

# Contexto geológico y fitogeografía de las plantas del Cretáceo de México

S. R. S. Cevallos-Ferriz<sup>(1)</sup> y A. R. Huerta-Vergara<sup>(2)</sup>

(1) Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, Col. UNAM-CU, Del. Coyoacan, 04510 México D.F., México.

scrscfpb@unam.mx

(2) Depto de Biología, Fac. de Ciencias, UNAM, Ciudad Universitaria, Col. UNAM-CU, Del. Coyoacan, 04510 México D.F., México.

alma12136@hotmail.com

## RESUMEN

El registro fósil de México ha sido poco atendido, y los intentos que se han realizado por incorporarlo a la discusión histórica del origen de la vegetación de la región han sido escasos. En el mejor de los casos se han utilizado ejemplos del Neógeno y Cuaternario para explicar la biodiversidad actual, y de forma tangencial se ha discutido el escaso registro fósil del Cretáceo para situar en el tiempo a los procesos biológicos y geológicos cuyos productos se reflejan hoy en una importante biodiversidad. En las últimas tres décadas se ha aumentado la recolecta y conocimiento de las plantas que crecieron en lo que fue México en aquel tiempo, pero el panorama está lejos de estar completo e invita a su discusión para acelerar el paso de su estudio con una base más sólida. Se ejemplifica parte de la gran fito-diversidad que existió de 100 a 65 millones de años antes del presente en la región, la dominancia de plantas extintas, el reemplazo de comunidades dominadas por gimnospermas por aquellas con angiospermas, cambios en las estrategias reproductivas, variantes en la formación de comunidades y el impacto de la evolución geológica sobre los procesos biológicos. Finalmente se resalta la importancia de la biología comparada en un contexto temporal y espacial, subrayando que su interpretación es un reto vigente lleno de sorpresas que amplía el sentido de la biología desde un punto de vista histórico.

Palabras clave: Angiospermas, biodiversidad, coníferas, Cretáceo, México.

## ***Geological context and phytogeography of Cretaceous plants from Mexico***

### ABSTRACT

*The fossil record of Mexico has been studied very little, and few attempts have been made to incorporate it into the historical discussion about the origin of the vegetation in the region. At best, some examples from Neogene and Quaternary periods have been used to explain the extant biodiversity, and the poor fossil record of the Cretaceous has only been tangentially discussed to position in time the biological and geological processes responsible for the significant extant biodiversity. In the last three decades the collection of plants that grew in what was Mexico at that time and knowledge of them has increased, but the picture is far from complete and invites discussion to accelerate the pace of research to provide a more solid base. Examples of the great phyto-diversity that existed from 100 to 65 million years ago in the region, the dominance of extinct plants, the replacement of communities dominated by gymnosperms for those with angiosperms, changes in reproductive strategies, variants in the formation of communities and the impact of geological evolution on biological processes are mentioned. Finally the importance of comparative biology is highlighted in a temporal and spatial context, stressing that its interpretation is a contemporaneous challenge full of surprises that extends the sense of biology to include a historical point of view.*

*Keywords: Angiosperms, biodiversity, conifers, Cretaceous, Mexico.*

## ABRIDGED ENGLISH VERSION

### Introducción

*Studies on Cretaceous life in Mexico are sparse, though the presence of an interesting, large and diverse fossil record of this geologic period has been known since at least the 1950s. Dinosaur remains are the most popular fossils, but plant remains have also been reported, though their study has been superficial (e.g., Villanueva-Amadoz et al., 2014 a, b). However, during the last three decades more detailed studies have been carried out, though much of the collected material still needs to be described and identified. Nevertheless, there are interesting examples of extinct plants that suggest the presence of a diverse flora, established under different environmental conditions (e.g., Almeida and Martínez-Hernández, 1980; Barrera-Escorcia, 1982; Cevallos-Ferriz, 1983, 1992, 2014; Cevallos-Ferriz and Weber, 1992; Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995; Martínez-Hernández and Ramírez-Arriaga, 1996; Cevallos-Ferriz et al., 2008; Estrada-Ruiz and Martínez-Cabrera, 2011; Méndez-Cárdenas et al., 2012).*

### Methodology and results

*Two main components, organisms and scenarios, are discussed to understand some biological aspects of life during a time spanning from ca. 100 to 65 million years. The scenario (physiographic areas) where life forms were built up through geological processes to which biological processes were then prompted to act, thus giving place to diversity (Image 1, Figs. A-D). It is important to recognize that the physiography of Mexico was quite different in the Cretaceous compared to its extant organization (e.g., Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005; Cevallos-Ferriz et al., 2012). It is significant to note that as the Cretaceous neared its end, the emerging areas of the continent were expanding, generating sites with new conditions where life could thrive (Lám 1, Figs. A-D). This process of withdrawal of the seas and as a consequence the colonizing of the exposed areas by vegetation is a phenomenon that continued throughout the Cenozoic and has been discussed as an important promoter of biological processes generating biodiversity, both of plant types and their form of association (e.g., Ferriz Cevallos and González-Torres, 2005; Cevallos-Ferriz et al., 2012.). Only after the mainland extended its surface through sea retreatment, new conditions that favoured the establishment and/or selection of organisms appeared, and their different responses to seasonality and/or drought resulted in the selection of communities similar to low scrub jungles (Rodríguez-Reyes, 2009; Pérez-Maussán, 2013). The build-up of mountain ranges by tectonic and/or volcanic processes accentuated this process, and generated scenarios with different altitudes offering spaces to differentiate communities such as the cloud forests and especially the coniferous forests, similar to those of pines so common in Mexico today. As suggested above, the Cretaceous seas covered most of the present continental Mexico, the mountain chains were different, and the present ones were just beginning to build up (Jacques-Ayala, 1995; Goldhammer and Johnson, 1999; Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005). Life had a vast diversity of organisms that may seem similar to the extant ones, but were clearly different (Lám, 2, Figs. A- I; Image 3, Figs. A-F; Image 4, Figs. A - D; Image 5, Figs. A - N). That is to say, families can be recognized, but most of the time the genera are extinct (Rodríguez de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez de la Rosa et al., 1998; Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999), and the few living genera so far recognized include extinct species (e.g., Cevallos-Ferriz et al., 2008). An important record of plants in the north of the country is the constant presence of organs or plant parts that relate to members of Proteaceae (Vázquez-Rueda et al., 2012; Villanueva-Amadoz, 2014a,b). An infrutescence documented from Coahuila corresponds to an extinct taxon of this family, and in Sonora relatively abundant pollen grains are also discussed as being related to this family (Vázquez-Rueda et al., 2012; Villanueva-Amadoz, 2014a, b). Leaves collected in Coahuila should be studied in detail before being accepted as representatives of Protaceae, but there is a morphotype that strongly suggests its presence. This family today is a natural element of the southern hemisphere and apparently widely developed in the northern hemisphere during the Cretaceous. Curiously this biogeographic pattern is not restricted to this family, other examples include Musaceae, Strelitziaceae and Haloragaceae (Rodríguez de la Rosa and Cevallos - Ferriz, 1994, Rodríguez-de la Rosa et al., 1998. Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999). These plants form part of vegetation types composed of a mixture of angiosperm and gymnosperm plants, which are distinguishable based on the dominance of each of these groups in different geographic areas, and the age of the sediments. Ferns, on the other hand, while present in most localities so far collected from, are never a dominant group. The analysis of communities is another tool that reinforces the concept of the presence of a life similar to the current one during the Cretaceous, but it also suggests they were clearly different from each other (e.g., Weber, 1972, 1978; Estrada-Ruiz et al., 2008; Fries et al., 2011). For example, the Upper Cretaceous of Coahuila has been interpreted as the place where America's oldest paratropical rainforest was probably established (Estrada-Ruiz et al., 2008, 2011); however, it is now known that in Mexico it did not develop further, or was very restricted. Furthermore, from*

*this Cretaceous paratropical rainforest other vegetation types may have evolved as plants that made up the forest were selected by environmental conditions as the physiography changed. A change in the dominance of the life forms is evident; gymnosperms communities were replaced by angiosperm ecosystems (Weber, 1972, 1975, 1980; Estrada-Ruiz et al., 2007, 2009, 2010; González-Ramírez et al., 2013; Huerta-Vergara et al., 2013; Huerta-Vergara, 2014). This certainly brought a change in reproductive strategies that involved the refreshment of plant-animal interactions (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez de la Rosa et al., 1998; Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999). Although in Coahuila, Sonora and Chiapas aquatic plants have been reported, the groups they represent are different, for example, in Coahuila, aquatic ferns are relatively important, but a member of Nelumbonaceae has also been identified (Weber, 1973, 1976; Estrada-Ruiz et al., 2011), while in Sonora a member of the Haloragaceae dominates the fossil record (Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999). In contrast, in Chiapas, sea grasses seem to be an important component of the aquatic palaeo-community (Guerrero-Marquez et al., 2013).*

### **Conclusions**

*The examples so far mentioned suggest that although in the past several physiographic characteristics distinguished Mexico from its current conformation, the biological and geological processes that generated biotic diversity in the region were similar, but acted differently on life formats. In other words, whilst biological actualism is in full force, its application should be considered with caution since the processes that prompted geologic and biological changes did not necessarily have similar effects on life throughout time. The geo-biological information retrieved from the Cretaceous fossils considered in a temporal and spatial context is a challenge full of surprises that expands the meaning of biology from a historical point of view.*

### **Introducción**

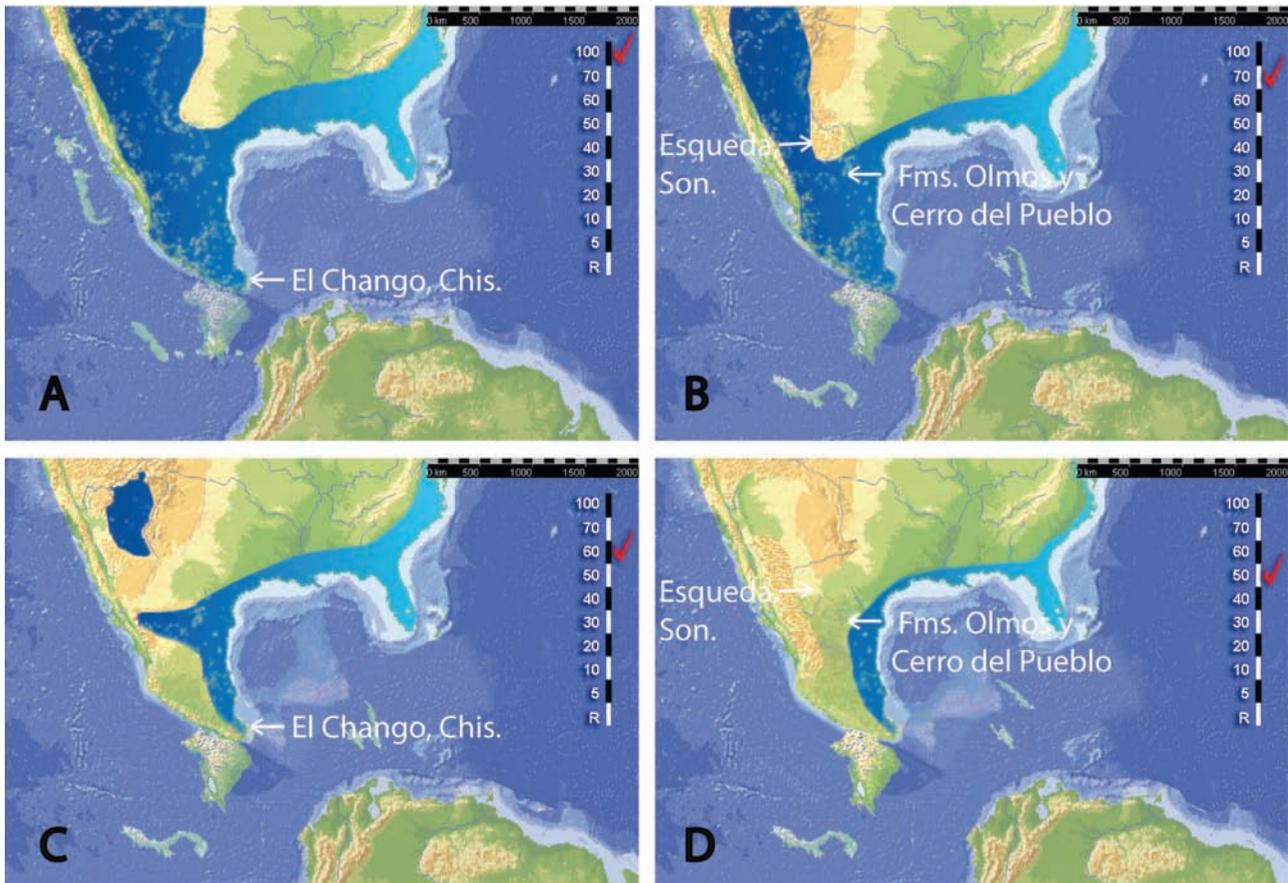
El Cretáceo representa un lapso de tiempo en el que hay grandes cambios geológicos y biológicos que ciertamente impulsaron a la Tierra a adquirir su configuración actual y a que la vida se conformara de manera más cercana a su arreglo presente (e.g., Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005; Nichols and Johnson, 2008; Wicander and Monroe, 2012); Lám. 1; Figs. A - D). Ejemplos de estos fenómenos que afectaron muchos de los procesos que se desarrollan en la Tierra son la gran actividad volcánica incluyendo el aumento en el derrame volcánico a lo largo de la dorsal oceánica que aparentemente pudo influir en el nivel del mar generando mares epicontinentales como el *Western Interior Seaway* (e.g., Wicander and Monroe, 2012; Levin, 2013). En general, el planeta se volvió más caliente y existieron, en el mejor de los casos, reducidas cantidades de hielo en los polos (Wicander and Monroe, 2012; Levin, 2013). Otros eventos importantes son los grandes depósitos calcáreos, la formación de cadenas montañosas como las Montañas Rocosas, y el inicio de la Sierra Madre Occidental, además del desarrollo de eventos anóxicos en los mares y el impacto de uno o varios asteroides (e.g., Lucas et al., 1995; Goldhammer and Johnson, 1999; Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005; Levin, 2013).

La vida, por su parte, continúa su curso alrededor de estos escenarios, generándose cambios importantes, como son el reemplazo de las plantas gimnosper-

mas por las angiospermas, o el creciente desarrollo de los mamíferos sobre aves y reptiles (Coiffard et al., 2012; Wicander and Monroe, 2012; Levin, 2013). Las implicaciones son grandes, por ejemplo, en las interacciones entre organismos o especies, o entre éstas y el medio ambiente, los hábitos de reproducción, dispersión, ampliación de áreas de distribución, también variaron y en conjunto la vida entra en una dinámica distinta que favorece el establecimiento y el interactuar con nuevos grupos (e.g., Friis et al., 2011; Wicander and Monroe, 2012; Levin, 2013).

En México los depósitos del Cretáceo son extensos, principalmente marinos, pero asociados a varios de ellos hay plantas conservadas principalmente como impresiones, aunque también se han recolectado compresiones carbonosas y permineralizaciones (e.g., Maldonado-Koerdell, 1949, 1950; Villanueva-Amadoz et al., 2014a, b).

El objetivo de la presente contribución es resaltar algunos aspectos de las floras conocidas del Cretáceo de México basados en macrofósiles (e.g., Weber, 1978, 1980; Almeida and Martínez-Hernández, 1980; Serlin et al., 1981; Barrera-Escorcia, 1982; Cevallos-Ferriz, 1983, 1992, 2014; Aranda-García et al., 1988; Cevallos-Ferriz and Weber, 1992; Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995; Martínez-Hernández and Ramírez-Arriaga, 1996; Cevallos-Ferriz et al., 2008; Estrada-Ruiz and Martínez-Cabrera, 2011; Méndez-Cárdenas et al., 2012; Martínez-Cabrera et al., 2014). La información que hay es relativamente escasa pero suficiente para señalar la importancia que tiene cono-



**Lámina 1.** Mapas paleogeográficos esquemáticos de México en distintos momentos de Cretáceo y Paleógeno (Modificado de Cevallos-Ferriz y González Torres, 2005). Se señala la posición de algunas localidades de importancia.

Fig. A.- Hace 100 millones de años. Fig. B.- Hace 70 millones de años. Fig. C.- Hace 60 millones de años. Fig. D.- Hace 50 Millones de años

**Image 1.** Outline paleogeographic maps of Mexico showing different moments of the Cretaceous and Paleogene (modified from Cevallos-Ferriz y González Torres, 2005). Some of the most important sites are marked.

Fig. A.- 100 million years ago. Fig. B.- 70 million years ago. Fig. C.- 60 million years ago. Fig. D.- 50 million years ago.

cer a las plantas del Cretáceo en una zona que a través de la historia geológica ha sido de transición entre áreas biogeográficas, climáticas y fisiográficas, contrastantes y complementarias en la que los procesos geológicos y biológicos se han sumado para generar biodiversidad.

## Material y método

En los siguientes párrafos se comentan algunas facetas de la vida de las plantas del Cretáceo de México con base en el aún escaso registro fósil conocido, resaltando el potencial de estos estudios en el entendimiento de la generación de biodiversidad. Para desarrollar esta discusión la información se enfoca en dos componentes principales, los escenarios en los que procesos geológicos, geomorfológicos, climáticos y ambientales, entre otros, se desarrollan y los

biológicos, en los que se identifican plantas y se presentan algunas peculiaridades de las plantas conocidas. Puntos particulares que se discuten incluyen la diversidad vegetal que existió hace 100 a 65 millones de años en la región, la dominancia de plantas extintas, el reemplazo de comunidades dominadas por gimnospermas por aquellas con angiospermas, cambios en las estrategias reproductivas, variantes en la formación de comunidades y el impacto de la evolución geológica sobre los procesos biológicos.

Cuatro zonas geográficas han sido objeto de recolecciones más completas y estudios parciales realizados con cierto detalle (Lám. 1, A – B). De acuerdo a la cantidad de estudios realizados y detalles abordados se mencionan en orden descendente estas áreas de trabajo. Destaca la Zona Carbonífera del Estado de Coahuila, cuyos importantes depósitos de carbón y gas datan del Campaniense y Maastrichtiense y en la que desde los años 70's Weber inició su recolecta y

estudio, especialmente de material conservado como compresiones (e.g., Weber, 1972, 1973, 1975, 1976, 1978). Desafortunadamente pocas plantas han sido identificadas como para sugerir algún tipo de comunidad, pero se ha propuesto que se trata de un sitio en donde prosperó una selva paratropical. (Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2006, 2007; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2008, 2010, 2011). Del mismo Estado pero más al sur, en la región de Rincón Colorado, se han recolectado impresiones de hojas, flores y frutos, además de frutos permineralizados que se asignan al Campaniense (e.g., Rodríguez de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez de la Rosa *et al.*, 1998; Estrada-Ruiz and Cevallos-Ferriz, 2006, 2007; Calvillo-Canadell and Cevallos-Ferriz, 2007; Estrada-Ruiz *et al.*, 2009). Poca evidencia existe sobre el tipo de comunidad que se desarrolló en esta área en aquel tiempo, pero aparentemente se trata de lagunas costeras alrededor de las cuales se recolecta principalmente un solo tipo de fruto, como si las plantas estuvieran restringidas en su distribución. En Sonora, especialmente en la Formación Tarahumara y recientemente en el Grupo Cabullona se han recolectado plantas y microorganismos conservados como impresiones, compresiones y permineralizaciones del Campaniense en potentes secuencias vulcanosedimentarias (e.g., Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999; Beraldi-Campesi *et al.*, 2004; Beraldi-Campesi and Cevallos-Ferriz, 2005). Las plantas que se han podido identificar con base en maderas se relacionan principalmente con gimnospermas y sugieren que alrededor del cuerpo de agua se desarrolló un bosque de coníferas; solo una planta permineralizada y relacionada con plantas acuáticas se ha podido reconstruir de forma completa, comparándose con miembros de Haloragaceae. Más al Oeste, en Baja California, en la Formación el Gallo la presencia de maderas e impresiones de hojas completan la distribución conocida de la vegetación durante el Campaniense-Maastrichtiense en la porción más septentrional de lo que en aquel entonces era Laurasia, en este caso particular, la parte que corresponde con América del Norte.

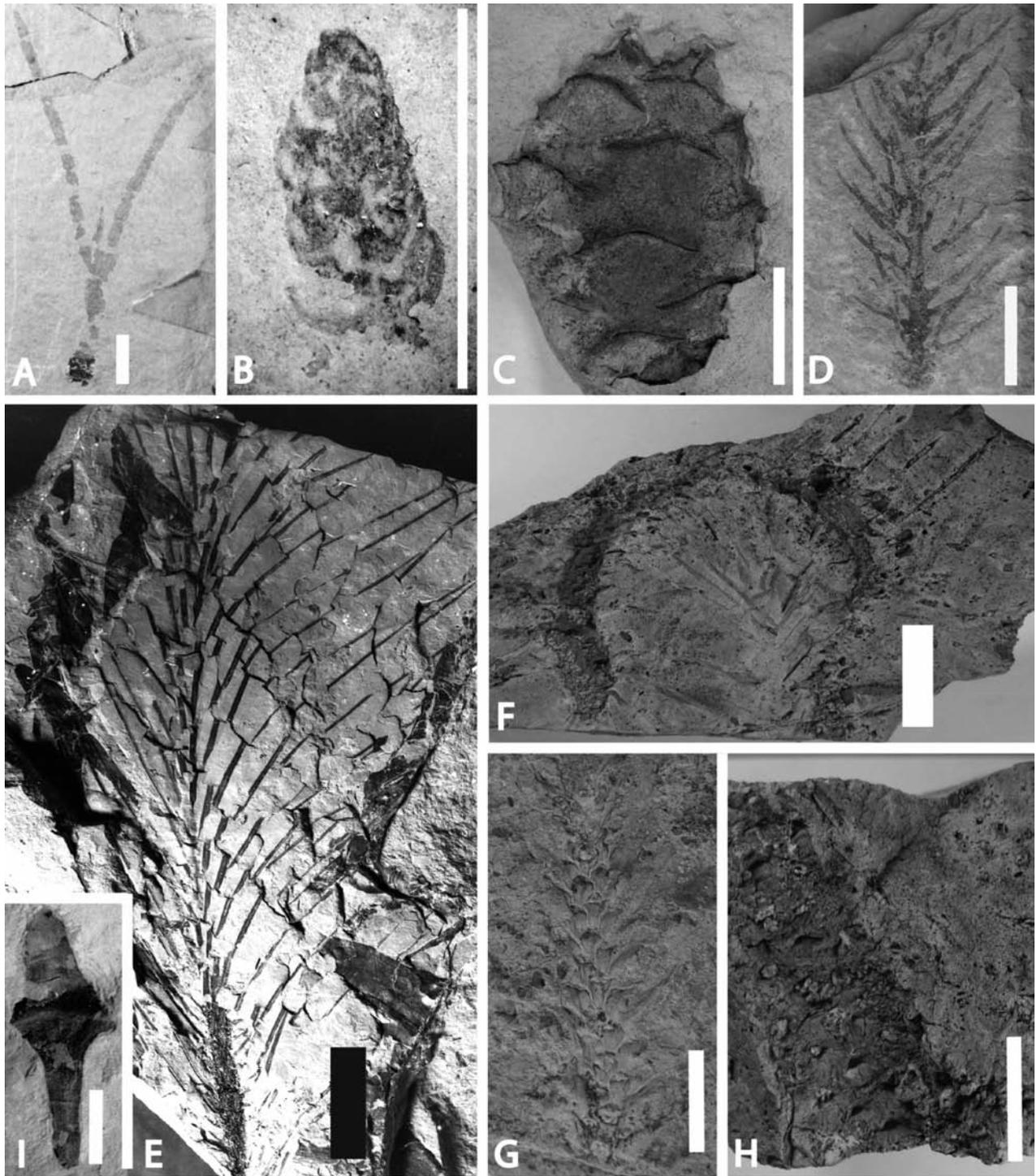
Hacia el sur los reportes son escasos y esporádicos, asumiéndose que corresponden posiblemente con registros de plantas que crecieron en islas que ocupaban ese espacio (Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005). Sólo en el estado de Chiapas, en el Municipio de Ocozocoautla, se conocen varias localidades en las que se han recolectado impresiones y compresiones de plantas junto con peces e invertebrados del Cenomaniano temprano. Todos los ambientes en los que las plantas se han recolectado se han interpretado como ambientes costeros, de

transición entre las partes emergidas y los cuerpos de agua, pero cada una representa condiciones locales muy particulares, por ejemplo, lagunas costeras, manglares y planicies de inundación.

Se revisó la literatura para conocer lo que se ha estudiado con más detalle y se complementó la información recopilada con el trabajo de campo que se ha realizado a lo largo de años. Esta información permite documentar algunas de las comunidades que se desarrollaron en México durante el Cretáceo, pero además hace necesario enmarcar a estas comunidades en un contexto geológico dinámico como el que caracterizó a México y que puede ligarse con la generación de biodiversidad (e.g., Almeida and Martínez-Hernández, 1980; Barrera-Escorcia, 1982; Cevallos-Ferriz, 1983, 1992, 2014; Aranda-García *et al.*, 1988; Cevallos-Ferriz and Weber, 1992; Cevallos-Ferriz and Ricalde-Moreno, 1995; Martínez-Hernández and Ramírez-Arriaga, 1996; Cevallos-Ferriz *et al.*, 2008; Estrada-Ruiz and Martínez-Cabrera, 2011; Méndez-Cárdenas *et al.*, 2012)

## Resultados

Hay varios puntos sobre la biología de las plantas del Cretáceo de México que son notorios y merecen atención. Por ejemplo, aunque las localidades del Norte del país son de aproximadamente de la misma edad, Campaniense-Maastrichtiense (ca. 83-65 maap), cuando se recolecta en la parte Este, de Coahuila a Tamaulipas, las plantas que predominan corresponden con el grupo de las plantas con flor, aunque también se encuentran gimnospermas, principalmente coníferas, y en mucho menor proporción helechos (Lám. 4, Figs. A - D) (e.g., Rueda-Gaxiola, 1967; Weber, 1972, 1978, Vázquez-Rueda *et al.*, 2012; Villanueva-Amadoz, 2014 a, b). En contraste, hacia el Oeste, en Sonora y Baja California se reporta frecuentemente la presencia de coníferas, aunque también hay angiospermas. La dominancia de coníferas respecto a las plantas con flor también es importante hacia el Sur de México, aunque en este caso la diferencia obedece a la sucesión de grupos de plantas a través del tiempo. En Chiapas, por ejemplo, en la localidad de El Chango, las coníferas dominan claramente sobre las plantas con flor (Lám. 2, Figs. A - D; Lám. 5, Figs. A - B) (González-Ramírez *et al.*, 2013; Guerrero-Márquez *et al.*, 2013; Huerta-Vergara *et al.*, 2011, 2012, 2013; Huerta-Vergara, 2014). Debido a la edad Cenomaniense (ca. 100-94 maap) de las rocas de esta localidad, estos porcentajes son de esperarse pues forman parte del momento en que las gimnospermas son reemplazadas por las angiospermas alre-



**Lámina 2.** Fósiles que recuerdan a miembros de Pinaceae del Cretáceo Inferior de la localidad El Chango, Chis. (A –D; escala = 1cm), del Cretáceo Superior de la Fm. Olmos, Coah. (E, I; escala = 5 y 1 cm), y de Esqueda, Son. (F –H; escala = 3, 3, 1 cm), México.

Fig. A. Fascículo con braquioblasto y tres acículas semejante a cf. *Picea*. Fig. B. Cono masculino. Fig. C. Cono Femenino. Fig. D. Ramas con hojas parecidas a Pinaceae (cf. *Keteleeria* y cf. *Larix*). Fig. E, G. Ramas con hojas que recuerdan a los miembros de Pinaceae. Fig. F. Ramas con hojas, cf. *Pinus*. Fig. H. Impresión de cono, cf. *Pinus*. Fig. I. Escama ovulífera, *Aachenia*.

**Image 2.** Fossils resembling members of the Pinaceae of the Lower Cretaceous from the El Chango locality of, Chis. (A –D; scale= 1cm), of the Upper Cretaceous from the Olmos Formation, Coah. (E, I; scale= 5 y 1 cm), and from Esqueda, Son. (F –H; scale= 3, 3, 1 cm), Mexico. Fig. A. Fascicle with a brachyblast and three needles, similar to cf. *Picea*. Fig. B. Masculine pine cone. Fig. C. Female pine cone. Fig. D. Branches with leaves similar to Pinaceae (cf. *Keteleeria* y cf. *Larix*). Fig. E, G. Branches with leaves that resembling members of Pinaceae. Fig. F. Branches with leaves, cf. *Pinus*. Fig. H. Impression of a pine cone, cf. *Pinus*. Fig. I. Ovuliferous scale, *Aachenia*.

dedor del mundo (Friis *et al.*, 2011). La paleogeografía de México ofrece entonces variados escenarios en donde las plantas pudieron desarrollarse, y su estudio es importante para documentar las relaciones de las plantas con el medio ambiente en el pasado, y al comparar con lo actual documentar los cambios que iniciaron la acumulación de biodiversidad.

Aunque es mucho lo que aún hay que aprender de las plantas del Cretáceo de México, se puede añadir que el material recolectado muestra algunas características importantes de las comunidades. Las plantas del Cretáceo de la parte Noreste de México (de Coahuila a Tamaulipas) desarrollaban hojas cuya longitud media era claramente mayor a las de cualquier otra parte de México, llegando a tener 20 cm de longitud y pocas son las que bajan de los 8-10 cm (Weber, 1972, 1978; Lám. 5, Figs. C - K). En contraste, las hojas de las plantas con flor de las demás localidades suelen ser definitivamente más pequeñas, generalmente por debajo de los 10 cm de longitud (e.g., Hernández-Villalva *et al.*, 2013; Villanueva-Amadoz, 2014a, b; Lám. 5, Figs. A - B). Esta relación sugiere que si bien el "trópico húmedo" estuvo bien distribuido y establecido en el Norte de México hacia el final del Cretáceo, las condiciones ambientales cambiaron reduciendo el tamaño de las hojas de manera importante. Hasta el momento es difícil saber cuál o cuáles parámetros ambientales cambiaron, aunque observaciones preliminares sugieren que la capacidad de evapotranspiración de las plantas jugó un papel importante en este cambio.

Un registro importante de plantas en el Norte del país es la constante presencia de órganos o partes de plantas que se relacionan con miembros de Proteaceae (Vázquez-Rueda *et al.*, 2012; Villanueva-Amadoz, 2014a, b). Se tiene documentado un fruto de Coahuila que corresponde a un taxón extinto de esta familia y en Sonora se recuperan con relativa abundancia granos de polen que se discuten también como relacionados a esta familia (Vázquez-Rueda *et al.*, 2012; Villanueva-Amadoz, 2014a, b). Hojas que deben ser estudiadas a detalle antes de ser aceptadas como representantes de miembros de Protaceae también se han recolectado de Coahuila por miembros del Laboratorio de Paleobotánica, del Instituto de Geología, UNAM. Esta familia que hoy es típicamente un elemento natural del Hemisferio Sur tuvo aparentemente gran desarrollo en el Hemisferio Norte durante el Cretáceo (Vázquez-Rueda, *et al.*, 2012). Curiosamente este patrón no está restringido a esta familia, otros ejemplos incluyen a miembros de Musaceae con características anatómicas semejantes con el plátano actual; plantas de Strelitziaceae con frutos semejantes a los del ave del paraíso actual; y

se han documentado plantas con ciclos de vida muy parecidos a los de Haloragaceae actuales (Rodríguez de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 1998; Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999). Este cambio en la distribución geográfica sugiere nuevamente cambios importantes en las adaptaciones de las plantas así como en el ambiente en que se desarrollaron. Por el momento se ha documentado que la biología de la dispersión varió de anemófila o hidrófila a zoocora y que la temperatura y humedad disminuyeron. Falta hacer interactuar a estos u otros procesos para entender el cambio.

Aunque en Coahuila, Sonora y Chiapas se han reportado plantas acuáticas (Lám. 4, Fig. A), los grupos que éstas representan son distintos, por ejemplo, en Coahuila los helechos acuáticos son relativamente importantes (Lám. 4, Fig. A), pero también se conoce a un miembro de Nelumbonaceae (Weber, 1973, 1976; Estrada-Ruiz *et al.*, 2001), mientras que en Sonora un miembro de Haloragaceae es muy común en el registro fósil (Hernández-Castillo and Cevallos-Ferriz, 1999), y en contraste con Chiapas, además de las coníferas, son pastos marinos los que parecen ser un componente importante de la paleocomunidad (Guerrero-Márquez *et al.*, 2013). Seguramente al entender más aspectos sobre la biología de estas plantas del pasado, explicaremos mejor sus patrones de distribución. Por el momento se trata de registros únicos y posiblemente los más antiguos de sus linajes, pero llama la atención que aparentemente crecen como la forma dominante, si no es que única, en parajes particulares. Esto es, en las localidades las plantas no se recolectan mezcladas.

Representantes de otros grupos de plantas que pueden ser comunes alrededor de cuerpos de agua o en planicies de inundación como son Musaceae, Zingiberaceae, Alismatales y Phytolaccaceae están profusamente representados por sus frutos en algunas localidades alrededor de Rincón Colorado, Coahuila (Rodríguez-de la Rosa and Cevallos-Ferriz, 1994; Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 1998; Cevallos-Ferriz *et al.*, 2008). Es notoria la dominancia de un tipo de planta por localidad, esto sugerido con base en la abundancia relativa de sus frutos.

Un aspecto interesante de las plantas en estas comunidades cretáceas es que si bien se pueden reconocer familias actuales, los géneros son extintos. En las coníferas esto parece ser semejante (González-Ramírez *et al.*, 2013; Huerta-Vergara *et al.*, 2011, 2012, 2013), aunque se ha podido documentar la presencia de cuando menos un miembro de *Pinus* L. en Sonora (Huerta-Vergara, 2014; Lám. 2, Figs. F, H). Respecto a las Pinaceae hay que resaltar que se han descrito hojas, conos ovulados y masculinos que pudieran

asociarse con la familia (Lám 2, Figs. B – C), pero no a un taxón actual, aunque también se ha sugerido que pudiera tratarse de algún grupo cercanamente relacionado a la familia, pero extinto (Huerta-Vergara *et al.*, 2011, 2012, 2013; Huerta-Vergara, 2014; Lám. 2, Figs. C, I, J, L). Sin embargo, es de llamar la atención que el mismo taxón no se encuentra en las distintas localidades, sugiriendo que el tiempo, el espacio o ambos, fueron importantes en la diferenciación o diversificación de estas plantas. Dos de los registros que se sugiere pertenecen a este grupo tienen hojas o ramas que recuerdan de manera cercana a *Picea* Link., *Larix* Mill. y *Keteleeria* Carr., sin embargo el parecido es solamente morfológico y observaciones más detalladas se requieren para confirmar su afinidad taxonómica (Huerta-Vergara, 2014; Lám. 2, Figs. A, D). Las coníferas y angiospermas mencionadas antes señalan la necesidad de generar una percepción taxonómica y filogenética lo más completa basada en la reconstrucción de plantas; sólo entonces se podrán ubicar en un medio ambiente caracterizado con base en observaciones sedimentológicas, logrando a través de estos dos ejercicios un concepto mucho más adecuado de la vida pasada.

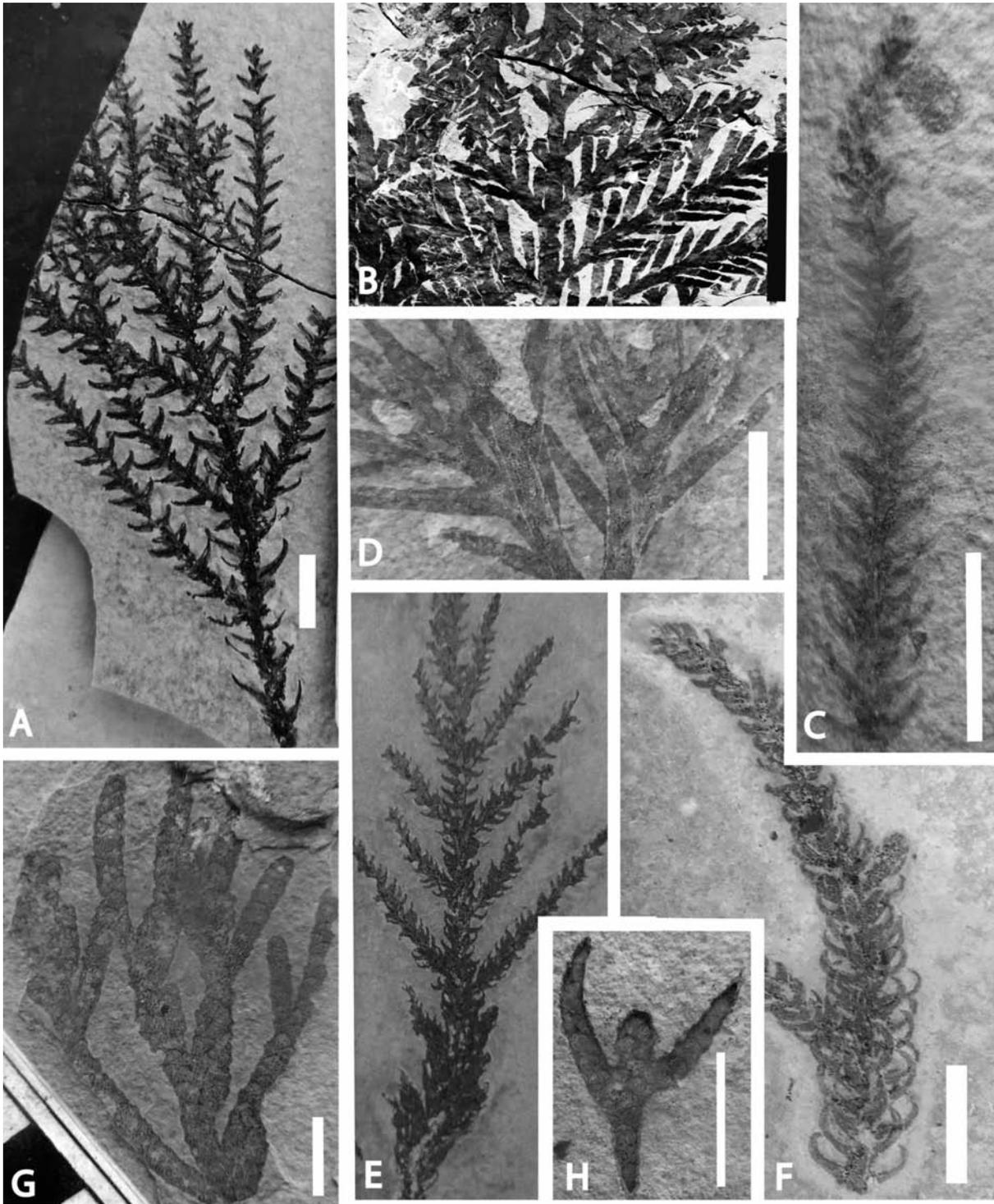
Otro grupo de coníferas, las Cupressaceae, son especialmente importantes en Chiapas y algunos reportes del Norte de México deben ser revisados pues pudieran en realidad representar miembros de esta familia (González-Ramírez, 2013; Lám. 3, Figs. A, C - F). Las hojas que se han conservado de estas plantas aparentemente representan taxa extintos, aunque su morfología también recuerda a las hojas de *Cryptomeria* (L.f.) D. Don, *Glyptostrobus* End. y *Chamaecyparis* Spach. Este ejemplo muestra nuevamente que se dieron grandes e importantes cambios en los tipos de plantas, sus distribuciones y asociaciones que aún se deben entender para comprender mejor las biotas del pasado, así como su papel de precursoras de la biodiversidad.

En cuanto a la madera de las coníferas es de llamar la atención que las maderas recolectadas y estudiadas hasta el momento sugieren la presencia de grupos distintos a los sugeridos por las hojas. Los troncos tienen anatomía que recuerda más la constitución de Podocarpaceae y Taxodiaceae, pero es aún muy grande la cantidad de madera por estudiar de estas localidades (Cevallos-Ferriz and Weber, 1992). Tampoco es de extrañar esto, pues las maderas de angiospermas también sugieren la presencia de plantas extintas, reforzando la idea que hojas y estructuras reproductoras adelantan en cuanto a que las plantas del Cretáceo eran distintas y debemos reconstruirlas para generar conceptos adecuados a ellas.

Hasta el momento se han mencionado órganos o

partes de plantas que de alguna manera se han relacionado y comparado con algún taxón, y se reconoce que la mayoría son extintos. Sin embargo, hay que resaltar el hecho de que existe una gran cantidad de hojas, maderas y estructuras reproductoras que se han recolectado y que no se han descrito con detalle y menos comparado minuciosamente con plantas actuales o fósiles reconocidas con anterioridad (Weber, 1972; Lám. 2, Figs. E, I; Lám. 3, Fig. B; Lám. 4, Figs. B – F; Lám. 5, Figs. C - N). Esta situación confirma que si bien al acercarnos al Reciente la vida es cada vez más parecida a la actual, las diferencias son muchas y debemos continuar buscando su entendimiento. Para ello es necesario conocer con detalle a las plantas del Cretáceo y su estudio es primordial, luego de lo cual se podrán establecer más y mejores comparaciones fundamentadas que complementen la comprensión de como los procesos biológicos generaron la biodiversidad actual. El entendimiento de las plantas fuera de su marco geológico generaría una visión incompleta de la vida y sus procesos en el pasado (Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005; Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012).

La geología de México en el Cretáceo es interesante pues presenta múltiples escenarios para la vida que son contrastantes y por lo mismo selecciona de manera importante a la biota. En términos generales se puede decir que existieron durante el Triásico y Jurásico extensiones importantes del continente que permitieron el desarrollo de diversos tipos de vegetación dominados por helechos y gimnospermas que no necesariamente se comparan con bosques mesófilos actuales (e.g., Aranda-García *et al.*, 1988; Velasco-de León, 1990; Velasco-de León *et al.*, 2013; Weber, 1980). En contraste, durante el Cretáceo los mares avanzaron sobre el continente (e.g., González-León and Jacques-Ayala, 1990; Jacques-Ayala, 1995; Grijalva-Noriega, 1996; López-Doncel *et al.*, 2005 (Lám. 1, Figs. A - D) diezmando la diversidad de plantas vasculares y presentando condiciones que favorecieron un recambio en la flora en el que las y angiospermas pasaron a ser dominantes y el grupo más conspicuo sobre la Tierra. Posiblemente el cambio más importante durante el Cretáceo es la dominancia de los mares en donde sólo plantas acuáticas pudieron establecerse (Guerrero-Márquez *et al.*, 2013). En este escenario durante el Cretáceo Inferior los mares son más profundos, restringiendo aún más la presencia de organismos fotosintéticos conservados como fósiles, aunque poco a poco los mares se hicieron más someros y en los límites con las partes emergidas de los continentes se establecieron condiciones que favorecieron distintos escenarios para el establecimiento de la vida (Wicander and Monroe, 2012;

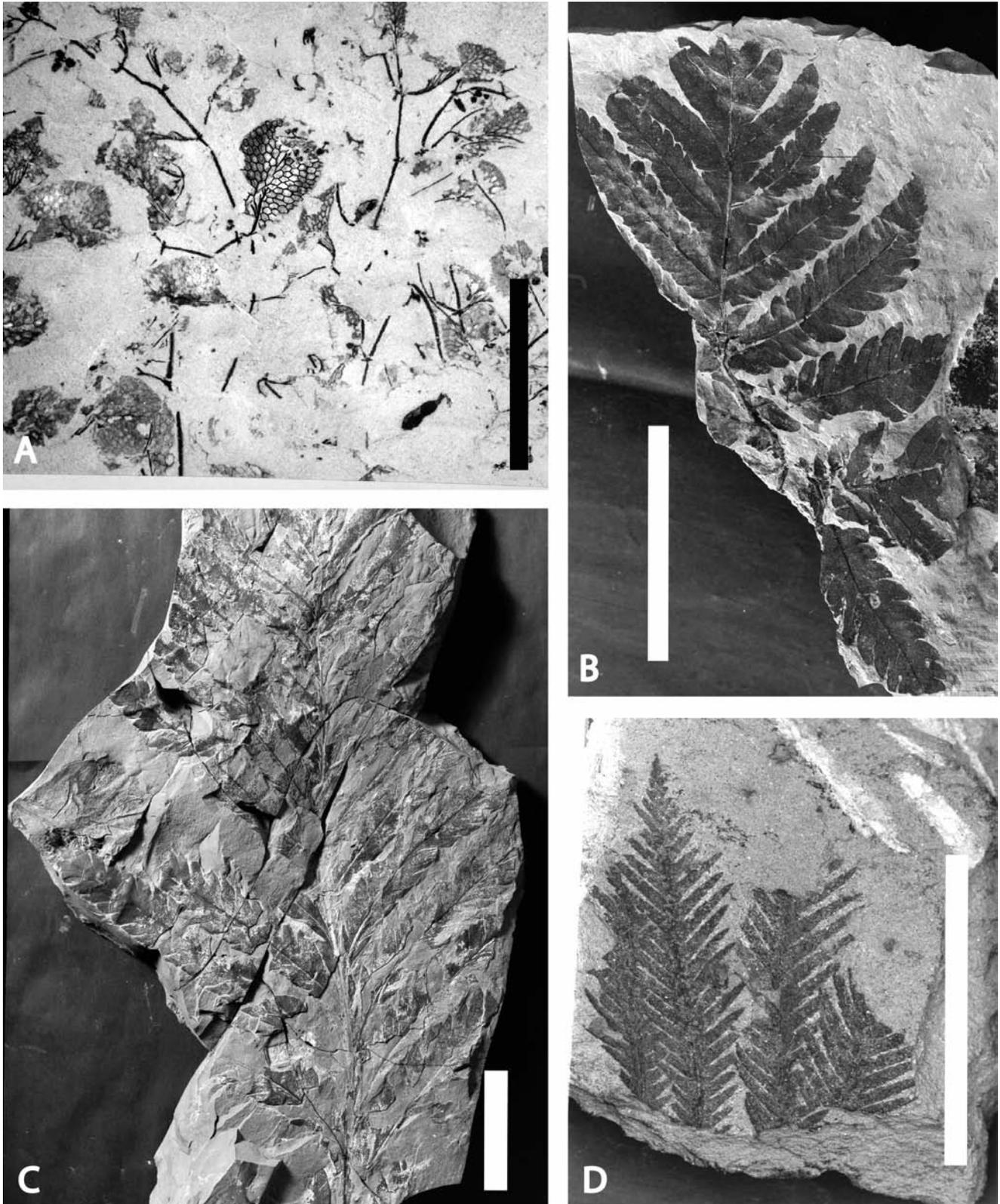


**Lámina 3.** Fósiles que recuerdan a miembros de Cupressaceae del Cretáceo Inferior de la localidad El Chango, Chis. (A, C – H; escala = 1cm), del Cretáceo Superior de la Fm. Olmos, Coah. (B; escala = 5cm).

Fig. A, E. Ramas con hojas semejantes a cf. *Glyptostrobus*. Fig. B. Rama con hojas, *Brachyphyllum*. Fig. C, F. Ramas con hojas semejantes a cf. *Cryptomeria*. Fig. D. Ramas con hojas con afinidad desconocida. Fig. G, H. Ramas con hojas semejantes a cf. *Chamaecyparis*.

**Image 3.** Fossils which resemble members of the Cupressaceae of the Lower Cretaceous of the El Chango localilty, Chis. (A, C – H; scale= 1cm), of the Upper Cretaceous of the Olmos Formation, Coah. (B; scale = 5cm).

Fig. A, E. Branches with leaves similar to cf. *Glyptostrobus*. Fig. B. Branch with leaves, *Brachyphyllum*. Fig. C, F. Branches with leaves similar to cf. *Cryptomeria*. Fig. D. Branches with leaves of an unknown relationship. Fig. G, H. Branches with leaves similar to cf. *Chamaecyparis*.



**Lámina 4.** Fósiles de helechos del Cretáceo Superior de la Fm. Olmos, Coah. (A, escala = 1cm; B - D =5 cm)

Fig. A. Helecho acuático, *Salvinia*. Fig. B - D. Frondas de 3 tipos de helechos aun no identificados.

**Image 4.** Fossils of ferns of the Upper Cretaceous from the Olmo Formation, Coah. (A, scale= 1cm; B - D =5 cm)

Fig. A. Aquatic fern, *Salvinia*. Fig. B - D. Fronds of three types of ferns, as yet unidentified.

Levin, 2013). Si bien se pueden caracterizar los nuevos escenarios al disminuir la profundidad como zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, las características de éstas a lo largo de las paleo-costas de México fueron variadas pues existieron planicies costeras, regiones con dominancia de lagunas costeras, otras pantanosas, y ciertamente hubieron porciones elevadas en donde montañas aparentemente no muy altas ofrecían variadas condiciones para la vida (e.g., Weber, 1973, 1976; Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 1998; Estrada Ruiz *et al.*, 2008, 2011). Existe evidencia también de que pastos marinos pudieron desarrollarse en la plataforma continental (Guerrero-Márquez *et al.*, 2013). Estos escenarios se pueden presentar en una sola región geográfica a lo largo de las costas en un intervalo de tiempo o en un momento específico. En ambos casos la vida durante el Cretáceo Inferior encontró escenarios variados en donde establecerse y prosperar. Es importante señalar también que conforme el Cretáceo se acercaba a su fin, las zonas emergidas del continente fueron ampliándose generando sitios con nuevas condiciones en donde la vida pudo prosperar. Este proceso de retiro de los mares y con ello la colonización de los nuevos espacios expuestos por la vegetación es un fenómeno que continuó a lo largo de Cenozoico y ha sido discutido como importante promotor de procesos biológicos generadores de biodiversidad, tanto de tipos de plantas como de su forma de asociarse (e.g., Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005; Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012).

## Discusión y conclusiones

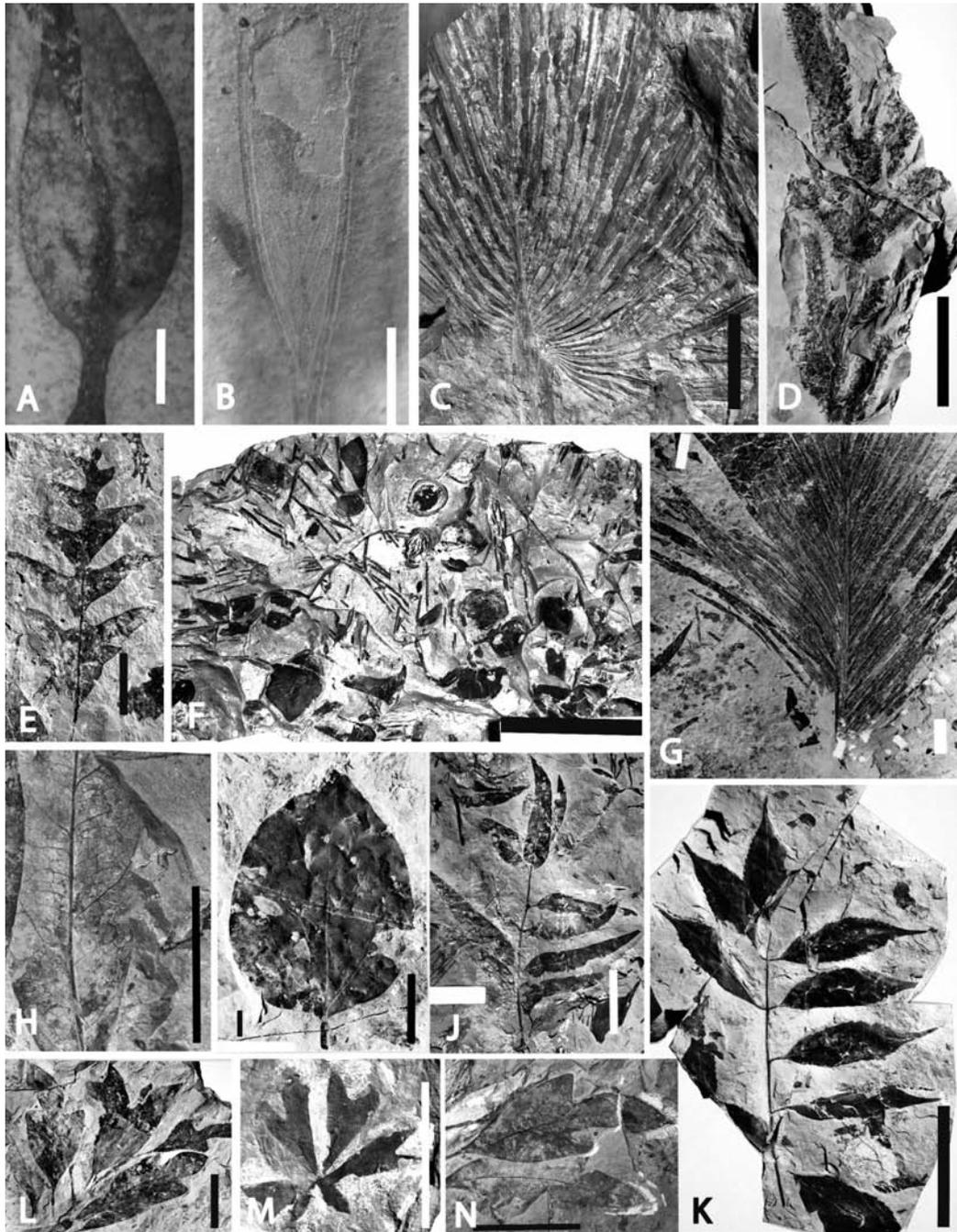
Esta revisión de trabajos realizados sobre plantas fósiles del Cretáceo de México resalta la importante diversidad que se estableció en lo que era México en aquella época, y la presencia de gran cantidad de taxa extintos (Lám. 2, Figs. A - I; Lám. 3, Figs. A - H; Lám. 4, Figs. A - D; Lám. 5, Figs. A - N) lo que revela la presencia de un mundo que aunque semejante al actual era claramente distinto (e.g., Weber, 1972, 1975; Cevallos-Ferriz *et al.*, 2008; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2009, 2010). Situaciones semejantes se han documentado de otras partes del mundo pero existe un vacío de información sobre plantas y sus ambientes en latitudes bajas del Hemisferio Norte durante el Cretáceo. Resalta la necesidad de realizar estudios detallados de biología comparada no sólo para calificar o dilucidar las semejanzas y diferencias entre las plantas o su forma de asociarse, sino para comprender y ejemplificar las particularidades de la vida en el momento de llevarse a cabo la colonización de las

partes emergidas debido al retiro de los mares, o algún otro fenómeno geológico que expusiera tierras en donde las plantas se podían establecer, en lo que hoy es México. La revisión hecha señala la necesidad de reconstruir a las plantas fósiles para tener cada vez más y mejor fundamentado su concepto biológico. Aunado al trabajo paleobotánico es inevitable la descripción y caracterización de los distintos escenarios para ubicar en ellos a las comunidades que contuvieron a las plantas. Este ejercicio es complicado con la información parcial con la que provee el registro fósil, y es un reto mayor conforme el trabajo acumula explicaciones y comparaciones que definen mejor a las plantas del pasado resaltando sus peculiaridades. Este ejercicio enriquece no solo el entendimiento de la vida pasada, sino que ofrece una visión alternativa rica en historia de la biodiversidad.

Desde luego que estos puntos han sido abordados en otras partes del mundo en donde también la situación geológica y biológica es distinta, aunque obviamente tiene semejanzas. Por ejemplo, el hecho de que lo que hoy es México en el tiempo pasado tuviera varias particularidades que lo distinguen de su actual conformación y/o fisiografía sugiere que los procesos biológicos y geológicos que generaron diversidad en la biota de la región también actuaron sobre la vida de manera distinta. En otras palabras, mientras que el actualismo biológico es completamente vigente, su aplicación debe ser cautelosa pues que existieran los mismos procesos en el pasado y presente no implica necesariamente que los efectos de éstos fueran semejantes en los dos tiempos dados. Así, por ejemplo, la anatomía ecológica ha demostrado repetidas veces que las plantas y el medio tienen relaciones distintas en el Cretáceo y el Cenozoico, y que en este último sólo después del Eoceno parece existir una relación semejante a la actual entre la vida pasada y el ambiente. El hecho de que durante el Cretáceo las plantas fósiles a nivel genérico sean extintas y que su distribución geográfica no concuerde con la actual puede parcialmente explicarse con base en la presencia de biomas muy distintos a los actuales en el Cretáceo.

Un punto llamativo es que hasta que se estableció el puente de Centro América mediante el ensamblaje del Istmo de Panamá (Lám. 1, Figs. A - D) y ocuparon sus lugares las Penínsulas de Baja California y Yucatán, México tuvo forma de península. Este cambio de conformación es muy importante para entender como los escenarios del Cretáceo contrastan con los del Cenozoico, pero el tema no ha sido abordado.

Se ha dado preferencia a lo ocurrido en el Cenozoico y de ahí viene la idea de que la evolución geológica es de gran influencia para la evolución biológica. Para ejemplificar esto es conveniente resaltar



**Lámina 5.** Fósiles de angiospermas del Cretáceo Inferior de la localidad El Chango, Chis. (A – B; escala = 1cm), y del Cretáceo Superior del Fm. Olmos, Coah. (C – K, escala = C – E, H, J – K = 5cm; F – G, I = 3cm), México.

Fig. A. Bráctea con fruto sostenido a partir del nervio medio de la hoja modificada. Fig. B. Hoja. Fig. C, G. Hojas de palmeras, con quilla y sin quilla. Fig. D. Infrutescencia de palmera. Fig. E, J, L, N. Hojas que se han referido como semejantes a Lauraceae o Protolauraceae. Fig. H. Impresión de hoja con patrones de nerviación bien conservados, pero afinidad taxonómica aún incierta. Fig. I. Hojas con fuertes nervios basales. Fig. K. Hoja compuesta que semeja a miembros de Anacardiaceae, cf. *Rhus*. Fig. I. Hojas comparada con las de una Euphorbiaceae, cf. *Manohot*.

**Image 5.** Fossils of angiosperm of the Lower Cretaceous from the El Chango locality, Chis. (A – B; scale= 1cm), and from the Upper Cretaceous from the Olmos Formation, Coah. (C – K, scale= C – E, H, J – K = 5cm; F – G, I = 3cm), Mexico.

Fig. A. A bract with fruit supported by the middle vein of the modified leaf. Fig. B. A leaf. Fig. C, G. Palm leaves with and without the central "keel". Fig. D. The infructescence of a palm. Fig. E, J, L, N. Leaves that have been referred to as similar to Lauraceae or Protolauraceae. Fig. H. The impression of a leaf with the pattern of the veins well preserved, however the taxonomic identity is still uncertain. Fig. I. Leaves with strong basal veins. Fig. K. A compound leaf with similarities to members of Anacardiaceae, cf. *Rhus*. Fig. I. Leaves which have been compared to those of a Euphorbiaceae, cf. *Manohot*.

algunos cambios fisiográficos iniciando desde el momento que nos ocupa ahora, el Cretáceo. Los nuevos terrenos expuestos en donde las plantas se podían establecer fueron generándose al retirarse los mares, en las zonas costeras, lo que sugiere que eran zonas bajas, cercanos al mar, en una región asumida como cálido-húmeda, lo que fue propiciando espacios para el establecimiento de selvas tropicales posiblemente perennifolias como pudieron ser la selva alta o mediana actuales. Aún en este escenario aparentemente "homogéneo" por costero, hay claras diferencias en las biotas del Oeste y Este del Campaniense-Maastrichtiense del Norte de México. Por otro lado aún se discute si la flora del Cenomaniense del Sur de México se estableció en el continente o en un archipiélago, lo que hace aún más contrastantes los escenarios donde la biota se desarrolló y seleccionó.

Durante el Cenozoico al ampliarse la zona continental por el continuo retroceso de los mares fueron apareciendo condiciones que favorecieron el establecimiento o la selección de organismos con diferentes respuestas a la estacionalidad y/o sequía, dando lugar a comunidades semejantes a selvas bajas o chaparrales (Lám. 1, Figs. A - D). El levantamiento de cadenas montañosas por procesos tectónicos y/o volcánicos aceleró la generación de escenarios ofreciendo espacios distintos para diferenciar comunidades como por ejemplo los tipos de bosques mesófilos y en especial los bosques de coníferas.

Otro aspecto importante es que "la península de México" seguramente propició diferencias en la influencia de las corrientes marinas y vientos sobre las áreas continentales en donde la humedad puede descargarse o recogerse, generando a través del tiempo zonas húmedas o secas con distribución geográfica distinta y amplitud de áreas de distribución también variada, (Cevallos-Ferriz and González-Torres, 2005). Seguramente también contribuye a esto el hecho de que las principales cadenas montañosas de México, e.g., Sierras Madre Occidental y Oriental, Faja Volcánica Trans-mexicana y Sierra Madre del Sur, no existían o estaban en construcción (Cevallos-Ferriz y González-Torres, 2005) por lo que su función como barreras geográficas limitantes de la humedad o dificultando/favoreciendo la ampliación de áreas de distribución de los organismos era claramente distinta a la actual. Estos modelos ejemplifican cómo aunque se identifican plantas y se comparan sus asociaciones con comunidades actuales las condiciones fisiográficas, climáticas y ambientales con las que las plantas del Cretáceo interactuaron eran completamente distintas a las circunstancias del Cenozoico y actuales. Entender estas relaciones es un reto al que México comienza a incorporarse.

Entonces cuando se hable de procesos que hoy ocurren en la naturaleza y seguramente estaban actuando en el pasado también, la forma e intensidad en que lo hicieron propició respuestas adaptativas diferentes, y éstas se deben buscar en el registro fósil a través del entendimiento de las plantas y su entorno desde un punto de vista paleobiológico.

El reto es no solo describir plantas extintas sino comprender la presencia de sus caracteres como respuesta a las exigencias en el medio en el que se desarrollaron. Una vez logrado esto, el análisis de las comunidades es otro aspecto que reforzara la presencia de una vida semejante a la actual pero claramente distinta. Por ejemplo, El Cretáceo Superior de Coahuila ha sido interpretado como el sitio en que se estableció posiblemente la selva paratropical más antigua de América (Estrada-Ruiz *et al.*, 2008, 2011), misma que hoy en México no se desarrolla o está muy restringida, y de la cual seguramente derivan otros tipos de vegetación que se formaron conforme el espacio estuvo disponible para las plantas. En realidad sabemos muy poco de las plantas que crecieron en esas comunidades y su discusión se ha basado en la fisionomía y anatomía de los fósiles. Es necesario no solo conocer y reconstruir a los actores desde un punto de vista biológico y a los ambientes desde un punto de vista geológico, sino discutir y acoplar a estas dos fases de la vida pasada para obtener una visión más completa de la misma. De igual forma, sabemos de la presencia de bosques de coníferas en el Sur de México en el Cenomaniense Inferior, pero saber de qué plantas se trata sigue siendo una incógnita y por lo tanto el trabajo de reconstruir plantas y caracterizar sus escenarios es un reto que se debe atender. Finalmente hay que resaltar la necesidad de ser cuidadosos al querer pensar que las plantas del pasado se comportaban como lo hacen sus descendientes actuales. Ni los aspectos morfo-anatómicos, fisiológicos, ecológicos, etc., son iguales, ni las asociaciones son semejantes. Desde luego que hay parecidos, pero descifrar las diferencias y discutir las atribuciones de los taxa en un contexto temporal y espacial del pasado comparado con los actuales es un reto vigente lleno de sorpresas que ampliará el sentido de la biología desde un punto de vista histórico.

## Referencias

- Almeida, L. and Martínez-Hernández, E. 1980. Estudio paleontológico preliminar del Cretácico Superior de la Cuenca de Cabullona, Sonora, México: SEP-INAH, Dpto. Prehistoria, *Colección Científica*, 86, 213-227.
- Aranda-García, M., Quintero, O.Y and Martínez-Hernández E. 1988. Palinomorfos del Jurásico temprano de la

- Formación Gran Tesoro, Santa María del Oro, Durango: Universidad Nacional Autónoma de México., Instituto de Geología, *Revista*, 7 (1), 112-113.
- Barrera-Escorcia, G. 1982. *Localidades paleobotánicas en tres provincias geológicas del noreste de México*. Facultad de Ciencias, UNAM, tesis de licenciatura, 105 págs.
- Beraldi-Campesi, H. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2005. Diversidad de microfósiles en la Formación Tarahumara, Sonora, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22 (2), 261-271.
- Beraldi-Campesi, H., Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Chacón-Baca, E. 2004. Microfossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tarahumara Formation, Sonora, Mexico, *Cretaceous Research*, 25 (2), 249-265.
- Calvillo-Canadell, L. and 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 (10), 1658-1669.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1983. Descripción de una madera de angiosperma cretácica de Cananea, Sonora, México. Los xilitos en el estudio del origen de los angiospermopsida, Universidad Nacional Autónoma de México, *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 54 (1), 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 (1), 111-137.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2014. Plantas del Cretácico superior de Coahuila, *Paleontología Mexicana*, 64, 92-102.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. and González-Torres, E.A. 2005. Geological setting and phytodiversity in Mexico, *en* Vega, F.J., Nyborg, T.G., Perrilliat, M.C., Montellano-Ballesteros, M., Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Quiroz-Barroso, S.A. *Studies on Mexican Paleontology*. Springer, 1-18.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Ricalde-Moreno, O.S. 1995. Palmeras fósiles del norte de México, *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 66 (1), 37-106.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Weber, R. 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, 10 (1), 65-70.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Estrada-Ruiz, E. and Pérez-Hernández, B.R. 2008. Phytolaccaceae infructescence from Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous (late Campanian), Coahuila, Mexico, *American Journal of Botany*, 95 (1), 77-83.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., González-Torres, E.A. and Calvillo-Canadell, L. 2012. Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México, *Acta Botánica Mexicana*, 100, 317-350.
- Coiffard, C., Gomez, B., Daviero-Gomez, V. and Dilcher, D.L. 2012. Rise to dominance of angiosperm pioneers in *European Cretaceous environments*. 25/03/2014, [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1218633110](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1218633110)
- Estrada-Ruiz, E. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2006. Semillas de Lythraceae de la Formación Cerro del Pueblo del Cretácico Superior (Campaniano tardío), Coahuila, México, *en* Proceedings of IX Congreso Latinoamericano de Botánica, Santo Domingo, Dominican Republic, 537 págs.
- Estrada-Ruiz, E. and 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. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2009. *Palmoxyylon enochi* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano superior-Maastrichtiano inferior), Coahuila, México, *Ameghiniana*, 46 (4), 577-585.
- Estrada-Ruiz, E. and Martínez-Cabrera, H.I. 2011. A new Late Cretaceous (Coniacian-Maastrichtian) *Javelinoxylon* wood from Chihuahua, Mexico, *International Association of Wood Anatomists Journal*, 32 (4), 521-530.
- Estrada-Ruiz, E., Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2009. Upper Cretaceous aquatic plants from Northern Mexico, *Aquatic Botany*, 90 (4), 283-288.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2007. Fossil woods from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145 (1-2), 123-133.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2010. Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (late Campanian-early Maastrichtian), Coahuila, Mexico, *American Journal of Botany*, 97 (7), 1179-1194.
- Estrada-Ruiz, E., Upchurch, G.R. and 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 Jr., G.R., Wolfe, J.A. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2011. Comparative morphology of fossil and extant leaves of Nelumbonaceae, including a new genus from the Late Cretaceous of Western North America, *Systematic Botany*, 36 (2), 337-351.
- Friis, E.M., Crane, P.R. and Pedersen, K.R. 2011. *Early flowers and angiosperm evolution*. Cambridge University Press, New York, 585 págs.
- Goldhammer, R. and Johnson, C.A. 1999. Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico, *en* Bartolini, C., Wilson, J.L. and Lawton, T.F. (eds.), *Sedimentary and tectonic history of north central Mexico*, Geological Society of America Special Paper, 340, 1-58.
- González-León C.M. and Jacques-Ayala C. 1990. Estratigrafía de las rocas cretácicas del área del de Cerro de Oro, Sonora central, *Boletín del Departamento de Geología Universidad de Sonora*, 5 (1-2), 1-23.
- González-Ramírez, I., Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz S.R.S. 2013. Coníferas cupresáceas fósiles de "El Chango", Chiapas (Aptiano), *Paleontología Mexicana* 63, 26-31.
- Grijalva-Noriega, F.J. 1996. Cintura Formation – An Early

- Cretaceous deltaic system in northeastern Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13 (2), 129-139.
- Guerrero-Márquez, G., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz S.R.S. and Avendaño Gil, J. 2013. Angiospermas cretácicas de la localidad "El Chango", Chiapas, México. *Paleontología Mexicana*, 63, 31-39.
- Hernández-Castillo, G. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1999. Reproductive and vegetative organs with affinities to Haloragaceae from the Upper Cretaceous Huepac chert locality of Sonora, Mexico, *American Journal of Botany*, 86 (12), 1717-1734.
- Hernández-Villalva, D.V., Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz S.R.S. 2013. Inferencia del paleoclima de la Formación miocénica en Ixtapa Chiapas, utilizando la fisionomía foliar de los fósiles, *Paleontología Mexicana* 63, 48 - 65.
- Huerta-Vergara, A.R. 2014. *Descripción e identificación de impresiones fósiles de coníferas del Cretácico del Norte y Sur de México, con énfasis en la familia Pinaceae*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, 99 págs.
- Huerta-Vergara, A., R., Calvillo-Canadell, L., Silva-Pineda, A. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2011. Fascículo foliar Cretácico de Pinaceae de la localidad del Chango, Chiapas, México, XII CONGRESO NACIONAL DE PALEONOLOGÍA, Libro de Resúmenes, Puebla, México, Febrero.
- Huerta-Vergara, A., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S. and Silva-Pineda, A. 2012. Description and identification of Aptian-Cenomanian Pinaceae and Podocarpaceae from El Chango, Chiapas, Mexico, BOTANY 2012: THE NEXT GENERATION. Columbus, Ohio, USA. Julio 7-11
- Huerta-Vergara, A.R., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Silva-Pineda, A. 2013. Pinaceae en el Cretácico del norte y sur de México: complemento a su escaso registro fósil, *Paleontología Mexicana*, 63, 66-78.
- Jacques-Ayala, C. 1995. Paleogeography and provenance of the Lower Cretaceous Bisbee Group in the Caborca-Santa Ana area, northwestern Sonora, en Jacques-Ayala, C., González-León, C. M., and Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas, Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 301, 3079-98.
- Levin, H.L. 2013. *The Earth Trough Time*. Wiley & Sons, EUA. 624 págs.
- López-Doncel, R., Labarthe-Hernández, G. and Mata-Segura, J.L. 2005. Estudio sedimentológico-estratigráfico de la Sierra Las Lilas (Paleozoico) y Sierra El Cartucho (Mesozoico) en la porción noroccidental del estado de Chihuahua, México Distrito Minero de Bismark, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22 (3), 298-314.
- Lucas, S.G., Kues, B.S., and González-León, C.M. 1995. Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, northeastern Sonora, en Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas, Geological Society of America Special Paper, 301, 143-166.
- Maldonado-Koerdell, M. 1949. Nueva equisetel del Cretácico Superior de Coahuila, Mexico, *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros (AMGP)*, 1 (1), 27-34.
- Maldonado-Koerdell, M. 1950. Los estudios paleobotánicos en México, con un catálogo sistemático de sus plantas fósiles, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Boletín*, 55, 1-72.
- Martínez Cabrera, H.I., Ramírez, J.L. and Estrada-Ruiz, E. 2014. Plantas fósiles e inferencia paleoclimática: aproximaciones metodológicas y algunos ejemplos para México, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66 (1), 41-52.
- Martínez-Hernández, E. and Ramírez-Arriaga, E. 1996. Palaeocorología de angiospermas de la flora mexicana durante el Mesozoico y Terciario; Algunas evidencias Palinológicas, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Botánica*, 58, 87-97.
- Méndez-Cárdenas, J.P., Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Calvillo-Canadell, L. 2012. Importancia de *Paraphyllanthoxylon* en el reconocimiento de plantas en el Cretácico de Coahuila, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30 (1), 135-149.
- Nichols, D.J. and Johnson, K.R. 2008. *Plants and the K-T Boundary*. Cambridge University Press, 280 págs.
- Pérez-Maussán, A. I. 2013. *Descripción de improntas foliares eocénicas de la formación la carroza, "la popa", Nuevo León, México, y su comparación con taxa actuales*. Facultad de Ciencias, UNAM, tesis de Licenciatura, 114 págs.
- Rodríguez-de la Rosa, R. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1994. Upper Cretaceous Zingiberalean fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico, *International Journal of Plant Sciences*, 155 (6), 786-805.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Silva-Pineda, A. 1998. Paleobiological implications of Campanian coprolites, *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 142 (3), 231-254.
- Rodríguez-Reyes, O. J. 2009. *Material foliar del eoceno de la formación carroza en La Popa, Nuevo León, México*. Posgrado de Ciencias Biológicas, UNAM, tesis de Maestría, 79 págs.
- Rueda-Gaxiola, J. 1967. *Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon cretacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique*. Faculté des Sciences, Université de Lille, Ph. D. thesis, 3 vols, 408 págs.
- Serlin, B.S., Delevoryas, T. and Weber, R. 1981. A new conifer pollen cone from the Upper Cretaceous of Coahuila, Mexico, *Review of Paleobotany and Palynology*, 31, 241-248.
- Vázquez-Rueda, M.A., Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2012. Infructescence from the Cerro del Pueblo Formation, Upper Cretaceous, Coahuila, Mexico: Botany 2012, 7-11 July, Columbus, Ohio (USA), Abstract ID 123.
- Velasco-de León, M.P. 1990. Tafoflora del Jurásico Medio de la Cañada del Ajo, Sur de Puebla, México, *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 2 (2), 17-29.
- Velasco-de León, M.P., Ortiz-Martínez, E., Silva-Pineda, A. and Lozano Carmona, D.E. 2013. Distribución y ambientes de las gimnospermas fósiles del Terreno Mixteco, *Paleontología Mexicana*, 63, 122-143.

- Villanueva-Amadoz, U., Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2014a. Síntesis de los trabajos paleobotánicos del Cretácico en México, *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, 66 (2), 97-121.
- Villanueva-Amadoz, U., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., and Berladi-Campesi, H. 2014b. Preliminary paleobotanical notes on the Early Cretaceous Cintura Formation (Sonora, Mexico), *Historical Biology*. DOI: 10.1080/08912963.2014.915821
- Weber, R. 1972. La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 33 (1), 5-19.
- Weber, R. 1973. *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México, *Ameghiniana*, 10, 173-190.
- Weber, R. 1975. *Aachenia knoblachi* n. sp. an interesting conifer from the Upper Cretaceous Olmos Formation of northeastern Mexico, *Palaeontographica Abteilung B Paläophytologie*, 152, 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 angiosperms, flora of Coahuila, Mexico, *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 30, 38-46.
- Weber, R., 1978, Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperms, flora of Coahuila, Mexico, *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, v. 30, pp. 38-46.
- Weber, R. 1980, Megafósiles de coníferas del Triásico Tardío y del Cretácico Tardío de México y consideraciones generales sobre las coníferas Mesozoicas de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista* 4 (2), 111-124.
- Wicander, R. and Monroe, J.S. 2012. *Historical Geology. Evolution of Earth and Life Through Time*. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, California EUA, 432 págs.

Recibido: mayo 2014  
Revisado: julio 2014  
Aceptado: diciembre 2014  
Publicado: marzo 2015