collected leaf macrofossils and permineralized wood. We also discuss the potential significance of the flora for understanding the Paleogene of the Gulf Coastal Plain and southern Western Interior.

## GEOLOGICAL SETTING AND PREVIOUS INVESTIGATIONS

In northern Mexico and the south-central U.S., different deltaic systems formed during the Campanian-Maastrichtian. In northern Coahuila two different deltas have been recognized (Flores Espinoza, 1989). The more important one is located in the Sabinas Basin and is represented by the Olmos Formation (upper Campanian – lower Maastrichtian) (Fig. 1). This geologic formation, which is economically important for coal exploitation, contains a diverse fossil flora that is perhaps the most important flora for Cretaceous flowering plants in Mexico (Weber, 1972; Estrada-Ruiz et al., 2007).

The Olmos Formation has been reconstructed as representing deltaic and fluvial systems (Flores Espinoza, 1989). It rests on the upper Campanian San Miguel Formation and is overlain by the upper Maastrichtian Escondido Formation. Planktonic foraminifera date the Olmos Formation as Maastrichtian (Pessagno, 1969). However, an alternative age of late Campanian has been suggested by Flores Espinoza (1989), based on ammonite biostratigraphy. Evidence suggests that the upper part of the Olmos Formation and the lower part of the Escondido Formation are definitely lower Maastrichtian, and that the lower and middle Olmos Formation might be upper Campanian (Fig. 2).

Plant macrofossils from the Olmos Formation were first studied extensively by Reinhard Weber, who recognized over 80 distinct morphotypes, including 50 to 60 types of angiosperms (Weber, 1972). At the generic level, only a small number of angiosperms have been identified, including leaves of *Liriodendron*, *Pistia*, *Manihotites*, and *Sabalites* (Weber, 1972), and woods of *Paraphyllanthoxylon* (Cevallos-Ferriz and Weber, 1992), Fagaceae and Malvaceae (Estrada-Ruiz et al., 2007), and *Palmaroxylon* (Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995). This flora also contains diverse ferns, including *Salvinia* and *Dorfiella* (Weber, 1973, 1975, 1976). Palynology further documents the presence of a diverse flora (Rueda-Gaxiola, 1967; Martínez-Hernández et al., 1980). Plate tectonic reconstructions place the Olmos flora at a paleolatitude of ~35 degrees N (Lawver et al., 2002).

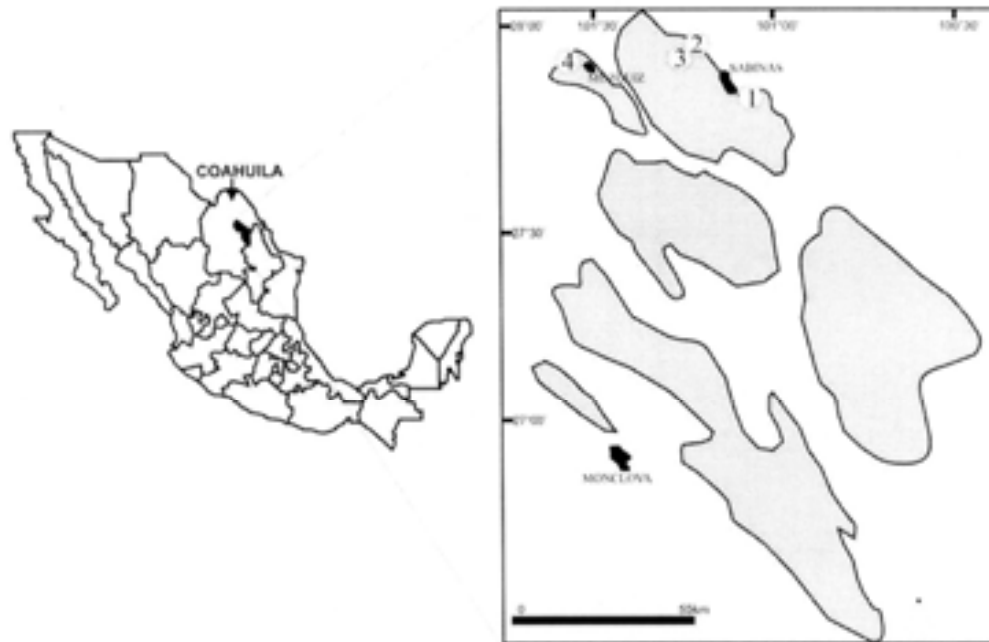


Figure 1. Location of fossiliferous outcrops: (1) Tajo El Mezquite, (2) Tajo El Ing. Nerio, (3) Tajo Block 6, and (4) Tajo El Nogalito (modified after Flores Espinoza, 1989).

## METHODS

Over the last three years, the laboratory of Paleobotany of the Institute of Geology of the National University of Mexico (UNAM) and members of P.A.S.A.C. (*Paleontólogos Aficionados de Sabinas, A.C.*) of Coahuila, have collected ca. Forty new types of leaf macrofossils and 10 types of fossil woods. Thirty-five species of angiosperm leaf macrofossils were studied from four localities: (1) Tajo El Mezquite, 101°05'23.09" W, 27°48'21.42" N; (2) Sabinas Municipality, Tajo Ing. Nerio, 101°12'37.19" W, 27°57'23.06" N; (3) Tajo Block 6 101°14'57.00" W, 27°56'56.00" N, San Juan de Sabinas Municipality; and (4) Tajo El Nogalito 101°35'07.76" W, 27°55'50.37" N, Melchor Múzquiz Municipality (Fig. 1). All leaves were collected near the base of the Olmos Formation, 2-6 m (7-20 ft) above the double coal seam of Robeck et al. (1956).

Most species of leaf macrofossils from these collections are new to science. We refer to them by informal terms pending formal systematic description. Many previously described species of angiosperm leaves have been misidentified at generic and higher taxonomic levels. Consequently, we place incorrect generic names in quotes. Organization at higher taxonomic levels follows the APG II system (APG II, 2003).

Foliar physiognomic analysis assumes that certain plant structural characteristics show a direct relation to climate. Physiognomic analysis of extant and fossil plants does not require identification at the level of genus and family, in contrast to nearest living relative methods (Wolfe and Upchurch, 1987a). Both simple and multiple regression models were used to infer Olmos Formation climate. Simple regression models use leaf margin and leaf size to estimate quantitatively mean annual temperature (MAT) and mean annual precipitation (MAP), respectively. Multiple regression models use additional features of leaf form, such as leaf shape and leaf apex. Our analysis uses leaf/climate relations proposed by a variety of authors (Wolfe, 1979; Wing and Greenwood, 1993; Gregory, 1994; Gregory and McIntosh, 1996; Wilf, 1997; Wiemann et al., 1998; Wilf et al., 1998). Twenty-three features of leaf form in fossils were measured for physiognomic analysis.

<b>TERTIARY QUATERNARY</b>	<b>Holocene</b>	Alluvial deposit
	<b>Pliocene</b>	Esperanzas lava  Sabinas Conglomerate
<b>CRETACEOUS</b>	<b>Maastrichtian</b>	Escondido Formation
		Olmos Formation
	<b>Campanian</b>	San Miguel Formation
		Upson Formation

Figure 2. Stratigraphic column, Sabinas Basin.

Wood anatomy was used to provide qualitative results and to expand upon foliar physiognomy. Wood anatomical features used for climate include the presence and absence of growth rings, vessel size, and vessel grouping. These features are more fully discussed by Upchurch and Wolfe (1987) and Wolfe and Upchurch (1987a).

### THE OLMOS FLORA

The 35 dicot leaf types currently recognized from new collections belong to the magnoliid order Laurales and different groups of eudicots. Laurales (laurels and relatives) are an important component of the Olmos leaf flora (Figs. 3A-I). Leaves of Laurales have most or all of the following features: ovate shape, cuneate to acute leaf base, palmate venation where the lateral primary veins are decurrent into the petiole, basilaminar secondary veins, a fimbrial (i.e., marginal) vein, and laminar secretory bodies. Palmately veined Laurales include strongly ovate forms with acrodromous lateral primary veins that extend to near the leaf apex (Fig. 3A), and more rounded forms with less acrodromous lateral primary veins (Fig. 3B). Pinnately veined Laurales include forms with moderately to strongly ovate shape (Figs. 3C, 3E, and 3F) and one form with rhomboidal shape (Fig. 3H). Also present are two pinnately lobed leaf types (Figs. 3G and 3I), one of which preserves secretory bodies. These pin-

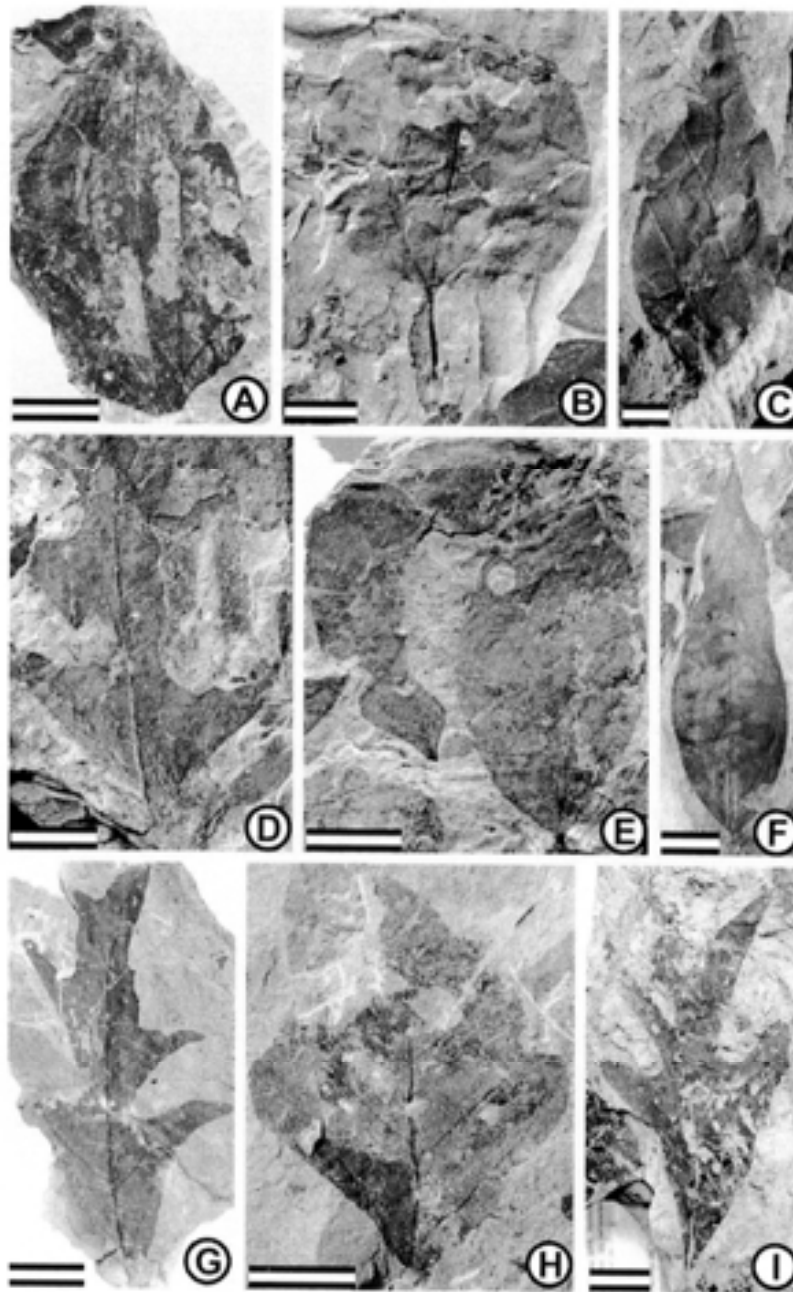


Figure 3. Laurales leaf diversity. (A) Type 3, Tajo El Mezquite, scale = 1.8 cm (0.7 in); (B) Type 3, Tajo El Nogalito, scale = 1.4 cm (0.6 in); (C) Type 4, Tajo El Nogalito, scale = 0.85 cm (0.3 in); (D) Type 6a, Tajo El Nogalito, scale = 1.75 cm (0.7 in); (E) Type 8, Tajo El Nogalito, scale = 1.7 cm (0.7 in); (F) Type 5, Tajo El Nogalito, scale = 1.5 cm (0.6 in); (G) Type 2, Tajo Ing. Nerio, scale = 2.5 cm (1.0 in), and (H) Type 3, Tajo Ing. Nerio, scale = 1.1 cm (0.4 in), I. Type 5, Tajo Ing. Nerio, scale = 1.6 cm (0.6 in).

nately lobed leaf types are related to Western Interior species of Laurales that were called "*Arctocarpus*" by early workers but have leaf cuticle similar to that of Lauraceae.

Eudicots include forms that are clearly related to modern families and forms with poorly understood relationships (Figs. 4A-G). One distinct leaf type represents an aquatic plant possibly related to Nelumbonaceae (water lotus family) (Fig. 4B). This species is characterized by an orbicular shape, centrally peltate organization, and radially oriented primary veins that run directly to chloranthoid teeth. Possible vines are recognized on the basis of petioles oriented at right angles to the blade and either lobate or eccentric peltate bases (Figs. 4C and 4F). One type (Fig. 4C) represents Menispermaceae (moonseed family), a family of vines important in modern tropical floras. This type has actinodromous primary venation, a fimbrial vein, and well-developed quadrangular areolation. A second type of possible vine (Fig. 4F) has leaves with an eccentric peltate base and an emarginate apex.

Additional eudicot leaf types have poorly understood familial affinities. One type consists of rounded to elliptical leaves with an entire margin and a rounded to cordate base (Fig. 4A). A second type consists of an ovate leaf with chloranthoid teeth and three primary veins that are decurrent into the petiole (Fig. 4G). Additional eudicot leaf types are illustrated in Figures 4D and 4E.

Fossil angiosperm woods represent palms and families of eudicots not yet recognized from leaf macrofossils (Figs. 5A-J). Growth rings in eudicot woods are indistinct or absent. One type represents Fagaceae (oak family) and is characterized by solitary vessels, vasicentric and tangential lines of axial parenchyma, scalariform perforation plates, and heterocellular rays (Figs. 5A-C). A second type represents Malvaceae (hibiscus family) and is characterized by multiple radial vessels (2-7), ray-vessel pits of two sizes, tyloses and storied rays (Figs. 5G-I) (Estrada-Ruiz et al., 2007). Extinct Malvales are represented by *Metcalfeoxylon*, a taxon known from the Campanian of Big Bend, Texas (Wheeler and Lehman, 2000). *Metcalfeoxylon* is characterized by large solitary vessels, abundant axial parenchyma, and large rays (Fig. 5K). Cornales are represented by a new taxon with large solitary vessels and large resin canals (Fig. 5L). Also present is *Paraphyllanthoxylon*, a wood type with multiple radial vessels larger than 100  $\mu\text{m}$ , large ray-vessel pits and absence of axial parenchyma (Fig. 5J). *Paraphyllanthoxylon* has been compared with multiple families of dicots, including Lauraceae.

## VEGETATION AND CLIMATE

The Olmos angiosperm leaf and wood assemblages have a physiognomy characteristic of warm wet climates. The 35 analyzed leaf species are 72 percent entire-margined. Twenty-nine percent of the species have large leaf size (mesophyll I or mesophyll II), and 50 percent of those species preserving a leaf apex have drip tips. Nine percent of the species are lobed, and the average ratio of leaf length to leaf width (L/W) is 2-3.

Foliar physiognomy estimates MAT at 20-23°C (68-73°F). Simple linear regression functions provide the warmest values (23°C [73°F]), while multiple regression functions provide the coolest values (20-21°C [68-70°F]). Leaf physiognomy estimates MAP of 1.5-3 m (5-10 ft) and growing season precipitation (GSP) of about 2 m (7 ft). Simple linear regression (leaf size analysis) provides the lowest estimate of MAP (1.5 m [5 ft]), while multiple regression functions provide higher estimates of MAP and GSP (3 and 2 m [10 and 7 ft], respectively). The occurrence of palm woods (five described species) and leaves, and the absence of rings in dicot woods, indicate a cold month mean (CMM) greater than 5°C (41°F) (Greenwood and Wing, 1995). The occurrence of dicot woods with large solitary vessels is most consistent with minimal precipitation seasonality (Carlquist, 1988).

The range of estimated MAT and MAP, and the abundant occurrence of palms, vines, and dicot woods without well-defined growth rings, indicates that the Olmos flora represents paratropical rainforest. Paratropical rainforest exists under a MAT of 20-25°C (68-77°F) and a CMM greater than 10°C (50°F) (Wolfe, 1979). Paratropical rainforest occurs in lowland Taiwan and adjacent regions of East Asia, with similar climate in peninsular Florida and Queensland, Australia (Wolfe, 1979). Paratropical rainforest of the Olmos Formation occurs 7-10°C (45-50°F) farther north than modern paratropical rainforest of East Asia (cf. Wolfe, 1979).

## CONCLUSIONS

Sedimentology indicates that the Olmos Formation was deposited in ponds, lakes, lagoons, and flood plains under humid conditions (Flores Espinoza, 1989). This is reinforced by the presence of aquatic ferns, leaves of



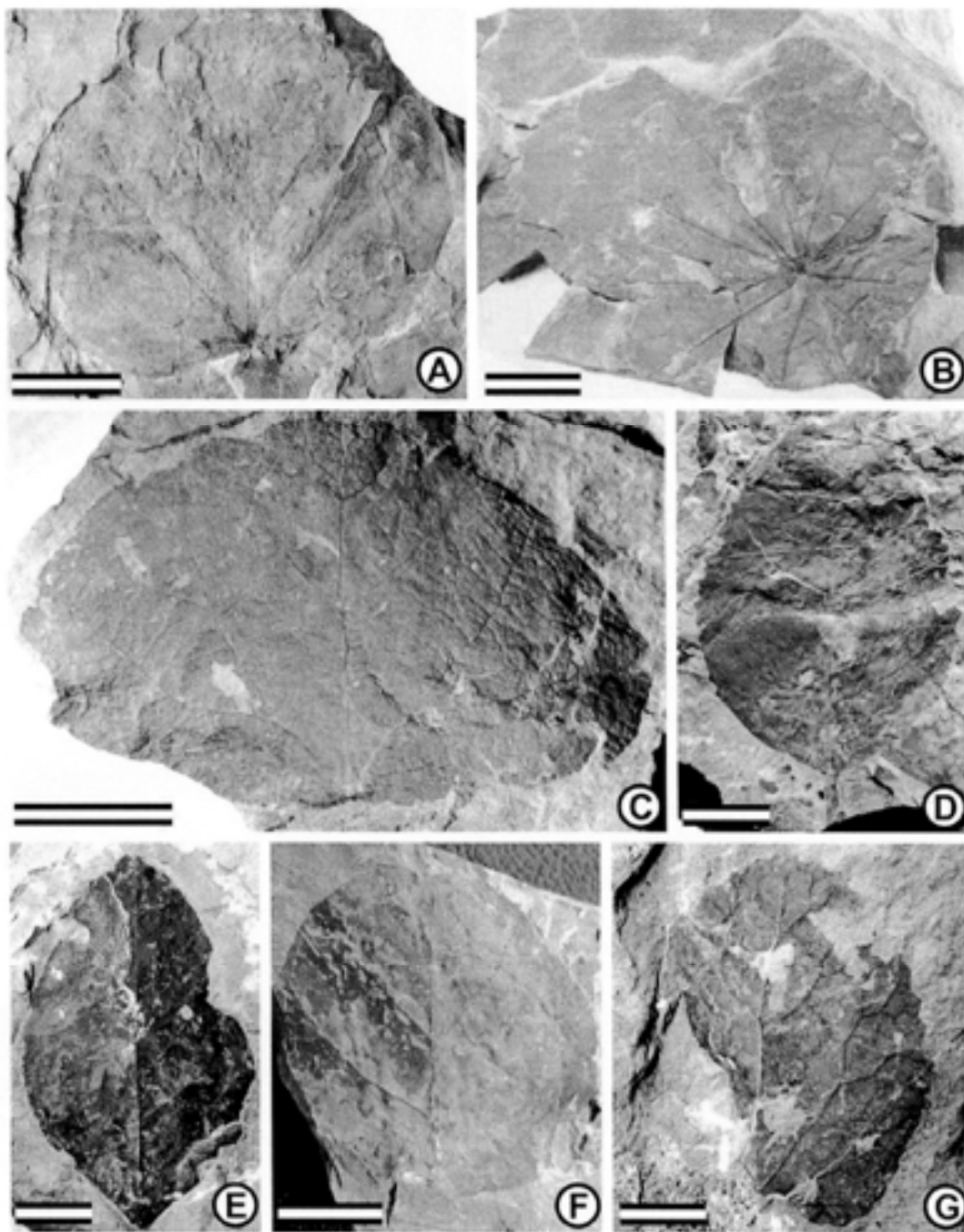


Figure 4. Eudicot leaf diversity. (A) Type 1, Tajo El Mezquite, scale = 3.95 cm (1.6 in); (B) Type 1-2, Tajo El Nogalito, scale = 1.5 cm (0.6 in); (C) Type 7, Tajo El Nogalito, scale = 1.6 cm (0.6 in); (D) Type 13, Tajo El Nogalito, scale = 2.9 cm (1.1 in); (E) Type 11, Tajo Block 6, scale = 1.6 cm (0.6 in); (F) Type 14, Tajo Block 6, scale = 2.7 cm (1.1 in); and (G) Type 4, Tajo Ing. Nerio, scale = 1.4 cm (0.6 in).

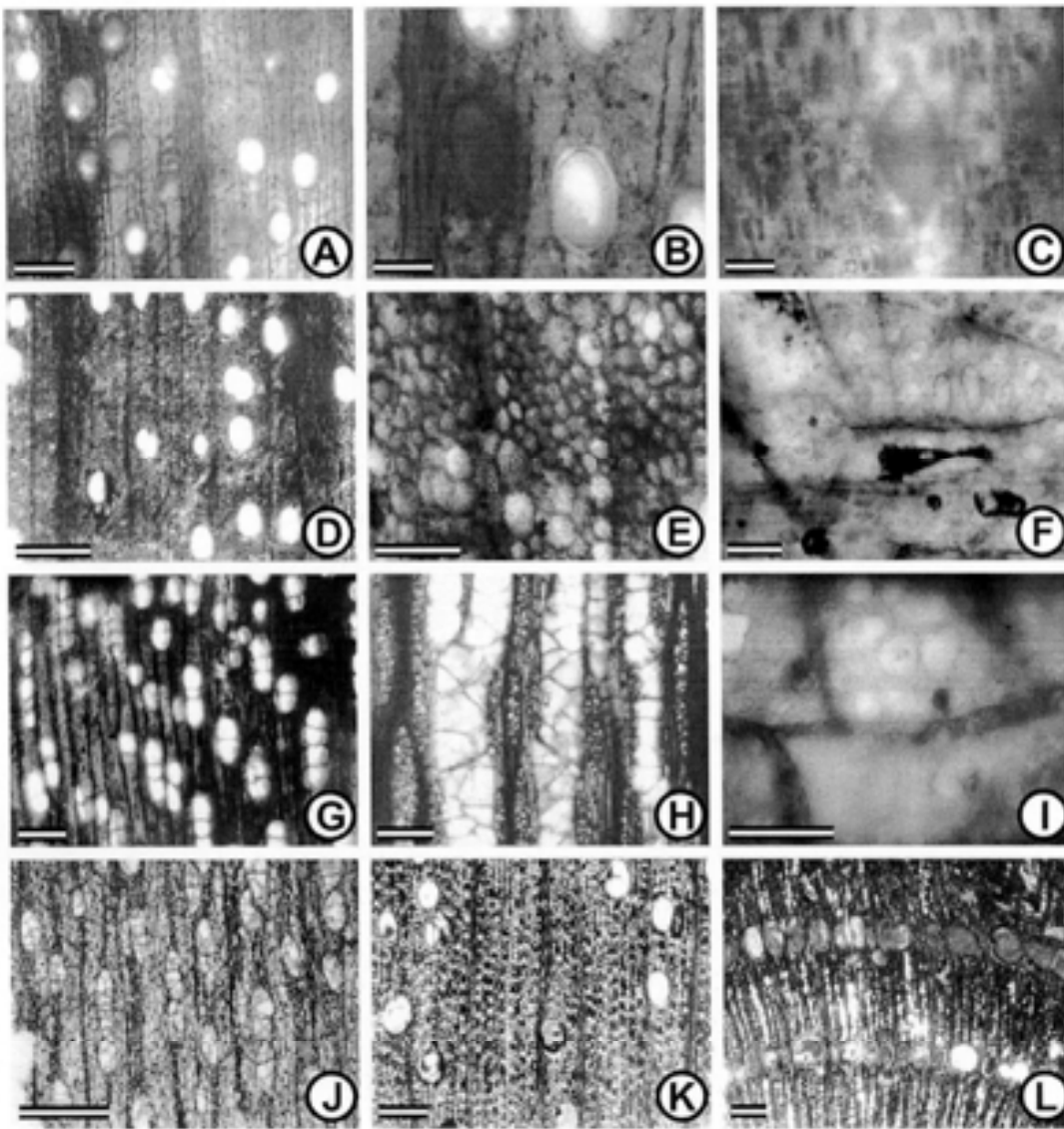


Figure 5. Wood diversity. (A-C), *Sabinoxylon pasac*; (A) Transverse section, solitary vessels, LPB-IGM 4519, scale = 300  $\mu$ m; (B) Transverse section, vessels, LPB-IGM 4529, scale = 100  $\mu$ m; (C) Radial section, scalariform plate, LPB-IGM 4520, scale = 100  $\mu$ m; (D-F) *Quercinium centenoae*; (D) Transverse section, solitary vessels, LPB-IGM 4535, scale = 450  $\mu$ m; (E) Transverse section, axial parenchyma, LPB-IGM 4535, scale = 70  $\mu$ m; (F) Radial section, vessel-ray pits, LPB-IGM 4543, scale = 16  $\mu$ m; (G-I), *Javelinoxylon weberi*; (G) Transverse section, vessels, LPB-IGM 4578, scale = 300  $\mu$ m; (H) Tangential section, vessel with tyloses, LPB-IGM 4552, scale = 150  $\mu$ m; (I) Radial section, vessel-ray pits, LPB-IGM 4557, scale = 20  $\mu$ m; (J) *Paraphyllanthoxylon* sp., transverse section, diffuse-porous wood, LPB-IGM L2, scale = 670  $\mu$ m; (K) *Metcalfeoxylon* sp., transverse section, solitary vessels, LPB-IGM L1, scale = 200  $\mu$ m; and (L) Cornales, transverse section, traumatic canals, LPB-IGM L19, scale = 350  $\mu$ m.

aquatic or sub-aquatic eudicots, vines, and numerous leaves with drip tips. The presence of unionid bivalves indicates oligotrophic fresh water, and physiognomic analysis of the macroflora indicates paratropical wet conditions. Biological data reconstruct the Sabinas Basin during Olmos deposition as a place with warm temperatures and high water availability.

Comparisons of the newly collected Olmos leaf macrofossils with published floras and unpublished collections indicate the presence of many endemic species. These comparisons also indicate the presence of genera and higher-level taxa shared with more northerly assemblages, including *Salvinia*, *Sabalites*, palmately veined Laurales, pinnately lobed Laurales, *Nelumbo*-like leaves, Fagaceae, *Manihottites*, *Palmoxyton*, *Paraphyllanthoxyton*, *Metcalfoxyton*, and *Javelinoxylon*.

Physiognomic comparisons with Late Cretaceous floras of the Gulf Coastal Plain and southern Western Interior indicate that paratropical rainforest vegetation was unusual for North America during the Campanian-Maastrichtian (Wolfe and Upchurch, 1987a; Johnson et al., 2003). Assemblages from north of Mexico are characterized by smaller leaves and the near absence of drip tips, which imply subhumid rather than wet conditions (Wolfe and Upchurch, 1987a). Quantification of rainfall using leaf size and the Climate Multivariate Leaf Analysis Program (CLAMP) indicates that precipitation in the southern Western Interior probably was no greater than ~1.5 m (5 ft) and could have been less than 1 m (3 ft) (Wolfe, 1990; Johnson et al., 2003).

Paleocene assemblages from the southern Western Interior and Gulf Coastal Plain / Mississippi Embayment contrast with Upper Cretaceous assemblages in having physiognomy similar to that of the Olmos. Leaf size is larger than in the Cretaceous, and approximately half of the evergreen species possess drip tips (Wolfe and Upchurch, 1986, 1987a; Johnson et al., 2003). In North America, megathermal rainforest environments undergo a major expansion at the Cretaceous-Paleogene boundary (Wolfe and Upchurch, 1987a; Upchurch et al., 2007). Further study will determine the extent to which Paleocene rainforest vegetation of the Gulf Coastal Plain and Western Interior had its origin in Late Cretaceous paratropical rain forests of Mexico and Central America, and the extent to which it had its origin in other biomes and regions.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank PASAC (*Paleontólogos Aficionados de Sabinas, A.C.*) and *Ing. Geol.* Judith Callejas for their assistance in the field, Laura Calvillo-Canadell for guiding the initial leaf descriptions, and the Department of Biology, Texas State University, for supporting the visit of E.E.R. This study is based in part on the Ph.D. thesis of E.E.R. at *Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM*. Grants by *Coordinación de la Investigación Científica, UNAM*, and CONACYT and DGEP student loans 167138 to E.E.R. are appreciated. S.R.S.C.F. recognizes support by CONACYT (45065) and DGAPA-UNAM for paleobotanical research.

## REFERENCES CITED

- APG II, 2003, An update of the angiosperm phylogeny groups classification for the orders and families of flowering plants: APG II: *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 141, p. 399-436.
- Bailey, I. W., and E. W. Sinnott, 1915, A botanical index of Cretaceous and Tertiary climates: *Science*, v. 41, p. 831-834.
- Carlquist, S., 1988, *Comparative wood anatomy*: Springer-Verlag, Berlin, Germany, 436 p.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., and R. Weber, 1992, Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, v. 10, p. 65-70.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., and O. S. Ricalde-Moreno, 1995, *Palmeras fósiles del norte de México: Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, v. 66, p. 37-106.
- Estrada-Ruiz, E., H. I. Martínez-Cabrera, and S. R. S. Cevallos-Ferriz, 2007, Fossil wood from the late Campanian – early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 145, p. 123-133.

- Flores Espinoza, E., 1989, Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico: Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin, 315 p.
- Greenwood, M. C., and S. L. Wing, 1995, Eocene continental climates and latitudinal temperature gradients: *Geology*, v. 23, p. 1044-1048.
- Greenwood, M. C., S. R. Manchester, D. L. Dilcher, L. F. Hinojosa, and E. A. Wheeler, 1998, Estimation of temperature and precipitation from morphological characters of dicotyledonous leaves: *American Journal of Botany*, v. 85, p. 1796-1802.
- Gregory, K. M., 1994, Palaeoclimate and palaeoelevation of the 35 ma Florissant flora, Front Range, Colorado: *Palaeoclimates*, v. 1, p. 23-57.
- Gregory, K. M., and W. C. McIntosh, 1996, Paleoclimate and paleoelevation of the Oligocene Pitch-Pinnacle flora, Sawatch Range, Colorado: *Geological Society of America Bulletin*, v. 108, p. 545-561.
- Johnson, K. R., and B. Ellis, 2002, A tropical rainforest in Colorado 1.4 million year after the Cretaceous-Tertiary boundary: *Science*, v. 296, p. 2379-2383.
- Johnson, K. R., M. L. Reynolds, K. W. Werth, and J. R. Thomasson, 2003, Overview of the Late Cretaceous, early Paleocene, and early Eocene megaflores of the Denver Basin, Colorado: *Rocky Mountain Geology*, v. 38, p. 101-120.
- Lawver, L. A., I. W. D. Dalziel, L. M. Gahagan, K. M. Martin, and D. Campbell, 2002, PLATES 2002 atlas of plate reconstructions (750 Ma to present day), <[http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates/movies/PLATES\\_atlas\\_2002.ppt](http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates/movies/PLATES_atlas_2002.ppt)> Accessed August 19, 2002.
- Martínez-Cabrera, H. I., and S. R. S. Cevallos-Ferriz, 2008, Palaeoecology of the Miocene El Cien Formation (Mexico) as determined from wood anatomical characters: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 150, p. 154-167.
- Martínez-Hernández, E., L. Almeida-Leñero, M. Reyes-Salas, and Y. Betancourt-Aguilar, 1980, *Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, v. 4, p. 167-185.
- Pessagno, E. A., 1969, Upper Cretaceous stratigraphy of the western Gulf Coast area of Mexico, Texas and Arkansas: *Geological Society of America Memoir* 111, Boulder, Colorado, 139 p.
- Robeck, R. C., V. R. Pesquera, and A. S. Ulloa, 1956, *Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila: XX Congreso Geológico Internacional*, 109 p.
- Rueda-Gaxiola, J., 1967, *Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon Crétacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique: Tesis, Faculté des Sciences, Université de Lille*, 3 vols.
- Upchurch, G. R., Jr., and J. Wolfe, 1987, Mid-Cretaceous to Early Tertiary vegetation and climate: Evidence from fossil leaves and wood, in E. M. Friis, W. G. Chaloner, and P. R. Crane, eds., *The origins of angiosperms and their biological consequences: Cambridge University Press, Cambridge, U.K.*, p. 75-105.
- Upchurch, G. R., B. H. Lomax, and D. J. Beerling, 2007, Paleobotanical evidence for climatic change at the Cretaceous-Tertiary boundary, North America: Twenty years after Wolfe and Upchurch: *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, v. 258, p. 57-74.
- Weber, R., 1972, *La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 33, p. 5-19.
- Weber, R., 1973, *Salvinia coahuilensis, nov. sp. del Cretácico Superior de México: Ameghiniana*, v. 10, p. 173-190.

- Weber, R., 1975, *Achenia knoblochi* n. sp. an interesting conifer of the Upper Cretaceous Olmos Formation of North-eastern Mexico: *Palaeontographica, Abteilung B*, v. 152, p. 76-83.
- Weber, R., 1976, *Doerfiella auriculata* f. *gen. nov. sp. nov.*, un género de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México: *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología*, v. 3, p. 1-13.
- Wheeler, E. A., and T. M. Lehman, 2000, Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina formations, Big Bend National Park, Texas, USA: *International Association of Wood Anatomists Journal*, v. 21, p. 83-120.
- Wiemman, M. C., S. R. Manchester, D. L. Dilcher, L. P. Hinojosa, and E. A. Wheeler, 1998, Estimation of temperature and precipitation from morphological characters of dicotyledonous leaves: *American Journal of Botany*, v. 85, p. 1796-1802.
- Wilf, P., 1997, When are leaves good thermometers?: *Paleobiology*, v. 23, p. 373-390.
- Wilf, P., S. L. Wing, D. R. Greenwood, and C. L. Greenwood, 1998, Using fossil leaves as paleoprecipitation indicators: An Eocene example: *Geology*, v. 26, p. 203-206.
- Wing, S. L., and D. R. Greenwood, 1993, Fossil and fossil climatic: The case for equable continental interiors in the Eocene: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, v. 341, p. 243-252.
- Wolfe, J. A., 1978, A paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the Northern Hemisphere: *American Scientist*, v. 66, p. 694-703.
- Wolfe, J. A., 1979, Temperatures parameters of humid to mesic forests of eastern Asia and relation to forests of other regions of the northern hemisphere and Australasia: U.S. Geological Survey Professional Paper 1106, 37 p. and 3 foldout plates.
- Wolfe, J. A., 1990, Palaeobotanical evidence for a marked temperature increase following the Cretaceous/Tertiary boundary: *Nature*, v. 343, p. 153-156.
- Wolfe, J. A., and G. R. Upchurch, 1986, Vegetation, climatic and floral change at the Cretaceous-Tertiary boundary: *Nature*, v. 324, p. 148-152.
- Wolfe, J. A., and G. R. Upchurch, 1987a, North American non-marine climates and vegetation during the Late Cretaceous: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 61, p. 33-77.
- Wolfe, J. A., and G. R. Upchurch, 1987b, Leaf assemblages across the Cretaceous-Tertiary boundary in the Raton Basin, New Mexico and Colorado: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 84, p. 5096-5100.

---

NOTES

---

## **Reconstrucción paleoclimática – paleoambiental con base en caracteres anatómicos de las maderas de la Formación Olmos**

### **INTRODUCCIÓN**

Existen diferentes procedimientos para hacer estudios paleoclimáticos y paleoambientales utilizando a las plantas fósiles. Uno de los métodos para obtener estas inferencias se denomina “Pariente Vivo más Cercano” (PVM) y relaciona las plantas fósiles con taxa actuales. En este método se considera que los requerimientos ambientales o climáticos de los taxa fósiles son similares a aquellas plantas que taxonómicamente son en la actualidad parientes cercanos (Axelrod y Bailey, 1969; Uhl y Mosbrugger, 1999). Para el desarrollo de este procedimiento se consideran prácticamente cualquier estructura vegetal que pueda determinarse taxonómicamente. Por ejemplo, si en una determinada localidad se encuentra a Rhamnaceae, y su representante actual crece en un ambiente tropical, se intuye creció en un ambiente similar. Sin embargo, este método tiene varias desventajas; al no trabajarse con organismos completos, puede que la inferencia se basa en una mala identificación, por lo que el método debe aplicarse con cautela. Por ejemplo, Dilcher (1973) estimó que el 60% de las especies descritas en el Eoceno de Tennessee y Kentucky estaban mal descritas (Dolph y Dilcher, 1979). Por otro lado, tratar de inferir parámetros ambientales o climáticos cuando no se pueden establecer buenas relaciones taxonómicas entre plantas fósiles y actuales, limita la aplicación de este método. Muchas dicotiledóneas del Neógeno temprano se han identificado y relacionado con actuales, pero la dificultad de identificarlas se incrementa progresivamente cuando se estudian las plantas del Paleógeno y del Cretácico (Wolfe, 1993). Con plantas del Paleógeno y el Cretácico, se establecen asociaciones sistemáticas muy generales, además de que se distinguen muchos géneros extintos, resultando que no se puedan obtener inferencias o que éstas sean erróneas, aunado a eso algunos taxones durante el pasado tuvieron una distribución geográfica más amplia que sus parientes actuales, y es probable que el ambiente no haya sido el mismo en el que viven sus parientes actuales. Este método sólo es aconsejable

para floras del Mioceno al Plioceno y se debe utilizar con mucho cuidado y consideraciones especiales deben tenerse para floras del Paleógeno y Cretácico.

El segundo procedimiento se ha denominado “Aproximación Morfológico Estructural” (AME), y consiste en asumir que ciertas características estructurales de las plantas (e.g., desarrollo de anillos de crecimiento en madera, tipo de porosidad, fisonomía foliar, densidad de venación foliar, etc), tienen una expresión directamente relacionada a las condiciones climáticas de los lugares en que ellas habitan. Los análisis de este método con estructuras de plantas, tanto fósiles como actuales, no requieren de una determinación taxonómica (Uhl y Mosbrugger, 1999). Los caracteres que pueden emplearse pueden ser tanto macroscópicos (e.g., tamaño de vasos, fisonomía foliar) como microscópicos (e.g., densidad de aparatos estomáticos).

Con respecto a las reconstrucciones paleoclimáticas con base en plantas fósiles de México, solamente cuatro trabajos formales se ha realizado en localidades Paleógeno y Neógeno. El primer trabajo lo realizó Velasco de León (1999) en la Formación Coatzingo (Oligoceno) en el estado de Puebla. Ella utilizó el método de fisonomía foliar para proponer el paleoclima de la localidad de Los Ahuehuetes, en Tepexi de Rodríguez. Realizó un análisis multivariado con 30 tipos de hojas fósiles de Los Ahuehuetes y con un mínimo de 20 hojas de 9 localidades actuales de México que se añadieron a la base de datos CLAMP, que contiene más de 100 localidades actuales muestreadas alrededor del mundo. Se registró para cada una de ellas 31 estado de carácter. Aplicando un análisis de correspondencia canónica, el resultado fue la propuesta de que el clima era de tipo templado subhúmedo, con lluvias en verano. Otro trabajo similar lo realizaron Aguilar y Velasco-de León (2002), utilizando el anterior método (CLAMP), describen el clima de la localidad de Santa María Amajac, Hidalgo, durante el plioceno fue de templado a subhúmedo. El otro trabajo lo hicieron Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz (2008) con maderas de la Formación El Cien (Oligoceno-Mioceno) en Baja California Sur. Ellos analizaron los caracteres anatómicos de maderas fósiles y de varias comunidades actuales con el fin de poder determinar las condiciones ambientales generales bajo las cuales



prosperaron las plantas de la Formación El Cien. En ese trabajo se realizaron diferentes grupos de análisis, como el análisis de correlación y el análisis de componentes. El resultado que arrojó este trabajo fue que aunque la comunidad fósil tiene gran similitud a nivel familia y género con la selva baja caducifolia de Chamela, Jalisco, pero en la fisonomía del conjunto fósil es comparativamente más mesomórfica. Castañeda-Posadas (2006), reconstruye el paleoclima de dos localidades fósiles del Mioceno con base en fisonomía de la madera, las localidades de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas se desarrollaron bajo condiciones similares a las selvas tropicales. Desafortunadamente, hasta la fecha estos son los únicos trabajos detallados sobre reconstrucciones paleoclimáticas en México, pero debe resaltarse que estas dos investigaciones utilizan *proxis* distintos, dos se realizó con hojas oligocénicas, mientras que los otros con maderas fósiles del Oligoceno-Mioceno, ambos comienzan a generar una idea de las condiciones en las que crecieron las plantas de aquel tiempo (Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz, 2008).

### **Anatomía de la madera**

El estudio de la madera fósil ha proporcionado datos sobre la evolución y adaptación de los elementos de vasos a través del tiempo geológico. Las características anatómicas de la madera sirven para la sistemática e identificación, pero además en estudios ecológicos y evolutivos (Olson, 2005). Éstos pueden ayudar a entender la biodiversidad, el ambiente y clima del pasado (Poole, 2000). Se piensa que las primeras maderas poseían características primitivas, como vasos estrechos o pequeños con placas de perforación escalariforme (Bailey, 1954). Aspectos de esta hipótesis lo complementa el registro fósil de maderas de dicotiledóneas; por ejemplo, hacia el Cretácico Superior, hay más registros de maderas con vasos con placas de perforación escalariforme y para el Neógeno la incidencia es menor (Wheeler y Baas, 1991). La madera a través de su morfología puede dar información de las condiciones climáticas de una región o área. Así, Starr (1912) observó que la precipitación juega un papel importante en la cantidad de vasos por milímetro cuadrado. Carlquist (1975) realizó una primera síntesis de

la importancia que tiene los factores ecológicos sobre la anatomía de la madera, y reconoció el papel del agua como factor primario al que la madera responde, incidiendo en el diámetro de los vasos, su frecuencia, engrosamientos en espiral, o presencia de anillos de crecimiento. En contraste, trabajos más recientes han encontrado que la mayoría de los caracteres de la madera guardan relación más estrecha con la temperatura (e.g., Baas y Schweingruber, 1987; Woodcock e Ingas 1994; Wienmann et al., 1998; Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz, 2008). La interpretación del paleoclima con base en la anatomía de la madera fósil se había obstaculizado debido a la falta de un entendimiento sólido de cómo el clima puede afectar a la estructura del xilema. Esta relación aunque bien documentado se había analizado únicamente sobre bases cualitativas, por ejemplo, la utilización del PVM.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

Durante estos tres últimos años el Laboratorio de Paleobotánica del Instituto de Geología, UNAM, miembros de P.A.S.A.C. (Paleontólogos Aficionados de Sabinas, A. C.) así como la cooperación de algunas compañías que explotan el carbón hemos recolectado cerca de 50 tipos de hojas principalmente de angiospermas y diez de maderas de eudicotiledóneas, todo el material recolectado se encuentra depositado en la Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM. Las maderas fósiles fueron encontradas principalmente rodadas o incluidas en las areniscas. Hasta la fecha ni una madera se ha encontrado en posición de crecimiento o desarrollo. Las maderas se recolectaron a una altura de 30 a 50 metros desde la base de la Formación Olmos en un sistema fluvial, en facies de barras arenosas y rellenos de canales. Es claro que la disponibilidad de agua era alta porque en algunas maderas se encontraron con perforaciones de algunos bivalvos como pelecípodos, en otras maderas presentaban gran cantidad de hifas y coprolitos probablemente de insectos.

## **Análisis con base en caracteres anatómicos y morfológicos con las variables climáticas**

Para este trabajo se utilizaron varios métodos para la reconstrucción paleoclimática. Estos métodos asumen que algunos caracteres de las maderas (e.g., anillos de crecimiento, tamaño de vasos, vasos por milímetro cuadrado, etc) están relacionados con algunas variables climáticas y que tienen una expresión directa a las condiciones ambientales en donde crecieron. El análisis morfológico estructural no necesita una determinación o identificación taxonómica (e.g., Wolfe y Upchurch, 1987; Uhl y Mosbrugger, 1999).

## **Fisonomía de la madera**

Para la reconstrucción se tomaron en cuenta datos previos de Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz (2008), que presentan información de cinco bosques tropicales húmedos (Tafelberg, Surinam; Manaus y Porto Vehlo, Brasil; Los Tuxtlas, México), una selva baja caducifolia (Chámela, México), un bosque mesófilo de montaña (Ocuilán, México). Castañeda-Posadas (2007) anexa dos nuevas localidades a la matriz previa, una selva mediana subperennifolia (Campeche, México) y un matorral xerófilo (Puebla, México). Se utilizaron análisis de regresión múltiple que usa principalmente agrupamiento de vasos, vasos por  $\text{mm}^2$ , etc (Tabla, 1), para cuantificar Temperatura Media Anual (TMA), Intervalo Medio Anual de Temperatura (IMAT), Precipitación Media Anual (PMA), Evaporación Máxima y Evaporación mínima. El análisis que se utilizó esta basado por los autores (Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz, 2008; Wiemman et al., 1998; Wiemman et al., 2001).

## **Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz. 2008**

Ecuaciones utilizadas

Temperatura Media Anual (**TMA**)

$TMA = 27 - 0.42 (\text{diámetro punteaduras}) + 2.94 (\text{bandas apotraqueales}) - 33.88$   
(punteaduras escalariformes)

$TMA = 29.9 - 32.85 (\text{punteaduras escalariformes}) - 0.75 (\text{diámetro punteaduras})$

$TMA = 23.53 - 31.33 (\text{punteaduras escalariformes}) + 0.6.11 (\text{bandas apotraqueales})$

#### Intervalo Medio Anual de Temperatura (**IMAT**)

$IMAT = 2.026 + 0.907 (\text{diámetro punteaduras}) + 1.37 (\text{bandas apotraqueales}) - 0.867$   
(pared de fibras)

#### Evaporación máxima (**E<sub>max</sub>**) y Evaporación mínima (**E<sub>min</sub>**)

$E_{max} = 144.467 + 2.58 (\text{vasos/mm}^2) - 0.25 (\text{células de alto en radios uniseriados})$

$E_{min} = 15.849 + 2.54 (\text{vasos/mm}^2)$

#### **Wiemann, M.C., Wheeler, E.A., Manchester, S.R., y Portier, K.M. 1998**

##### Temperatura Media Anual (**TMA**)

$PMA = 6.06 + 6.332 (\text{septados}) + 7.901 (\text{ausentes})$

$TMA = 13.40 - 0.250 (\text{espiral}) + 0.637 (>10 \text{ seriados}) + 0.255 (\text{heterocelulares} + 4) + 0.416 (\text{estratificados}) - 0.213 (\text{ausentes})$

#### **Wiemann, M.C., Dilcher, D.L., y Manchester, S.R. 2001**

##### Temperatura Media Anual (**TMA**)

$TMA = 33.57 - 0.236 (<100 \mu\text{m})$

Tabla, 1. Matriz de datos que se utilizó para obtener los promedios para las ecuaciones de paleoclimatología.

	V/MM <sup>2</sup>	VD	LV	V/G	Bar	Traq	SE	GR	Vulnerabilidad (diámetro/freq)	Mesomorfía
<b>Cornaceae</b>	26.76	74	1074	1	48	1	0	0	2.765321375	2969.955157
<b>cf. Lauraceae</b>	8.5	108.9	449	1.3	0	0	0	0	12.81176471	5752.482353
<b><i>Metcalfioxylon</i></b>	4	120.5	1135	1	18.3	1	0	0	30.125	34191.875
<b><i>Javelinoxylon</i> sp2</b>	14.4	97	226	1.85	0	0	0	0	6.736111111	1522.361111
<b>Anacardiaceae</b>	11	97	236	1.48	0	0	0	0	8.818181818	2081.090909
<b>Malvaceae s.l.</b>	11	124	308	1.42	0	0	0	0	11.27272727	3472
<b><i>Quercinium</i></b>	6.1	131	465	1	0	1	0	0	21.47540984	9986.065574
<b><i>Sabinoxylon</i></b>	6.1	122	1125	1	12.8	1	0	0	20	22500
<b><i>Javelinoxylon</i> <i>weberi</i></b>	20	96	389	2.4	0	0	0	0	4.8	1867.2
<b><i>Javelinoxylon</i> sp1</b>	8.5	94.4	347	1.88	0	0	0	0	11.10588235	3853.741176

11.636 106.48 575.4 1.433 7.91 40 0 0 12.99103985 8829.677128

V/MM= vasos por mm<sup>2</sup>; VD= diámetro de los vasos (µm); VL= longitud de los elementos de vaso (µm); V/G= vasos por grupo; Bar= promedio de barras por placa de perforación; Traq= proporción de traqueidas; SE= proporción de engrosamientos en espiral (uniendo madera temprana y tardía); GR= porosidad.

### Análisis de Conglomerados y Ordenación

Se realizó un análisis de componentes principales, siguiendo principalmente la metodología de Martínez-Cabrera (2004). Se utilizaron los datos obtenidos por Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz (2008), y Castañeda-Posadas (2007). Además, se tomó la matriz de Carlquist y Hoekman (1985). Carlquist y Hoekman (1985) estudiaron la flora de California que comprendió 206 especies, dentro de diez comunidades ecológicas. La mayor parte del estudio presenta zonas áridas, y en menor proporción tipo mediterráneo o desértico, vegetación riparia “woody trees”, halófitas y arbustos de áreas húmedas. Martínez Cabrera (2004) incorporó siete comunidades a la matriz de Carlquist y Hoekman (1985). La matriz presenta comunidades ecológicas de regiones áridas, méxicas y tropicales, lo que representa una buena oportunidad para conocer donde pudo desarrollarse la flora de la Formación Olmos, aunque esto se debe de tomar con extrema precaución ya que la baja incidencia de morfoespecies con base en maderas de la Formación Olmos es baja.

En total la matriz incluye 18 categorías ecológicas y la flora fósil de la Formación Olmos, con nueve características de los elementos conductores (Tabla,

2). El conteo de los caracteres se tomó de acuerdo al trabajo de Martínez Cabrera (2004) para tener un paralelo con los datos y las obtenciones de resultados.

Tabla, 2. Matriz de datos con 19 comunidades ecológicas y 9 caracteres.

	V/MM <sup>2</sup>	VD	VL	V/G	Bar	Traq	SE	GR	MESO
Riparia	163	50.7	418	1.77	6.75	37.5	12.5	56.3	253
Moist	198	36.6	338	4.62	4.1	30	20	75	106
Chaparral	299	29.2	261	4.76	0.122	24.4	54.9	62.2	66.7
Coastal sage	212	34.5	188	7.55	0	6.06	42.45	62.2	80.7
Alpina	442	20.9	266	2.53	4.75	58.3	29.15	75	27.1
Desert scrub	361	25.9	190	2.62	0	40	44	80	20.9
Desert wash	148	42.2	185	3.61	0	11.8	26.45	70.6	139
Suculentas	44.6	57.5	245	1.84	0	0	0	66.7	368
Halófitas	158	29	100	2.6	0	0	12.5	50	25.8
Woodland	19.3	77.8	454	1.15	0	0	0	50	1950
Mesófilo	34.7	75.63	824.6	1.66	20.59	22.2	23.3	18.33	3511.6
Chamela	32.77	87.56	322	1.89	0	0.16	0	22.31	2810.9
LosTuxtlas	13.16	120.8	635	1.79	0.53	0	0	6.67	13768
Tafelberg	13.89	90.88	577.4	1.55	0.24	0	8	4	6913.4
PortoVelho	13.58	104.57	477.54	1.56	0	0	4	0	8126.8
Manaus	9.49	107.54	540.1	1.65	1.2	0	0	6	12354.8
Campeche	11.63	143.69	345.75	1.65	0.012	0.29	0	999	4268
Tehuacán	37.11	101.67	340.39	2.56	0	0.08	0	999	934.52
<b>FmOlmos</b>	<b>11.6</b>	<b>106.48</b>	<b>575.4</b>	<b>1.433</b>	<b>7.91</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8825</b>

V/MM<sup>2</sup>= vasos por mm<sup>2</sup>; VD= diámetro de los vasos (µm); VL= longitud de los elementos de vaso (µm); V/G= vasos por grupo; Bar= promedio de barras por placa de perforación; Traq= proporción de traqueidas; SE= proporción de engrosamientos en espiral (uniendo madera temprana y tardía); GR= porosidad; MESO= índice de Mesomorfía.

## RESULTADOS

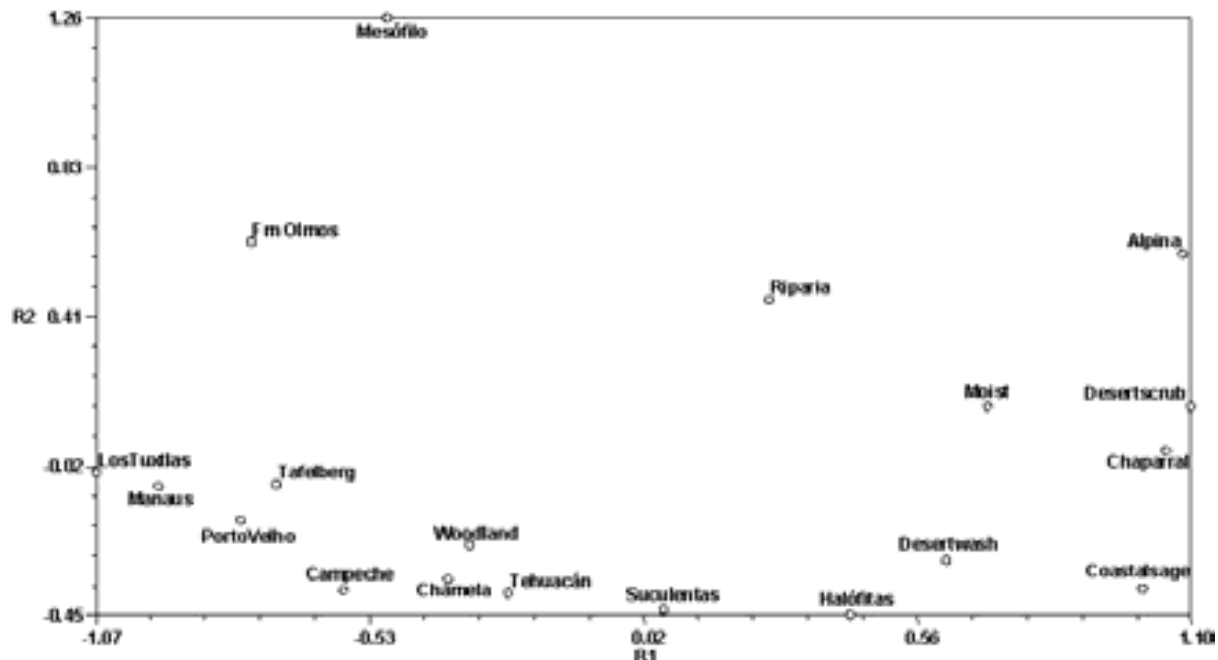
### Maderas

Para este trabajo se analizaron en total diez tipos de maderas de angiospermas (Tabla, 1); con los análisis de regresión múltiple antes mencionados, se obtuvieron los valores de TMA, PMA e IMAT. Para la temperatura media anual (TMA) fue de 21.7 a 23.7° C. Con respecto a la Precipitación Media Anual (PMA) se obtuvo un valor de 433 cm, por lo que este valor se tomará con reservas, ya que sólo se utilizó una ecuación. El Intervalo

Medio Anual de Temperatura (IMAT) fue entre 1.9 a 3.8, con una evaporación máxima y mínima (E max y E min) de 173 (E max) y 45 (E min). Esto es debido a la presencia de vasos grandes y solitarios, anillos de crecimiento indistinto, así como una alta presencia de maderas con placa de perforación simple.

### **Análisis de Componentes principales (ACP)**

El análisis de ACP se nota claramente dos categorías o grupos ecológicos, las más xéricas se encuentran del lado derecho, descrito por Carlquist y Hoekman (1985), y las más méxicas y tropical, en donde se encuentra la flora de la Olmos (Fig. 1). Es interesante que la paleoflora muestre también estrecha relación con el bosque mesófilo. La conductividad que muestra la flora fósil es similar a las que se encuentran en el grupo de los trópicos (Fig. 1). Por ejemplo, los elementos conductores en lo referente a la proporción de el número de vasos, es similar al grupo que se encuentra en las selvas tropicales más que el mesófilo, la Formación Olmos presenta un tamaño y una proporción o frecuencia de vasos por mm cuadrado similar a Los Tuxtlas (13.16 v/mm<sup>2</sup>), Tafelberg (13.89 v/mm<sup>2</sup>), Porto Velho (13.58 v/mm<sup>2</sup>), Manaus (9.49 v/mm<sup>2</sup>) y Campeche(11.63 v/mm<sup>2</sup>), mientras que la Formación Olmos presenta 11.6 v/mm<sup>2</sup> (Tabla, 2), lo que representa un alto porcentaje de conductividad, además, esto es apoyado por el diámetro de vasos, con diámetro mayor a 100 µm, esta características es más común de zonas en donde la disponibilidad de agua es alta. En la figura 1, el grupo de la parte izquierda presenta un diámetro mayor a 100 µm con excepción de Talferberg. Los vasos grandes son propios de zonas tropicales altas. Wheeler y Baas (1991, 1993), mencionan que la presencia de vasos con más de 200 µm en diámetro, es común de árboles que se desarrollan en zonas tropicales, mientras que con vasos menores a 100 µm son de árboles que crecen en ambientes de alta montaña con temperaturas frías. Los árboles de la Formación Olmos presentaban una eficiencia de conducción de agua similar al grupo de las selvas altas actuales.



Figura, 1. Gráfica de las comunidades ecológicas y categorías ecológicas de componentes principales.

Otro carácter de importancia que forma el aparato de conducción del xilema es la longitud de los vasos, la proporción de longitud de la paleoflora de la Formación Olmos es similar a Los Tuxtlas, Talfelberg, Porto Velho y Manaus (Tabla, 2). En conjunto, estos caracteres (diámetro, frecuencia y longitud de vasos) se conocen como índice de mesomorfía, propuesto por Carlquist y Hoekman (1985), en la flora de la Formación Olmos el promedio total del índice es similar al grupo de las selvas altas, dando a un más soporte a que la Olmos tenía una alta eficiencia con respecto a la conductividad de agua.

La flora de la Formación Olmos presentó un promedio de vasos grandes y largos con un porcentaje no alto de placas de perforación escalariforme, pero con un promedio total alto en la incidencia barras por placa de perforación, esta característica contrasta a los datos con respecto al registro fósil del Cretácico Superior que presentaban vasos grandes y largos con placas de perforación escalariforme (Bailey, 1954). La presencia de este carácter se encuentra en menor



proporción en las actuales selvas tropicales (Tabla, 2), lo contrario a los ambientes húmedos templados en donde la presencia de estas tres características es notable (Tabla, 2). La mayor proporción de placas de perforación escalariformes se encuentra en el Mesófilo, Riparia, "Moist" y la Alpina (Tabla, 2). En la Fig. 1, la Formación Olmos se encuentra entre el bosque mesófilo y el grupo de las selvas altas tropicales, esto es por la alta proporción de barras por placa de perforación escalariforme, aunque esta proporción está dada por sólo por tres maderas (*Muzquizoxylon*, *Metcalfeoxylon* y *Sabinoxylon*), pero sólo *Muzquizoxylon* y *Metcalfeoxylon* presentan exclusivamente placas de perforación escalariforme. Estas dos maderas presentan los caracteres típicos de las llamadas "maderas primitivas" con una alta proporción de barras por placas de perforación, fibrotraqueidas y vasos largos. Por la alta proporción de barras por placa de perforación escalariforme la flora de la Formación Olmos se ubica entre las selvas altas y el bosque mesófilo, en este mismo análisis, pero al quitar la presencia de placas de perforación escalariformes la flora de la Formación Olmos se acerca al grupo de las selvas tropicales.

Algunos autores mencionan que la presencia de placas de perforación escalariforme se encuentra en floras tropicales de alta montaña (15 al 33%) o en zonas tropicales de bosques de tierras bajas (0-8%) (Wheeler y Baas, 1991, 1993). Carlquist y Hoekman (1983), en el trabajo sobre la flora de California, puntualizan que la presencia de placas de perforación es interpretada como relictas de zonas méxicas y sólo se presenta en pocas especies. La presencia de placas de perforación escalariforme se pensaría que la eficiencia de conductividad de agua no sería alta, como las maderas que presentan placas de perforación simple. Ellerby y Ennos (1998), observaron que el ángulo y el número de barras juega un papel importante en el flujo, vasos con un alto ángulo de la placa aumenta el número de barras, lo que hace que el flujo sea más lento, haciendo la eficiencia lenta del agua, sólo en *Muzquizoxylon* se observó un ángulo alto con un promedio de 48 barras por placa de perforación. Aún así, la eficiencia de la flora de la Formación Olmos era eficiente y alta como en las zonas tropicales. Otro punto por mencionar es que la Formación Olmos no entra al patrón de otras localidades con

respecto a la poca presencia de maderas con placas de perforación escalariforme. Por ejemplo, Takahashi y Suzuki (2004), describen 14 especies representado en 10 géneros del Albiano de Japón, de todas maderas descritas, ocho presentaron exclusivamente placas de perforación escalariforme por 4 con placas simples, sólo 2 presentaron placas de perforación simple y escalariforme, siendo mayor las plantas con placas de perforación escalariforme. En otro estudio Wheeler y Lehman (2000) y Wheeler et al., (1994), describen del National Park Big Bend 13 maderas de la Formación Aguja y Formación Javelina, de éstas 8 presentaron placas de perforación escalariforme. Esta característica no ocurre en la Formación Olmos, de las 11 especies totales (Estrada-Ruiz et al., 2007; Cevallos-Ferriz y Weber, 1992) sólo dos presentan exclusivamente placas de perforación escalariforme y *Sabinoxylon* con simple y escalariforme. Apoyando a un más la idea de que la paleoflora se desarrolló donde la disponibilidad de agua era alta, similar a las selvas tropicales actuales. Aunque esto se debe de tomar con precaución ya que la baja presencia de plantas con placas de perforación escalariforme sea por el muestreo.

Otro carácter de importancia es la presencia o ausencia de anillos de crecimiento; en la paleoflora esta característica es nula, su condición es más cercana o similar a las floras tropicales que presentan una proporción baja, en contraste al bosque mesófilo que presenta una alta proporción de anillos de crecimiento. No es raro que la paleoflora no presente desarrollo de anillos de crecimiento ya que esta condición era común durante el Cretácico Superior, para el Paleógeno la incidencia de anillos de crecimiento fue en aumento (Wheeler y Baas, 1991, 1993).

Es evidente que la flora de la Olmos presenta caracteres más cercanos a los encontrados en las selvas altas tropicales (Fig. 1), es probable que la flora se desarrolló en ambiente en donde la disponibilidad de agua era alta, esto lo evidencia la presencia de pelecípodos en algunas maderas y en algunos tallos se encontraron perforadas por estos bivalvos, además en un tallo de palma (*Palmoxyton*) su tejido fundamental presentaba espacios intercelulares común de zonas en donde la disponibilidad de agua está presente.

## DISCUSIÓN

Los datos que se obtienen a partir de maderas fósiles de la Formación Olmos son de suma importancia porque se tuvo una idea bajo que condiciones climáticas y ecológicas se desarrolló la paleoflora. Además, con los datos que se obtuvo con la sedimentología indica que la Formación Olmos se desarrolló en un ambiente compuesto por planicies de inundación, barras arenosas y rellenos de canales, con alta disponibilidad de agua (Flores Espinoza, 1989, Estrada-Ruiz et al., 2008), esto es reforzado porque en los estratos cercanos a la base de la columna de la Formación Olmos, se recolectaron helechos de tipo acuático, hojas de eudicotiledóneas de hábitos acuáticos a subacuáticos como Nelumbonaceae y lianas, hojas de palmas, así como hojas con ápice atenuado, conocido como “punta de goteó”. La presencia de bivalvos de la familia Unionidae en estos mismos estratos indica aguas frescas oligotrópicas, y los análisis de fisonomía foliar (Estrada-Ruiz et al., 2008) y maderas de la paleoflora indica que formó una selva paratropical bajo altas condiciones de humedad, y una alta disponibilidad de agua.

Con las maderas fósiles se logró la determinación taxonómica de algunos tipos a nivel familia, se describió maderas relacionadas con Fagaceae, Malvaceae, Cornaceae, Anacardiaceae, cf. Lauraceae, y otras que no se encuentran en alguna familia actual como *Metcalfioxylon*. Los datos obtenidos respecto al clima son similares al de las hojas, lo que refuerza aun más el desarrollo de una selva paratropical. La carencia de anillos de crecimiento, vasos con diámetro mayor a 100  $\mu\text{m}$ , así como vasos largos, indica que la paleoflora prospero condiciones tropicales con buena disponibilidad de agua (Fig. 1). Es probable que esta alta humedad se deba a la cercanía que había con cuerpos de agua como ríos, o planicies de inundación.

Comparaciones de fisonomía foliar con otras localidades del Cretácico Superior de las Planicies Costeras del Golfo y del Sur del Western Interior, indican que el desarrollo de selvas paratropicales fue inusual o raro durante el Campaniano-Maastrichtiano (Wolfe y Upchurch, 1987a; Johnson et al., 2003),

muchas de estas asociaciones están caracterizadas por hojas pequeñas y sin la presencia de ápices atenuados indican condiciones más de sub-húmedad (Wolfe y Upchurch, 1987a). Datos obtenidos a través de la cuantificación del tamaño de hojas y de CLAMP, indican que la precipitación del sur del Western Interior probablemente no era mayor ~ 1.5 m, incluso podría ser menos de 1 m (Wolfe, 1990; Johnson y Ellis, 2002; Johnson et al., 2003). En América del Norte, el ambiente de selva paratropical tiene su mejor extensión principal en el límite Cretácico-Paleógeno (Wolfe y Upchurch, 1987a; Upchurch et al., 2007).

Es probable que la flora de la Formación Olmos (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano) haya jugado un papel importante para el origen de las selvas paratropicales del paleógeno del Western Interior, como las del norte y sur de América del Norte, norte y centro de México y probablemente intervino en las selvas paratropicales paleógenas de Centro América (e.g., Colombia).

## LITERATURA CITADA

- Axelrod, D.I. y H.P. Bailey. 1969. Paleotemperature Analysis of Tertiary Floras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 6: 163-195.
- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Groups classification for the orders and families of flowering plants: APG II: *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- Carlquist, S., 1988, *Comparative wood anatomy*. Springer-Verlag, Berlin.
- Castañeda-Posadas, C. 2006. Modelo paleoclimático basado en los caracteres anatómicos de la madera de las rocas miocénicas de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas. Tesis de Maestría.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., y R. Weber. 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista* 10: 65-70.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., y O.S. Ricalde-Moreno. 1995. Palmeras fósiles del norte de México: *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 66: 37–106.

- Dilcher, D.L. 1973. A Paleoclimatic Interpretation of the Eocene Floras of Southeastern North America. In A. Graham, Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America. Elsevier Publ. Co., Amsterdam. Chapter 2, pp. 39-59.
- Dolph, G.E. y D.L. Dilcher. 1979. Foliar physiognomy as an aid in determining paleoclimate. *Palaeontographica Abt. B* 170: 151-172.
- Estrada-Ruiz, E., H.I. Martínez-Cabrera, y S.R.S. Cevallos-Ferriz. 2007. Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico: Review of Palaeobotany and Palynology 145: 123-133.
- Estrada-Ruiz, E. 2008
- Flores Espinoza, E., 1989, Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico. Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, 315 p.
- Johnson, K.R. y B. Ellis. 2002. A tropical rainforest in Colorado 1.4 million year after the Cretaceous-Tertiary boundary. *Science* 296: 2379-2383.
- Johnson, K.R, M.L, Reynolds, K.W. Werth, y J.R. Thomasson. 2003. Overview of the Late Cretaceous, early Paleocene, and early Eocene megaflores of the Denver Basin, Colorado. *Rocky Mountain Geology* 38: 101-120.
- Martínez-Cabrera, H.I. y S.R.S. Cevallos-Ferriz. 2008. Palaeoecology of the Miocene El Cien Formation (Mexico) as determined from wood anatomical characters. *Review of Palaeobotany and Palynology* 150: 154-167.
- Martínez-Hernández, E., L. Almeida-Leñero, M. Reyes-Salas, y Y. Betancourt-Aguilar. 1980. Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista* 4: 167-185.
- Olson, M.E. 2005. Typology, homology, and homoplasy in comparative wood anatomy. *International Association of Wood Anatomists Journal* 26: 507-523.

- Pessagno, E.A. 1969. Upper Cretaceous stratigraphy of the Western Gulf Coast area of Mexico, Texas and Arkansas. Geological Society of America, Memoir 111, 139 p.
- Poole I. 2000. Fossil angiosperm wood anatomy: its role in the reconstruction of biodiversity and palaeoenvironment. Botanical Journal of the Linnean Society 134: 361-381.
- Robeck, R.C., V.R. Pesquera, y A.S. Ulloa. 1956. Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila. XX Congreso Geológico Internacional, México 109 p.
- Rueda-Gaxiola, J., 1967, Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon Cretacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique. Tesis. Faculté des Sciences. Université de Lille. 3 vols.
- Uhl, D. y V. Mosbrugger. 1999. Leaf venation density as a climate and environmental proxy: a critical review and new data. 149: 15-26.
- Upchurch, G.R., B.H. Lomax, y D.J. Beerling. 2007. Paleobotanical evidence for climatic change at the Cretaceous-Tertiary boundary, North America. Twenty years after Wolfe and Upchurch. Courier Forschungsinstitut Senckenberg 258: 57-74.
- Weber, R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 33: 5-19.
- Weber, R. 1973. *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. Ameghiniana 10: 173-190.
- Wheeler, E.A. y P. Baas. 1991. A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. International Association of Wood Anatomists Bulletin 12: 275-332.
- Wheeler, E.A. y P. Baas. 1993. The potentials and limitations of dicotyledonous wood anatomy for climatic reconstructions. Paleobiology 19: 487-498.
- Wheeler, E.A., T.M. LEHMAN, y P.E. GASSON. 1994. *Javelinoxylon*, an Upper Cretaceous dicotyledonous tree from Big Bend National Park, Texas, with presumed malvacean affinities. American Journal of Botany 81: 703-710.

- Wheeler, E.A. y T.M. Lehman. 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina Formation , Big Bend National Park, Texas, USA: International Association of Wood Anatomists Journal 21: 83-120.
- Wiemman, M. C., S. R. Manchester, D. L. Dilcher, L. P. Hinojosa, and E. A. Wheeler, 1998, Estimation of temperature and precipitation from morphological characters of dicotyledonous leaves: American Journal of Botany, v. 85, p. 1796-1802.
- Wolfe, J.A. 1990. Palaeobotanical evidence for a marked temperature increase following the Cretaceous/Tertiary boundary. Nature 343: 153-156.
- Wolfe, J.A. 1993. A method of obtaining climatic parameters from leaf assemblages. U.S. Geological Survey Bulletin, 2040, 73 pp
- Wolfe, J. A., and G. R. Upchurch, 1987a, North American non-marine climates and vegetation during the Late Cretaceous. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 61: 33-77.

## 5. CONCLUSIONES GENERALES

Dos grandes sistemas deltaicos se desarrollaron durante el Cretácico Superior en el norte de México, a lo largo del mar epicontinental, están representados por las formaciones Cerro del Pueblo y Olmos. En estas se pueden reconocer a una serie de ambientes y sub-ambientes de depósito que fueron parte importante para el desarrollo de floras. Con los estudios de estratigrafía y sedimentología se estableció que en estas formaciones existían ambientes que corresponden con una amplia planicie costera con zonas pantanosas, planicies de inundación, áreas con lagos, lagunas, barras arenosas y rellenos de canales, y barras laterales depositadas en un ambiente de ríos meándricos. Es probable que se haya formado un solo delta entre estas dos formaciones geológicas, pero la complejidad y la variabilidad de los estratos sedimentarios dentro de las dos formaciones es difícil definir como un solo delta.

La Formación Olmos tiene relación geológica y florística con otras formaciones de la Cuenca de San Juan en Nuevo México, USA (Formaciones Kirkland y Fruitland) y el área del Big Bend National Park, Texas (Formaciones Aguja y Javelina). En la Cuenca de San Juan se desarrollaron zonas pantanosas, planicies de inundación, y áreas lagunares, mientras que en el área del Big Bend National Park existieron planicies de inundación y ríos meándricos. La relación florística entre la formación Olmos y estas dos cuencas hace pensar que durante el Campaniano-Maastrichtiano se desarrolló una sola flora o vegetación desde la cuenca San Juan hasta la Formación Olmos.

En estas formaciones prosperaron floras con alta diversidad y endemismo a nivel género y especie. La Formación Cerro del Pueblo y la Formación Olmos representan el área con mayor diversidad de plantas de angiospermas cretácicas para México y del sur y centro de América del Norte reportadas hasta ahora. El análisis de fisonomía foliar realizado aquí, sugiere que las dos floras fueron de crecieron en un clima tropicales a subtropical. Ambas formaciones geológicas tuvieron ambientes similares, esto es sugerido por la presencia de plantas con hábitos acuáticos y sub-acuáticos como Ceratophyllaceae (*Ceratophyllum*),

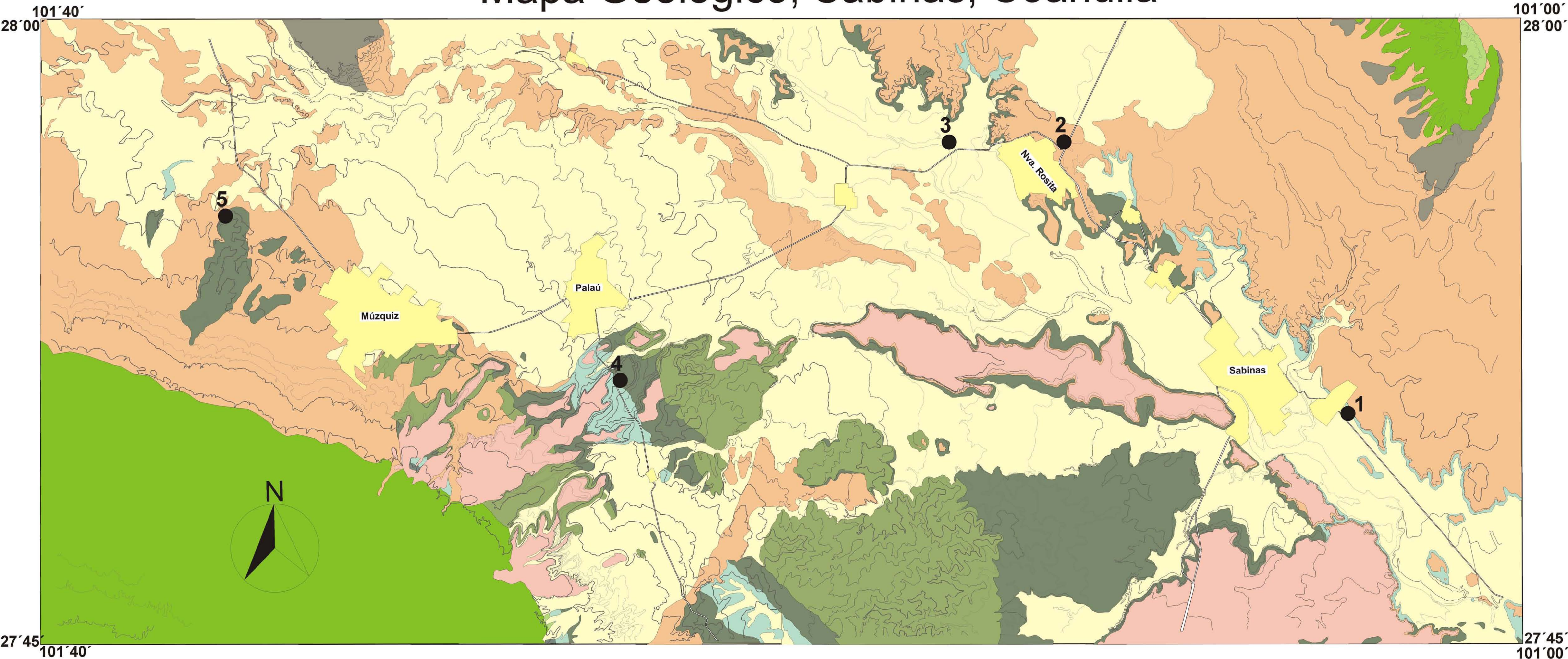


Ranunculaceae y Lythraceae (*Decodon*) (Formación Cerro del Pueblo) y Nelumbonaceae (cf. *Nelumbo*), Salvinaceae (*Salvinia*) (Formación Olmos). La más diversa esta asociación florística en la Formación Olmos, que representa la primera evidencia clara de una selva paratropical para el Cretácico Superior de América. En esta flora tropical habitaron desde hierbas y arbustos hasta grandes árboles con más de 30 metros de altura.

La flora actual de México es producto de la evolución de estas y otras floras precursoras y esta ha estado íntimamente ligada a los procesos geológicos que han dado lugar al relieve y configuración actual del país.



# Mapa Geológico, Sabinas, Coahuila



Escala 1:50,000

## Leyenda

- |   |                     |   |                |   |                  |
|---|---------------------|---|----------------|---|------------------|
|  | Depósitos fluviales |  | Fallas         |  | Columnas medidas |
|  | Lavas Esperanzas    |  | Rumbo y echado | 1. Tajo El Mezquite   |                  |
|  | Fm. Escondido       |  | Ríos           | 2. Tajo Ing. Nerio  |                  |
|  | Fm. Olmos           |  | Carreteras     | 3. Tajo Block 6   |                  |
|  | Fm. San Miguel      |  | Poblad         | 4. Tajo Rancherías  |                  |
|  | Fm. Upson           |   |                | 5. Tajo El Nogalito   |                  |

## Área de estudio



ESCALA 1:50,000