

Maderas fósiles de la Formación San Carlos (Cretácico Superior), Chihuahua, México

IMELDA PERLA GARCÍA-HERNÁNDEZ¹, EMILIO ESTRADA-RUIZ^{1,3} Y HUGO ISRAEL MARTÍNEZ-CABRERA²

Botanical Sciences
94 (2): 269-280, 2016

DOI: 10.17129/botsci.438

Resumen

En los sedimentos de la Formación San Carlos (Cretácico Superior, Conaciario-Maastrichtiano) se han recolectado un gran número de maderas fósiles que corresponden principalmente a coníferas y en menor proporción a angiospermas. De este material, se describen dos nuevos registros con base en estructuras vegetativas, el primero corresponde a una conífera que presenta caracteres del género *Agathoxylon* como son: anillos de crecimiento indistinguibles, punteaduras predominantemente uniseriadas y ocasionalmente alternas biseriadas, punteaduras de campo de cruzamiento de tipo (tipo oculiporo) cupresóide, de 1 a 3 por campo de cruzamiento y radios predominantemente uniseriados. El segundo morfotipo se relaciona con *Paraphyllanthoxylon anasazi* (cf. Lauraceae), madera que se caracteriza por presentar vasos solitarios y en múltiples radiales cortos, placas de perforación simples, punteaduras intervasculares alternas y pequeñas, punteaduras vaso-radio con bordes reducidos y radios heterocelulares, multiseriados hasta cuatro células de ancho. Estos nuevos registros fortalecen la creciente evidencia que sugiere un estrecho vínculo florístico entre las floras del norte de México y centro-sur de EUA durante el Cretácico Superior.

Palabras clave: anatomía de maderas, conífera, Cretácico Superior, dicotiledónea, Norte de México.

Fossil woods from the San Carlos Formation (Upper Cretaceous), Chihuahua, Mexico

Abstract

In the sediments of the San Carlos Formation (Upper Cretaceous, Coniacian - Maastrichtian) there have been collected a large number of fossil woods that correspond mainly to conifers and in a smaller proportion to angiosperms. From this material, two new records based on vegetative structures are described. The first corresponds to a conifer which has characters present of the *Agathoxylon* genus, these features are: indistinguishable growth rings, predominantly uniseriate pits, occasionally biseriate, alternate, cross-field pits (oculipore type) of the Cupressoid type, 1-3 per cross-field. The second morphotype is related to *Paraphyllanthoxylon anasazi* (cf. Lauraceae), which is characterized by vessels solitary and in short radial multiples, simple perforation plates, small, alternate intervascular pits, vessel-ray parenchyma pits with reduced borders, heterocellular multiseriate rays up to four cells wide. These new records strengthen the growing evidence suggesting a close floristic link between the floras of northern Mexico and south-central USA during the Late Cretaceous.

Key word: conifer, dicotyledonous, North of Mexico, Upper Cretaceous, wood anatomy.

¹Laboratorio de Ecología, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas – Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

² Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, campus Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México

³Autor para la correspondencia: emilkpaleobot@yahoo.com.mx

El periodo Cretácico (144-65 Ma) se caracterizó por presentar una temperatura global elevada debido a concentraciones de CO₂ atmosférico, que fueron entre tres y cuatro veces mayor que la observada en la actualidad (1,620 vs. 380 ppmv). El nivel del mar en algunas áreas fue superior a los 300 m del nivel actual, lo que causó transgresiones hacia las costas y tierras bajas interiores, propiciando un clima de carácter húmedo y cálido, con una baja variación estacional (Graham, 2010). Durante el Cretácico Superior (99-65 Ma) América del Norte se caracterizó por la presencia de un mar epicontinental (*Western Interior Seaway* - Mar Interior del Oeste) que dividía el subcontinente en la frontera en el noreste de México y que se extendía hasta el Océano Ártico (Roberts y Kirschbaum, 1995). Dicho mar cubría gran parte del este de México. Entonces, los estados de Chihuahua y Coahuila conformaban una península que incluían diferentes hábitats (sistemas fluviales y deltaicos con planicies de inundación, lagunas, pantanos, etc; Roberts y Kirschbaum, 1995; Estrada-Ruiz *et al.*, 2008, 2013). En esta región crecieron varias floras tropicales y subtropicales cuyo grupo taxonómico dominante fueron las angiospermas (Wolfe y Upchurch, 1987; Estrada-Ruiz *et al.*, 2008, 2012a, b, 2013). En el Cretácico Superior, el norte de México y centro-sur de EUA, estas floras tropicales y subtropicales ocupaban paleolatitudes de medias a altas desde 30° a 85° N y, en particular hacia el sur, la mayoría de las floras crecieron en climas megatermales. Es a partir de este periodo que se da la regresión de los mares, con un desplazamiento hacia el este y sureste continuándose hasta el Cenozoico (65-1.8 Ma) (Graham, 2010).

Debido a estos procesos históricos, México presenta una gran diversidad de plantas fósiles. Sin embargo, a pesar de contar con varias localidades cretácicas con abundantes troncos fósiles, la proporción de maderas identificadas en relación con el número de ejemplares recolectados es mínima (Estrada-Ruiz *et al.*, 2013). En lo que respecta a los ejemplares con afinidad a gimnospermas, Cevallos-Ferriz (1992) describe tres morfotipos de coníferas para los estados de Sonora y Coahuila. En el estado de Sonora, en el área de Lampazos del Cretácico Inferior, se recolectó una madera con características que la relacionan con Araucariaceae (Cevallos-Ferriz, 1992). Por otra parte, los dos morfotipos recolectados en Coahuila, particularmente aquellos de los sedimentos de la Formación (Fm.) Olmos (Cretácico Superior, Campaniano tardío, Estrada-Ruiz *et al.*, 2013), se les relacionó con Podocarpaceae y Taxodiaceae. Respecto al registro de dicotiledóneas, Cevallos-Ferriz (1983) describió una madera del Cretácico Superior de Sonora con caracteres que recuerdan a *Canarioxylon* U. Prakash, D. Brezinová & N. Awasthi (cf. Burseraceae). En un trabajo reciente, Gryc *et al.* (2009) relacionaron el registro anterior con el género fósil *Paraphyllanthoxylon* I. W. Bailey. En el estado de Coahuila, en la Fm. Olmos se han descrito varias maderas de angiospermas relacionadas con ?Phyllantaceae (Weber, 1972, 1978; Cevallos-Ferriz y Weber, 1992), Anacardiaceae/Burseraceae, Lauraceae, Cornaceae, Fagaceae, Malvaceae s.l., Ericales y *Metcalfeoxylon* E. A. Wheeler, J. McClammer & C. A. LaPasha, un género fósil con afinidad incierta (Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2010). Recientemente, en la Fm. San Carlos (Conaciano-Maastrichtiano) en el estado de Chihuahua, se describió una nueva especie de dicotiledónea, *Javelinoxylon deca* E. Estrada-Ruiz & H. I. Martínez-Cabrera (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011; Estrada-Ruiz *et al.*, 2013); este género fue descrito por vez primera en sedimentos de la Fm. Javelina (Maastrichtiano temprano) en el Big Bend National Park, Texas (Wheeler *et al.*, 1994) y más tarde en la Fm. Olmos (Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2010).

Las maderas aquí estudiadas se recolectaron en los sedimentos de la Fm. San Carlos (Conaciano-Maastrichtiano), además de estas plantas, se han recolectado otro tipo de fósiles como bivalvos, gasterópodos, amonitas y una gran cantidad de huesos de dinosaurios pertenecientes a los llamados pico de pato (adrosaurios) (Ernesto Carrillo, comunicación personal 2010). Desafortunadamente, son pocos los trabajos paleontológicos que se han hecho en esta formación geológica formalmente.

En este estudio se describen dos nuevos registros con base en maderas fósiles para la Fm. San Carlos, representadas por una conífera y una de dicotiledónea, que incorporan nuevos datos paleobotánicos para la flora cretácica del norte de México. Ambas maderas descritas se compararon con otras varias muestras cretácicas de diferentes localidades del resto del mundo.

Material y métodos

Las maderas se recolectaron en el año 2010, en sedimentos pertenecientes a la Fm. San Carlos. La localidad fosilífera se encuentra dentro del Rancho Don Chuy y Parque DECA (Daniel Eduardo/David Ernesto Carrillo Acosta) Parque Cretácico AC, que se localiza a aproximadamente 55 km al este del poblado de Juan Aldama, Municipio de Aldama, Chihuahua, México (28° 51' 45" N; 105° 24' 05" O; Figura 1).

La secuencia sedimentaria de alternancia de areniscas y lutitas con contenido de carbón fue descrita por Vaughan (1900), en secuencias que afloran en la mina San Carlos, en las cercanías de Presidio, Texas, EUA. Esta misma litología se encuentra en la cuenca de Chihuahua, en la porción centro-norte del estado. De acuerdo a Montañón-Ruiz (2013) para el área de Chihuahua, consiste de una secuencia hacia la cima de arenisca feldespática que alterna con lutita laminar y margas. La lutita presenta alto contenido de material carbonoso con algunos fragmentos de maderas fósiles. Durante el trabajo de campo dentro y alrededor de la DECA Parque Cretácico y Rancho Don Chuy, las maderas fósiles fueron recolectadas como rodados, algunas llegando a alcanzar hasta 12 metros de longitud como la conífera en estudio, las maderas se encontraron asociadas con huesos de dinosaurios dentro de estratos de arenisca verde y amarillo con laminaciones y paleocauces de hasta 1 m de longitud paralelas y transversales, que aquí se interpretan como parte de la Fm. San Carlos (Figura 2). En la parte superior de estas areniscas hay conglomerados que también contienen restos de dinosaurios, que corresponden a los estratos de conglomerados de la parte superior de la Fm. San Carlos asignada por Hernández-Noriega *et al.* (2000). Por debajo de los estratos donde se encuentran las maderas fósiles, hay arcillas calcáreas con abundantes fósiles de invertebrados, que incluyen bivalvos, gasterópodos y ammonites. En particular, los gasterópodos y ammonites como *Mortonicer*, *Brancoceras*, *Prionocyclus*, *Coilopoceras*, *Acanthoceras*, *Acompsoceras*, *Romaniceras*, *Mammites*, *Pseudothurmannia*, que corresponden al conjunto del Barremiano-Turoniano (González-Arreola com. personal, 2011) sugiere una edad post-Turoniano en los estratos donde se encuentran las maderas fósiles de la Fm. San Carlos (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011; Figura 2).

Para su estudio y descripción anatómica de las maderas fósiles se realizaron cortes delgados, siguiendo la técnica propuesta por Hass y Rowe (1999), según los planos tradicionales de observación (sección transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial). Los caracteres cuantitativos fueron calculados con base en por lo menos 25 mediciones, se cita primero la media y entre paréntesis las medidas mínimas y máximas del rango de distribución.

Para la descripción de la dicotiledónea se siguieron las recomendaciones propuestas por el comité de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA Committee, 1989). La

Figura 1. Localización del afloramiento fosilífero. A: Mapa de México. B: Mapa del estado de Chihuahua.

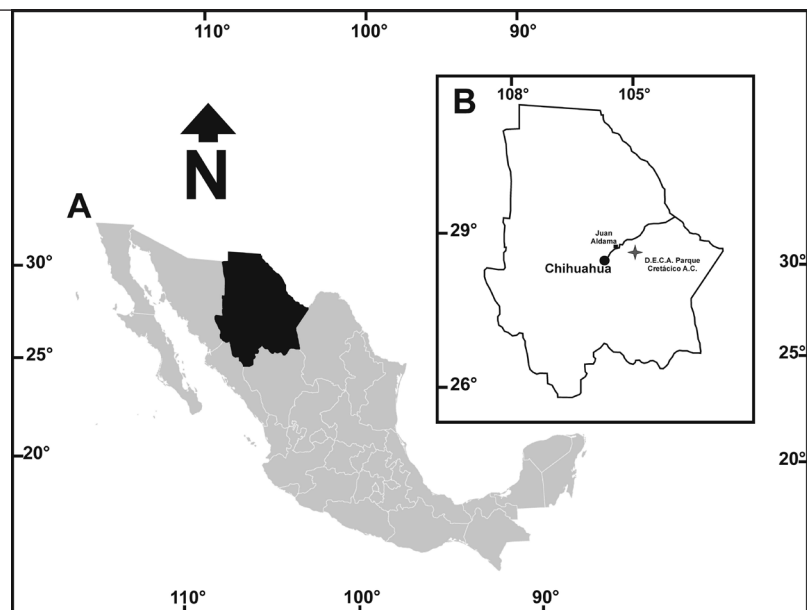
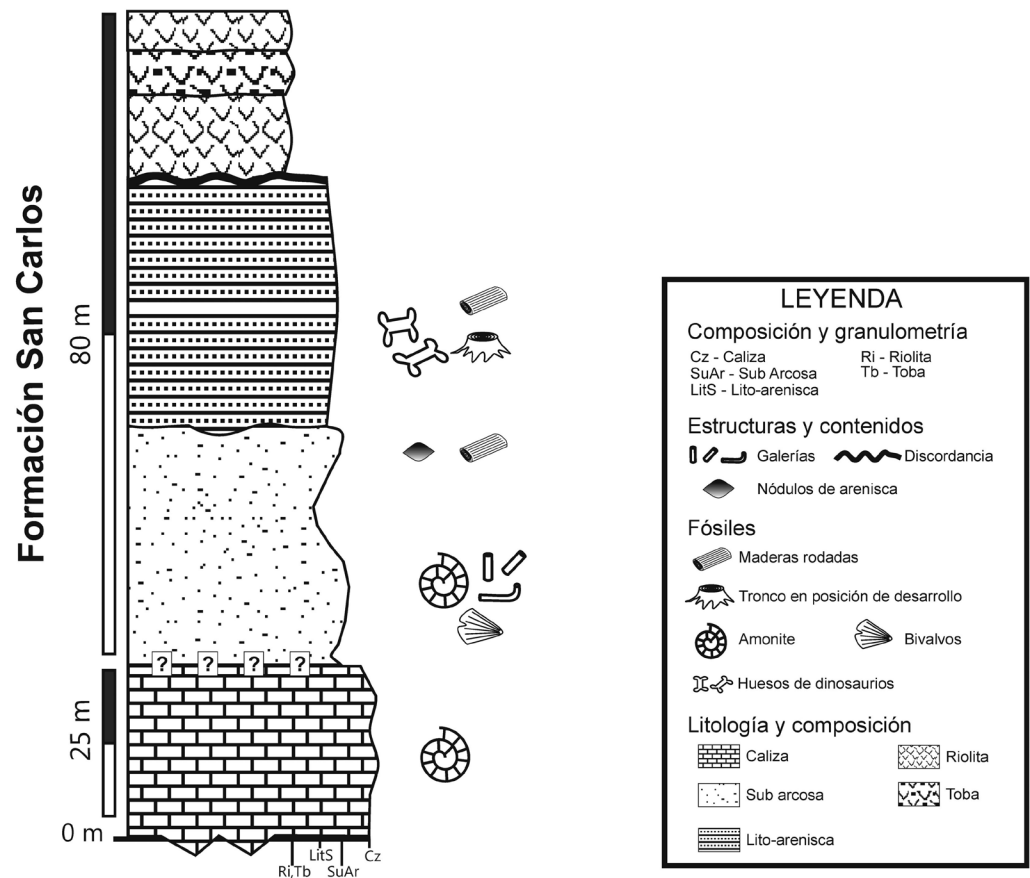


Figura 2. Columna estratigráfica de la localidad DECA Parque Cretácico AC Fm. San Carlos (Cortesía del Dr. Jesús Alvarado, Instituto de Geología, UNAM).



identificación se realizó utilizando la clave en línea del InsideWood (InsideWood 2004-en adelante; Wheeler, 2011), así como la consulta de literatura especializada en la temática (p.ej., Metcalfe y Chalk, 1950; Détienne y Jacquet, 1983; Richter, 1981, 1987). Además, se utilizó la clasificación de la APG III (APG III, 2009). Se utilizaron los nombres taxonómicos propuestos por Chase y Reveal (2009), complementados con nombres informales para clados bien corroborados.

Para la descripción de la conífera se siguieron las recomendaciones del comité de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA Committee, 2004). Para la clasificación se optó la propuesta por Christenhusz *et al.* (2011) y para la identificación se siguió la de Philippe y Bamford (2008). Las descripciones se organizaron por el nivel taxonómico, clados y órdenes.

Las maderas fósiles se encuentran resguardadas en la Colección de Paleobotánica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Las muestras (maderas) individuales de cada espécimen está precedida por la abreviatura IPN-PB. Se le asignó un número para cada lámina delgada con la letra "L" y el número, mismas que se utilizaron para mostrar cada ilustración en los pies de figura (p.ej., IPN-PB 02: L1 (Figura 3A), L2 (Figura 3B), y IPN-PB 01: L1 (Figura 4, A-B); L5 (Figura 4, C-D).

Resultados

Sistemática paleobotánica

Clase Equisetopsida Agardh (1825)

Subclase Pinidae Cronquist *et al.* (1966)

Género tipo *Agathoxylon* Harting (1848)

Especimen. IPN-PB 02, muestra DECA 7. No. de láminas delgadas muestras IPN-PB L 1-12.

Horizonte estratigráfico. Fm. San Carlos, Chihuahua.

Localidad. Rancho Don Chuy, 28° 46' 17.0" N y 105° 27' 25.6" O.

Edad. Coniaciano-Maastrichtiano.

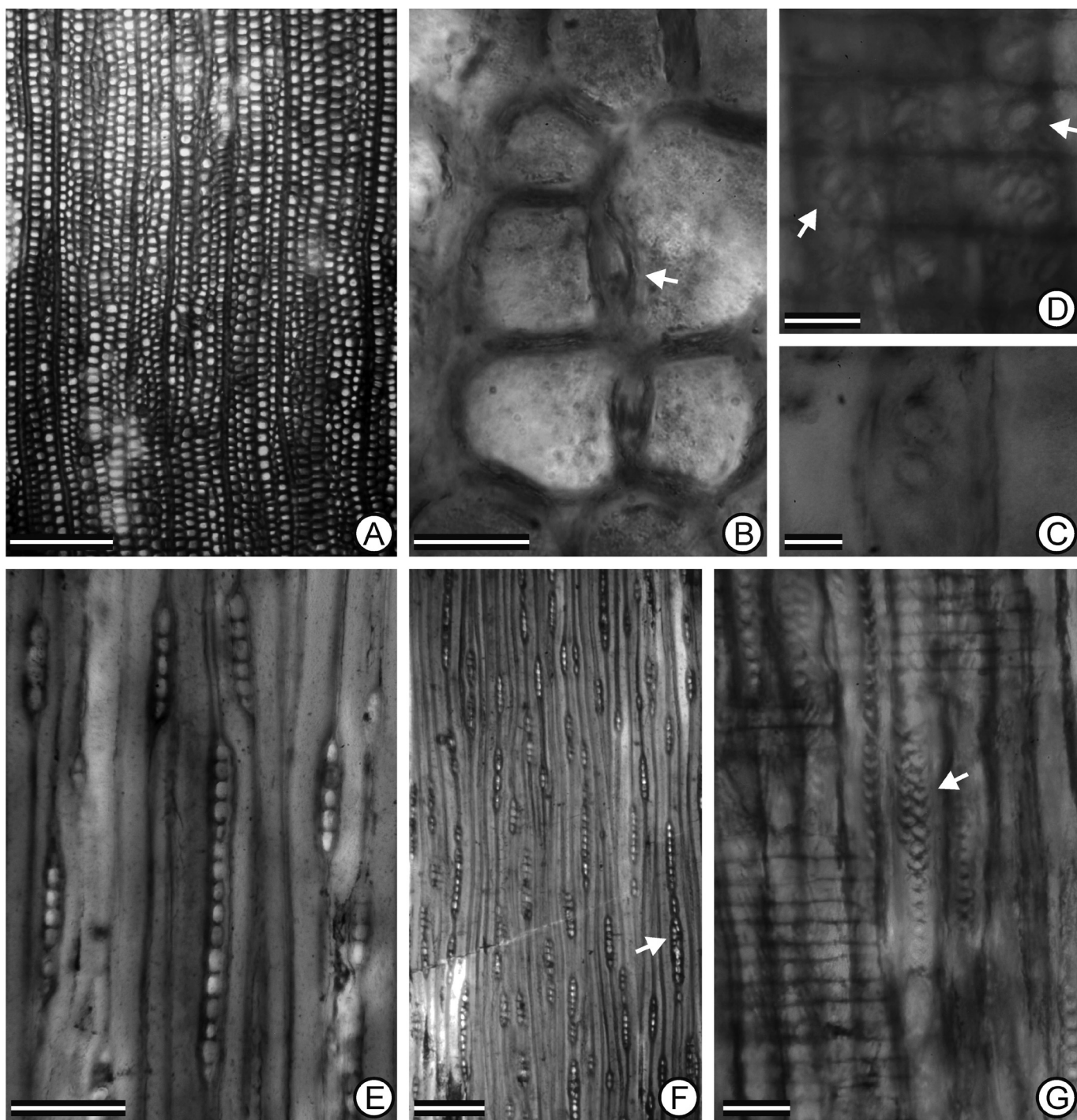


Figura 3. Microfotografías de la conífera *Agathoxylon* sp. de la Fm. San Carlos, Chihuahua, México. **A)** Corte transversal (CT). Mostrando la ausencia de anillos de crecimiento. Escala = 360 μ m. **B)** (CT). Traqueidas de contornos rectangulares con pared delgada, además se muestra parte de una punteadura (flecha). Escala = 45 μ m. **C)** Corte tangencial (CTA). Punteaduras areoladas de forma circular. Escala = 25 μ m. **D)** Corte Radial (CR). Punteaduras de campo de cruzamiento de tipo cupresioide, paredes de los radios delgadas y lisas (flechas). Escala = 30 μ m. **E)** (CTA). Radios uniseriados y altos. Escala = 100 μ m. **F)** (CTA). Radios principalmente uniseriados, raramente biseriados (flecha). Escala = 200 μ m. **G)** (CR). Punteaduras areoladas alternas de forma circular (flecha). Escala = 90 μ m.

Descripción: basada en un ejemplar de 12 metros de largo y un metro de diámetro que se recolectó como rodado (para-autóctono).

Anillos de crecimiento indistinguibles (Figura 3A). Traqueidas de contornos rectangulares con paredes delgadas (Figura 3B). Promedio del diámetro tangencial de las traqueidas 46 (30–58) μ m.

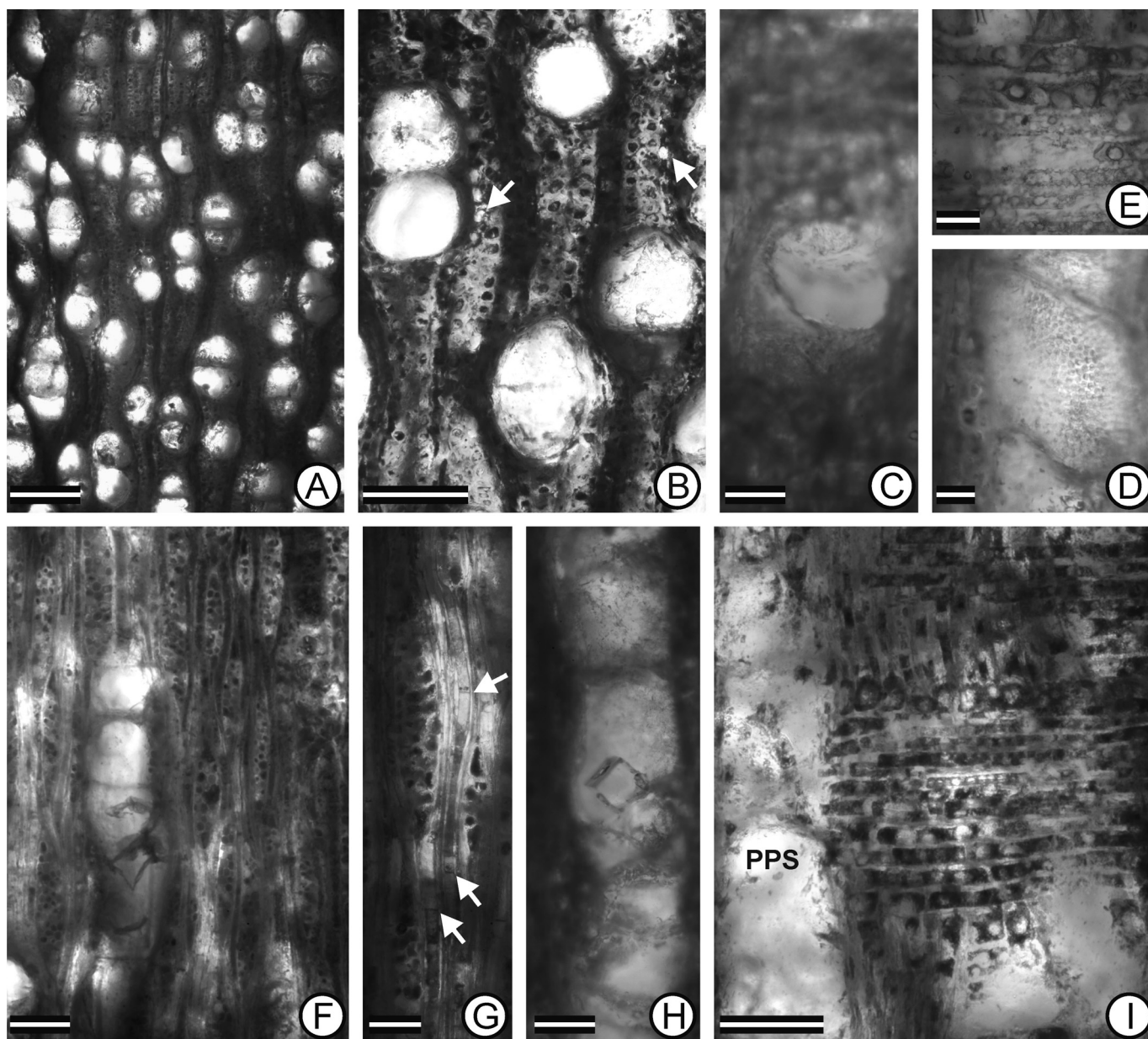


Figura 4. Microfotografías de *Paraphyllanthoxylon anazasi* de la Formación San Carlos, Chihuahua, México. **A)** Corte transversal (CT). Mostrando la porosidad difusa, vasos solitarios, múltiples radiales cortos y agrupados. Escala = 250 μ m. **B)** (CT). Vasos de forma oval a redonda, parénquima axial difuso (flechas) y fibras con pared gruesa. Escala = 120 μ m. **C)** Corte tangencial (CTA). Placa de perforación simple. Escala = 56 μ m. **D)** (CTA). Punteaduras intervasculares alternas, de tamaño pequeño. Escala = 40 μ m. **E)** Corte Radial (CR). Punteaduras vaso-radio con bordes reducidos. Escala = 32 μ m. **F)** (CTA). Radios multiseriados. Escala = 120 μ m. **G)** (CTA). Fibras septadas (flechas) y un radio con tres células de ancho. Escala = 70 μ m. **H)** (CTA). Vaso con tílides. Escala = 72 μ m. **I)** (CR). Radio heterocelular y un vaso con placa de perforación simple (PPS). Escala = 72 μ m.

Células del parénquima axial ausentes (Figura 3A). Punteaduras de las traqueidas en las paredes radiales predominantemente uniseriadas (Figura 3C, G), ocasionalmente biseriadas (Figura 3G), ordenadas en hileras y con punteaduras areoladas de forma circular en disposición alterna, espaciadas entre sí, haciendo contacto entre ellas (Figura 3G). Traqueidas de radio ausentes. Punteaduras de campo de cruzamiento de tipo cupresioide, de 1 a 3 por campo de cruzamiento, haciendo contacto entre ellas (Figura 3D).

Los radios predominantemente uniseriados (Figura 3E), ocasionalmente biseriados (Figura 3F), con 12 (2–24) células y 298 (73–596) μ m de altura (Figura 3E). En corte transversal los radios

uniseriados están separados por 1-7 hileras de traqueidas (Figura 3A, B). Paredes de los radios delgadas y lisas (Figura 3C).

ANGIOSPERMA

Clado Magnolidae

Orden Laurales Jussieu (1820)

Familia Lauraceae? Jussieu (1789)

Género tipo *Paraphyllanthoxylon* Bailey (1924)

Especie fósil *Paraphyllanthoxylon anasazi* E. A. Wheeler, J. McClammer & C. A. LaPasha (1995)

Especimen. IPN-PB 01, No. de láminas delgadas de muestras IPN-PBL 1-12.

Horizonte estratigráfico. Fm. San Carlos, Chihuahua.

Localidad. DECA (Daniel Eduardo/David Ernesto Carrillo Acosta) Parque Cretácico AC, 28° 51' 45" N y 105° 24' 05" O.

Edad. Coniaciano-Maastrichtiano.

Descripción. Basada en un ejemplar de 4 metros de largo y 60 cm de diámetro que se recolectó como rodado (para-autóctono).

Anillos de crecimiento ausentes o indistinguibles, porosidad difusa (Figura 4A, B), vasos solitarios y en múltiplos radiales cortos, generalmente de dos a tres vasos (máximo de cuatro) y agrupados, de forma circular a oval (Figura 4A), dispuestos en patrón no específico con una frecuencia de 23 (13-37) vasos/mm². Vasos con un diámetro tangencial promedio de 136 (69-221) µm. Elementos de vaso con una longitud de entre 254-427 µm (Figura 4B). Placas de perforación simples (Figura 4C), generalmente difíciles de observar por lo abundante de las tñides. Punteaduras intervasculares alternas, muy pequeñas (< 4 µm) espaciadas entre sí (Figura 4D). Punteaduras vaso-radio redondas con bordes reducidos haciendo contacto a lo largo del radio (Figura 4E) y abundantes tñides a lo largo de los vasos (Figura 4F, H).

Parénquima axial apotraqueal difuso y paratraqueal escaso (Figura 4B). Fibras septadas y no septadas (Figura 4G), con pared de mediana a gruesa. Fibras no septadas distribuidas uniformemente. Fibras septadas poco frecuentes. No se observaron punteaduras (Figura 4F, G).

Radios de 8 (5-12) por mm (Figura 4F), multiseriados con 3 (2-4) células y 64 (38-79) µm de ancho (Figura 4F), y con 14 (8-21) células y 359 (232-472) µm de alto. Radios heterocelulares con células procumbentes en el centro y usualmente con una hilera marginal de células cuadradas (Figura 4I).

Discusión

Los ejemplares presentados en este trabajo se suman a un creciente cúmulo de evidencia que soporta la estrecha relación florística existente entre las distintas floras del norte de México y centro-sur de EUA durante el Cretácico Superior.

La madera de gimnosperma presenta características propias de las coníferas del Cretácico Superior como son: anillos de crecimiento indistinguibles, traqueidas con contorno rectangular, radios principalmente uniseriados, ocasionalmente biseriados, punteaduras uniseriadas, ocasionalmente biseriadas alternas haciendo contacto entre ellas, punteaduras por campo de cruzamiento de tipo cupresoide, de 1 a 3 por campo de cruzamiento, parénquima axial ausente, altura de los radios de 12 (2 a 24) células. Dichas características así como la presencia de punteaduras alternas se caracteriza en la familia Araucariaceae (Phillips, 1948; Philippe y Bamford, 2008), además, la presencia de punteaduras (tipo oculiporo) cupresoides permitió relacionarla con el género fósil de *Agathoxylon*. Según Philippe (1993), los campos de cruzamiento araucarioides: puntuaciones (tipo oculiporos) cupresoides a podocarpoides son relativamente pequeñas, un poco deformadas en los contactos y generalmente más de 4 por campo, aunque en la muestra de la Fm. San Carlos sólo se observaron hasta tres (generalmente dos) punteaduras por campo. Asimismo, los siguientes caracteres como: 1.- contorno de las traqueidas de angular a rectangular, 2.- anillos de crecimiento indistinguibles, 3.- radios principalmente uniseriados, ocasionalmente biseriados, 4.- punteaduras radiales uniseriadas,

localmente biseriadas en disposición alterna, 5.- parénquima axial ausente y 6.- altura de los radios de 2-24 células, relaciona aún más la madera de la Fm. San Carlos con *Agathoxylon* (Torres y Philippe, 2002). Es importante mencionar que la descripción se basó en una sola muestra y que probablemente exista variación en cuanto a los caracteres (p.ej., anillos de crecimiento distinguibles/indistinguibles, altura de los radios, presencia o ausencia de parénquima axial), por tal razón no se asignó a una especie en particular, hasta que se recolecte más material fósil de distintas localidades de la Fm. San Carlos.

Las maderas fósiles encontradas en las formaciones Aguja y Javelina en Texas, EUA son hasta la fecha la mayor asociación de maderas de coníferas para el Cretácico Superior descritas para América del Norte (Wheeler y Lehman, 2005). Las muestras referidas incluyen plantas con características de Araucariaceae, Cheirolepidiaceae, Cupressaceae y Podocarpaceae. Entre todo este material descrito para la Fm. Javelina del Big Bend National Park, Texas (Wheeler y Lehman, 2005), se encuentran varios ejemplares del género fósil *Cupressinoxylon* Göppert, que fue muy común durante este periodo. El ejemplar de *Agathoxylon* que aquí se describe no se relaciona con *Cupressinoxylon* debido a que éste último presenta de 2 a 4 punteaduras del tipo cupresóide por campo de cruzamiento y los radios más cortos, con un promedio de 3 (1-8) células de alto, y la madera de la Fm. San Carlos presenta un promedio de 12 células (2-24). Otra diferencia entre ambos géneros es en el diámetro tangencial de las traqueidas, *Cupressinoxylon* presenta un promedio de 36 (24-50) μm , mientras que la madera fósil de la Fm. San Carlos presenta un promedio de 46 (30-58) μm .

En la Fm. Javelina se encuentran otras maderas pertenecientes al grupo Cupresóide/Podocarpoide de acuerdo a la clasificación de Wheeler y Lehman (2005). Estas maderas presentan varias características que se encuentran en la conífera de la Fm. San Carlos. Dos de las características que podemos citar son: en la madera de la Fm. Javelina el diámetro de las traqueidas son de 26 a 54 μm , mientras que el ejemplar de la Fm. San Carlos es de 30 a 58 μm ; respecto a los radios, la conífera de la Fm. Javelina presenta un rango de 2 a 30 células de alto vs 2 a 24 células de alto para la madera de la Fm. San Carlos, en ambos casos con traslape en los valores. La diferencia importante que se encuentra entre ambas maderas son las punteaduras intertraqueales, en las muestras texanas cuando son biseriadas son del tipo opuesto, carácter que no se encuentra en la conífera de la Fm. San Carlos.

La madera de *Agathoxylon* de la Fm. San Carlos (Conaciano-Maastrichtiano) también muestra semejanza con otras coníferas cretácicas descritas para México. Cevallos-Ferriz (1992) describe una madera con caracteres similares a los encontrados en *Podocarpoxyton* Gothan provenientes de los sedimentos de la Fm. Olmos, pero se descarta cualquier afinidad debido que la madera de la Fm. Olmos presenta anillos de crecimiento. Además, los ciclos vegetativos distinguibles (predominancia de madera temprana sobre tardía, con relación de 40:1 a 5:1) y la presencia común de parénquima axial difuso (relativamente abundante) en *Podocarpoxyton*, tampoco permiten relacionar la muestra de la Fm. San Carlos con este género fósil.

El segundo morfotipo descrito de la Fm. San Carlos corresponde a una angiosperma; cuyas características anatómicas son similares a las encontradas en *Paraphyllanthoxylon*, planta común durante el Cretácico y a lo largo del Cenozoico (Bailey, 1924; Martínez-Cabrera *et al.*, 2006; Gregory *et al.*, 2009; Wheeler y Lehman, 2009; Estrada-Ruiz *et al.*, 2012a). Las principales características cuantitativas y cualitativas de las especies cretácicas que conforman al género fósil *Paraphyllanthoxylon* se resumen en la Tabla 1.

Paraphyllanthoxylon fue descrita por Bailey (1924) del Cretácico Superior de Arizona, EUA; esta madera se caracteriza por la ausencia de anillos de crecimiento, porosidad difusa, vasos solitarios y en múltiplos radiales cortos, exclusivamente placas de perforación simples, punteaduras intervasculares alternas, punteaduras vaso-radio y vaso-parénquima con bordes reducidos, abundante tílids, parénquima axial raro o escaso, fibras septadas sin punteaduras visibles y radios multiseriados heterocelulares (Bailey, 1924; Wheeler y Lehman, 2009). La afinidad del género *Paraphyllanthoxylon* es incierta y hasta la fecha su inclusión en alguna familia en particular se sigue discutiendo. La combinación de características de *Paraphyllanthoxylon* se encuentra en varias familias, incluyendo Anacardiaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Elaeocarpaceae, Lauraceae, Simarubaceae y Verbenaceae (Spackman, 1948; Cahoon, 1972; Thayne *et al.*, 1983; Thayne y Tidwell, 1984; Wheeler y Lehman, 2000; Takahashi y Suzuki, 2003; Martínez-

Tabla 1. Comparación entre los caracteres de las especies de *Paraphyllanthoxylon* del Cretácico Superior y *P. anazasi* (Fm. San Carlos). *Paraphyllanthoxylon anazasi* de la Fm. San Carlos está marcada en negrita. ^aCevallos-Ferriz y Weber, 1992; ^bBailey, 1924; ^cSpackman, 1948; ^dCahoon, 1972; ^eThayn *et al.*, 1983; ^fWheeler *et al.*, 1987; ^gHerendeen, 1991; ^hTakahashi y Suzuki, 2003; ⁱWheeler *et al.*, 1995; ^jWheeler y Lehman, 2000; ^kEstrada-Ruiz *et al.*, 2012. DTV = diámetro tangencial del elemento de vaso; V/MM² = vasos por milímetro cuadrado; PARA = parénquima axial; PV-R = punteaduras vaso-radio; ANRM = Ancho de los radios multiseriados en número de células; ALRM = alto de los radios multiseriados en µm a mm.

Especies	DTV	V/MM ²	PARA	Tílidis	PV-R	ANRM	ALRM
<i>Paraphyllanthoxylon</i> sp. (Fm. Olmos) ^a	29-128 µm	9-12	?	?	?	Hasta 1 célula	214-420 µm
<i>P. arizonense</i> ^b	123-247 µm	8-14	Escaso, principalmente paratraqueal	Burbujas	Principalmente redonda	Hasta 7 células	?
<i>P. idahoense</i> ^c	60-160 µm	?	Muy escaso, paratraqueal vasicéntrico	Burbujas	Oval	Hasta 4 células	?
<i>P. alabamense</i> E. J. Cahoon ^d	60-260 µm	12	Muy escaso, paratraqueal, líneas cortas en forma radial	Burbujas	Redonda a oval	Hasta 5 células	?
<i>P. utahense</i> ^e	48-168 µm	12	Raro apotraqueal difuso, escaso paratraqueal	Vasos segmentados	Redonda a elíptica	Hasta 5 células	380 µm-1.36 mm
<i>P. Illinoisense</i> E. A. Wheeler, M. Lee & L. C. Matten ^f	102-131 µm	12-32	No observado	Vasos segmentados	Oval a elíptica	Hasta 6 células	765-888 µm
<i>P. marylandense</i> ^g	55-114 µm	35-60	Ausente	Vasos segmentados	Redonda a elíptica	Hasta 4 células	?
<i>P. obiraense</i> K. Takahashi & M. Suzuki ^h	65-130 µm	22-36	Moderadamente abundante, vasicéntrico	Vasos segmentados	Redonda a oval	Hasta 3 células	24 µm-1.1 mm
<i>P. cenomaniana</i> K. Takahashi & M. Suzuki ^h	80-240 µm	6-16	Escaso paratraqueal	Burbujas	Redonda a elíptica	Hasta 5 células	0.32-20.5 mm
<i>P. anazasi</i> (Fm. Kirtland) ⁱ	84 µm	20-25	Extremadamente raro, escaso paratraqueal	Vasos segmentados	Principalmente redonda	Hasta 3 células	234-294 µm
<i>P. anazasi</i> (Fm. Aguja) ^j	93-120 µm	10-20	Ausente a raro	Con paredes delgadas presentes	Principalmente redonda	Hasta 3 células	311-377 µm
<i>P. anazasi</i> (Fm. Crevasse Canyon) ^k	38-98 µm	24	Raro, aparentemente escaso paratraqueal	?Burbujas	Elongada a redondas	Hasta 3 células	285-650 µm
<i>P. anazasi</i> (Fm. San Carlos)	69-221 µm	13-37	Extremadamente raro, principalmente apotraqueal difuso y escasamente paratraqueal	Burbujas	Principalmente redonda	Hasta 3 células	232-472 µm

Cabrera *et al.*, 2006; Oakley y Falcon-Lang, 2009), por esta razón, es tratado como un género fósil. Herendeen (1991) describió una madera en sedimentos del Cenomaniano del Grupo Potomac del este de América del Norte con características de tres especies de *Paraphyllanthoxylon* (*P. idahoense* W. Jr. Spackman, *P. utahense* G. F. Thayn, W. D. Tidwell & W. L. Stokes y *P. capense* E. Mädel). Además, en estos mismos sedimentos se han recolectado y descrito flores bilobadas e inflorescencias de *Mauldinia mirabilis* A. N. Drinnan, P. R. Crane, E. M. Friis & K. R. Pedersen (Herendeen, 1991). Esta especie, en su xilema secundario, presenta caracteres anatómicos similares a los descritos para *Paraphyllanthoxylon marylandense* P. S. Herendeen. Estas estructuras reproductivas fueron asignadas a la familia Lauraceae y, por lo tanto, la madera del Grupo Potomac sería el único registro en el que existe certeza sobre las afinidades de *Paraphyllanthoxylon* (Drinnan *et al.*, 1990; Herendeen, 1991).

Se han descrito varias especies cretácicas de *Paraphyllanthoxylon* en distintas localidades de América del Norte, Asia y Europa (Gregory *et al.*, 2009; Wheeler y Lehman 2009). Bailey (1924) describe por vez primera el género *Paraphyllanthoxylon*. El holotipo, *P. arizonense* I. W. Bailey se distingue de la madera aquí descrita en presentar fibras exclusivamente septadas y radios más anchos que la madera de la Fm. San Carlos (Tabla 1). Dentro de las características que son de utilidad para la afinidad de las especies de acuerdo con Thayne y Tidwell (1984) y Herendeen (1991), se encuentra el tamaño de los radios y el espesor de la pared de la fibra. Estas características en particular, así como las placas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, fibras rara vez septadas, radios heterocelulares, permitieron relacionar la muestra aquí analizada con *P. anazasi* (Tabla 1; Wheeler *et al.*, 1995).

Paraphyllanthoxylon anazasi fue descrita en las Cuencas de San Juan y Cutter Sag/Love Ranch en Nuevo México y en el Big Bend National Park en Texas (Wheeler *et al.*, 1995; Wheeler y Lehman 2000; Estrada-Ruiz *et al.*, 2012a, b). El primer hallazgo de esta especie proviene de los sedimentos de la Fm. Kirtland (Campaniano tardío; Wheeler *et al.*, 1995) y sólo se diferencia de la madera de la Fm. San Carlos en caracteres cuantitativos (elementos de vaso más largos y el punteaduras intervasculares con aberturas largas, Tabla 1). *Paraphyllanthoxylon anazasi* de la Fm. Aguja del Big Bend National Park en Texas (Wheeler y Lehman, 2000) presenta un menor número de vasos por milímetro cuadrado y punteaduras intervasculares de mayor tamaño (hasta 11 µm de largo la abertura) (Wheeler y Lehman, 2000). Recientemente, esta misma especie fue descrita en la Fm. Crevasse Canyon en Nuevo México (Estrada-Ruiz *et al.*, 2012a), esta madera presenta un menor diámetro tangencial de los vasos (38–98 µm), punteaduras intervasculares más grandes (mayores a 10 µm de largo la abertura) y mayor abundancia de fibras septadas (Estrada-Ruiz *et al.*, 2012a). Aunque se muestran algunas diferencias cuantitativas entre la madera de la Fm. San Carlos con los otros registros de *P. anazasi* es claro que la madera de Chihuahua pertenece de esta especie (Tabla 1).

Las dos maderas descritas para la Fm. San Carlos representan nuevos registros que complementan el entendimiento de las conexiones florísticas que existieron entre las floras cretácicas del norte México y centro-sur de EUA (p.ej., formaciones Aguja y Javelina del Big Bend National Park en Texas). Estrada-Ruiz *et al.* (2013) analizaron la similitud florística entre las distintas formaciones del norte de México y centro-sur de EUA, y reconocieron dos grupos florísticos principales. Las floras de las formaciones Olmos (Coahuila), San Carlos (Chihuahua), Crevasse Canyon (Nuevo México) y Aguja (Texas) conformaron el primero de estos grupos, todas ellas comparten el género *Paraphyllanthoxylon*. Con este nuevo registro, se apoya aún más las conexiones florísticas entre el norte de México y centro-sur de EUA, en particular con las floras texanas.

Las maderas fósiles de la Fm. San Carlos contribuyen a ampliar el número de registros y conocimiento sobre las floras del Cretácico Superior del norte de México y centro-sur de los EUA, además aportan datos preliminares sobre las condiciones climáticas de tierras más elevadas y hacia el interior del continente. La ausencia de anillos de crecimiento se observó tanto en la madera de *Agathoxylon*, como en *Paraphyllanthoxylon anazasi*, así como el gran tamaño de los fósiles estudiados (*Agathoxylon*, con 12 metros de longitud y un metro en diámetro y *P. anazasi* con cuatro metros de longitud, con aproximadamente 60 cm en su diámetro) sugieren, muy preliminarmente, que la vegetación se desarrolló en un clima de tipo tropical con formas de vida representada por árboles mayores a los 30 metros.

Agradecimientos

Los autores agradecen de una manera especial a DECA Parque Cretácico AC y Rancho Don Chuy de Chihuahua, en especial al Ing. Ernesto Carrillo, Don Álvaro y Abraham Gutiérrez por todo su apoyo prestado durante el trabajo de campo. Al INAH de Chihuahua por las facilidades prestadas para nuestra investigación. Se agradece infinitamente a los dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios que hicieron que nuestro trabajo mejorara enormemente. Parte del trabajo fue financiado por los proyectos SIP (20140575) del Instituto Politécnico Nacional y del CONACyT (240241) de EER.

Literatura citada

- APG III [Angiosperm Phylogeny Group III]. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* **161**:105-121.
- Bailey I.W. 1924. The problem of identifying the wood of Cretaceous and later dicotyledons. *Paraphyllanthoxylon arizonense*. *Annals of Botany* **38**:439-451.
- Cahoon E.J. 1972. *Paraphyllanthoxylon alabamense*--a new species of fossil dicotyledonous wood. *American Journal of Botany* **59**:5-11.
- Cevallos-Ferriz S.R.S. 1983. Descripción de una madera de angiosperma cretácica de Cananea, Son., México. Los xilitos en el estudio del origen de las Angiospermopsida. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México* **54**:97-112.
- 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.
- Chase M.W. y Reveal J.L. 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* **161**:122-127.
- Christenhusz M.J.M., Reveal J.L., Farjon A., Gardner M.F., Mill R.R. y Chase M.W. 2011. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa* **19**:55-70.
- Détienne P. y Jacquet P. 1983. *Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne.
- Drinnan A.N., Crane P.R., Friis E.M. y Pedersen K.R. 1990. Lauraceous flowers from the Potomac Group (Mid-Cretaceous) of eastern North America. *Botanical Gazette* **151**:370-384.
- Estrada-Ruiz E. y Martínez-Cabrera H.I. 2011. A new Late Cretaceous (Coniacian-Maastrichtian) *Javelinoxylon* wood from Chihuahua, Mexico. *IAWA Journal* **32**: 519-528.
- 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.
- Estrada-Ruiz E., Martínez-Cabrera H.I. y Cevallos-Ferriz S.R.S. 2010. Fossil woods from the Olmos Formation (late Campanian-early Maastrichtian), Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany* **97**:1179-1194.
- Estrada-Ruiz E., Upchurch G.R. Jr. 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., Upchurch G.R. Jr, Wheeler E.A. y Mack G. 2012a. Late Cretaceous angiosperm woods from the Crevasse Canyon and McRae formations, south-central New Mexico, USA: part 1. *International Journal of Plant Sciences* **173**:412-428.
- Estrada-Ruiz E., Parrot J.M., Upchurch G.R.Jr, Wheeler E.A., Thompson D. L., Mack G. y Mindy M.M. 2012b. The wood flora from the Upper Cretaceous Crevasse Canyon and McRae formations, south-central New Mexico, USA: a progress report. *Field Guide of New Mexico Geological Society, 63rd Field Conference, Sierra County* p. **121**-136.
- Estrada-Ruiz E., Martínez-Cabrera H.I., Callejas-Moreno J. y Upchurch G.R. Jr. 2013. Floras cretácicas del norte de México y su relación con floras del Western Interior de América del Norte. *Polibotánica* **36**:41-61.
- Graham A. 2010. *Late Cretaceous and Cenozoic History of Latin American Vegetation and Terrestrial Environments*. Missouri Botanical Garden Press, San Luis.
- Gregory M., Poole I. y Wheeler E.A. 2009. Fossil dicot wood names - an annotated list with full bibliography. *IAWA Journal, Supplement* **6**. 220.
- Gryc V., Vavrcik H. y Sakala J. 2009. Cenomanian angiosperm wood from the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *IAWA Journal* **30**:319-329.
- Hass H. y Rowe N.P. 1999. Thin sections and wafering. En Jones T.P. y Rowe N.P. Eds. *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*, pp. 76-81, Geological Society, Londres.
- 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.
- Hernández-Noriega L., Ramírez-Tello E., Ávila-Lugo F. y Carrizales-Aguilar A. 2000. Carta Geológico-Minera, Ciudad Delicias H13-11, Chihuahua, Servicio Geológico Mexicano, Primera Edición. Map 1:250 000 and text.
- IAWA Committee 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* **10**:219-329.

Recibido:
3 de noviembre de 2014

Aceptado:
23 de febrero de 2015

- IAWA Committee 2004. *List of Microscopic Features for Softwood Identification*. IAWA Journal **25**:1-70.
- InsideWood 2004—onward InsideWood. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>.
- Martínez-Cabrera H.I., Cevallos-Ferriz S.R.S. y Poole I. 2006. Fossil woods from early Miocene sediments of the El Cien Formation, Baja California Sur, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* **138**:141-163.
- Metcalfe C.R. y Chalk L. 1950. *Anatomy of Dicotyledons, vols. 1 and 2*. Clarendon Press, Oxford.
- Montaño-Ruiz L.Z. 2013. Geoquímica orgánica de las rocas siliciclásticas del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno (municipio de Aldama, Chihuahua), mediante la interpretación de Biomarcadores. Tesis de Licenciatura, Pachuca, Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 121 p.
- Oakley D. y Falcon-Lang H.J. 2009. Morphometric analysis of Cretaceous (Cenomanian) angiosperm woods from the Czech Republic. *Review of Palaeobotany and Palynology* **153**:375-385.
- Philippe M. 1993. Nomenclature générique des trachéïdoxyles fossiles mésozoïques à champs araucarioïdes. *Taxon* **42**:74-80.
- Philippe M. y Bamford M.K. 2008. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. *Review of Paleobotany and Palynology* **148**:184-207.
- Phillips E.W.J. 1948. Identification of softwoods by their microscopic structure. Forest Products Research Bulletin No. 22. HMSO, Londres.
- Ritcher H.G. 1981. Wood and bark anatomy of Lauraceae. *Aniba Aublet. IAWA Bulletin new series* **2**:79-87.
- Richter H.G. 1987. Mature secondary xylem. En: Metcalfe, C.R. Ed. *Anatomy of the Dicotyledons*. Magnoliales, Illiciales and Laurales, Vol. 3, pp. 162-168. Clarendon Press, Oxford.
- Roberts L.N.R. y Kirschbaum M.A. 1995. Paleogeography of the Late Cretaceous of the Western Interior of middle North America—Coal distribution and sediment accumulation. United States, Geological Survey, Professional Paper 1561. Washington.
- Spackman W. Jr. 1948. A dicotyledonous wood found associated with the Idaho Tempskyas. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **35**:107-116.
- Takahashi K. y Suzuki M. 2003. Dicotyledonous fossil wood flora and early evolution of wood characters in the Cretaceous of Hokkaido, Japan. *IAWA Journal* **24**:269-309.
- Thayn G.F. y Tidwell W.D. 1984. A review of the genus *Paraphyllanthoxylon*. *Review of Palaeobotany and Palynology* **43**:321-335.
- Thayn G.F., Tidwell W.D. y Stokes W.L. 1983. Flora of the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation of Utah and Colorado. Part I. *Paraphyllanthoxylon utahense*. *The Great Basin Naturalist* **43**:394-402.
- Vaughan, T.W. 1900. Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas. Washington, United States, Geological Survey Bulletin 164.
- Torres T. y Philippe M. 2002. Nuevas especies de *Agathoxylon* y *Baieroxylon* del Lías de La Ligua (Chile) con una evaluación del registro paleoxilológico en el Jurásico de Sudamérica. *Revista Geológica de Chile* **29**:151-165.
- Weber R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **33**:5-19.
- Weber R. 1978. Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperm flora of Coahuila, Mexico. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg* **30**:38-46.
- Wheeler E.A. 2011. Inside Wood – A web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal* **32**:199-211.
- Wheeler E.A., Lehman T.M. y Gasson P.E. 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., McClammer J. y LaPasha C.A. 1995. Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene. San Juan Basin, New Mexico, USA. *IAWA 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. *IAWA Journal* **21**:83-120.
- Wheeler E.A. y Lehman T.M. 2005. Upper Cretaceous—Paleocene conifer woods from Big Bend National Park, Texas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **226**:233-258.
- Wheeler E.A. y Lehman T.M. 2009. New Late Cretaceous and Paleocene dicot woods of Big Bend National Park, Texas, and review of Cretaceous wood characteristics. *IAWA Journal* **30**:293-318.
- Wolfe J.A. y Upchurch G.R. Jr. 1987. North American non-marine climates and vegetation during the Late Cretaceous. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **61**:33-77.