

# GEOLOGÍA/ PALEONTOLOGÍA: UNA RELACIÓN MUY ENRIQUECEDORA

Ismael Ferrusquía-Villafranca<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los Subsistemas Atmósfera, Hidrósfera, Tierra Sólida y Biósfera constituyen al Sistema Tierra; los procesos que ocurren en los dos primeros, son geocronológicamente instantáneos y dejan un registro efímero. En la Tierra Sólida los procesos tienen una larga duración (miles y millones de años), y dejan un registro permanente, cronológica y/o espacialmente indiferenciado. En la Biósfera ocurren tanto procesos instantáneos, que dejan registro efímero como de larga duración que dejan un registro permanente, cronológica y/o espacialmente diferenciado, integrado a la Tierra Sólida (particularmente a las secuencias sedimentarias).

Con base en esta coincidencia y en los complejos enlaces materiales y dinámicos que existen entre todos los subsistemas, se da la posibilidad de descifrar la historia del Planeta, y desde luego se establece la relación epistemológica entre la Geología y la Paleontología. Mediante dicha relación, la información o el conocimiento de una disciplina, contribuye a la resolución de problemas en la otra, ejemplos: 1, el descubrimiento de la magnitud del tiempo geológico, posibilitó la formulación y aceptación de la Teoría de la Evolución Orgánica; 2, la existencia de paleobiotas vicarias pudo explicarse por cambio paleogeográficos; 3, la reconstrucción ambiental de una paleocomunidad, se apoya en la información geológica local; 4, la construcción de la escala geocronológica, se fundamentó en la subdivisión del registro fósil; 5, las paradojas paleontológicas, condujeron a descartar la concepción geodinámica "fijista"; 6, el análisis del registro fósil permite reconocer el orden secuencial correcto en territorios estructuralmente complejos.

Palabras clave: Geología, Paleontología, Filosofía de la Ciencia, Epistemología.

## ABSTRACT

The Subsystems Atmosphere, Hydrosphere, Solid Earth and Biosphere make up the Earth System; processes occurring in the first two are geochronologically instantaneous, and leave an ephemeral record. The processes in the Solid Earth have a long duration (thousands to millions of years) and leave a permanent, chronologically/spatially undifferentiated record. In the Biosphere occur both instantaneous processes that leave an ephemeral record, and long-lasting processes that leave a permanent, chro-

<sup>1</sup> Instituto de Geología,  
Universidad Nacional Autónoma  
de México, Circuito de la  
Investigación s/n, Ciudad  
Universitaria Coyoacán, México,  
D.F., C.P. 45100

nologically/spatially differentiated record, integrated to the Solid Earth (particularly to the sedimentary sequences).

On the basis of this coincidence and on the complex material and dynamic link occurring among all subsystems, it is possible to unravel the Planet's history, and of course, to establish the epistemological relationship between Geology and Paleontology.

Through such relationship, information or knowledge of one discipline helps to solve problems in the other, examples: 1, the discovery of the enormity of geologic time made possible the elaboration and acceptance of the Theory of Organic Evolution; 2, the existence of vicarious paleobiotas could be explained by paleontogeographic changes; 3, the environmental reconstruction of a paleocommunity is based upon local geological information; 4, the making of the geochronologic scale stemmed from the subdivision of the fossil record; 5, the paleontological paradoxes led to discard the "fixistic" geodynamic conception; and 6, the analysis of the fossil record allows to recognize the right sequential order in structurally complex territories.

Key words: Geology, Paleontology, Philosophy of Science, Epistemology.

## **GEOLOGÍA/ PALEONTOLOGIA: NATURALEZA DE ESTA RELACIÓN**

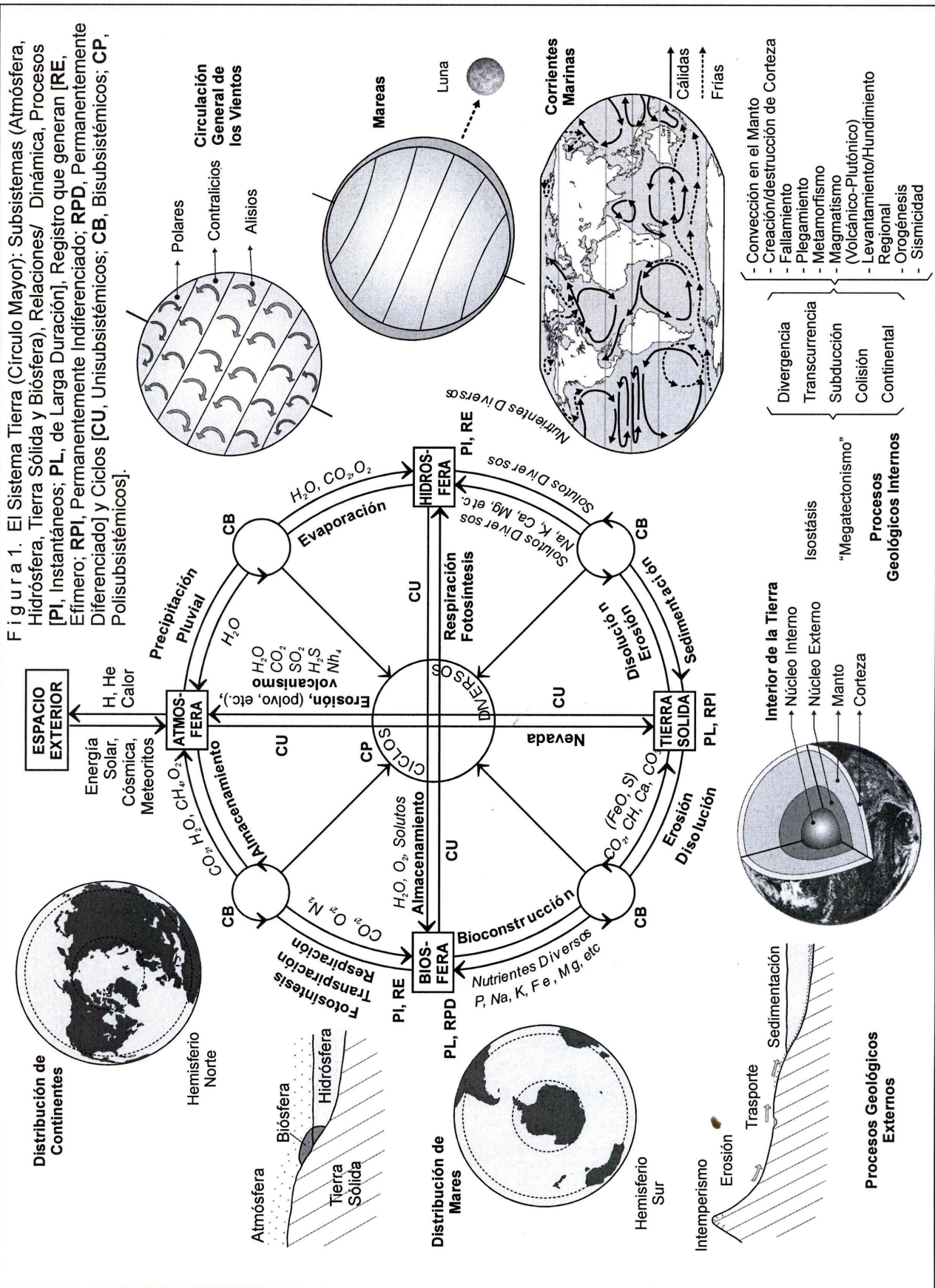
La Geología y la Paleontología son parte de las Ciencias de la Tierra, las cuales en conjunto describen y explican la constitución, estructura y funcionamiento del Sistema Tierra; en la figura 1 se muestra los componentes o subsistemas que lo integran, los procesos que ocurren en ellos, el tiempo de registro que dejan (efímero o permanente), y las relaciones que tiene entre sí los subsistemas.

Resumiendo, puede decirse que aunque el Sistema Tierra está aislado, recibe del espacio exterior energía (radiación solar, cósmica, etc.), materia (meteoritos metálicos y condríticos en su mayor parte), y responde a relaciones astronómicas diversas (atracción gravitacional lunar, solar y/o de conjunción planetaria, "cabeceo" del eje de rotación, etc.) A su vez, el Sistema Tierra emite al espacio gases muy ligeros (hidrógeno y helio) y calor (tanto interno, como reflejado del Sol). En los Subsistemas Atmósfera, Hidrósfera, Biósfera y Tierra Sólida ocurren procesos que involucran materia y energía, tienen cierta duración y dejan un registro (efímero o permanente). La Atmósfera y la Hidrósfe-

ra son fluidos, cuyo movimiento (vientos, ríos y corrientes marinas —superficiales y profundas) depende de la energía solar que incide y se queda en el Sistema Tierra, por lo cual están directamente asociadas a la posición latitudinal que ocupan. También están influidos por: (a) el movimiento de rotación terrestre, reflejado por la dirección opuesta que tiene estos vientos y corrientes en los hemisferios Norte y Sur (Efecto Coriolis), (b) la posición variable de la Tierra respecto al Sol. Causada por la traslación de ésta (efecto de estacionalidad, más acentuado en latitudes medias y altas), (c) los cambios posicionales de la Luna (por traslación) y su alineación con el Sol causan las mareas, y (d) el relieve (particularmente en el ámbito terrestre). Los procesos que ocurren en estos subsistemas dejan un registro efímero en ellos, y tiene una duración geológicamente instantánea.

La Tierra Sólida es el subsistema mayor (radio de 6,375 km), presenta una diferenciación composicional/estructural en Corteza, Manto y Núcleo. En este Sistema ocurren procesos

Figura 1. El Sistema Tierra (Círculo Mayor): Subsistemas (Atmósfera, Hidrosfera, Tierra Sólida y Biósfera), Relaciones/ Dinámica, Procesos [PI, Instantáneos; PL, de Larga Duración], Registro que generan [RE, Efímero; RPI, Permanentemente Indiferenciado; RPD, Permanentemente Diferenciado] y Ciclos [CU, Unisubsistémicos; CB, Bisubsistémicos; CP, Polisubsistémicos].



geológicos internos y externos; los primeros están energizados desde el interior y generan o mantienen las diferencias de relieve (prominencias y depresiones), los segundos abaten las diferencias de relieve, ocurren mediante movimientos de la Atmósfera y/o la Hidrósfera, energizadas por el Sol. Salvo la sismicidad, los procesos geológicos tienen una duración media a larga (miles a millones de años) su extensión varía de local a regional (siendo con frecuencia continental o mundial) y dejan un registro material tangible, no diferenciado cronológica ni espacialmente, cuya magnitud disminuye a media que se retrocede en el tiempo, lo cual a su vez aumenta la dificultad de su detección e interpretación.

La Biósfera es el subsistema de menor tamaño, está constituido por todos los seres vivos que pueblan y han poblado la Tierra en el pasado geológico, y se ubican en la interfase Tierra Sólida/ Atmósfera/ Hidrósfera (ya que toma componentes de estos subsistemas); en ella ocurren procesos energizados por el Sol, cuya duración puede ser breve (instantes a pocos años: fotosíntesis, transpiración, transferencia de energía/ materia en la pirámide trófica, migración, extinción, etc.) o larga (miles a millones de años: permanencia de una especie, de una comunidad, especiación, evolución orgánica, diferenciación biómica, etc.). Los seres vivos dejan un registro material diferenciado cronológica y/o espacialmente, e integrado a la Tierra Sólida (los fósiles presentes en el registro litoestratigráfico sedimentario), cuya magnitud se reduce a medida que retrocedemos en el tiempo; ellos aumentan la dificultad de detectarlo e interpretarlo.

Como se muestra en la figura 1, **las relaciones entre los distintos subsistemas** son múltiples y complejas. En gran medida, la Atmósfera y la Hidrósfera proceden de la diferenciación temprana del Sistema Tierra, finalizada hace -4,000 Ma (evidenciada por las rocas más antiguas, Bowring, 1999; Kamber y Moorbath, 2001), la cual conlleva a la estructuración de éste en Corteza, Manto, Núcleo y “Protoenvoltura Gaseosa”. En ésta continuó el acúmulo de gases generados durante la actividad magmática de la Tierra Sólida (principalmente la volcánica), a los cuales tal vez se incorporaron materiales ligeros procedentes de cometas (Cloud, 1988; Owen y Bar-Num, 1995). Cuando las

condiciones termodinámicas lo permitieron, de la “Protoenvoltura” se desprendieron los vapores más densos (pasando al estado líquido), acumulándose en las depresiones existentes, se formó así la **Hidrósfera**; el remanente de la “Protoenvoltura” constituyó la **Atmósfera**.

La Atmósfera temprana era muy diferente a la actual, carecía de Oxígeno y era reductora. Esta condición, así como otras propias del sistema Tierra en su evolución temprana (rotación más rápida, corteza menos extensa y más delgada, mayor temperatura externa (ambiental), mayor incidencia de radiación cósmica, etc.) asociadas a la intrincada dinámica de las relaciones entre los Subsistemas Atmósfera, Hidrósfera, y Tierra Sólida, propiciaron una compleja evolución química, que produjo sistemas poliméricos de nivel de organización creciente, y que eventualmente (hace unos 3, 500 Ma), permitió el surgimiento de los seres vivos; con ellos se formó el Subsistema **Biósfera**. La actualidad de ésta ha tenido un gran impacto en todo el Sistema Tierra, ejemplos : La acumulación de Oxígeno en la Atmósfera (originado por la fotosíntesis), la génesis de los mega-yacimientos de hierro (mediante quimiosíntesis) de las formaciones precámbricas ferro-bandeas, la formación de los mega-yacimientos fanerozoicos de carbón y de hidrocarburos, y la acumulación de carbonatos en el ambiente marino (incluida la construcción arrecifal), inducida en gran parte por la microbiota superficial (vía este proceso, se retira de la atmósfera gran parte del CO<sub>2</sub>, emitido continuamente por la actividad volcánica, haciéndola respirable).

El Sistema Tierra tiene una dotación material limitada, por ello el “**reciclarlo**” es la característica operativa sobresaliente del mismo. Se ha reconocido un gran número de **ciclos (bio/geo /químicos; uni,bi-o polisistémicos)**, que describen detalladamente el camino particular que siguen algunos materiales en este complejo devenir, ejemplos: el ciclo del agua, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno, los ciclos vitales de las especies, los ciclos ecológicos de las comunidades, el ciclo litoestratigráfico-sedimentario (depósito de material en una cuenca, formación de la secuencia litoestratigráfica resultante, tectonismo, orogénesis, desarrollo de cordilleras, y erosión subsiguiente), el ciclo geotectónico fundamental (creación/destrucción de corteza oceánica).

Los procesos y los ciclos que ocurren en los subsistemas, salvo algunos de la Biósfera, producen resultados similares, con cuasi-independencia del tiempo geológico y del lugar geográfico, ejemplos: La estructura de cordilleras formadas por plegamiento de calizas, es semejante, a pesar de que la edad geológica de los estragos que la formen sea diferente. Los depósitos de arenisca cuarcítica formados en latitudes media y alta son semejantes. En cambio, los procesos de larga duración que ocurren en la Biósfera producen resultados únicos e irrepetibles, debido a la diferenciación geográfica derivada de la estrecha adaptación que tiene la mayoría de los sistemas vivientes a condiciones ambientales particulares, y a la naturaleza **unidireccional** (es decir no repetitiva) que tiene la evolución orgánica. Dichos resultados constituyen el **registro fósil**, el cual puede organizarse en una **escala geocronológica relativa** (es decir, sin referencia directa a años, siglos, etc), que permite ubicar a procesos/registros en el tiempo, y en una **escala ambiental**, que posibilita reconstruir el entorno de la cuenca durante el depósito de la secuencia portadora (del registro fósil).

En suma, la compleja e interdependiente relación que tiene los subsistemas del Sistema Tierra y la coincidencia del registro fósil y del litoestratigáfico/ estructural en el Subsistema Tierra Sólida, **constituyen el fundamento de la relación epistemológica entre la Geología y la Paleontología**; así mismo permiten reconstruir la historia de tales relaciones (identificarlas, secuenciarlas, correlacionarlas y ubicarlas en el marco espacio-temporal correcto) y en última instancia, **descifrar la historia geológica del Sistema Tierra**. A continuación, se presentan algunos ejemplos en el este apoyo epistemológico, ha permitido resolver problemas científicos particulares de ambas disciplinas.

## APOYO EPISTEMOLÓGICO DE LA GEOLOGÍA A LA PALEONTOLOGÍA

### I. La Magnitud del tiempo geológico

La edad de la Tierra es una cuestión, cuyo significado, envergadura y dificultad de resolución pudo apreciarse hasta que se constituyó la Geología en una disciplina científica, dotada de herramientas metodológicas idóneas, que

permiten la generación de conocimientos derivados de la observación, integrables en un cuerpo cognoscitivo, apoyando en principio y/o supuestos verificables o evidentes.

El principio geológico básico es el **Actualismo**, cuya versión moderna señala que: Las leyes que describen el comportamiento de la materia y de la energía en el ámbito del Sistema Tierra, no hayan cambiado en el tiempo que ha existido éste; de haber ocurrido algún cambio, el proceso o procesos implicados habrán dejando un registro tangible y verificable; otro tanto se aplica a las leyes y/o principios subordinados derivados de tales leyes. Desde luego, que la versión temprana de este principio, atribuida a James Hutton, **El presente es la clave del pasado**, es menos explícita, y se formuló en un ambiente de controversia, en donde una tesis sostenía que la Tierra había alcanzado su condición actual mediante procesos catastróficos, mientras que la otra tesis, suscrita por Hutton, indicaba que los procesos geológicos que observamos en la actualidad (tales como la sedimentación en ríos y lagos, o la erosión de los litorales o de las montañas, y la actividad volcánica), **eran los mismos que habían actuado en el pasado geológico**, continuaban haciéndolo en el presente, y lo harían en el futuro, sin que parezca haber un término en ellos.

Prevalció esta tesis. La observación de tales procesos, mostró que la operación de éstos ocurre a tasas bajas, por lo tanto, para obtener los resultados observados (tales como espesores sedimentarios kilométricos, o la formación de profundos cañones debido a erosión fluvial), dichos procesos debieron haber operado continuamente durante **mucho tiempo** (millones de años). Surgió así la necesidad de extender la edad de la Tierra, de los pocos miles que a la sazón se le atribuía, a decenas y aún cientos de millones de años.

El fascinante descubrimiento de la magnitud del tiempo geológico, en consonancia con la enormidad del Universo, que empezaba ser puesta de manifiesto por los astrónomos contemporáneos, tuvo un impacto revolucionario en la Ciencia, y prohió una concepción del mundo y del universo, más acorde con la realidad. En las Ciencias Biológicas, hizo posible considerar la realidad del cambio filogenético, ocurrido en un marco cronológico de miles a

millones de años (desligándolo por fin de la observación cotidiana de individuos semejantes de generación en generación, atestiguada por la práctica agrícola, ganadera o avícola). Esto a su vez, le dio credibilidad a la **Teoría de la Evolución Orgánica**, propuesta por Darwin y Wallace, y promovida con un fervor cuasi-religioso por Huxley, Heckel y Virchow, cuya aceptación produjo una revolución científico/filosófica, y tuvo también una gran repercusión social (utilizándose como fundamento del Capitalismo).

## 2. Existencia de Paleobiotas Vicarias

Dos o más especies son vicarias, cuando están filogenéticamente emparentadas y ocupan áreas de distribución discontinuas (a veces separadas por miles de kilómetros). Se supone que en el pasado geológico, dichas especies ocupaban áreas continuas o contiguas, cuya interrupción o separación fue causada por procesos no biológicos. Cuando se observa esta condición en especies fósiles o conjuntos de ellas (paleofaunas, paleofloras o paleobiotas), se les puede considerar como **vicarios**, ejemplos: a) Las invertebradofaunas marinas paleozoicas tempranas de Norteamérica y Europa. b) La flora paleozoica tardía *Glossopteris* de Sudamérica, África, Australia, India y Madagascar. c) Las invertebradofaunas marinas cretácicas de África Septentrional, Europa Mediterránea, Asia Meridional (incluido el Cercano Oriente), las Antillas, Norteamérica Sureste y México Meridional (integradas en la Provincia o Región Pelobiogeográfica del Tethys).

Concediendo que la posición geográfica de los territorios mencionados fuese similar a la actual, la correspondencia biogeográfica de tales paleobiotas es decididamente anómala, e implicaría migraciones fortuitas, frecuentes y concurrentes, realizadas en escenarios geográficos inapropiados, cuya conjunción es cuasi-improbable.

Alternativamente si se supone que tales territorios tuviesen en el pasado geológico posiciones geográficas diferentes a las actuales, se puede postular que las paleobiotas actualmente vicarias, reflejen la interrupción de los territorios continuos o contiguos que ocupaban en el pasado. El advenimiento de la Teoría de Tectó-

nica de Placas, ocurrida en el último tercio del siglo xx, permitió aceptar esta alternativa, en apariencia tan descabellada, y con ello dar solución a este problema paleontológico.

## 3. Reconstrucción del escenario geográfico/geológico del Taxón o Grupo Fósil

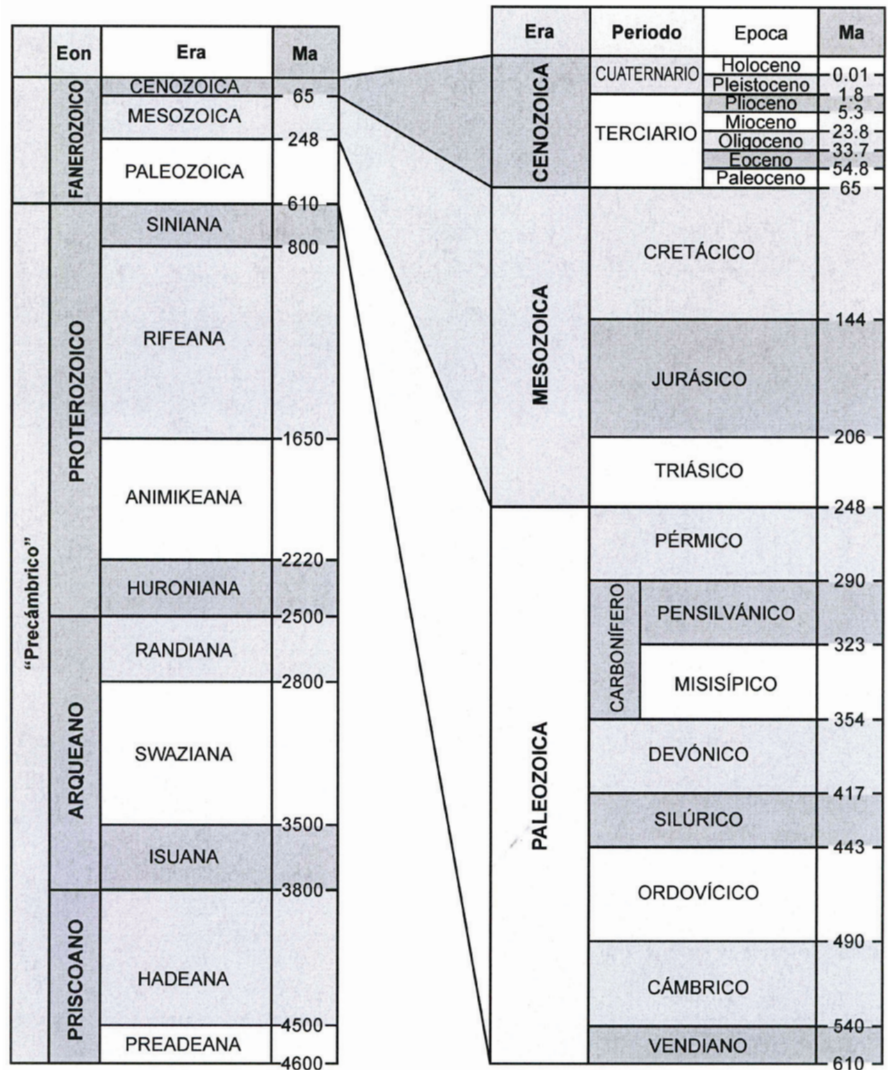
El conocimiento del marco geológico de donde procede el registro fósil, en principio aporta la información básica sobre el entorno geográfico de la comunidad ecológica a la cual pertenecían los taxa fósiles, por ejemplo, la ubicación geográfica del territorio que ocupaba (que podría no coincidir con la actual), las condiciones climáticas del mismo, sus rasgos fisiográficos mayores, la presencia de ríos o lagos próximos, etc. En el caso del ámbito marino, la profundidad a que se encontraba el fondo, la probable distancia al litoral, la dirección y comportamiento de las corrientes, la temperatura, los gases disueltos, la composición química, etc. En ambas clases de dominios ambientales, a partir de datos como éstos, pueden hacerse inferencias razonables sobre otros factores o componentes del ambiente, lo cual permite afinar su caracterización.

## APOYO EPITEMOLÓGICO DE LA PALEONTOLOGÍA A LA GEOLOGÍA

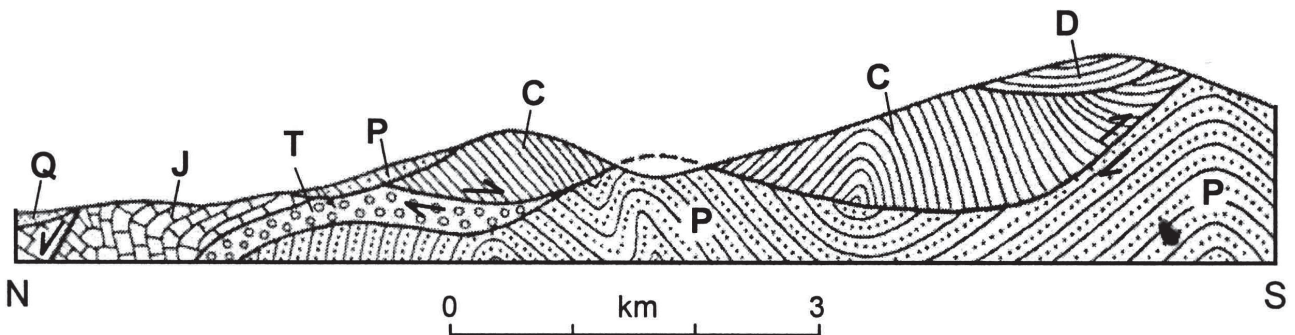
### 1. La Construcción de la escala Geocronológica

Esta escala es una referencia que permite ubicar en el tiempo a los procesos geológicos o al registro de ellos, establecer su duración y correlacionar su ocurrencia con la de otros, acaecidos en sitios diferentes, próximos o lejanos, o de una región, de un continente o de todo el Mundo; en otras palabras, esta escala posibilidad que se pueda conocer y tenga sentido la historia geológica de un lugar en particular o del Mundo entero.

Esto es posible, como se estableció en el primer apartado, porque los sistemas vivientes (= especies) están en su mayoría adaptados a condiciones particulares del ambiente, y a la unidireccionalidad de la evolución orgánica, originándose así especies diferentes a las anteriores, en un devenir continuo de cambio biótico gradual (cuasi-imperceptible), ocasio-



**Figura 2.** Escala Geocronológica. Los números indican millones de años (Ma), se obtuvieron mediante calibraciones radio-isotópicas diversas. "Precámbrico" es un término informal. Subdivisión gráfica aproximada.



**Figura 3.** Sección estructural compleja que muestra cabalgamiento de Norte a Sur de la Secuencia D-J sobre la Unidad P. Abreviaturas: C, Carbonífero; D, Devónico; J, Jurásico; P, Pérmico; Q, Cuaternario; T, Triásico. El fechamiento biogeocronológico permitió reconocer la secuencia e interpretar la geología estructural.

nalmente “puntuado” por el surgimiento o la extinción de numerosas especies en lapsos geocronológicos muy cortos.

Esto permitió subdividir el registro fósil en conjuntos característicos de lapsos particulares, esto es en “cronobiotas”, cuyo arreglo jerárquico y sucesión constituyen la **escala geocronología fundamental** de utilización mundial (Figura 2). Nótese que el componente **–zoico** del nombre de los **eones** y algunas eras, alude a su fundamento en los seres vivientes.

## 2. Interrogantes que condujeron al Planteamiento de la hipótesis de la Deriva de los continentes y eventualmente al de la Teoría de tectónica de Placas

Durante el siglo XIX y los dos primeros tercios del XX, la ortodoxia geológica preconizaba que la geodinámica del Sistema Tierra ocurría principalmente por medio de la actividad tectónica vertical, con movilidad tangencial (“horizontal”) muy limitada, por lo cual, la ocurrencia de grandes desplazamientos horizontales de bloques continentales, no tenía cabida en esta concepción geodinámica; se seguía también, que en el curso de la historia geológica, los continentes y océanos se habían mantenido geográficamente “fijos”.

Sin embargo, la investigación geológica y paleontológica había detectado ya la ocurrencia de numerosos fósiles, cuya ubicación geográfica no corresponde con la esperada en función de la distribución de sus análogos modernos, ejemplos: a) La presencia de grandes reptiles paleozoicos tardíos en las Islas Spitzbergen ( $-80^{\circ}$  Lat N) y en la Antártida contrasta con la distribución tropical (entre los  $30^{\circ}$  Lat. N y S) que tienen los grandes reptiles actuales (cocodrilos, el dragón de Komodo, grandes serpientes, etc.) b) La presencia entre  $40^{\circ}$ – $50^{\circ}$  Lat. N de grandes yacimientos de carbón paleozoicos tardíos formados en ecosistemas aparentemente tropicales. c) La presencia de arrecifes paleozoicos tardíos, encontrados en latitudes extra-tropicales o francamente boreales.

La solución a estas y otras paradojas paleontológicas y geológicas, implicaba estas alternativas: a) desentenderse del principio Actualista, echando con ello por la borda el valor científico de la Geología y la Paleontología, o

b) contravenir la ortodoxia geodinámica fijista de entonces, y proponer que la posición geográfica de los continentes en el pasado geológico era diferente de la actual, y que en realidad, éstos sí han experimentado grandes desplazamientos tangenciales (8 = horizontales). Así surgió la Hipótesis de los Continentes a la Deriva (Alfred Wegner, 1912, que tuvo muy poca aceptación, por la falta de un mecanismo satisfactorio que explique tales desplazamientos, la escasa información geográfica y geológica del fondo oceánico, y la limitada base geofísica disponible entonces.

Casi 60 años después se propuso la Teoría de Tectónica de Placas, apoyada ampliamente en el tipo de información mencionado, que permitió evidenciar la realidad de tales movimientos, así como la génesis y concomitante destrucción de corteza oceánica en gran escala, y en suma, describir la geodinámica del Sistema Tierra; se resolvieron así las paradojas paleontológicas y geológicas, sin tener que violentar el Principio del Actualismo.

## 3. Interpretación estratigráfica correcta de Territorios estructuralmente complejos

El conocimiento de la constitución, historia y evolución geológica de un territorio cualquiera, depende de la descripción e interpretación de la secuencia estratigráfica que lo integra, lo cual implica la identificación correcta del orden en que fueron originados los distintos cuerpos o unidades que forman dicha secuencia. Esto se logra aplicando la llamada **Ley de la Superposición** (y principios derivados de ella), que indica que en una secuencia no perturbada, los estratos inferiores se originaron antes que los posteriores. Sin embargo, en territorios donde ha ocurrido intensa deformación estructural, el plegamiento y fallamiento han distorsionado esta relación espacial, dificultando o aun imposibilitando su reconocimiento. Es en estas condiciones donde los fósiles y la información paleontológica que contienen, permite detectar el orden o sucesión estratigráfica correcta, ya que ni la edad ni la posición de éstos en los estratos, fueron modificadas por la deformación estructural (Figura 3).



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Comité Organizador de la Semana Nacional de Paleontología del Centro INAH Coahuila, y de otras instituciones académicas del Estado, la invitación para presentar esta ponencia. Extiendo también un reconocimiento especial a la maestra Karla I. Ferrusquía Muños, su colaboración en la preparación del manuscrito, y al Lic. José Ruiz, la elaboración de las ilustraciones.

## LITERATURA CITADA

- Bowring, S.A., 1999. Priscoan (4.00-4.03 Ga) orthogneisses from northwestern Canada. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134:3-16.
- Cloud, P. 1988. *Oasis in Space: Earth History from the beginning*. W. W. Norton, New York, 413 pp.
- Kamber, BS y Moorbath, S., 2001. The oldest rocks on Earth; time constraints and geological controversies. *Geol. Soc. London Spec. publ.* 190, p.177-230.
- Owen, T. y Bar-Num. A., 1995. Comet, impacts and atmospheres, *Icarus*, 116:115-116.

# LA VIDA A TRAVÉS DEL TIEMPO

Delfino Hernández<sup>1,\*</sup>

## RESUMEN

La historia de nuestro Planeta Tierra, ha pasado por una serie de sucesos muy importantes, pero sin duda alguna uno de los eventos más espectaculares es la aparición de la vida.

La vida en el pasado esta representada por los fósiles, por lo tanto, la ciencia que estudia los fósiles es la Paleontología. Los fósiles, nos proporciona una información infinita, son tan importantes, que es la única manera de interpretar la Vida a Través del Tiempo, el fósil es el libro abierto de la vida. Los fósiles se encuentran principalmente en rocas sedimentarias, pero pueden encontrarse en rocas metamórficas de muy baja temperatura, o en rocas ígneas, como cenizas volcánicas, pero son muy escasas, también se pueden encontrar en glaciares, ámbar o algunas chapopoterías. Los fósiles pueden estar representados por huellas, marcas, madrigueras, coprolitos, moldes, las formas completas o fragmentadas. Existe una cantidad impresionante de fósiles en el mundo, que se encuentran alojados en un registro, llamado "Registro Fósil". Este registro fósil, es incompleto, pero suficiente para entender que sucedió en el pasado. La edad del planeta Tierra se calcula en unos 4,600 millones de años, y los primeros fósiles, corresponden a organismos microscópicos como bacterias, algas calcáreas, que probablemente aparecieron hace unos 3000 a 3800 millones de años, en un tiempo geológico denominado Precámbrico.

Palabras clave: fósil, eras geológicas, períodos, deriva de continentes, vida.

## ABSTRACT

The history of our Planet Earth, has passed through a series of very important events, but without a doubt one of the most spectacular events is the appearance of the life. The life in the past is represented by fossils, therefore, the science that studies fossils is Paleontology. The fossils provide infinite information to us, they are so important that it is the only way to interpret the Life Through Time, the fossil is the opened book of the life. The fossils are mainly in sedimentary rocks, but they can be on metamorphic rocks of very low temperature, or in igneous rocks, like volcanic ashes, but there are very few, also it is possible to found them

<sup>1</sup>Láscares,  
Departamento de  
Biología, División de  
Ciencias Biológicas y de  
la Salud,  
Universidad Autónoma  
Metropolitana,  
Unidad Iztapalapa,  
Rafael Atlixco No. 186,  
Col. Vicentina,  
Iztapalapa, C.P.09340,  
México D.F.  
\*held@xanum.uam.mx

**in glaciers, amber or some chapopoterias. The fossils can be represented by tracks, marks, burrows, coprolites, molds, and the complete or fragmented forms. An impressive amount of fossils exists in the world, that are lodged in a registry, called "Fossil Record". This fossil registry, is incomplete, but is sufficient to understand what happened in the past.**

**The age of the planet Earth is calculate in about 4,600 million years, and the first fossils, correspond to microscopic organisms like bacteria, calcareous seaweed, that probably appeared about 3000 to 3800 million years ago, in a geologic time denominated Precambrian.**

**Key words: fossil, geologic eras, periods, continental drift, life.**

## PRECÁMBRICO

La vida a través del tiempo se tiene que clasificar en un orden cronológico, y este orden es la ubicación de los organismos fósiles en la escala del tiempo geológico.

El *Precámbrico* esta clasificado como un EON (Eones, palabra de origen griego que significa edades), y es el grupo más antiguo de las eras geológicas. Equivale al 88% del total de la historia de la Tierra. A medida que pasa el tiempo, estas moléculas se hicieron cada vez más complejas, y por fin se desarrollaron las primeras células hace aproximadamente 3,500 millones de años, cuando surgió la vida, el Sol emitía aproximadamente las tres cuartas partes de la energía que emite ahora (Zunino y Zullini, 2003). Durante más de 1000 millones de años, nuestro planeta, se halló en condiciones de fuerte inestabilidad y de temperatura muy altas. Estas condiciones eran totalmente incompatibles con la presencia de cualquier forma de vida, y se prolongaron hasta hace 3800 millones de años, caracterizando el primero de los grandes períodos. Durante el Precámbrico los continentes estaban más o menos unidos, integrando un solo continente llamado Pangea (pan= todo; gé=Tierra). En aquellos tiempos, la vida se desarrollo en el único gran océano denominado Panthalasa (de talaza=mar), no existían formas de vida terrestre. Posteriormente, el supercontinente Pangea tuvo un proceso de fragmentación, dando origen a distintas placas continentales y oceánicas.

## FANEROZOICO (PALEOZOICO, MESOZOICO Y CENOZOICO)

### PALEOZOICO

EL CÁMBRICO. El período *Cámbrico* es posterior al Precámbrico. Abarca desde hace 570 hasta 505 mil

millones de años, es el período más largo del Fanerozoico, su nombre deriva de la palabra Cambria. En el período Cámbrico ocurrió prácticamente el esplendor de la vida, se dio la explosión de formas fósiles, algo muy extraño. De pronto, toda clase de animales desarrollaron conchas duras. Las sales del agua del mar les permitieron absorber sustancias químicas y acumular capas duras sobre su piel. Si hubiéramos visto nuestro mundo desde el espacio exterior durante el período Cámbrico, no lo habríamos reconocido. Veríamos un vasto océano azul y algunas nubecillas blancas, pero los continentes tendrían una forma completamente distinta, y no habría vegetación; sólo rocas desnudas. La vida animal era asombrosamente variada durante el período Cámbrico.

El período Ordovícico (Ordovícicus) duró desde los 504 millones de años hasta 438 millones de años de antigüedad. Durante este tiempo no había vida en tierra firme, pero en los mares se desarrollaron seres de todo tipo. Los grupos animales importantes en el período Cámbrico siguieron evolucionando en el Ordovícico. Los trilobites y los moluscos tuvieron un éxito especial, de los que hubo tipos muy variados. Las rocas más famosas del Ordovícico se encuentran en Gales, consistentes en pizarras y lavas volcánicas. Durante esta época, el continente norteamericano se desplazaba hacia el norte de Europa, elevando el lodo del fondo marino, que formó negras pizarras sobre la superficie del agua. EL SILÚRICO (Siluros) duro desde los 437 millones a los 408 millones de años. Sabemos que en esa época los continentes de América del Norte y Europa se estaban acercando. El fondo del océano se arrugó y plegó. Se formaron grandes áreas

con mares poco profundos. A principios del período, el nivel del mar subió.

Las tierras próximas a la costa se inundaron y se convirtieron en mares poco profundos. Los científicos creen que a mediados del Silúrico se produjo una importante glaciación. En esta época desapareció toda clase de animales. Los trilobites del Ordovícico se extinguieron, pero rápidamente evolucionaron los nuevos trilobites del Silúrico. También se desarrollaron nuevos graptolites y braquiópodos. A medida que los mares poco profundos del Silúrico se calentaban, empezaron a formarse vastas zonas de arrecifes, que no están compuestos de coral, como los actuales, sino por esponjas llamadas estromatoporoides, que se fueron acumulando en capas sucesivas. Por los mares del Silúrico empezaron a extenderse unos peces muy simples, sin mandíbulas. Al final del período los peces desarrollan mandíbulas para comer y escamas para protegerse.

EL DEVÓNICO (Devon), Transcurrió hace aproximadamente entre 407 y 362 millones de años de antigüedad. Los animales y las plantas empezaron a extenderse por tierra firme. Sólo había dos masas de tierra importantes. Una era Laurasia, que estaba compuesta por la actual América del Norte, Europa y casi toda Asia. La otra era Gondwana, compuesta por América del Sur, África, Australia, la India y la Antártida. Grandes zonas de Laurasia y algunas de Gondwana estaban cubiertas por mares poco profundos.

Durante este período, los dos grandes continentes se fueron acercando hasta formar el supercontinente llamado Pangea. Había, lirios de mar y arrecifes de coral. Los gusanos y los trilobites excavaban en el fango del fondo de lagos y océanos. Sobre ellos, nadaban los moluscos y crustáceos. A los primeros peces sin mandíbulas se unieron pronto los peces con espinas, con una coraza ósea o con aletas carnosas, que utilizaban para impulsarse fuera del agua. Se extendieron por los pantanos y las orillas de los lagos hasta formar los primeros bosques terrestres. Esta alfombra verde empezó a poblarse con los parientes primitivos de los milpiés, ciempiés, insectos, ácaros y arañas. También había plantas acuáticas y animales más pequeños, que servían de alimento. Nuevos tipos de plantas estaban evolucionando, las plantas vasculares, lo que significa que tenían un sistema para transportar los líquidos por sus tallos, como *Rhynia* que alcanzaba casi 1 m. Ahora que tenemos una idea de cómo era la vida en los mares del silúrico, veamos que ocurría en tierra firme. En la costa, y avanzando hacia las tierras firmes, parece extenderse una alfombra verdosa. Las plantas fueron los primeros seres que vivieron en tierra firme.

La *Cooksonia* fue, probablemente, la primera planta terrestre. Los milpiés y los primeros insectos siguen esta fuente de alimento.

EL CARBONIFERO (Carbón), transcurrió desde 361 a 290 millones de años. En este período se formaron muchos deltas, especialmente en Europa y América septentrionales. Las vastas cordilleras que se habían formado durante el período Devónico empezaron a desgastarse por la acción del viento y la lluvia. Esta tierra húmeda y pantanosa se encontraba en tupidas selvas. Las condiciones eran ideales para los anfibios. Había mucha agua donde poner sus huevos. Otros animales más pequeños vivían también en el suelo del bosque. Pequeños animales parecidos a lagartos correteaban utilizando su lengua para saborear su entorno. El período Carbonífero contempló la evolución de los primeros reptiles, antepasados tanto de los dinosaurios como de los mamíferos. Los árboles del período no se parecían a los actuales. En realidad, eran versiones gigantescas de algunas plantas que hoy llamamos equisetos y licopodios. Las ramas y las hojas de árboles como el *Lepidodendron* y *Sigillaria*, y cerca del suelo había una densa maraña de helechos que crecían en la húmeda tierra. Cuando las plantas y los árboles morían, quedaban hundidos en el cieno, y gradualmente se convertían en turba. El pie de los equisetos gigantes cubría las aguas poco profundas del Carbonífero. El terreno elevado estaría cubierto por plantas distintas, un tipo muy primitivo de conífera emparentado con los abetos actuales. EL PÉRMICO (Perm), transcurrió hace unos 289 y 246 millones de años. Durante este tiempo los mares retrocedieron y dejaron más tierra firme al descubierto, surgieron grandes desiertos. La blanda y exuberante vegetación que crecía en las tierras pantanosas durante el Carbonífero fue sustituida por plantas más correosas, que costaban más de digerir. Había extensos bosques de abetos y altos pinos. Los continentes empezaron a derivar hacia el Norte y los glaciares helados se desplazaron hacia el Sur. vEn este mundo cambiante, desaparecieron los lagos y estanques poco profundos, y algunos animales se instalaron definitivamente en tierra firme. Como los reptiles actuales, en ese entonces ponían huevos en tierra firme y tenían una piel impermeable. Como ya no era necesario de poner los huevos en el agua, estos animales pudieron abandonar los pantanos y disfrutar de la libertad de vivir en tierra firme. Entre estos nuevos grupos, el de mayor éxito fue el de los reptiles mamíferoides. Un grupo especial de estos animales primitivos fue el de los pelicosaurios, que incluían algunos asombrosos reptiles con una vela en el dorso. Una enorme vari-

Era	Periodo	Época	Edad	Duración (m.a.)	Características	
<b>Paleozoico</b>	<b>Pérmico</b>	Zechstein	Changhsingia	261.1	Extinción en masa de animales y plantas terrestres, fitozooides, foraminíferos, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.	
			Artinskiano	252.1		
			Wuchiapingiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
	<b>Carbonífero</b>	<b>Pensilvaniano</b>	Bashkiriano	Artinskiano	252.1	Extinción de trilobitos, foraminíferos, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
		<b>Missisipico</b>	Serpukhoviano	Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
	<b>Devónico</b>	D3	D1	Artinskiano	252.1	Cefalópodos, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
				Artinskiano	252.1	
<b>Silúrico</b>	Pridoli	Ludlow	Artinskiano	252.1	Ampliación de los peces, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.	
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
<b>Ordovícico</b>	Ashgill	Caradoc	Artinskiano	252.1	Cefalópodos, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.	
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
<b>Cámbrico</b>	Menseth	St. David's	Artinskiano	252.1	Peces, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.	
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
<b>Pre cámbrico</b>	Vendiano	Ediacara	Artinskiano	252.1	Peces, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.	
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
			Artinskiano	252.1		
<b>Pre cámbrico</b>	Sturtiano	Varanger	Artinskiano	252.1	Algas, trilobitos, artrópodos, anfibios, peces, plantas, gimnospermas y pterosaurios, mamíferos, reptiles y aves primitivas, moluscos, foraminíferos, trilobitos.	
			Artinskiano	252.1		

\* Fósiles reportados para México.  
 A Geologic Time Scale by W. B. Harland, R. L. Armstrong, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith. Compiled under the supervision of A. G. Smith in consultation with authors from information published in A. Geologic Time Scale 1989, W. B. Harland, R. L. Armstrong, A. V. Cox, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith, Cambridge University Press, 1990.  
 Cambridge University Press 1990.  
 First published 1990.

edad de reptiles mamiferoides dominaba el mundo a finales del Pérmico. Algunos eran tan pequeños como ratones; otros avanzaban pesadamente como corpulentos hipopótamos. Cuando estos reptiles ocuparon el seco paisaje, algunos animales pasaron al aire y al mar. A pesar de su éxito, muchos de estos animales desaparecieron para siempre. No sabemos qué catástrofe acabó con tantos de ellos, cuánto duró la extinción masiva, ni por qué se produjo. Los científicos creen que hasta el 50% de los animales y plantas terrestres y más del 80% de los animales marinos se extinguieron a finales del período Pérmico.

**MESOZOICO (Triásico, Jurásico y Cretácico)**

TRIÁSICO ( tres), el período Triásico, que duró desde hace 245 hasta 208 millones de años, fue el primero de los tres períodos en que vivieron los dinosaurios. Al principio, nuevos animales llenaron aquel mundo vacío, después del impacto de la extinción masiva del final del Pérmico. Las tortugas primitivas nadaban en lagos y ríos. El mundo del Triásico comprendía un sólo supercontinente llamado Pangea, y los dinosaurios y los demás animales eran capaces de recorrer cualquier parte del mundo sobre tierra firme. El clima era cálido y húmedo. Junto a los ríos y lagos empezaron a crecer varios tipos de plantas, como los helechos, que se extendieron junto a los estanques.

El JURASICO (Jura), el último período en que predominan las plantas vasculares del tipo primitivo especialmente helechos y gimnospermas, los vertebrados dominantes como en todo el mesozoico fueron los reptiles e hicieron acto de presencia de una manera significativa las aves, por ejemplo: Archaeopteryx. Según la sistemática tradicional ciertos reptiles perdieron poco a poco sus caracteres reptilianos y adquirieron probablemente algunos caracteres de mamífero. Durante este período fue muy significativa la presencia de las cycadas. Y por la parte marina sobresalieron los amonoides. Es indiscutible que uno de los grupos más fascinantes en toda la escala del tiempo geológico haya sido el desarrollo espectacular de los dinosaurios. Destacaron en esta parte significativa grupos de moluscos como es el caso de los ruditas. Tras haber transcurrido unos 60 millones de años de deriva la ruptura de la Pangea había comenzado en Triásico tardío y continuó durante el Jurásico. América del Sur continuó separándose de África, probablemente en parte como consecuencia de un movimiento de rotación en sentido contrario al de las manecillas del reloj, que abrió la parte baja de un Océano Atlántico

meridional muy estrecho, dejando todavía conectadas las porciones septentrionales de estos continentes

CRETÁCICO (creta), las capas de tiza y esquisto de esta época se amontonaron sobre el lecho de los mares. Duro desde hace 145 hasta 66 millones de años. Se dividía en dos partes, inferior y superior. En el Cretácico inferior los herbívoros llegaron a ser los dinosaurios más importantes. Vivieron más especies de dinosaurios que en ninguna otra época. Entre los carnívoros estuvieron los ornitomímidos avanzados, los primeros dromeosáuridos, y algún carnosaurio. Entre los herbívoros vivió el más grande dinosaurio, que era saurópodo. Al final del Cretácico temprano aparecieron los saurópodos titanosáurido. Al final de esta parte de período los estegosáuridos estaban por desaparecer, para ser reemplazados por los primeros anquilosáuridos. Entre los Ornitópodos vivieron los hipsilofodónidos y aparecieron los iguanodóntidos. El Cretácico superior fue una época de grandes cambios. Los continentes que hoy conocemos adquirían progresivamente su forma actual. Las estaciones empezaban a ser como las actuales. Durante esta época el mayor cambio fue la aparición de las flores. Las serpientes aparecieron en el Cretácico tardío. Los dinosaurios se extinguieron al final de este período con sorprendente rapidez. Algunos científicos creen que un meteorito gigantesco se estrelló contra la Tierra. A principios de la Era de los Dinosaurios, el suelo estaba cubierto de musgos y helechos, equisetos y licopodios, en lugar de matorrales. Al inicio del Cretácico, los mares cubrían gran parte de la tierra. Los dinosaurios siguieron evolucionando, al igual que las plantas que los alimentaban. A los altos helechos gigantes y a las cicadáceas parecidas a palmeras se unieron los primeros árboles verdaderos; coníferas como pinos, cipreses, abetos y cedros. Ammonites y Cefalópodos como Belemnites se extinguió, completamente al límite C/T. El mar Tethys entre África y Europa se cerró y provocó la primera orogénesis en los Alpes.

**CENOZOICO (Terciario y Cuaternario)**

TERCIARIO (Paleógeno) (tercera edad), fue un período que empezó hace 65 millones de años, cuando los dinosaurios se extinguieron, y finalizó hace 1,7 millones de años. Se divide en cinco épocas: el Paleoceno, de 65 a 56 millones de años; el Eoceno, de 55 a 38; el Oligoceno, de 37 a 24; el Mioceno, de 23 a 6; y el Plioceno, de 5 a 1,7. Durante el Terciario, los continentes empezaron a desplazarse hasta las posiciones que ocupan hoy. El paisaje fue asemejándose más al que nos rodea, y así aparecieron las plantas con flo-

Era	Periodo	Época	Edad	Duración (m.a.)	Características
<b>Mesozoico</b>	<b>Cretácico</b>	<b>Gulf</b>	Senoniano	74.0	Evolución de mamíferos, aves, reptiles y otros vertebrados. * Invertebrados, foraminíferos, algas, hongos, plantas, moluscos, artrópodos. Abundancia de dinosaurios.
			Tampiniense	65.0	
			Campaniano	80.0	
			Coniacino	88.0	
		<b>K1</b>	Turoniano	90.0	
			Maastrichtiano	70.0	
			Aptiano	112.0	
			Albiano	108.0	
	<b>Jurásico</b>	<b>Malm</b>	Neocomiano	135.0	
			Tithoniano	150.0	
			Malmoceno	155.0	
		<b>Dogger</b>	Malmoceno	155.0	
			Calloviano	163.0	
			Salzburgeniano	172.0	
	<b>Lias</b>	Salzburgeniano	179.0		
		Triestino	182.0		
		Malmoceno	155.0		
	<b>Triásico</b>	<b>Tr3</b>	Malmoceno	155.0	
			Albiano	108.0	
		<b>Tr2</b>	Albiano	108.0	
Adriático			209.0		
<b>Seythiano</b>		Adriático	209.0		
		Sarmatiano	241.0		
		Scythiano	251.0		

\*Fósiles reportados para México.  
 A Geologic Time Scale by W. B. Harland, R. L. Armstrong, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith Compiled under the supervision of A. G. Smith in consultation with authors from information published in A. Geologic Time Scale 1980, W. B. Harland, R. L. Armstrong, A. V. Cox, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith, Cambridge University Press, 1980. Cambridge University Press 1990. First published 1990.

res, los mamíferos, y las aves actuales. Los continentes prosiguieron su desplazamiento, lo que produjo cambios climáticos. Los primeros 20 millones de años fueron cálidos, hasta el punto de que había selvas tropicales cerca de los polos Norte y Sur. Los primeros mamíferos y aves se desarrollaron en un clima húmedo y caluroso. Los océanos se enfriaron alrededor de los polos y se formaron los casquetes polares. El clima se hizo más extremo. En el Mioceno, en las praderas había elefantes, berrendos, animales parecidos al ciervo, cerdos gigantes, enormes caballos con garras, camellos, antepasados de los felinos con dientes de sable, rinocerontes y hienas. Las gigantes aves corredoras carnívoras emigraron al Norte junto con los capibaras, los armadillos, los perezosos terrestres gigantes, las zarigüeyas. En distintas épocas, Europa estuvo unida a América del Norte, Asia y África. Quizá fuera el hogar de los primeros mamíferos carnívoros. Europa albergó también a un primitivo miembro de los primates, un primitivo miembro compuesto por lémures, monos y grandes simios. Durante el Oligoceno, la India colisionó con Asia y se formó la cordillera del Himalaya. Durante el Mioceno, África se unió a Europa y Asia. La expansión de las praderas aumentó y los conejos, los felinos, los rinocerontes y muchos carnívoros, insectívoros, cerdos y ciervos penetraron en los nuevos territorios. En el Oligoceno, Australia se convirtió en una isla lo cual permitió que prosperaran sus marsupiales.

Cantu, A. 1987. Las amonitas del Albiano Superior de Tepexi de Rodríguez, Puebla. Revista de la Sour, F. y Quiroz, S. 1989. Braquiópodos Pensilvánicos (Strophomenida) de la Formación Ixtaltepec, Santiago Ixtaltepec, Oaxaca. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología. Vol. 2(1): 5-17.  
 Hernández-Lascars, D. y Galván, E. 1990. *Lamellaerhynchia Cf. Renauxiana* (D'Orbigny) (Braquiopoda-Rhynchonellidae) del Cretácico Inferior de la región de San Lucas Teletitlan, Estado de Puebla, Centro Sur de México. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología. Vol. 2(2):47-55.  
 Zunino, M. y Zullini, A. 2003. Biogeografía: La dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica. México. 359 pp.

El CUATERNARIO empezó hace 02 millones de años, se divide en dos periodos Pleistoceno y Holoceno. Casi todos los grupos importantes de animales y plantas son como los actuales, pero se produce otro gran cambio. Algunos simios de África empiezan a caminar erguidos, usan herramientas, pierden el pelo y mejoran su inteligencia. Los gigantes mammut y otros animales sobreviven a las glaciaciones.

Era	Periodo	Época	Edad	Duración (m.a.)	Características		
<b>Cenozoico</b>	<b>Terciario</b>	<b>Cuaternario</b>	Pleistoceno	0.014	Evolución de mamíferos, aves, reptiles y otros vertebrados. * Invertebrados, foraminíferos, algas, hongos, plantas, moluscos, artrópodos. Abundancia de dinosaurios.		
		<b>Neógeno</b>	Plioceno	3.0			
			<b>Mioceno</b>	Zanoceno		6.0	
				Mioceno		6.7	
				Turoniense		10.4	
				Sarmatiano		11.2	
			<b>Paleógeno</b>	<b>Oligoceno</b>		Langhiano	16.3
						Durongiano	17.6
						Aquidario	23.3
		<b>Eoceno</b>		Chabiano		29.2	
				Sarmatiano		35.1	
				Mioceno		38.6	
		<b>Paleoceno</b>	Prioceno	42.1			
			Lutetio	50.0			
Prattiano	56.5						

\*Fósiles reportados para México.  
 A Geologic Time Scale by W. B. Harland, R. L. Armstrong, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith Compiled under the supervision of A. G. Smith in consultation with authors from information published in A. Geologic Time Scale 1989, W. B. Harland, R. L. Armstrong, A. V. Cox, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith, Cambridge University Press, 1990.

LITERATURA CITADA  
 Case, G. 1982. A pictorial guide to fossils. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 515 pp.  
 Murria, J. 1985. Atlas of invertebrate macrofossils. Longman. The Paleontological Association. Gran Bretaña. 241 pp.  
 Aranda, M., Gómez, M., Contreras, B. y Montero. 1987. El Jurásico superior (Kimeridgiano-Titoniano) en el área de Santa María del Oro, Durango, México. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología. Vol. 1:75-87.

# LA EVOLUCIÓN MOLECULAR Y LOS PRIMEROS SERES VIVOS

Arturo Becerra Bracho <sup>1,\*</sup>

## Resumen

El reconocimiento de que los genomas son documentos históricos de los cuales se puede extraer información evolutiva ha incrementado el margen de los estudios filogenéticos a muy alto nivel. El desarrollo de las técnicas de análisis de los ácidos nucleicos, que ha permitido la secuenciación de genomas completos, combinado con el rápido desarrollo de la informática, ha llevado no sólo a un crecimiento explosivo de información en los bancos de datos y nuevas herramientas sofisticadas para su análisis, sino también al reconocimiento de que diferentes macromoléculas pueden funcionar como cronómetros moleculares en la reconstrucción de filogenias universales, lo cual permite un nuevo acercamiento para el estudio del origen y evolución de los primeros seres vivos, en especial en la caracterización del Último Ancestro Universal y la reconstrucción del proceso evolutivo que dio origen a las células eucariontes.

Palabras clave: Origen y evolución temprana de la vida, Último Ancestro Universal, origen de los eucariontes.

## Abstract

The awareness that genomes are extraordinarily rich historical documents from which a wealth of evolutionary information can be retrieved has widened the range of phylogenetic and evolutionary studies to previously unsuspected heights. The development of efficient nucleic acid sequencing techniques, which now allows the rapid sequencing of complete cellular genomes, combined with the simultaneous and independent blossoming of computer science, has led not only to an explosive growth of databases and new sophisticated tools for their exploitation, but also has provided a unique view of the origin and early evolution of life, especially on the characterization of the Last Universal common Ancestor and the reconstruction of the evolutionary processes of the eukaryotic cells.

<sup>1</sup> Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.

\*abb@fciencias.unam.mx

Keywords: Origin and early evolution of life, Last Universal Ancestor, the origin of eukaryotes.

## EL REGISTRO MOLECULAR Y LOS TRES DOMINIOS CELULARES

“Cuando no se dispone de evidencia paleontológica, la relación filogenética entre los animales puede ser deducida basándose en la similitud de las estructuras de las formas actuales”. Escribió George H. Nutall en 1904, cuando publicó un libro donde resumía los resultados obtenidos de la comparación de sueros sanguíneos entre diferentes animales, con la intención de reconstruir las relaciones evolutivas que dichos organismos guardaban entre sí, siendo este el primer intento de usar caracteres moleculares como marcadores filogenéticos. Sin embargo, no fue sino hasta 1965 cuando Emile Zuckerkandl y Linus Pauling publicaron un trabajo en donde se mostraba que la comparación de secuencias de aminoácidos o de nucleótidos permitía no sólo la construcción de filogenias moleculares, sino también en algunos casos, datar los procesos de especiación incluso cuando se carece de información paleontológica. Durante casi cerca de diez años este enfoque permitió no solamente comparar proteínas como las hemoglobinas, el citocromo C, las ferredoxinas y otras más, sino también construir árboles evolutivos que podían incluir organismos tan distintos entre sí como las bacterias y los hongos, lo cual hubiera sido imposible con los criterios morfológicos tradicionales.

El reconocimiento de que los genomas son documentos históricos de los cuales se puede extraer información evolutiva ha incrementado el margen de estudios filogenéticos a muy alto nivel. El desarrollo de las técnicas de análisis de los ácidos nucleicos, que ha permitido la secuenciación de genomas completos, combinado con el rápido desarrollo de la informática, ha llevado no sólo a un crecimiento explosivo de información en los bancos de datos y nuevas herramientas sofisticadas para su análisis, sino también al reconocimiento de que diferentes macromoléculas pueden funcionar como cronómetros moleculares en la reconstrucción de filogenias universales.

El trabajo de este tipo más destacado ha sido la comparación evolutiva de las subunidades pequeñas del RNA ribosomal (rRNA), que permitió la construcción de un árbol sin raíz en el que todos los organismos conocidos quedaron agrupados en uno de los tres linajes celulares: las Bacteria, las Archaea y los Eucaryota (Woese et al., 1990). Aunque este tipo de análisis se puede criticar por su carácter reduccionista, es evidente que la identificación de estos tres linajes

no es una ilusión provocada por el uso de una sola molécula como marcador evolutivo (figura 1). Por otro lado, también es cierto que la congruencia entre los árboles del rRNA y otras moléculas no siempre es ideal, ya que se han encontrado topologías que se escapan de lo esperado (Rivera y Lake, 1992; Gupta y Golding, 1993). Sin embargo, diferentes reconstrucciones de árboles filogenéticos con base en las DNA y RNA polimerasas, los factores de elongación, las subunidades hidrofílicas de ATPasas, las proteínas ribosomales, y un número cada vez más grande de enzimas biosintéticas, o contenido de dominios proteicos, ha confirmado una y otra vez la existencia de los tres principales linajes celulares (Doolittle, 1999; Yang et al., 2005).

## EL CENANCESTRO O EL ÚLTIMO ANCESTRO COMÚN DE LOS LINAJES CELULARES

Aunque los tres linajes celulares separados por una enorme distancia evolutiva, es evidente que todos ellos provienen de un ancestro común. Sin embargo, tanto la distancia filogenética que existe entre los tres linajes, como las diferencias moleculares que los separan, llevaron a Woese y Fox (1997) a sugerir que el ancestro común era una entidad mucho más simple que cualquier procarionte, en donde operaba una versión aún rudimentaria de la expresión de la información genética. Es decir, Woese y Fox supusieron que en el punto de la trifurcación de los tres linajes celulares había existido una entidad biológica hipotética a la que llamaron progenote y en la cual, a diferencia de lo que ocurre con los organismos contemporáneos, la separación entre genotipo y fenotipo aún no se había completado del todo.

No era fácil aceptar ésta idea. Es evidente que los organismos contemporáneos debieron haber sido precedidos por sistemas mucho más simples, pero la probabilidad de que el último ancestro común de las eubacteria, las arqueobacteris y de los eucariontes fuera un progenote resultaba difícil de conciliar con la similitud y la complejidad de los procesos moleculares básicos de cada uno de los linajes. Por otra parte, aunque se pueden proponer esquemas evolutivos que conduzcan a la separación simultánea de tres o más linajes, los eventos de especiación suelen ser dicotómicos, es decir, de un grupo ancestral se derivan dos. Sin embargo, el árbol de los 16/18S rRNAs obtenido por Woese y Fox carece de raíz, es decir, no posee una polaridad que nos indique el orden temporal en que divergieron los tres linajes. En otras palabras, la repre-

sentación gráfica de las relaciones entre las secuencias de los rRNAs no permite deducir cuál de los tres fenotipos es el más antiguo.

La comparación de las diferencias y similitudes que existen entre los tres linajes permite, en principio, conocer no sólo la relación evolutiva que guarda entre ellos, sino también las características de su ancestro, al que Walter Fitch designó como *cenancestro*. Aunque hace una década las bases de datos no poseían la riqueza de nuestros días, tenían la información suficiente para intentar asomarse a los rasgos del último ancestro. A pesar de las limitaciones de esta metodología (que incluye, en forma destacada, el problema del transporte horizontal de genes), los resultados fueron notables: todo indicaba que el cenancestro poseía, entre otros, (a) un sistema de transcripción y traducción de tipo moderno, que incluía ribosomas con proteínas, factores de transcripción y una RNA polimerasa DNA-dependiente oligomérica; (b) metabolismo energético dependiente de ATPasas asociadas a membranas; (c) biosíntesis de aminoácidos, nucleótidos y coenzimas, y (d) presencia de un genoma de DNA (Iwabe et al., 1989; Lazcano et al., 1992). Es decir, todo indica que el último ancestro común a los tres linajes celulares (y, por lo tanto de todos los seres vivos) tenía la complejidad equivalente a la de cualquier procarionte contemporáneo, y no era un progenote (Lazcano, 1995).

La reconstrucción de estadios ancestrales ha adquirido una perspectiva totalmente novedosa gracias a la disponibilidad, a partir de 1995, de un número creciente de genomas celulares completamente secuenciados (más de 250 en Febrero del 2005). Como habían afirmado desde 1965 Zuckerkandl y Pauling, la historia evolutiva de un organismo está contenida en su genoma. Sin embargo, a menudo esta información es difícil de interpretar, debido a una serie de fenómenos biológicos que van desde la falta de preservación de la estructura primaria de los genes, hasta la evidencia del transporte universal, una de las peores pesadillas que sufren los biólogos evolutivos. Esto lleva a reconstrucciones prematuras que generaron una fuerte polémica que no ha sido superada del todo. Por lo tanto siempre partiremos de una muestra incompleta y en ocasiones errónea cuando tratemos de conocer la naturaleza de los estadios ancestrales, por lo que se debe tener mucho cuidado en la extrapolación de nuestros resultados a lo ocurrido en el pasado, en especial cuando hablamos del último ancestro de los seres vivos (Becerra et al., 1997).

Como se muestra en la figura 2, en principio sería

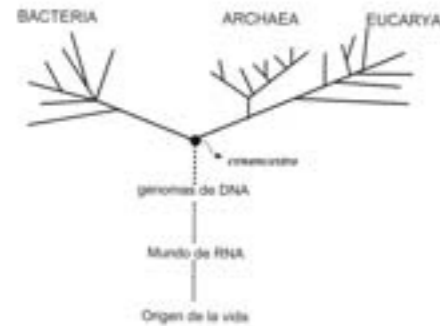
fácil detectar el conjunto de genes del cenancestro, ya que éste estaría definido por el conjunto de secuencias presentes en la intersección de los conjuntos que representan los genomas de las Archaea, las Bacteria y las Eucarya. Sin embargo, en la práctica esta reconstrucción se ha visto limitada por (a) el hecho de que los genomas secuenciados no reflejan la diversidad biológica real; (b) los distintos niveles de conservación de los genes, que distan mucho de ser los mismos para todas las secuencias; (c) los problemas en la anotación e identificación de las secuencias presentes en las bases de datos; (d) la presencia de las secuencias altamente conservadas cuya función es aun completamente desconocida por no disponer de datos experimentales; (e) la pérdida polifilética, es decir, independiente de secuencias, funciones y rutas metabólicas que han sufrido diversos organismos, sobre todo parásitos y simbioses, y (f) el transporte lateral de los genes, que en algunos casos pueden traspasar las fronteras que separan a los grandes dominios.

Ante un inventario de dificultades como éste parecería ser imposible definir con precisión los rasgos del último ancestro común; sin embargo, los resultados son alentadores. Por ejemplo, el transporte horizontal de secuencias es un fenómeno real que enturbia la reconstrucción del pasado. Sabemos por ejemplo, que incluso los operones del rRNA pueden llegar a sufrir este fenómeno, pero el hecho de que se mantenga la identidad de los grupos de microorganismos sugiere que existen limitaciones biológicas al intercambio de genes. A pesar de la promiscuidad con la que los seres vivos han intercambiado genes a lo largo de la evolución, la reconstrucción del pasado es posible (Snel et al., 1999; Tekaia et al., 1999; Fitz-Gibbon y House, 1999).

## LA NATURALEZA DE LA CÉLULA

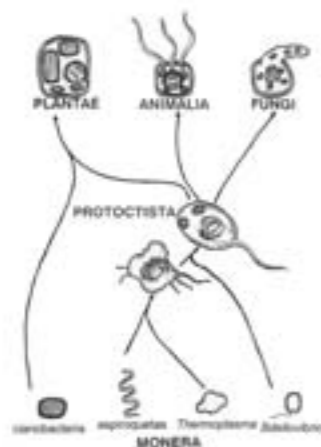
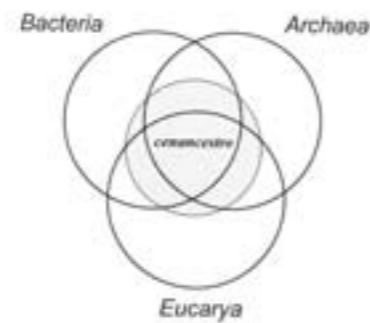
### EUCARIONTE

La descripción tripartita del mundo viviente desarrollado por Woese y sus colaboradores ha sido rechazada por varios investigadores, que arguyen que los dos grupos procariontes (es decir, las eubacterias y las arqueobacterias) son en realidad uno solo, ya que independientemente de las diferencias a nivel molecular, ambos son procariontes (Mayr, 1990; Margulis y Guerrero, 1991; Cavalier-Smith, 1992). Además, debido a su naturaleza cladista los árboles filogenéticos moleculares no permiten representar los procesos de anastomosis que se dieron entre los linajes durante la formación de los diferentes componentes de la célula



**Figura 1.** Reconstrucción filogenética de los tres dominios basales, basada en 16S/18S rRNA y su extrapolación al pasado prebiótico.

**Figura 2.** Los genes del cenozooceno (LCA) se pueden definir por el conjunto de secuencias presentes en la intersección de los conjuntos que representan los genomas de las Archaea, las Bacteria y los Eucarya.



**Figura 3.** Proceso endosimbiótico que dio origen a las células eucariontes (modificado de Margulis, 1993).

eucarionte. Así, Margulis y Guerrero (1991) han argumentado que si bien la cladística molecular es la principal herramienta en la reconstrucción filogenética, las clasificaciones taxonómicas no se pueden basar únicamente en la comparación evolutiva de macromoléculas, sino también en la información que brindan las rutas metabólicas, la citología, la morfología ultraestructural, los datos bioquímicos, los ciclos de vida, y, cuando estén disponibles, el registro paleontológico y la evidencia geoquímica.

En 1967 Lynn Margulis propuso que las células eucariontes eran en realidad minúsculas comunidades microbianas que habían resultado de una serie de eventos endosimbióticos, es decir, que las células nucleadas habían sido precedidas por procariontes que luego se asociaron simbióticamente (figura 3). Aunque la idea de que mitocondrias y cloroplastos eran descendientes de bacterias de vida libre había circulado en algunos medios científicos desde finales del siglo XIX, Margulis (1993) no sólo revivió en forma independiente la teoría endosimbiótica, sino que la articuló y apoyó con una serie de evidencias morfológicas, bioquímicas, genéticas e incluso geológicas tan contundentes, que sus puntos de vista terminaron por ser aceptados incluso por sus críticos más severos.

Cuando Margulis propuso por primera vez su teoría endosimbiótica no estaba clara la naturaleza biológica del hospedero que había alojado a las bacterias que luego se convirtieron en mitocondrias, cloroplastos y undulipodia, es decir, no se tenía una idea precisa sobre el origen del nucleocitoplasma. Los micoplasmas, parásitos intracelulares que carecen de pared celular, parecían ser buenos candidatos, debido a su metabolismo estrictamente fermentativo (como el del citoplasma eucarionte), y a que a la ausencia de pared hubiera facilitado la entrada de los endosimbiontes. La idea de la endosimbiosis fue ganando cada vez más adeptos pronto se convirtió en una de las bases de la clasificación de los seres vivos en cinco reinos. Así, a pesar de que para entonces era cada vez más evidente la existencia de algunas diferencias en los procesos de replicación y expresión genética entre los procariontes y los eucariontes, hacia mediados de los años setentas la mayoría de los biólogos consideraban que todos los componentes de las células nucleadas provenían de un mismo linaje bacteriano.

Las filogenias moleculares han determinado, sin lugar a dudas, el origen endosimbiótico de las plásmidos y la mitocondria. Sin embargo, un número importante de árboles filogenéticos sugieren una buena parte del nucleocitoplasma eucarionte se originó de

una célula arqueobacteriana (y no de una bacteria tipo micoplasma) cuyos descendientes conforman al grupo monofilético de los eucariontes (Gogarten-Boekels y Gogarten, 1994). Como afirmaron Woese y sus colaboradores, aunque la presencia de endosimbiontes es de importancia central para los eucariontes, es innegable que éstos tienen una única filogenia principal (Wheeler et al., 1992). Mientras este punto de vista asume una continuidad absoluta entre el nucleocitoplasma y su antepasado directo, los argumentos holistas de Margulis y Guerrero (1991), Cavalier-Smith (1992), y otros más, enfatizan la emergencia evolutiva de un nuevo tipo de célula como un resultado de eventos endosimbióticos. Por lo tanto, el evento principal de transición a eucariontes fue la adquisición evolutiva de simbiontes intracelulares y en consecuencia, se puede afirmar que la rama de los eucariontes de los tres linajes celulares propuesta de Woese, no representa a las células eucariontes en su conjunto, sino únicamente parte de su compleja historia.

**CONCLUSIONES**

Aunque en los últimos años la relación entre la biología molecular y el estudio de las filogenias celulares ha enfrentado un número enorme de críticas y conflictos, el rápido desarrollo de las bases de datos de secuencias moleculares ha proporcionado una visión única de la evolución de las células procariontes y eucariontes, abriendo nuevas perspectivas en varios campos de las ciencias naturales. La evolución molecular resultó originalmente de la unión de la biología molecular con las ideas neodarwinistas, pero actualmente se ha transformado en un campo con identidad propia. Sin embargo, su desarrollo pleno requiere no sólo de la implementación de técnicas de secuenciación menos caras y más rápidas, de algoritmos y computadoras más poderosas para la reconstrucción de hipótesis filogenéticas, sino, sobre todo, del incremento del conocimiento de su objeto de estudio, así como definiciones más precisas de su marco conceptual.

Pocas tareas resultan tan complejas y difíciles como la reconstrucción del pasado biológico. Si bien es cierto que en el marco de la teoría evolutiva es fácil aceptar la existencia de sistemas ancestrales más simples de los cuales descendemos los organismos actuales, su estudio no es una tarea fácil, sobre todo si, como ocurre en el caso del cenozooceno, hay que remontarse a épocas precámbricas. La reconstrucción de estadios ancestrales es una tarea multi- e interdisciplinaria que tiene que recurrir a actitudes eclécticas que apelen a metodologías que van desde las discusiones sobre el medio ambiente primitivo hasta la



anotación automatizada de las secuencias de genomas completos.

Los resultados pueden ser confusos. Por ejemplo, la conservación de ATPasas implica la existencia de membranas de lípidos y fosfolípidos, aunque no podemos saber cuál era la naturaleza química de éstas últimas. A pesar de estas dificultades, resulta asombroso que existan secuencias, estructuras y funciones, como las que participan en la expresión de la información genética, que se han conservado a lo largo de miles de millones de años. La lectura de éstas crónicas moleculares que se han mantenido desde épocas Precámbricas nos permite asomarnos, aunque sea de forma limitada, al interior de los procesos biológicos de las células que antecedieron a todas las formas de vida que existen hoy en nuestro planeta.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a los profesores Antonio Lazcano y Luis Delaye por su ayuda. Al Proyecto PAPIIT IN111003 otorgado por DGPA-UNAM.

#### LITERATURA CITADA

- Becerra, A., S. Islas, J. L. Leguina y A. Lazcano. 1997. Polyphyletic gene losses can bias backtrack characterization of the cenacestor. *J. Mol. Evol.*, 45:115-118.
- Cavalier-Smith, T. 1992. The number of symbiotic origins of organelles. *Biosystems* 1992, 28(1-3):91-106.
- Delaye, L., A. Becerra y A. Lazcano. 2005. The Last Common Ancestor: what's in a name? *Origin of life and the evolution of the Biosphere*, 35(6):537-54.
- Doolittle, W. F. 1999. Phylogenetic classification and the universal tree. *Science*, 284:2124-2128.
- Fitch, W. M. y K. Upper. 1981. The phylogeny of tRNA sequences provides evidence of ambiguity reduction in the origin of the genetic code. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 52:759-767.
- Fitz-Gibbon, S. T. y C. H. House. 1999. Whole genome-based phylogenetic analysis of free-living microorganisms. *Nucleic Acid Res.* 27:4218-4222.
- Gogarten-Boekels, M. y J. P. Gogarten. 1994. The

effects of heavy meteorite bombardment on the early evolution of life. A new look at the molecular record. *Origin of life and the evolution of the Biosphere*, 25:78-83.

- Gogarten, J. P., H. Kibak, P. Ditrich, L. Taiz, E. J. Bowman, B. J. Bowman, m. L. Manolson, J. Poole, T. Date, L. Oshima-Konishi, K. Denda y M. Yoshida. 1989. Evolution of the vacuolar H<sup>+</sup>-ATPase, implications for the origin of eukaryotes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86:6661-6665.
- Gupta, R. S. y G. Golding. 1993. Evolution of HSP70 gene and its implications regarding relationships between archaeobacteria, eubacteria, and eukaryotes. *J. Mol. Evol.*, 37:573-582.
- Iwabe, N., K. Kuma, M. Hasegawa, S. Osawa y T. Miyata. 1989. Evolutionary relationship of archaeobacteria, eubacteria, and eukaryotes inferred from phylogenetic trees of duplicated genes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86:9355-9359.
- Kandler, O. 1994. The early diversification of life. Pp. 124-131, in: S. Bengton (ed.), *Early Life on Earth*, Nobel Symposium No. 84. Columbia University Press, New York.
- Lazcano, A. 1995. Cellular evolution during the early Archaeal: what happened between the progenote and the cenacestor? *Microbiologia SEM*, 11:1-13.
- Lazcano, A., G. E. Fox y J. Oró. 1992. Life before DNA, the origin and evolution of early Archaeal cells. Pp. 237-295, in: R. P. Mortlock (ed.), *The evolution of Metabolic function*. CRC Press, Boca Raton.
- Margulis, L. 1993. *Symbiosis in Cell Evolution*. W. H. Freeman, New York.
- Margulis, L. y R. Guerrero. 1991. Kingdom in turmoil. *New Scientist*, 132:46-50.
- Mayr, E. 1990. A natural system of organism. *Nature*, 348:491.
- Nutall, G. H. F. 1904. *Blood immunity and blood relationships: a demonstration of certain blood-relationships amongst animals by means of the precipitation test for blood*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rivera, M. C. y J. A. Lake. 1992. Evidence that eukaryotes and eocyte prokaryotes are immediate relatives. *Science*, 257:74-76.
- Snel, B., P. Bork y M. A. Huynen. 1999. Genome phylogeny based on gene content. *Nature Genetics*, 21:108-110.
- Tekaia, F., A. Lazcano y B. Dujon. 1999. The genomic tree as revealed from whole proteome comparisons. *Genome Research*, 9:550-557.
- Wheelis, M. L., O. Kandler y C. R. Woese. 1992. On the nature of global classification. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89:2930-2934.
- Woese, C. R. 1987. Bacterial evolution. *Microbiol. Reviews*, 51:221-271.
- Woese, C. R. y G. E. Fox. 1977. The concept of cellular evolution. *Jour. Mol. Evol.*, 10:1-6.
- Woese, C. R., O. Kandler M. L. Wheelis. 1990. Towards a natural system of organisms, proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87:4576-4579.
- Yang, S., R. F. Doolittle y P. E. Bourne. 2005. Phylogeny determined by protein domain content. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102:373-378.
- Zuckerandl, E. y L. Pauling. 1965. Molecules as documents of evolutionary history. *J. Theoret. Biol.*, 8:357-366.

# PALEOLIMNOLOGÍA: COMO DESCIFRAR LA HISTORIA DE LOS LAGOS Y SU ENTORNO A PARTIR DEL ESTUDIO DE SUS SEDIMENTOS.

Margarita Caballero<sup>1</sup>, Francisco Valadez<sup>1,2</sup>, Alejandro Rodríguez<sup>1,2</sup>

## RESUMEN

Los cuerpos de agua continentales son de suma importancia para la vida, particularmente para los seres humanos ya que es la única fuente de agua que puede utilizarse para beber, regar, y de manera general, satisfacer la necesidad de agua. La Limnología es la ciencia que se encarga de estudiar éstos ecosistemas acuáticos, dentro de los que destacan los lagos que tienen gran importancia porque son sistemas muy sensibles a cambios en su entorno, como pueden ser cambios en el clima, en la red de drenaje, en la cubierta vegetal de su cuenca de captación, etc. Además, también son sensibles a cambios internos que se registran como variaciones en las propiedades fisicoquímicas del agua.

Los sedimentos que se acumulan en el fondo de un lago son un reflejo de la interacción entre los factores bióticos y abióticos que inciden tanto en el lago como en su cuenca de captación. La paleolimnología es precisamente el estudio de cualquier tipo de información preservada en los sedimentos lacustres, que nos permita reconstruir la naturaleza y/o variabilidad ambiental de un lago o de su entorno en el pasado. Para poder obtener esta información, es necesario aplicar distintas metodologías como la descripción estratigráfica, el fechamiento, el análisis de microfósiles como pueden ser las diatomeas, el polen o los ostrácodos. Estos indicadores aportan información sobre los cambios ocurridos en el clima y el ambiente, lo cual queda evidente con tres ejemplos, Chignahuapan, en la cuenca del lago Lerma, Edo. Mex. en la parte central de México; Salina de Kino, Son., en la costa del Golfo de California, noroeste de México, y Lago Verde en los Tuxtlas, Ver., en la parte sur de la costa del Golfo de México.

Comprender la variabilidad climática en diferentes escalas de tiempo, el impacto que la variabilidad climática y ambiental puede tener en el desarrollo cultural y a su vez como la presencia humana impacta en el ambiente, son objetivos primordiales dentro de los estudios paleoambientales. Dentro de este contexto, la paleolimnología permite ver nuestro entorno con un nuevo enfoque, con una perspectiva “histórica” que aporta información valiosa para comprender el presente y evaluar el futuro.

## Palabras Clave

Lagos, Paleolimnología, Pleistoceno, Holoceno, Clima, Paleoclima, Sedimento, Diatomeas, Ostracodos, Polen.

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México D.F., México.

<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México D.F., México.

\*maga@geofisica.unam.mx

## INTRODUCCIÓN

La Tierra se caracteriza por ser un planeta lleno de agua, pero casi toda se encuentra concentrada en los océanos y en los casquetes de hielo. Solo cerca del 1% del agua del planeta se localiza sobre los continentes, repartida entre el agua subterránea (la mayoría) y el agua superficial, la que puede presentarse como ríos, pantanos, lagos, etc. Esta agua continental es de suma importancia para la vida en general, y para los seres humanos en particular, ya que es la única que podemos usar para beber, regar, etc. La Limnología es la ciencia que se encarga de estudiar éstos ecosistemas acuáticos continentales, dentro de los que destacan los lagos.

Los lagos son ecosistemas relativamente pequeños, comparados con los océanos, o con las selvas tropicales, y de duración temporal, en términos geológicos, relativamente corta (menos de 1 millón de años). Sin embargo son ecosistemas muy importantes por la alta biodiversidad que contienen, por ser reservas de agua dulce, por su valor estético y recreativo, etc. Los lagos también son importantes porque son sistemas muy sensibles a cambios en su entorno, como pueden ser cambios en el clima, en la red de drenaje, en la cubierta vegetal de su cuenca de captación, etc. El clima ejerce una influencia notable en los procesos lacustres (Williams *et al.*, 1993) ya que la persistencia de un lago es posible solo si el agua que llega a él, procedente de diversas fuentes (lluvia, aporte superficial y/o subterráneo), excede a las pérdidas (efluentes, evaporación). El balance entre entradas y salidas controla el nivel de agua e, indirectamente, su salinidad, dado que si el balance hidrológico es negativo (el lago pierde mas agua por evaporación que la que le llega por lluvia) será mayor la concentración de sales que se acumulen en un cuerpo de agua, dando origen a los lagos salobres comunes en zonas áridas. Esta relación entre el clima, el nivel y la salinidad de un lago es más directa en sistemas endorreicos, esto es en lagos que se encuentran en una cuenca cerrada, que no tiene efluentes (Zanor, 2003).

Los procesos sedimentarios que ocurren dentro de todo lago favorecen que en su fondo se acumulen secuencias más o menos continuas de sedimento dentro del que se conservan evidencias de la evolución del sistema lacustre así como de su entorno. La Paleolimnología es precisamente el estudio de cualquier tipo de información preservada en los sedimentos lacustres, que nos permita reconstruir la naturaleza de un lago o de su entorno en el pasado. Esto hace que la Pale-

olimnología sea una disciplina muy importante para el estudio de la variabilidad climática y ambiental y de la evolución de los ecosistemas terrestres durante los últimos miles de años.

## Los Sedimentos Lacustres

Los sedimentos que se acumulan en el fondo de un lago son un reflejo de la interacción entre los factores bióticos y abióticos que inciden tanto en el lago como en su cuenca de captación (Eugster y Kelts, 1983). De manera general se pueden separar dos componentes principales de los sedimentos lacustres, los autigénicos, originados dentro del lago mismo y los componentes alogénicos, provenientes de la cuenca de captación. El material autigénico está dominado por productos derivados de la actividad biológica dentro del lago, como materia orgánica y restos de organismos que pueden ser de naturaleza silíceo, calcárea, quitinosa, etc. Los sedimentos autigénicos también pueden ser de origen inorgánico, al precipitar en la columna de agua algunas sales, o minerales, como los carbonatos. Los sedimentos alogénicos llegan al lago ya sea por transporte fluvial o eólico, y están constituidos principalmente por sedimentos clásticos, provenientes de la erosión de la cuenca de captación, aunque también pueden incluir materia orgánica de diferente tipo, como restos de hojas y tallos, granos de polen, etc. Los sedimentos alogénicos también pueden incluir algunas sales provenientes de la disolución de las rocas o suelos circundantes.

Dependiendo del balance entre los diversos tipos de materiales que se depositan en el lago, tanto autigénicos como alogénicos, estos se pueden clasificar en cuatro tipos diferentes (Anadón, 1992), aunque cabe mencionar que estas categorías no son tajantes y es frecuente encontrar tipos intermedios:

- 1) Sedimentos clásticos, se originan en lagos donde dominan los aportes externos (alogénicos) de material clástico o terrígeno.
- 2) Sedimentos de origen químico (carbonatos, sales), típicos de lagos donde predominan los procesos autigénicos de precipitación de sales.
- 3) Sedimentos bioquímicos, en los que dominan partículas producto de la actividad fisiológica de los organismos que viven en el lago (autigénicos), como restos silíceos (de algas como las diatomeas) o carbonatados (conchas de ostrácodos, gasterópodos, etc.).
- 4) Sedimentos orgánicos, constituidos principalmente por materia orgánica proveniente de los organismos que viven en el lago, aunque parte de ella

también puede provenir de los suelos y vegetación del entorno.

Las variaciones en los factores bióticos y abióticos que inciden en un lago y en su cuenca de captación pueden favorecer que existan alternancias rítmicas en el tipo de sedimentos que se acumulan en el lago, formándose laminaciones. Por ejemplo, en los sedimentos de un lago pueden alternar capas claras, ricas en restos silíceos de diatomeas (sedimentos bioquímicos) y capas oscuras, ricas en materia orgánica (sedimentos orgánicos). Si esta alternancia en tipo de sedimento se debe a fluctuaciones anuales del clima, como puede ser un lago cubierto de hielo durante el invierno y sin hielo durante el verano, entonces a cada par de laminaciones (normalmente una clara y otra oscura) se le denomina varve, y un varve representa un ciclo anual. Si la alternancia en el tipo de sedimento es generada por algún factor que no es anual, pero sí recurrente, como por ejemplo años excepcionalmente secos o fríos, entonces se les puede denominar ritmicos o simplemente sedimentos laminados.

El estudio Paleolimnológico de sedimentos laminados puede dar mucha información y muy detallada sobre la evolución de un lago y su entorno, sin embargo este tipo de sedimentos, sobretudo en regiones tropicales como México, es relativamente raro. La mayoría de los lagos tienen secuencias estratigráficas menos detalladas, con paquetes sedimentarios de varios centímetros de espesor. Si en la secuencia sedimentaria de un lago existen cambios en el tipo de sedimento, esto indica que muy probablemente también hubo algún cambio en el lago y/o su entorno, como un cambio en el clima, en el uso del suelo, en la salinidad o en el nivel de nutrientes del lago, etc. Es el trabajo del paleolimnólogo descifrar a que se deben estas variaciones estratigráficas.

## MÉTODOS PALEOLIMNOLÓGICOS

Los sedimentos que se acumulan año con año en el fondo de un lago tienen una secuencia cronológica, el sedimento más profundo corresponde a un tiempo más antiguo, y así sucesivamente, hasta llegar al sedimento superficial que representa el tiempo presente. Un estudio de la secuencia estratigráfica completa de un lago nos dará información de toda la historia del lago. Pero para poder estudiar el sedimento es necesario llevarlo al laboratorio. Para ello es necesario recuperar el paquete de sedimentos del fondo del lago, sin perturbarlo, mediante el empleo de equipos especializados (Last y Smol, 2001). Estos equipos son, en principio, tubos que penetran en el sedimento por presión, ya sea manual o mecánica, y que al recuperar-

los contienen en su interior la secuencia sedimentaria del lago.

Una vez recuperada la secuencia sedimentaria es necesario estudiarla detalladamente para poder realizar una reconstrucción paleolimnológica. Una parte importante de este estudio es describir el tipo de sedimento que forma la secuencia, esto es realizar una descripción estratigráfica. Otra parte fundamental es tener una idea de la edad de toda la secuencia así como de las diferentes capas que la forman. Para ellos se emplean métodos como el fechamiento por radiocarbono, que es uno de los más usados en paleolimnología. El radiocarbono o  $^{14}\text{C}$  es un isótopo radiactivo del carbono (el "normal" es  $^{12}\text{C}$ ) que se incorpora constantemente en los organismos mientras estos están vivos. Cuando un organismo muere deja de incorporar  $^{14}\text{C}$  y entonces la cantidad de este isótopo en su materia orgánica empieza a disminuir de manera proporcional al tiempo que ha transcurrido. Ya que en los sedimentos lacustres frecuentemente hay materia orgánica, es factible emplear este método de fechamiento, el cual puede dar edades entre más o menos 200 y aproximadamente 30,000 a 50,000 años. Las edades de radiocarbono son referidas como años antes del presente (AP) y se tienen que calibrar para convertirlas a edades de nuestro calendario (aC / dC). Si deseamos estudiar eventos más recientes entonces podemos recurrir al método del  $^{210}\text{Pb}$  que sirve para fechar acontecimientos que ocurrieron durante los últimos 200 a 250 años. Si deseamos estudiar eventos más antiguos, en el rango de millones de años, entonces se puede recurrir a otros métodos radiométricos como el K / Ar o el Rb / Sr (Bradley, 1999; Last y Smol, 2001).

Una vez conocida la edad de los sedimentos se debe proceder a realizar el mayor número de estudios posibles que aporten "pistas" sobre como era el lago y su entorno en cada momento de su historia. La gama de estudios que se pueden hacer es muy amplia, pero algunos de los métodos que más información pueden dar es el estudio del contenido de microfósiles en el sedimento lacustre, entre los que destacan los palinomorfos, las diatomeas y los ostrácodos.

El análisis de palinomorfos involucra la identificación de diversos tipos de microfósiles dentro de los que se encuentran los granos de polen de las plantas superiores (angiospermas y gimnospermas), las esporas de resistencia de helechos, musgos, algas y hongos así como algunos restos de estructuras vegetativas de algas y hongos (Benett y Willis, 2001; van Geel, 2001). Para su estudio e interpretación los palino-

morfos pueden ser divididos en dos grandes grupos: el de los elementos o taxa locales, tales como hongos, algas y plantas acuáticas y subacuáticas, que aportan información sobre las características propias del lago, y el de los elementos regionales, tales como árboles, hierbas y pastos, que aportan información sobre la cobertura vegetal en la cuenca de captación.

Las diatomeas son algas unicelulares cuyo tamaño puede variar entre 10 y 200  $\mu\text{m}$  (0.01 a 0.2 mm). Son organismos fotosintéticos, importantes productores primarios, cuyos cloroplastos tienen un tono especial, pardo-dorado, que se debe a la presencia de pigmentos como la fucoxantina. La célula de las diatomeas tiene una cubierta silíceo resistente a la degradación que se llama frustulo y que está formado por dos mitades, cada una de las cuales se llama valva. Las valvas de las diatomeas tienen ornamentaciones características que permiten distinguir a las diferentes especies, e inclusive variedades, de este grupo. Las especies de diatomeas son bastante específicas a las condiciones en las que viven como el pH, la alcalinidad, salinidad o profundidad de un lago. Debido a esto y a la gran abundancia que estos microfósiles pueden llegar a tener en los sedimentos, es posible realizar, a partir de las asociaciones encontradas en una secuencia estratigráfica, estimaciones sobre los valores que presentaron estos parámetros en el pasado. (Stoermer y Smol, 1999, Batarbee *et al.* 2001).

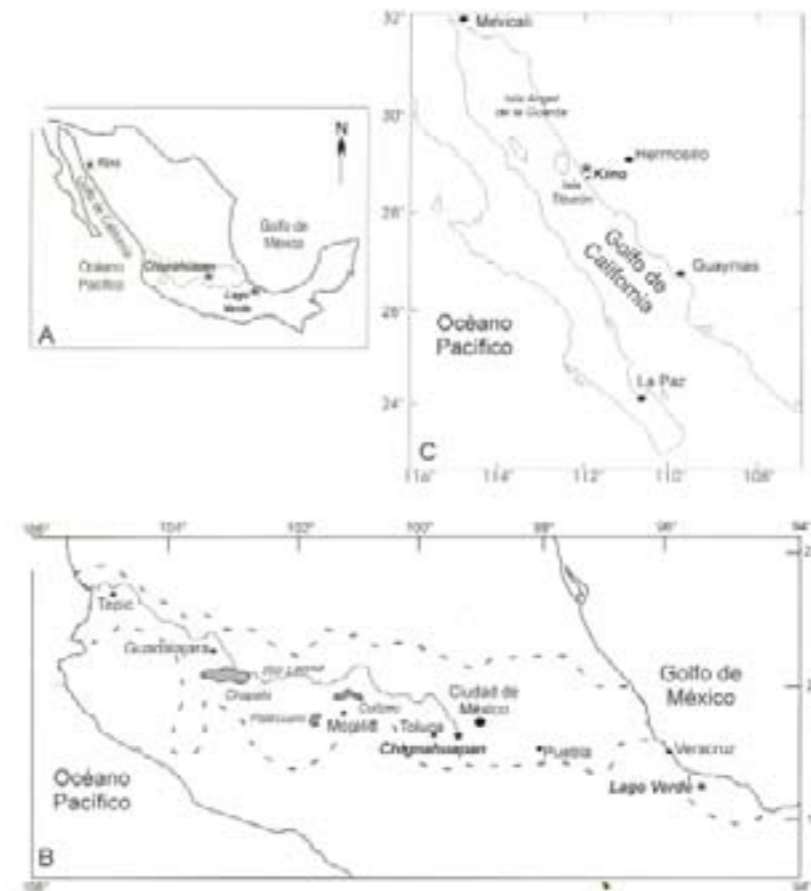
Los ostrácodos son pequeños (0.3 - 5 mm) crustáceos con un caparazón o concha de carbonato de calcio la cual está formada por dos valvas unidas por una charnela (estructura a manera de bisagra). Estas valvas, que por su calcificación se preservan frecuentemente en el sedimento lacustre, poseen características morfológicas particulares que permiten la identificación a nivel específico. Los ostrácodos son los microfósiles calcáreos más abundantes en los ambientes acuáticos continentales y son particularmente sensibles a variaciones en el agua en la que viven, específicamente de salinidad y temperatura, parámetros que dependen en gran medida del clima. En este contexto, los cambios climáticos quedan registrados en la variación de la dominancia de las diferentes especies a lo largo de las secuencias sedimentarias. De esta manera los ostrácodos son una herramienta importante en la reconstrucción climática (De Deckker y Forester, 1988; Delorme, 1990; Holmes, 2001; Park y Smith, 2003).

## ESTUDIOS PALEOLIMNOLÓGICOS EN MÉXICO: TRES CASOS.

### El Paso del Último Máximo Glaciar al Presente y la Naturaleza del Holoceno en el Centro de México: La Ciénega de Chignahuapan.

En la cuenca alta del Lerma, Edo. Mex., se realizó un estudio paleoambiental que documenta los cambios que experimentó la ciénega de Chignahuapan (Figura 1) y su entorno durante los últimos ca. 22,000 años antes del presente (AP), período que abarca desde el último máximo glacial al presente (Caballero *et al.*, 2002; Lozano-García *et al.*, 2005). Este estudio es interesante porque se puede realizar una correlación más o menos directa entre los datos paleolimnológicos y los arqueológicos, en particular para el período conocido como Clásico tardío (ca. 550 - 900 dC), que en esta cuenca se manifiesta como una etapa durante la cual las poblaciones humanas se instalaron en el ambiente palustre, construyendo islas artificiales, las cuales fueron abandonadas hacia el año 900 dC (Sugiyama, 1992, 2000).

Chignahuapan es el de menor altitud de los cuerpos lacustres que existen en la cuenca del alto Lerma, donde se origina el río del mismo nombre (Figura 1). En este sitio se realizó un estudio de propiedades magnéticas, polen y diatomeas en una secuencia de 9.5 m de profundidad, que cuenta con 6 fechamientos de  $^{14}\text{C}$ , los que indican una edad de aproximadamente 22,000 años AP para la base de la secuencia. Los resultados de este trabajo correlacionan bien y complementan los trabajos previos en la zona (Metcalf *et al.*, 1991, Caballero *et al.*, 2001) y permiten concluir que en esta cuenca hubo cambios drásticos en las condiciones ambientales entre el Pleistoceno tardío (22,000 a 10,000 años AP) y el Holoceno (menos de 10,000 años AP). El Pleistoceno tardío se identifica como un período frío pero de estabilidad en el lago, en el que dominan condiciones de lago somero de aguas dulces. El lago estaba rodeado por bosques poco densos, lo que favorecía una alta tasa de erosión de la cuenca hacia el lago. El Holoceno es, en contraste, un período más cálido, con nivel lacustre generalmente más bajo, pero sobre todo, más variable, lo que sugiere mayor variabilidad climática. El lago estaba rodeado por bosques más cerrados y por lo tanto el aporte de sedimentos de la cuenca hacia el lago es menor (Figura 2). Entre la variabilidad climática del Holoceno se detectan tres periodos de nivel lacustre bajo, cuando el lago pasa a ser un pantano o ciénega, el primero entre ca. 10,000 a 7,000 años AP, el segundo hace ca.



**Figura 1.** Mapas de localización de los sitios mencionados en el texto. A. México con la localización general de los tres sitios mencionados en el texto. B. Centro de México con la localización de Chignahuapan en la cuenca del alto Lerma y Lago Verde en Los Tuxtlas. C. Golfo de California con la localización general de la salina de Kino, en Sonora.

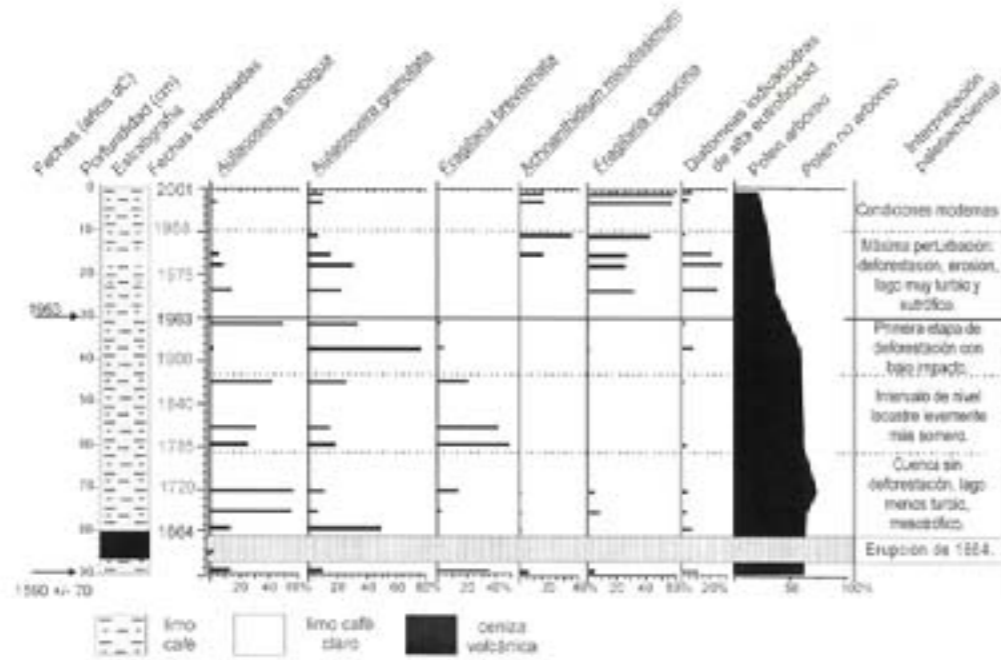
4,500 años AP y el último inicia hacia los 2,000 años AP, (equivalente al año 200 aC), intensificándose entre 1,400 y 800 años AP (equivalente a 550 - 1100 dC). También se identifica una señal de deforestación que inicia hace aproximadamente 3,100 años AP (equivalente al año 1500 aC), en el periodo conocido como Formativo (Lozano-García *et al.*, 2005). La última etapa de nivel lacustre bajo (ca. 550-1100 dC), corresponde con el Clásico tardío, cuando se construyen los islotes artificiales dentro del ambiente palustre. Los datos de polen señalan la presencia de maíz y fragmentos de carbón, confirmando la presencia humana en la zona (Lozano-García *et al.*, 2005). Estos islotes son abandonados cuando el nivel del agua se recupera alrededor del año 900 a 1000 dC.

### Un Registro de Cambio en el Nivel del Mar Durante el Holoceno: Bahía Kino.

En la costa continental del Golfo de California, en Bahía Kino, Sonora (Fig. 1), se realizó un estudio paleoambiental que documenta el aumento en el niv-

el del Mar durante el Holoceno en esta región. Este aumento en el nivel del mar estuvo asociado con el final de la última glaciación (hace 15,000 a 10,000 años AP), cuando grandes cantidades de hielo, que estaba atrapado en los casquetes polares durante el último máximo glacial, hace 18,000 años, se derritieron, favoreciendo un aumento de cerca de 120 m en el nivel del mar entre hace cerca de 15,000 años y el presente. Este registro también aporta información paleoclimática para el Holoceno medio en la zona costera del estado de Sonora (Caballero *et al.*, 2005). En esta región ambos tipos de información son relevantes pues la zona costera del Golfo de California fue uno de los ambientes explotados por las primeras poblaciones humanas que ocuparon la región.

Este estudio se realizó en un núcleo de 10 m de longitud, perforado en la llamada Salina de Kino (Fig. 1) en el que se realizaron diversos análisis, incluyendo susceptibilidad magnética, contenido de materia orgánica, polen, diatomeas, ostrácodos y foraminíferos.



**Figura 2.** Secuencia Santa Cruz Atizapán (STCRZ), cuenca alta del Lerma, Edo. Mex., resumen de datos de diatomeas y polen e interpretación paleolimnológica. PTS = Pómez Toluca Superior. TTC = Tefra Tres Cruces.

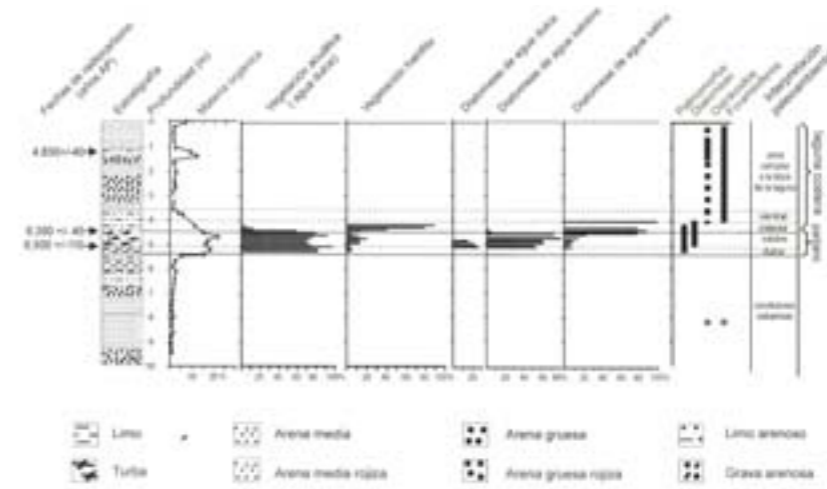
Tres niveles fueron fechados por <sup>14</sup>C, indicando una edad de menos de 10,000 años (Holoceno) para la secuencia. La integración de todos los datos (Fig. 3) señala que hace aproximadamente 6,600 años antes del presente (AP) el área de estudio era un pantano dominado por tulares y con diatomeas indicadoras de condiciones de agua dulce a levemente salobre. Actualmente en la zona de estudio, que es parte del Desierto de Sonora, no existen cuerpos de agua dulce debido a las condiciones dominantes de aridez. La presencia de un cuerpo de agua dulce a levemente salobre hace 6,600 años AP indica que en ese tiempo existía un aporte de agua dulce en el sitio, lo que es consistente con un clima más húmedo que el actual. Los datos de polen indican, sin embargo, que la zona estaba rodeada por vegetación de desierto, por lo que se concluye que durante el Holoceno medio esta región tenía un clima árido pero un poco más húmedo que el actual. Este tipo de clima para el Holoceno medio ha sido inferido por otros estudios realizados en la región (Ortega-Ramírez *et al.*, 1998; Metcalfe *et al.*, 1997; Metcalfe, *et al.*, 2002; Palacios-Fest *et al.*, 2002; Ortega Rosas, 2003) que en conjunto indican que en esta zona los climas actuales se establecieron durante los últimos 5,000 a 4,000 años y que son los climas más secos que han existido durante todo el Holoceno

(últimos 10,000 años).

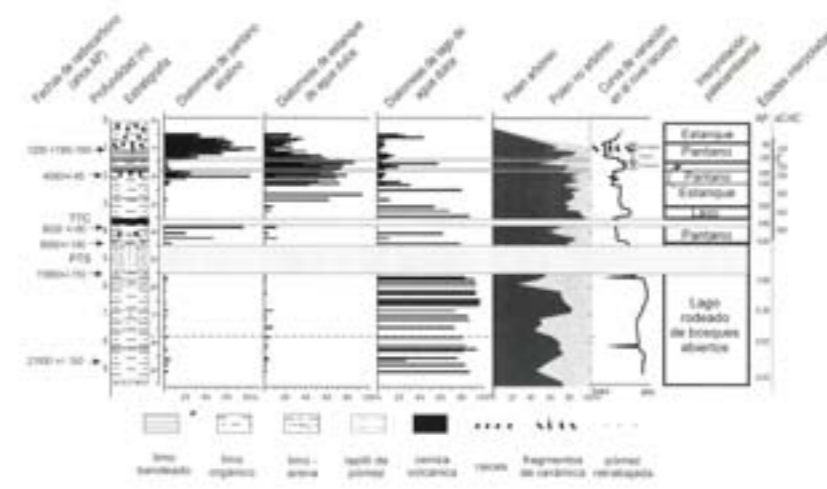
Algunos siglos después, hace aproximadamente 6,350 años AP el sitio de estudio pasó a ser un ambiente gradualmente más salobre y profundo, asociado a una creciente influencia marina al incrementarse el nivel del mar. El registro de diatomeas, ostrácodos y foraminíferos indican que el sitio pasó a ser parte de una laguna costera, primero en una zona distal somera, hace unos 6,350-6,250 años AP, luego en una zona más profunda, en el cuerpo de la laguna, hace cerca de 6,125 años AP y luego hacia los 5,900 años AP en una zona cercana a la boca de la laguna. Hacia esta fecha el nivel del mar se estabilizó y el sitio permaneció como una zona cercana a la boca de la laguna hasta por lo menos hace ca. 4,000 años AP. En algún momento posterior a esta fecha se formó la duna de cerca de 10 m de altura que actualmente separa al sitio de estudio del mar.

**Impacto Humano, Deforestación y Eutroficación: Lago Verde.**

En la costa del Golfo de México (Fig. 1), en la región de Los Tuxtlas, Ver., se realizó un estudio limnológico y paleoambiental que documenta el estado actual y la evolución reciente de uno de los lagos de la zona, Lago Verde (Caballero *et al.*, 2005b).



**Figura 3.** Secuencia Kino (KI), Sonora, resumen de datos de polen, diatomeas, ostrácodos y foraminíferos e interpretación paleoambiental.



**Figura 4.** Secuencia Lago Verde (VRUII), Los Tuxtlas, Ver., datos de diatomeas y polen e interpretación paleolimnológica.

En este lago se presentan evidencias muy claras del impacto humano que caracteriza la región, como deforestación, que a su vez afecta al lago volviéndolo más turbio y eutrófico (esto es muy rico en nutrientes, lo que genera falta de oxígeno en el agua y la muerte de organismos). En esta región este tipo de información es muy importante porque documenta los cambios recientes en la selva tropical en Los Tuxtlas, uno de los últimos relictos de selva que se conservan en México, y como ésta se ha perdido durante los últimos años, pasado de un continuo de selva en los años 1960 a un continuo de potreros y tierras de cultivo con parches de selva, que es lo que domina en la actualidad.

Los Tuxtlas es un campo volcánico activo, cuya cima principal es el volcán San Martín, el cual ha tenido dos erupciones históricas, en 1664 y 1792. Este estudio (Caballero *et al.*, 2005b) se realizó en Lago Verde (Fig. 1), que es uno de los lagos cráter que caracterizan la región. Éste es un lago pequeño, somero (ca. 4 m profundidad máxima), con aguas levemente alcalinas, turbias y eutróficas (con alto contenido de nutrientes). En este lago se estudió una secuencia de ca. 1 m de profundidad, en la que se realizaron análisis de propiedades magnéticas, polen, diatomeas y partículas de carbón. La secuencia fue fechada por <sup>14</sup>C y <sup>210</sup>Pb, indicando que la ceniza que marca la base corresponde a la erupción histórica del volcán San Martín de 1664. Los datos en su conjunto (Fig. 4) indican que entre 1664 y 1963 el lago tenía aguas menos turbias y con menos nutrientes (mesotrófico) que el lago actual, identificándose una etapa, entre 1785 a 1885, durante la cual fue un poco más somero. Entre 1664 y 1963 el lago estaba rodeado por selva tropical, la cual estuvo mejor representada entre 1800 y 1963. En el año de 1921 se detecta una primera fase de impacto humano durante la cual es probable que se hayan deforestado pequeñas áreas para practicar la agricultura. El impacto humano más intenso se detecta entre 1963 y 1988, cuando amplias zonas del cráter fueron deforestadas, favoreciendo una elevada erosión de la cuenca hacia el lago, lo que transformó al lago en un sistema muy turbio y eutrófico. Después de 1988 el impacto humano dentro del cráter de Lago Verde es menor, ya no se continúa con la deforestación del cráter y el lago y su entorno llegan a un nuevo equilibrio en el que el lago se recupera un poco, disminuyendo levemente la turbidez de sus aguas y su concentración de nutrientes, sin dejar de ser eutrófico.

Los ejemplos presentados anteriormente dan una aproximación al tipo de información que se puede derivar de un estudio paleolimnológico y al tipo de datos

que hay disponibles para México en esta disciplina. La alta diversidad de climas y ambientes que caracterizan a nuestro país, también está reflejada en los datos paleolimnológicos, distinguiéndose la zona árida del norte de México de las regiones más húmedas del centro. Los registros paleolimnológicos que cubren desde el máximo glacial al presente son escasos, en la zona árida de Noroeste de México el paso del Pleistoceno tardío al Holoceno se caracteriza por una tendencia hacia ambientes más secos, siendo los últimos miles de años, aproximadamente los últimos 4,000 años, los de mayor aridez. En el centro de México el registro del alto Lerma indica que el cambio ambiental entre el Pleistoceno tardío y el Holoceno fue drástico, marcándose el Holoceno como una etapa de alta variabilidad climática. El Holoceno en esta parte de México está caracterizado por episodios de nivel lacustre bajo, que se interpretan como etapas con un balance de humedad negativo. Este balance negativo puede estar dado por una menor precipitación, por una mayor evaporación o por una combinación de ambos factores. En el registro del alto Lerma se identifican tres episodios de este tipo, el último, ocurrido hace aproximadamente 2,000 a 800 años AP (200 aC a 1100 dC), y se centra durante el período cultural denominado Clásico (200 a 900 dC). En el centro de México el Clásico corresponde con el máximo desarrollo de Teotihuacan, y localmente en el alto Lerma con la aparición de una nueva estrategia en la explotación del ambiente al construirse islotes artificiales dentro de la zona palustre, cuya presencia solo es posible dado el bajo nivel lacustre. Esta forma de vida es abandonada en un momento muy cercano a un aumento en el nivel lacustre. Comprender el impacto que la variabilidad climática y ambiental puede tener en el desarrollo cultural así como el impacto que la presencia humana puede tener en el ambiente, representa uno de los retos más fuertes dentro de los estudios paleoambientales, marcando la importancia de la interacción con otras disciplinas, en este caso la arqueología. Estudios sobre la variabilidad ambiental muy reciente acoplados con estudios de los ecosistemas modernos, brindan una oportunidad única de comprender estas interacciones. En el caso de Lago Verde, en Los Tuxtlas, Ver., se documenta claramente el impacto de la deforestación, y se pone de manifiesto el peligro que corren los pocos ecosistemas naturales que aun se conservan en nuestro país, en donde se alberga una alta biodiversidad. Los estudios paleolimnológicos pueden dar información sobre variabilidad climática y ambiental en diferentes escalas de tiempo, como son los cambios asociados al paso entre un estadio glacial a uno interglacial (Pleis-

toceno tardío a Holoceno, decenas de miles de años), cambios asociados a la variabilidad climática durante el Holoceno (miles de años), o variaciones de corto plazo asociadas al impacto humano (siglos a décadas). La paleolimnología permite ver a nuestro entorno con un nuevo enfoque, con una perspectiva “histórica” que aporta información valiosa para comprender el presente y evaluar el futuro.

## LITERATURA CITADA

- Anadón F. 1992. Lagos. paginas En: Arche A. (ed.), *Sedimentología*. Volumen I. CSIC. Madrid.
- Benett K.D. y Willis K.J. 2001. Pollen. p 5 – 32. En: Smol, J.P. y Briks J.B. (eds.), *Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Batarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J., Cameron N.G., Bennion H., Carvalho L., Juggins S., Diatoms. p 155-2002. En: Smol, J.P. y Briks J.B. (eds.), *Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Bradley R.S., 1999. *Paleoclimatology, reconstructing climates of the Quaternary*. Harcourt Academic Press, San Diego, 613 pp.
- Caballero M., Macías J. L., Lozano-García S., Urrutia-Fucugauchi J. y Castañeda-Bernal. 2001. Late Pleistocene-Holocene volcanic stratigraphy and palaeoenvironments of the upper Lerma Basin, Mexico. *Spec. Publ. int. Ass. Sediment.* 30: 247-261.
- Caballero M., Ortega B., Valadez F., Metcalfe S., Macías J. L. y Y. Sugiura. 2002. Sta Cruz Atzapán: a 22-ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the Upper Lerma Basin, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186: 217-235
- Caballero M., Peñalba C., Martínez M., Ortega B. y Vázquez L. 2005. A Holocene record from a former coastal lagoon in Bahía Kino, Gulf of California, Mexico. *The Holocene*, en prensa.
- Caballero M., Vázquez G., Lozano-García S., Ramírez A., Sosa-Nájera S., Ruiz-Fernández A.C., Ortega B. 2005b. Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) palaeolimnology of a tropical lake in the Sierra de Los Tuxtlas, Eastern Mexico. *Journal of Paleolimnology* en prensa.
- De Deckker P. y R. Forester. 1988. The use of ostracods to reconstruct continental palaeoenvironmental records. p. 175-199. In: De Deckker P., J.P. Colin and J.P. Peyrouquet (Eds.). *Ostracoda in the earth sciences*. Elsevier. The Netherlands.
- Delorme L.D. 1990. Freshwater Ostracodes. p. 93-100. In: B.G. Warner (Ed.). *Methods in Quaternary Ecology*. Geoscience Canada. Reprint series 5.
- Eugster, H. P. y K. Kelts. 1983. Lacustrine chemical sediments. p 321-368. En: A. S. Goudie y K. Pye (Eds.) *Chemical Sediments and Geomorphology*. Academic Press, London.
- Holmes J. 2001. Ostracoda. p.125-151. In Last D.W. y J.P. Smol (eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volumen 4: Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Last, W.M. y Smol, J.P., 2001. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 1. Basin analysis, coring and chronological techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 576 pp.
- Lozano-García S., Sosa-Nájera S., Sugiura Y., Caballero M., 2005. 23,000 yr of vegetation history of the Upper Lerma, a tropical high altitude basin in central Mexico. *Quaternary Research*, (in press)
- Metcalfe S. E., Street-Perrot F. A., Perrot, R. A. and Harkness D. D. 1991. Palaeolimnology of the Upper-Lerma Basin, Central Mexico. A record of climatic change and antropogenic disturbance since 11,600 yr. BP. *Journal of Palaeolimnology* 5: 197-218.
- Metcalfe S. E., Bimpson A., Courtice A. J., O'Hara S. L. and Taylor D. M. 1997. Climate change at the monzón/Westerly boundary in Northern México. *Journal of Paleolimnology* 17: 155-171.
- Metcalfe, S.E., Say, A., Black, S., McCulloch, R., O'Hara, S., 2002: Wet conditions during the Last Glaciation in the Chihuahuan desert, Alta

- Babícora basin, Mexico. *Quaternary Research* 57, 91-101.
- Ortega-Ramírez, J.A., Valeinte-Banuet, J., Urrutia-Fucugauchi, J., Mortera-Gutiérrez C.A., Alvarado-Valdéz, G., 1998: Paleoclimatic changes during the late Pleistocene-Holocene in Laguna Babícora, Chihuahuan desert, Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences* 35, 1168-1179.
- Ortega Rosas, C.I. 2003: Palinología de la Ciénega de Camilo: datos para la historia de la vegetación y el clima del Holoceno medio y superior en el NW de la Sierra Madre Occidental, Sonora, México. Tesis de Maestría, Universidad Nacional autónoma de México (UNAM). 109 pp
- Palacios-Fest J.R., Carreño, A.L., Ortega-Ramírez J.R., Alvarado-Valdéz, G., 2002: A paleoenvironmental reconstruction of Laguna Babícora, Chihuahua, Mexico based on ostracode paleoecology and trace element shell chemistry. *Journal of Paleolimnology* 27, 185-206.
- Park L.E. y Smith A.J. 2003. Bridging the gap: trends in the ostracode biological and geological sciences. The Paleontological Society Papers.
- Stoermer E.F. y Smol J.P. (eds.), 1999. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge University Press, Cambridge, 469 pp.
- Sugiura Y., 1992. El valle de Toluca después del ocaso del estado teotihuacano: El Epiclásico y el Posclásico, in: Sugiura Y.Y., (ed.) Historia General del Estado de México, Tomo I: Arqueología, El Colegio Mexiquense, Toluca, Edo. de México
- Sugiura Y., 2000. Cultura lacustre y sociedad del valle de Toluca. *Arqueología Mexicana*, VIII (43):32-37.
- van Geel B, 2001. Non-pollen palynomorphs. p 99-120. En: Smol, J.P. y Briks J.B. (eds.), Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Williams M. A. J., Dunkerley D. L., de Deckker P., Kershaw A. P. y T. J. Stokes. 1993. *Quaternary Environments*. Edward Arnold. Great Britain. 330 pp.
- Zanor G. A. 2003. *Patrón de explicación genética en el desarrollo de un sistema hidrológicamente cerrado* En: Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología, Vol. I. Editor L. A. Editorial Universitarias. Córdoba, Argentina. pp. 3-18.

# FUSULÍNIDOS DEL PÉRMICO DE CERRO PRIETO, CENTRO-OESTE DE SONORA, MÉXICO

Fusulínidos del Pérmico de Sonora, México

Olivia Pérez Ramos<sup>1,\*</sup> y Juan José Palafox Reyes<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se describe *Skinnerella diabloensis* Dunbar & Skinner, 1937, *Paraskinnerella brooksensis*, Ross, 1960, *Skinnerella montijoae* sp. nov., *Parafusulina vachardi* sp. nov., *P. buitronae* sp. nov. y *Cuniculinella yaquiensis* sp. nov., procedentes de la unidad 6 de Cerro Prieto, centro-oeste del estado de Sonora.

La presencia de crinoides, briozoarios y foraminíferos en calizas tipo packstone-grainstone indica una deposición en ambiente marino somero de plataforma. El conjunto faunístico del área muestra afinidades con especies descritas para el Pérmico Inferior (Wolfcampiano-Leonardiano), de California, Nevada y Texas, Estados Unidos de Norte América.

Palabras clave: Fusulínidos, Pérmico, Sonora, México.

## ABSTRACT

It is described *Skinnerella diabloensis* Dunbar & Skinner, 1937, *Paraskinnerella brooksensis* Ross, 1960, *Skinnerella montijoae* sp. nov., *Parafusulina vachardi* sp. nov., *P. buitronae* sp. nov., and *Cuniculinella yaquiensis* sp. nov., from Cerro Prieto area in unit 6, central-east Sonora. Crinoids, bryozoan and foraminifers are common in the fusulinid grainstone-packstone texture deposited in marine shallow water shelf depositional environment. The fusulinacean assemblage from this area shows closets affinities with species from lower Permian (Wolfcampiano-Leonardiano) (Sakmarian-Artinskian) in California, Nevada and Texas, United States of North America.

Keywords: Fusulinids, Permian, Sonora, Mexico.

<sup>1</sup> Departamento de Geología,  
Universidad de Sonora;  
Rosales y Transversal, 83000,  
Hermosillo, Sonora.  
\*olivia@geologia.uson.mx

## INTRODUCCION



La localidad de Cerro Prieto forma parte de la secuencia paleozoica de la Sierra Santa Teresa, ubicada a 20 km al sureste de Hermosillo (figura 1). Los trabajos previos sobre esta área fueron realizados por Peiffer (1987) quien reportó una secuencia Pensilvánica-Pérmica de 1616 m de espesor medida en la parte norte de dicha sierra; la edad de las rocas pérmicas las asignó al Wolfcampiano con base en la determinación de los foraminíferos *Endothyra*, *Staffella Millerella*, *Parafusulina*, *Cuniculinella*, *Eoparafusulina*, *Schwagerina* y *Dunbarinella Peiffer*. Los autores Stewart y Amaya (1993) y Stewart *et al.*, (1990, 1997; 2005), publicaron que los sedimentos del Paleozoico Super-

rior sobreyacen tectónicamente a estratos del Mesozoico (Triásico Superior-Jurásico Inferior). Dichos autores, dividen las rocas paleozoicas de la Sierra Santa Teresa en 7 unidades; las cuales de la 1 a la 5 corresponden a sedimentos del Misisípico Superior al Pensilvánico Medio y las unidades 6 y 7 corresponden al Pérmico Inferior en continuidad estratigráfica. La unidad 6 consiste en caliza bioclástica de plataforma con abundancia en crinoides, fusulínidos y lentes de pedernal, con espesores que varían de 112 a 122 m. La unidad 7 tiene un espesor aproximado de 610 m de caliza, arenisca calcárea y limolita; la calcarenita presenta fragmentos de pedernal, crinoides, fusulínidos ligeramente desgastados y el fósil traza *Nereites*. Los mismos autores consideraron a esta unidad como depósitos de cuenca, y mencionaron la presencia de *Parafusulina* sp. aff. *P. boesei* del Guadalupiano temprano y correlacionaron estas rocas con los de la Sierra la Flojera del Wolfcampiano, a 12 km al noreste de la Sierra Santa Teresa. La edad pérmica (Guadalupiano temprano) la establecieron estos autores con base en la identificación de conodontos y fusulínidos de la especie *Parafusulina boesei* Dunbar y Skinner, 1959.

### ÁREA CERRO PRIETO

Cerro Prieto se localiza a 3 km al noroeste de la fábrica de cemento El Yaqui con una elevación de casi 600 m. La secuencia de Cerro Prieto en general corresponde a la caliza pérmica de plataforma de la unidad 6 de Stewart (1997), la cual se halla en contacto gradual con la secuencia de aguas profundas (Unidad 7). Stewart *et al.*, (1997) reportaron que la sección paleozoica de la Sierra Santa Teresa incluye rocas carbonatadas y terrígenas con un espesor aproximado de 2200 m cuya edad se extiende del Misisípico al Pérmico.

En el área de Cerro Prieto el muestreo se efectuó a lo largo de un camino de terracería que corta la secuencia paleozoica de la base a

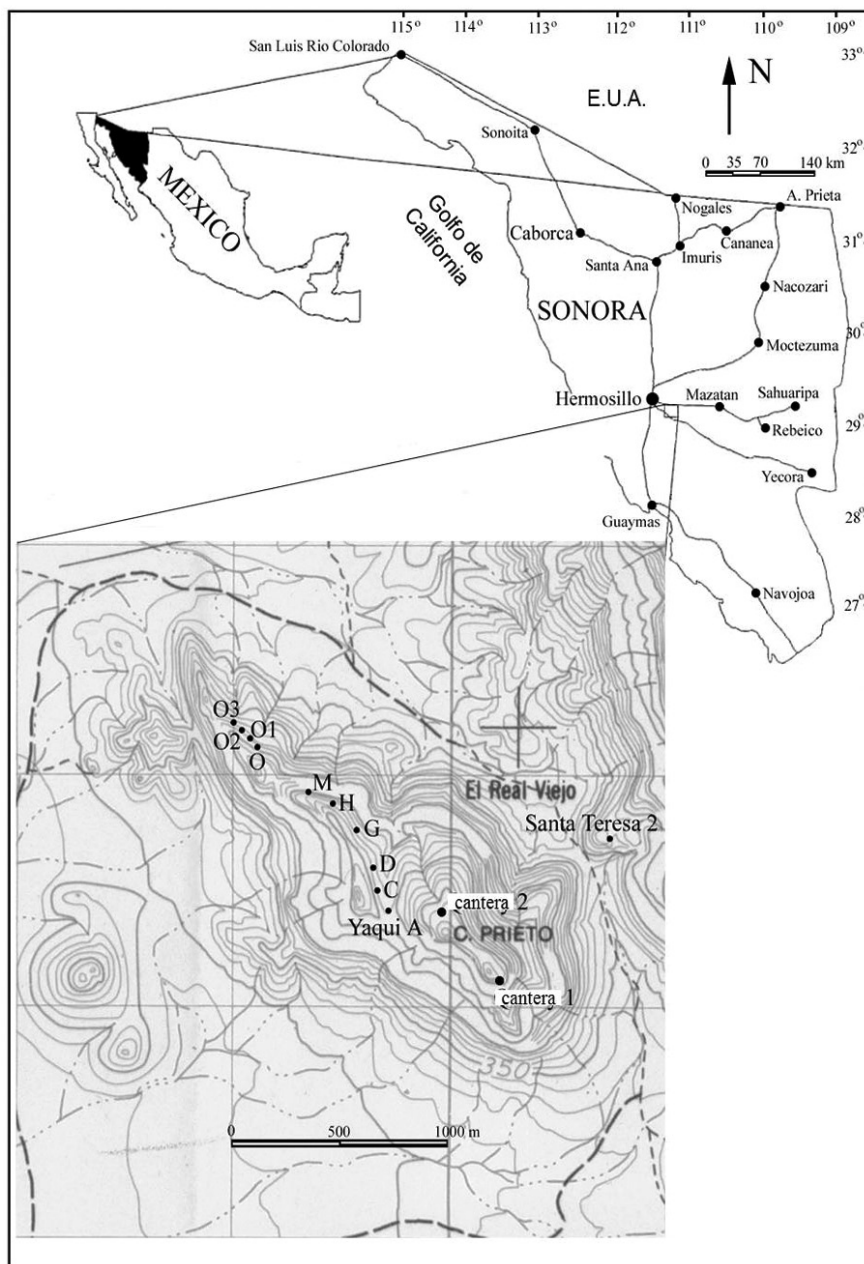


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio

la cima de la sección. No fue posible medir la sección debido a problemas estructurales y plegamiento del área, por lo que sólo se tomaron muestras a partir de la cima de la cantera hacia la base del camino en intervalos de 50 y 100 metros. La secuencia de plataforma comprende estratos de caliza compacta de color gris oscuro con nódulos y capas de pedernal. La caliza en general presenta textura packstone-grainstone de grano medio y grueso, con abundancia en fusulínidos bien preservados y crinoides. También se observó caliza masiva con laminaciones claras y oscuras así como horizontes arenosos, lo que sugiere cambios rítmicos en el aporte de sedimentos. Hacia la parte media del camino de terracería se encuentra caliza con abundancia en fusulínidos completos y bien preservados, o en moldes silicificados, así como encrinetas y calizas detríticas. La secuencia de agua profunda está representada por caliza gris masiva sin fauna, sobreyacida por caliza arenosa, y éstas a su vez, por arenisca calcárea rojiza con nódulos de pedernal. También se observa hacia la parte media y final del camino una secuencia de caliza de grano grueso con fusulínidos mal preservados, en contacto abrupto con arenisca roja de grano fino y con presencia de fósiles traza del género *Nereites* (Stewart *et al.*, 1997).

El estudio petrográfico de las calizas de plataforma, mostró en general la presencia de calcirrudita biógena, bioespatita y biomicrita ligeramente dolomitizada y parcialmente hematizada con óxidos de hierro, algunas fuertemente silicificadas; la mayor parte de la caliza presenta abundancia de crinoides y fusulínidos bien preservados en cortes transversales y longitudinales de las siguientes especies: *Skinnerella diabloensis* Dunbar y Skinner, 1937, *Skinnerella montijoae* sp. nov., *Paraskinnerella brooksensis* Ross, 1960 *Parafusulina vachardi* sp. nov., *Parafusulina buitronae* sp. nov. y *Cuniculinella yaquiensis* sp. nov.

Otros restos biógenos incluyen: foraminíferos (paleotextuláridos) en cortes uniseriales y biseriales; el género *Globivalvulina* del Pensilvánico-Pérmico (Loeblich and Tappan, 1964); *Tuberitina* del Devónico-Pérmico (Flügel, 1982), amodiscidos del Silúrico-Reciente; restos de moluscos, briozoarios y en menor proporción braquiópodos, trilobites y ostrácodos, incluyendo restos algáceos, como *Tubiphytes* (Carbonífero-Jurásico) que indican límites de plataforma interna y externa (Flügel, 2004), algas dasycladáceas y algunos oncolitos.

## Edad de la fauna

El conjunto faunístico descrito en este estudio corresponde a la caliza de plataforma de la Unidad 6 de Stewart *et al.*, (1997) representada por los géneros *Cuniculinella*, *Skinnerella* y *Parafusulina* característicos del Pérmico Temprano (Wolfcampiano –Leonardiano). *Cuniculinella* fue descrita por primera vez en rocas de la Formación Caliza McCloud norte de California de edad Wolfcampiano-Leonardiano y rocas de la misma edad en Nevada, Oregon y en Asia (Skinner and Wilde, 1965; Gamache y Webster, 1987; Pérez Ramos, 2001; Stevens y Stone, 2007). *Cuniculinella yaquiensis* sp. nov., es similar a las especies descritas de la Caliza McCloud en California. *Skinnerella* es un género comúnmente descrito en rocas del Leonardiano de Texas (Skinner, 1971) y Canadá (Ross, 1978), así como en Sonora central (Pérez y Nestell, 2002). *S. montijoae* sp. nov. descrita de Cerro Prieto, se considera relacionada con *S. diabloensis* Dunbar & Skinner, 1937 de la Formación Bone Spring del Leonardiano de Texas. *Paraskinnerella brooksensis* Ross, 1960, es similar al material descrito por Ross (1960) del Leonardiano de las Montañas Glass en Texas, EUA.

El género *Parafusulina* ha sido descrito únicamente de rocas del Leonardiano y formas más avanzadas consideradas como gigantes en el Guadalupiano de Norteamérica incluyendo Canadá, Alaska, Washington, California, Texas EUA y México, en Sonora y Coahuila (Dunbar y Skinner, 1937; Skinner y Wilde, 1965). Las especies descritas en este estudio corresponden a formas de tamaño mediano, las cuales fueron comparadas con especies comúnmente descritas en sedimentos del Leonardiano (Dunbar, 1939; Skinner, 1971; Thompson y Miller, 1949; Ross, 1960, 1962, 1987; Maggini *et al.*, 1988; Pérez-Ramos, 1992).

## PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

El material descrito se encuentra depositado en la Colección de Paleontología, Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, con los números de catálogo Unison 224-296.

Orden Foraminiferida Eichwald, 1830

Superfamilia Fusulinacea von Möller, 1978

Familia Fusulinidae von Möller, 1878

Género *Skinnerella* Coogan, 1960 emend.  
Skinner, 1971

Especie tipo *Parafusulina schucherti* Dunbar & Skinner, 1937, p. 672-674, lám. 64, figs. 9-12

*Skinnerella diabloensis* Dunbar & Skinner, 1937  
(Fig. 2, a - h, Fig. 3, a y b, Tabla I)

*Parafusulina diabloensis* Dunbar y Skinner, 1937,  
p. 675, lám. 60, figs. 8-11

*Skinnerella diabloensis* (Dunbar y Skinner, 1937)  
Vachard *et al.*, 1997

**Descripción.** Concha grande, gruesa, fusiforme con pendientes laterales cóncavo-convexas; extremos subredondeados o toscamente puntiagudos con una longitud de 9.2 a 15.9 mm y 3.3 a 5.2 mm de diámetro, en 7 vueltas. La parte media de la concha presenta una ligera constricción. Prolóculo grande, de pared gruesa, con un rango de 400 a 680 micras de diámetro. La pared o espiroteca delgada en las primeras vueltas, aumentando su grosor de 0.020 a 0.120 mm en las últimas vueltas, con una querioteca alveolar. Septa intensamente plegada que forma camarillas en los extremos, excepto en las áreas del túnel el cuál es muy amplio, pero ligeramente irregular. Depósitos secundarios densos en las primeras vueltas y a lo largo del plano medio de la concha. Frenotecas presentes, pero no son comunes.

**Discusión.** En la colección de cerro Prieto se encontraron ejemplares similares a la especie antes descrita en forma y tamaño, pero con el prolóculo más pequeño, posiblemente representativas de formas microféricas.

Esta especie es similar a *Skinnerella diabloensis* (Dunbar y Skinner 1937) del Leonardiano de Texas, en tamaño y rasgos generales. *S. gruperensis* (Thompson & Miller, 1944) de Chiapas, es más pequeña, más ancha con un contorno hexagonal y depósitos secundarios más pronunciados hacia el área del túnel y prolóculo comúnmente más pequeño.

Algunos especímenes de la colección se comparan con *S. sonoraensis* (Dunbar 1939) del Leonardiano que aflora en el noreste de Sonora, en tamaño y forma en general, sólo que ésta es ligeramente más pequeña y ancha, con mayor número de vueltas y septa más intensamente plegados. Algunos ejemplares son muy similares a *Parafusulina (Skinnerella)* sp. A descrita del Leonardiano del oeste de Sonora, (Pérez-Ramos, 1992), sólo que los ejemplares en ese estudio son más pequeños con variaciones en los depósitos axiales, por lo que es probable representen formas transicionales de *S. diabloensis* Dunbar y Skinner, 1937.

**Ocurrencia.** *Skinnerella diabloensis* Dunbar y Skinner, 1937, es abundante en grainstone de la localidad Yaqui H, en la parte media de la sección de Cerro Prieto y asociada a *S. montijoae* Uni-Son 224-231; Uni-

Son 232-233.

**Edad.** La especie antes descrita se asignó al Pérmico Inferior (Leonardiano), pues el género ha sido comúnmente reportado en rocas de esta edad (Skinner, 1971; Ross, 1978, 1995; Vachard, 1997).

*Skinnerella montijoae* sp. nov.

(Fig. 3, c - f, Tabla III)

**Diagnosis.** Concha grande, gruesa, fusiforme, de contorno irregular de pendiente convexa y extremidades irregulares o redondeadas, con una longitud de 9.2 a 12.4 mm y 4.2 a 5.1 mm de diámetro en 7 vueltas. El prolóculo mide de 230 a 400 micras, aunque esta ligeramente deformado, Las vueltas aumentan gradualmente en tamaño con una ligera constricción en la parte media de la concha. Espiroteca delgada en las primeras vueltas, engrosándose en las últimas, con un rango de 0.015 a 0.100 mm de espesor, con una querioteca alveolar. Septa intensamente plegados, formando camarillas hacia los extremos, excepto en la parte media, donde se presenta un túnel amplio, pero irregular. Depósitos secundarios densos comunes en las primeras vueltas y parte media, así como a los lados del túnel. Frenotecas presentes.

**Discusión.** *Skinnerella gruperensis* (Thompson & Miller, 1944) de Chiapas y Guatemala es más pequeña, sin frenoteca y de forma hexagonal. *S. sonoraensis* (Dunbar, 1939), (Leonardiano) muestra el plegamiento de los septa menos intenso, y prolóculo más grande. *Skinnerella* cf. *S. sonoraensis* descrita por Pérez (1992) procedente del oeste de Sonora, presenta los septos más elongados y sin frenoteca. *Parafusulina imlayi* Dunbar, 1939, (Leonardiano) del noreste de Sonora, es considerablemente más grande y más ancha con el prolóculo más pequeño y normalmente los cuniculi son más numerosos y presentes en todas las vueltas.

**Ocurrencia.** *Skinnerella montijoae* sp. nov., se encontró abundante y bien preservada en grainstone, de la localidad Yaqui H, en el Cerro Prieto, asociada a *S. diabloensis* Dunbar y Skinner, 1937. Holotipo: Uni-Son-237. Uni-Son 234-236.

**Edad.** Leonardiano

**Dedicación del nombre específico.** Se dedica esta especie a la investigadora y profesora M. en C. Alejandra Montijo de la Universidad de Sonora, que dio gran apoyo moral y académico para el desarrollo de esta investigación.

Familia Fusulinidae von Möller, 1878

Género *Skinnerella* Coogan, 1960 emend.  
Skinner, 1971

Especie tipo *Parafusulina schucherti* Dunbar y  
Skinner, 1937, p. 672-674, lám. 64, figs. 9-12

*Paraskinnerella brooksensis* Ross, 1960  
(Fig. 4, a – j, Tabla II)

1960 *Parafusulina brooksensis* Ross, p. 129,  
lám. 20, figs. 7-14; lám. 21, figs. 1-4, 6

1961 *Parafusulina brooksensis* Ross, Robinson,  
p. 136-137, lám. 19, figs. 13-15

1992 *Paraskinnerella* cf. *P. brooksensis* Pérez-  
Ramos, p. 35, lám. 7, figs. 4-5.

2000 *Paraskinnerella brooksensis* (Ross) Vachard  
*et al.*, figs. 8-11.

**Descripción.** Concha pequeña, fusiforme, con pendientes laterales ligeras y los polos puntiagudos con una longitud de 6.10 a 8.4 mm y 2.1 a 3.2 mm de diámetro en 7 a 8 vueltas. Prolóculo de pared delgada, con un diámetro externo de 110 a 340 micras, coronado de diminutos comata. Las vueltas internas de forma elíptica muestran un enrollamiento suelto y un crecimiento uniforme y gradual. La espiroteca es delgada en la primera vuelta, con un rango de 0.020 mm a 0.120 mm en la última. El plegamiento de los septa es intenso, pero espaciado, principalmente en la porción media de la concha. En general los septa son altos y cortos distribuidos irregularmente. El túnel es angosto e irregular. Frenotecas presentes, pero no son comunes. Depósitos secundarios densos a lo largo del eje medio de la concha y revistiendo la mayor parte de los septa.

**Ocurrencia.** La especie descrita se presentó con cierta abundancia en calizas recristalizadas, ligeramente silicificadas incluyendo encrinita, packstone y grainstone de las localidades: Cantera 1, Yaqui C y Yaqui M en Cerro Prieto y en Sierra Santa Teresa 2. Uni-Son 208. Uni-Son 205-207; Uni-Son 256-262. Algunos especímenes se recolectaron en la parte media de la Sierra Santa Teresa.

**Edad.** Leonardiano, como *Paraskinnerella brooksensis* descrita de Texas (Ross, 1960).

*Parafusulina vachardi* sp. nov.

(Fig. 5, a – f, Tabla III)

**Diagnosis.** Concha grande, fusiforme con la pendiente lateral convexa, a veces irregular, extremos su-

bredondeados, con una longitud de 11.2 a 14.2 mm y 3.5 a 4.2 mm de diámetro en 7 1/2 vueltas. Prolóculo de pared gruesa, mide de 320 a 480 micras, coronado de diminutos comata. Vueltas internas abiertas, aumentando gradualmente en tamaño con una altura uniforme. La espiroteca varía de 0.020 mm en las primeras vueltas a 0.120 mm en las últimas, con una querioteca alveolar. Septa intensamente plegados, siendo la mayoría cortos y anchos, a veces espaciados, principalmente en las áreas del túnel, pero formando camarillas en las regiones polares. Depósitos secundarios en la región media irregularmente distribuidos. Frenoteca incipiente. Cunículi bien desarrollado en las últimas vueltas.

**Discusión.** Especímenes de *Parafusulina vachardi* se comparan con *P. (Skinnerella) speciosa* Skinner, 1971 del Leonardiano de Texas, pero esta especie es considerablemente más grande, con un mayor número de vueltas y frenotecas bien desarrolladas. *P. sapperi* (Staff) del Wolfcampiano de Centroamérica (Dunbar, 1939) es considerablemente más grande y gruesa y sin comata. *P. deltoides* Ross, 1960 es más pequeña y con notables frenotecas.

**Ocurrencia.** Sólo algunos especímenes regularmente preservados se encontraron en calizas parcialmente recristalizadas (packstone) cerca de la parte media de la sección, en la localidad Yaqui D, en Cerro Prieto, asociados a *Parafusulina buitronae*. Holotipo: Uni-Son 211. Uni-Son 212-216.

**Edad.** No obstante que el alcance del género *Parafusulina* es del Leonardiano al Guadalupiano, se considera que la especie con formas macroesféricas y microesféricas de tamaño moderado, (menores de 18 o 20 mm de largo) pertenecen al Leonardiano, ya que las formas más grandes o gigantes (mayores de 18 mm) pertenecen al Guadalupiano (Skinner, 1971). La especie nueva descrita se consideró como perteneciente al género *Parafusulina* con base en las características generales de forma, tamaño y estructuras internas (presencia de cunículi), por lo se le asignó perteneciente a rocas del Leonardiano (Dunbar & Skinner, 1937; Skinner, 1971).

**Dedicación del nombre específico.** Al Dr. Daniel Vachard notable investigador de la Universidad de Lille, Francia, por sus aportaciones al conocimiento de los fusulínidos y de la bioestratigrafía del Paleozoico de México.

*Parafusulina buitronae* sp. nov.

(Fig. 5, g – j, Tabla II)

**Diagnosis.** Concha mediana, elongada a subcilíndrica, con los extremos subredondeados, con una longitud de 9.2 a 12.3 mm y 3.0 mm de diámetro en 6 o 7 vueltas. Prolóculo pequeño con un rango de 210 a 260 micras. Las vueltas iniciales de forma elíptica, aumentan de tamaño de manera uniforme, con los extremos ligeramente puntiagudos. El plegamiento de los septa es intenso, pero espaciado en las áreas medias de la concha, formando camarillas en los extremos. Espiroteca varía de 0.010 en las primeras vueltas a 0.100 mm en la última. Túnel amplio, pero irregular. Cuniculi presentes en la parte central. Depósitos secundarios a lo largo del eje de la concha irregularmente distribuidos y cubriendo la cima de los septa.

**Discusión.** Esta especie es similar a *Parafusulina skinneri* Dunbar, 1939 (Leonardiano) del noreste de Sonora: sólo que es ligeramente más grande y gruesa con el prolóculo más grande.

**Ocurrencia.** Sólo dos especímenes bien preservados se encontraron en calizas parcialmente recristalizadas (packstone) en la localidad Yaqui D de Cerro Prieto. Holotipo: Uni-Son 220. Uni-Son 217-219.

**Edad.** La similitud con una especie de edad Leonardiana (Dunbar, 1939) permite suponer que *P. buitronae* pertenece a tal edad.

**Dedicación del nombre específico.** A la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, paleontóloga mexicana, quien ha estudiado con gran acierto los crinoides del Paleozoico y Mesozoico de varias localidades de México.

Género *Cuniculinella* Skinner y Wilde, 1965

Especie tipo: *Cuniculinella tumida* Skinner y Wilde, 1965

*Cuniculinella yaquiensis* sp. nov.

(Fig. 6, a - g; Fig. 7, a - j Tabla IV)

**Diagnosis.** Concha mediana, inflada a subglobular con los extremos extendidos, subredondeados y/o puntiagudos, pendientes laterales convexas y cóncavo-convexas en 6 a 7 vueltas, con una longitud de 5.6 a 9.8 mm y 2.7 a 4.4 mm de diámetro. Prolóculo de pared gruesa, mide de 260 a 380 micras de diámetro externo, rodeado de diminutos comata. Primeras vueltas de forma fusiforme seguidas por un rápido aumento en la altura de las vueltas. La espiroteca es gruesa con un rango de 0.100 a 0.120 y 0.140 mm de espesor en la primera y últimas vueltas. Querioteca finamente alveolar. El plegamiento de los septa es intenso, princi-

palmente en el eje, formando camarillas en los polos, pero espaciado en las áreas del túnel y últimas vueltas. Los septa son cortos y redondeados, elongados y a veces rectangulares. Cuniculi bien desarrollados en las últimas vueltas. Depósitos secundarios ligeros que revisten la mayor parte de los septa, principalmente la cima. Frenotecas ligeramente desarrolladas. Túnel poco visible.

**Discusión.** *Cuniculinella yaquiensis* es semejante a *C. tumida* Skinner y Wilde, 1965, de la Formación Caliza McCloud (Wolfcampiano) de California, en la forma general de la concha, tamaño y algunos rasgos internos, pero difiere en que esta especie muestra las vueltas internas más esféricas, las áreas polares más pequeñas y frenotecas muy bien desarrolladas. *Schwagerina rotunda* Skinner & Wilde, 1965 de la misma área, es más pequeña y las pendientes laterales son más convexas y con ausencia de cuniculi. *S. turgida* Skinner & Wilde, 1965, también de la misma área, muestra más número de vueltas, es más ancha, con el plegamiento septal más intenso y sin cuniculi. *S. corpulenta* Skinner y Wilde, 1965 de la misma área, es ligeramente más pequeña, pero más ancha, con plegamiento septal más intenso y sin cuniculi.

Se observaron formas gerónticas (es decir individuos seniles) semejantes a las descritas por (Beede y Kniker, 1924) como una continua expansión del estado final del crecimiento de la concha, y vueltas cíclicas continuas, originando septos y paredes más gruesas así como cámaras septales más angostas.

**Ocurrencia.** *Cuniculinella yaquiensis* es muy abundante en calizas parcialmente recristalizadas (packstone y grainstone) en el área de Cerro Prieto (localidades cantera 1, cantera 2, Yaqui A, Yaqui M, Yaqui O1 y Yaqui O3), asociada a *Paraskinnerella brooksensis*. Holotipo Uni-Son 276. Uni-Son 277-296.

**Edad.** *Cuniculinella* se reporta en sedimentos del Wolfcampiano (Skinner y Wilde, 1965) y especies de *Parafusulina* moderadamente grandes y depósitos axiales ligeros sugieren rocas del Pérmico Inferior (Leonardiano) (Skinner, 1971).

**Dedicación del nombre específico.** Nombre de un grupo indígena en el Estado de Sonora y que fue tomado por la cementera La Yaqui donde se recolectó la mayor parte del material descrito en este estudio.

## CONCLUSIONES

Las rocas paleozoicas de la Unidad 6 de la sección 1 de Stewart *et al.* (1977) en la localidad de Cerro

Prieto, al este de Hermosillo, contienen fusulínidos del Pérmico Inferior (Leonardiano-Wolfcampiano) depositados en un ambiente de plataforma marina. Se describen cuatro especies nuevas incluyendo: *Cuniculina yaquiensis* sp. nov. la cual se compara con especies del Wolfcampiano-Leonardiano descritas de la Caliza McCloud del norte de California, EUA (Skinner and Wilde, 1965); *Skinnerella montijoae* sp. nov., se relaciona con especies descritas de rocas del Leonardiano de América Central y Sonora, México (Thompson and Miller, 1944; Dunbar, 1939; Pérez, 1992, 2002); *Parafusulina vachardi*, es similar a especies de Texas, EUA y América Central (Skinner, 1971; Dunbar, 1939); *P. buitron* Dunbar & Skinner, 1937ae sp. nov. se compara con especies descritas de Sonora (Dunbar, 1939). *Skinnerella diabloensis* Dunbar & Skinner, 1937 y *Paraskinnerella brooksensis* Ross, 1960 corresponden a especies originalmente descritas para rocas del Leonardiano de Texas, EUA (Dunbar and Skinner, 1937; Ross, 1960). Los fusulínidos presentes en esta área muestran una afinidad cercana en edad a las formas descritas en California y Texas, EUA, y representan la fauna de fusulínidos del área suroeste de Sonora.

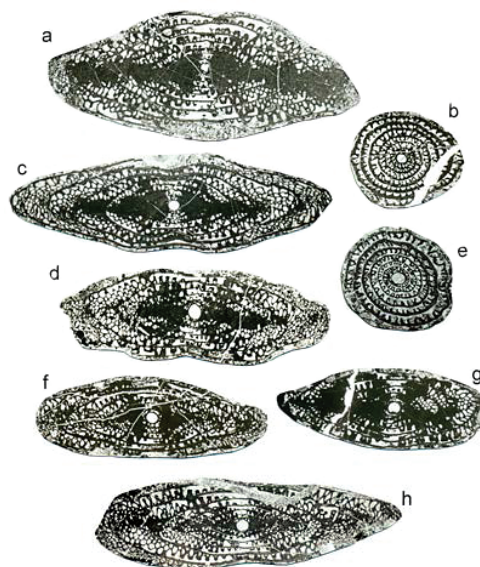
## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su profundo reconocimiento al personal Administrativo del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por su apoyo en el desarrollo de este trabajo y al Dr. Merlynd Nestell de la Universidad de Arlington en Texas, Estados Unidos por permitir el uso del laboratorio para llevar a cabo las secciones delgadas así como la consulta de bibliografía para la identificación de los fósiles.

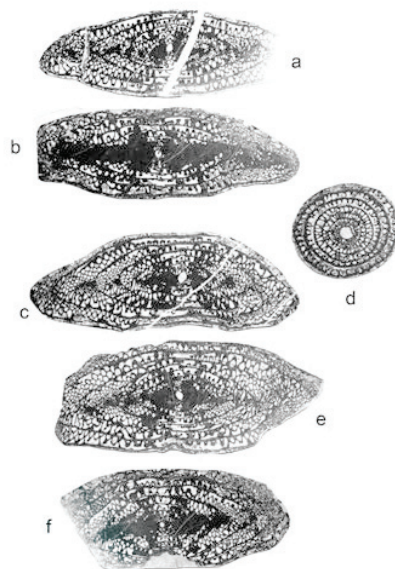
Se agradece al M. en C. Porfirio Sosa y al Geól. Juan Miguel Zúñiga por la edición del texto incluyendo las tablas y figuras; y al Geól. Jese Urrutia para llevar a cabo la orientación de los fusulínidos en sección delgada.

También se reconoce el apoyo financiero de los Proyectos CONACYT No. 3520, CONACYT No.165826, UNAM, DGAPA-PAPIIT No. 105012 y del Proyecto de Investigación para Cuerpos Académicos de la DCEN 2005.

Los autores agradecen las correcciones necesarias y revisión final del manuscrito a la Dra. Blanca E. Buitrón del Instituto de Geología, UNAM y al Dr. Daniel Vachard de la Universidad de Ciencias y Tecnologías de Lille, Francia.



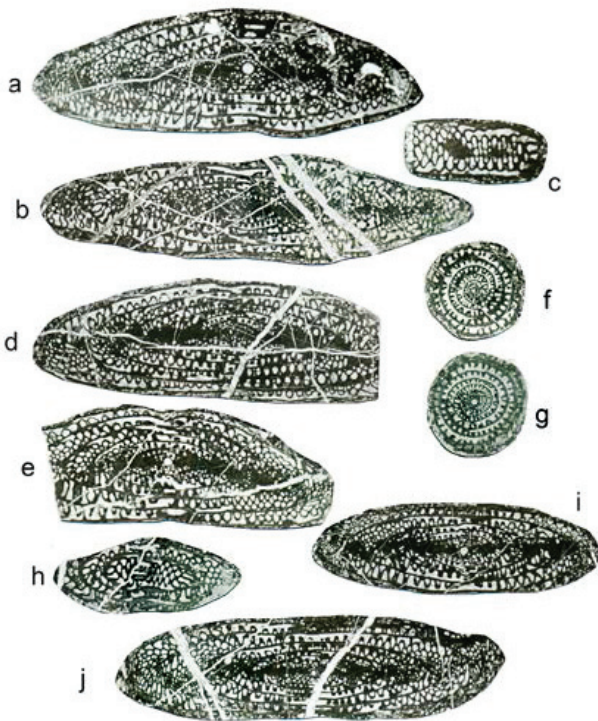
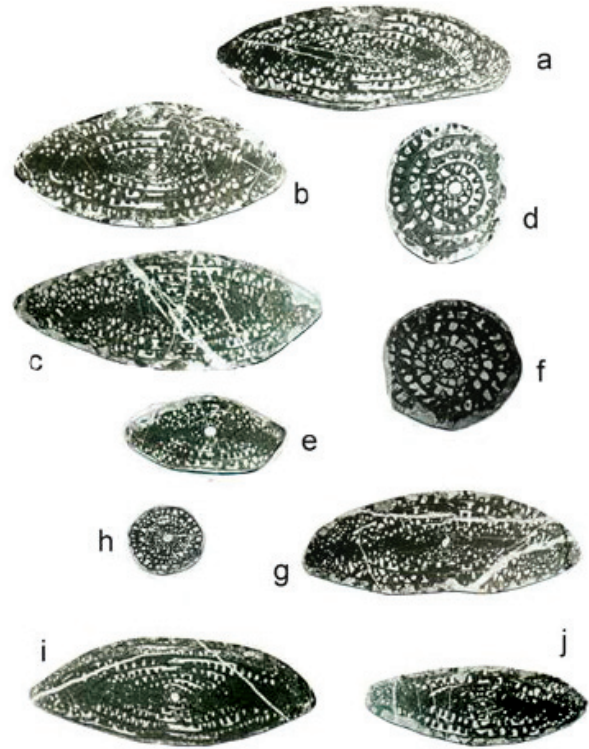
**Figura 2.** Fusulínidos de Cerro Prieto, centro oeste de Sonora (todas las figuras 10x). Localidad Yaqui H. a – h, *Skinnerella diabloensis* parte media del camino de terracería en la cantera. a. Sección longitudinal. Uni-Son 224 (1). b. Sección transversal. Uni-Son 225. c. Sección longitudinal. Uni-Son 226 (2). d. Sección longitudinal. Uni-Son 227 (3). e. Sección transversal Uni-Son 228. f. Sección longitudinal. Uni-Son 229. g. Localidad Yaqui O Sección longitudinal. Uni-Son 230. (4). h. Sección longitudinal. Uni-Son 231 (5).



**Figura 3.** Fusulínidos de Cerro Prieto oeste de Sonora (todas las figuras 10x). Localidad Yaqui H., a y b. Formas microesféricas (?) de *Skinnerella diabloensis* a. Sección longitudinal. Uni-Son 232 (1). b. Sección longitudinal. Uni-Son 233 (2). *S. montijoae* n.sp., c – f. c. Sección longitudinal. Uni-Son 234 (1). d. Sección transversal. Uni-Son 235. e. Holotipo. Sección longitudinal. Uni-Son 236 (2). f. Sección longitudinal. Uni-Son 237 (3).

**Figura 4.** Fusulínidos de Cerro Prieto oeste de Sonora y Sierra Santa Teresa (todas las figuras 10x). Localidad Yaqui C. Parte superior del camino de terracería a - j.

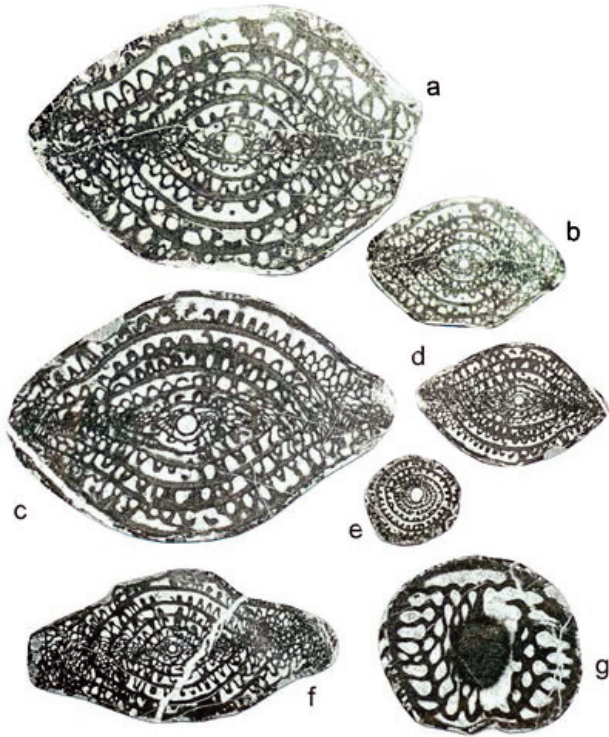
- a. *Para Skinnerella brooksensis*. Sección longitudinal Uni-Son 206. b. Sección longitudinal. Uni-Son 205. c. Localidad Yaqui M Sección longitudinal Uni-Son 256 (2). d. Sección transversal Uni-Son 257. e. Sección longitudinal Uni-Son 258 (6). f. Sección transversal Uni-Son 261. g. Sección longitudinal Uni-Son 260. h. Sección transversal, Unison 259. i. Sección longitudinal Localidad Santa Teresa 2 Uni-Son 208. j. Sección longitudinal Localidad Yaqui M 262 (3).



**Figura 5.** Fusulínidos de Cerro Prieto oeste de Sonora (todas las figuras 10x). Localidad Yaqui D. Parte superior del camino de terracería. a - f, *Parafusulina vachardi* nov. sp.

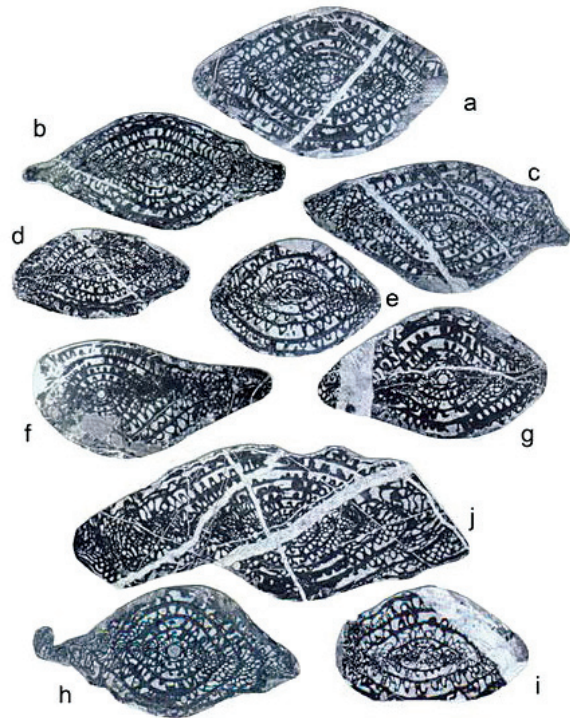
- a. Holotipo. Sección longitudinal Uni-Son 211 (1). b. Sección longitudinal (Uni-Son 212). c. Sección tangencial, mostrando cunículi Uni-Son 213. d. Sección longitudinal Uni-Son 214 (3). e. Sección longitudinal Uni-Son 215 (4). f. Sección transversal Uni-Son 216 (4).

- P. buitronae*, g - j, g. Holotipo. Sección longitudinal Uni-Son 217 (1). h. Sección transversal Uni-Son 218. i. Sección tangencial mostrando cunículi Uni-Son 219. j. Sección longitudinal Uni-Son 220.



**Figura 6.** Fusulínidos de Cerro Prieto oeste de Sonora Localidad Cantera 1 Cima del camino de terracería, a – g, *Cuniculinella yaquiensis* n.sp. a. Sección longitudinal 20x Uni-Son 276. b. mismo ejemplar (10x). c. Holotipo. Sección longitudinal 20x Uni-Son 277. d. mismo ejemplar (10x). e. Sección transversal Uni-Son 278. f. Sección longitudinal Uni-Son 279. g. Sección tangencial 20x Uni-Son 280.

**Figura 7.** Fusulínidos de Cerro Prieto oeste de Sonora (todas las figuras 10x). Localidad Yaqui O3, base del camino de terracería, a - j. *Cuniculinella yaquiensis* nov. sp. a. 3.9. sección longitudinal Uni-Son 287, 288 y 289. Localidad Yaqui O1, b. 5.8. sección longitudinal Uni-Son 290, 291 y 292. d. localidad Yaqui M parte media del camino de terracería. sección longitudinal, Uni-Son 293. f. Localidad Yaqui A parte superior del camino de terracería sección longitudinal Uni-Son 294. g. Localidad Yaqui O, base del camino Uni-Son 295 (3). 10. Localidad Yaqui A sección longitudinal Uni-Son 296. h y j, especies gerónicas (seniles).





especimen	vuelta #			radio vectorial									longitud media									altura de vuelta								
	L	D	Prol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yaqui H (1)	13.66	5.20	400	0.38	0.64	0.87	1.22	1.52	2.00	2.24	-	-	1.02	1.60	2.30	3.12	4.00	5.22	6.90	-	-	0.20	0.26	0.22	0.33	0.31	0.44	0.30	-	-
Yaqui H (2)	13.66	4.20	530	0.44	0.67	0.89	1.10	1.31	1.63	2.10	-	-	1.05	1.79	2.48	3.20	3.95	5.43	6.99	-	-	0.2	0.23	0.22	0.22	0.21	0.31	0.47	-	-
Yaqui H (3)	11.62	3.62	680	0.60	0.90	1.80	1.40	1.76	1.88	-	-	-	0.68	1.42	2.58	3.68	4.69	5.76	-	-	-	0.12	0.45	0.32	0.36	0.31	0.38	-	-	-
Yaqui H (4)	11.10	3.40	680	0.44	0.67	0.88	1.18	1.44	1.64	1.78	-	-	0.58	1.34	2.23	2.89	3.80	6.03	-	-	-	0.16	0.23	0.20	0.31	0.26	0.20	-	-	-
Yaqui H (5)	13.50	3.62	550	0.33	0.47	0.69	0.89	1.19	1.43	1.83	-	-	0.54	1.18	2.18	2.88	3.56	5.43	6.40	-	-	0.15	0.22	0.20	0.29	0.24	0.39	-	-	-
Yaqui O1	9.20	3.30	660	0.40	0.73	0.98	1.26	1.58	1.87	-	-	-	0.80	1.57	2.48	3.28	3.91	-	-	-	-	0.18	0.34	0.24	0.28	0.30	0.26	-	-	-
				conteo septal acumulativo									anchura del túnel									espesor de pared (espiroteca)								
Yaqui H (1)				9	18	23	27	33	39	43	45	-	0.32	0.58	0.76	1.06	1.36	1.70	-	-	-	0.020	0.060	0.040	0.080	0.100	0.120	0.080	-	-
Yaqui H (2)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	0.29	0.40	0.51	0.65	0.77	-	-	-	0.040	0.050	0.060	0.080	0.100	0.120	0.090	-	-
Yaqui H (3)				18	28	32	39	40	44	47	-	-	-	0.12	0.20	0.48	0.62	0.94	1.05	-	-	0.060	0.060	0.070	0.090	0.100	0.100	-	-	-
Yaqui H (4)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	0.54	0.75	0.93	1.16	-	-	0.050	0.040	0.060	0.090	0.090	0.120	-	-	-
Yaqui H (5)				15	26	28	32	38	-	-	-	-	-	0.21	0.34	0.50	0.65	0.80	-	-	-	0.020	0.030	0.040	0.060	0.050	0.100	0.120	-	-
Yaqui O1				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	0.32	0.70	0.91	-	-	-	0.020	0.020	0.040	0.060	0.080	0.080	-	-	-	
especimen	vuelta #			radio vectorial									longitud media									altura de vuelta								
	L	D	Prol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yaqui H (1)	10.30	3.84	230	0.40	0.58	0.82	1.12	1.40	1.64	-	-	-	0.90	1.44	2.00	2.98	3.88	4.58	5.64	-	-	0.18	0.18	0.22	0.30	0.29	0.27	-	-	-
Yaqui H (2)	11.50	4.10	300	0.32	0.60	0.69	0.94	1.17	1.48	1.66	-	-	0.84	1.48	2.10	3.28	4.28	5.56	5.96	-	-	0.09	0.18	0.18	0.26	0.20	0.31	0.45	-	-
				conteo septal acumulativo									anchura del túnel									espesor de pared (espiroteca)								
Yaqui H (1)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	0.36	0.54	0.78	1.08	1.28	1.64	-	-	0.010	0.020	0.020	0.040	0.060	0.100	-	-	-
Yaqui H (2)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.32	0.68	0.87	1.17	1.47	1.68	-	-	0.015	0.020	0.030	0.060	0.070	0.100	0.100	-	-

Tabla I. *Skinnerella diabloensis*

***Paraskinnerella brooksensis***

especimen	vuelta #			radio vectorial									longitud media									altura de vuelta								
	L	D	Prol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantera 1	7.50	3.20	280	0.20	0.28	0.42	0.58	0.80	1.06	1.36	1.58	-	0.22	0.48	0.80	1.18	1.76	2.54	3.30	4.12	-	0.06	0.08	0.16	0.18	0.22	0.26	0.32	0.2	-
Sta. Teresa 2	7.62	2.74	280	0.24	0.40	0.58	0.78	1.02	1.24	-	-	-	0.44	0.84	1.10	1.68	2.30	3.34	4.18	-	-	0.08	0.14	0.18	0.2	0.24	0.22	-	-	-
Yaqui C	7.82	2.64	180	0.18	0.20	0.44	0.70	1.00	1.24	-	-	-	0.40	0.66	1.04	1.72	2.42	2.98	3.94	-	-	0.09	0.12	0.12	0.20	0.30	0.24	-	-	-
Yaqui M (2)	7.96	2.80	300	0.20	0.22	0.32	0.44	0.52	0.66	0.80	1.10	-	0.43	0.66	0.84	1.22	1.68	2.28	3.18	3.90	-	0.06	0.02	0.08	0.12	0.08	0.14	0.14	0.30	-
Yaqui M (3)	6.10	2.10	110	0.08	0.12	0.24	0.38	0.56	0.90	-	-	-	0.40	0.52	1.02	1.54	2.70	3.06	-	-	-	0.06	0.04	0.10	0.13	0.18	0.36	-	-	-
Yaqui M (4)	8.40	3.20	340	0.26	0.40	0.56	0.74	0.96	1.18	1.36	-	-	0.42	0.70	1.06	1.62	2.28	3.10	3.60	-	-	0.02	0.16	0.14	0.18	0.20	0.23	0.17	-	-
Yaqui M (6)	4.50	2.00	340	0.22	0.30	0.42	0.61	0.82	1.09	-	-	-	0.44	0.80	1.06	1.56	2.12	2.44	-	-	-	0.02	0.16	0.14	0.18	0.20	0.23	0.17	-	-
				conteo septal acumulativo									anchura del túnel									espesor de pared (espiroteca)								
Cantera 1				-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.20	0.24	0.34	0.46	0.62	0.72	-	-	0.020	0.060	0.040	0.080	0.080	0.120	-	-	-
Sta. Teresa 2				-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.12	0.28	0.38	0.50	0.62	-	-	-	0.020	0.040	0.040	0.060	0.100	0.080	-	-	-
Yaqui C				7	12	20	28	39	45	-	-	-	-	-	-	0.06	0.21	0.36	0.48	0.68	-	0.010	0.010	0.015	0.020	0.050	0.080	0.080	-	-
Yaqui M (2)				8	19	34	50	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.020	0.020	0.030	0.040	0.080	0.080	-	-
Yaqui M (3)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.010	0.020	0.020	0.060	0.080	-	-	-
Yaqui M (4)				7	18	36	48	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.020	0.040	0.040	0.040	0.050	0.060	-	-	-
Yaqui M (6)				5	12	24	39	52	65	-	-	-	-	-	0.22	0.32	0.44	0.56	-	-	-	0.010	0.020	0.040	0.040	0.040	0.060	-	-	-

***Parafusulina buitronae* n. sp.**

especimen	vuelta #			radio vectorial									longitud media									altura de vuelta								
	L	D	Prol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yaqui D (1)	9.20	3.10	260	0.32	0.46	0.72	0.93	1.19	1.48	-	-	-	0.76	1.06	1.62	2.58	3.82	4.56	-	-	-	0.19	0.13	0.26	0.20	0.28	0.28	-	-	-
Yaqui D (2)	12.30	3.06	210	0.15	0.31	0.43	0.59	0.81	1.04	1.36	1.67	-	0.22	0.64	1.02	1.80	2.38	3.62	3.80	4.76	5.42	0.04	0.12	0.11	0.12	0.21	0.31	0.31	-	-
				conteo septal acumulativo									anchura del túnel									espesor de pared (espiroteca)								
Yaqui D (1)				7	18	24	32	45	52	59	-	-	-	-	0.08	0.20	0.38	0.52	-	-	-	0.015	0.020	0.040	0.050	0.080	0.100	-	-	-
Yaqui D (2)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.30	0.44	0.62	0.84	-	-	0.010	0.020	0.040	0.050	0.080	0.090	0.100	0.100	-

Tabla II. *Paraskinnerella brooksensis* y *Parafusulina buitronae* sp. nov.



LITERATURA CITADA

- Beede, J., Kniker, H., 1924, Species of the Genus *Schwagerina*, and their stratigraphic significance: University of Texas, Bulletin, núm. 2433, 96 p.
- Buitrón, B.E., Vachard, D., Almazán, E., Palafox, J.J., 2012, Una secuencia cratónica del Carbonífero al Pérmico Inferior en los cerros El Tule, noreste de Sonora, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(1), 39-62.
- Coogan, A., 1960, Stratigraphy and paleontology of the Permian Nosoni and Dekkas Formation (Bollibokka Group): California University Publications in Geological Sciences, 36 (5), 243-316.
- Dunbar, C., 1939, Permian fusulinids from Sonora: Geological Society Bull., 50, 1745-1760.
- Dunbar, C., Skinner, J.W., 1937, Permian Fusulinidae of Texas in: The Geology of Texas, vol. III, Part 2: The University of Texas Bulletin, 3701, 518-825.
- Eichwald, C.E. von, 1830, Zoologia specialis. Vilnae: D.E. Eichwaldus, 2, 1-323.
- Flügel, E., 1982, Microfacies Analysis of Limestones, Translated by Christenson, K.: Springer-Verlag, 633 pp.
- Flügel, E., 2004, Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application: Berlín, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 976 pp.
- Leven, E., 1997, Permian stratigraphy and fusulinida of Afghanistan with their Paleogeographic and Paleotectonic implications, Stevens, C. and Baars, D. (eds.) Shalashilina, T. translator: Boulder Colorado, Geological Society of America, Special Paper 316, 145 pp.
- Maginetti, R., Stevens, C., Stone, P., 1988, Early Permian Fusulinids from the Owens Valley Group, east central California: Geological Society of America, Special Paper 217, 61 pp.
- Loeblich, A., Tappan, H. 1964, Treatise on Invertebrate Paleontology, Protista, 1 y 2: Geological Society of America and University of Kansas Press, 900 pp.
- Miklukho-Maclay, A.D., 1953, K sistematike Archaediscidae: Ezhegodnik Vses. Paleont. Obshch., 14, 1948-1953.
- Noll, J.H., 1981, Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, Mexico Flagstaff, Arizona: Northern Arizona University, Tesis de Maestría, 165 pp.
- Peiffer, F., 1987, Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of Northeastern and central Sonora: Paris, France, Universidad de Paris, Tesis de Doctorado, 109 pp.
- Pérez-Ramos, O., 1992, Permian biostratigraphy and correlation between Southeast Arizona and Sonora: Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, 9 (2), 1-74.
- Pérez-Ramos, O., Nestell, M., 2002, Permian fusulinids from Cobachi, central Sonora, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 19 (1), 25-37.
- Ross, C., 1960, Fusulinids from de Hess Member of the Leonard Formation, Leonard Series (Permian) Glass Mountains, Texas: Cushman Foundation Foraminiferal Research, Contribution 11, 117-133.
- Ross, C., 1962, Fusulinids from the Leonard Formation (Permian), Western Glass Mountains, Texas: Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Contribution 13, 1-21.
- Ross, C., 1978, Permian fusulinaceans from the St. Elias Mountains, Yukon Territory: Contributions to Canadian Paleontology, Geological Survey of Canada, Bulletin, 267, 65-69.
- Ross, C., 1987, Leonard Series (Permian) Glass Mountains, West Texas, in Cromwell, D. & Mazullo, L. (eds.) The Leonardian Facies in west Texas and SE New Mexico and Guidebook to the Glass Mountains, west Texas: Permian Basin Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Publication, 87 (27), 25-33
- Ross, C., 1995, Permian fusulinaceans in Scholle, T., Perryt, O.(eds.), The Permian of northern Pangea, v.I, Paleogeography, Paleoclimates, Stratigraphy, Springer-Verlag, 167-185.
- Skinner, J.W., 1971, New Lower Permian fusulinids from Culberson County, Texas: University of Kansas Paleontological Contributions, Paper 53, 10 pp.

Fusulínidos del Pérmico de Cerro Prieto, Centro-Oeste de Sonora, México

- Skinner, J.W., Wilde, G., 1965, Permian biostratigraphy and Fusulinid faunas of the Shasta Lake area, northern California: University of Kansas Paleontological Contributions, Paper, Protozoa 6, 98 pp.
- Stevens, C. 1995, A giant Permian fusulinid from east-central Alaska with comparison of all giant fusulinids in western North America: Journal of Paleontology, 69 (5), 805-812.
- Stewart, J., 2005, Evidence for Mojave-Sonora megashear- Systematic left-lateral offset of Neoproterozoic to Lower Jurassic strata and facies, western, United States and northwestern Mexico: Geological Society of America Special Paper, 393, 209-231.
- Stewart, J., Poole, F., Ketner, K., Madrid, R., Roldán, J., Amaya, R., 1990, Tectonics and Stratigraphy of the Paleozoic and Triassic southern margin of North America, Sonora, Mexico, *in* Gherls, G. and Spencer, J. (eds.) The geologic excursions through the Sonoran Desert region, Arizona and Sonora: Arizona Geological Survey Special Paper, 7, 183-202.
- Stewart, J., Amaya, R. 1993, Stratigraphy and structure of Sierra Santa Teresa near Hermosillo, Sonora, Mexico: A preliminary Appraisal, *in* Roldán, J. and Salas, G. (eds.) III Simposio de la Geología de Sonora y áreas adyacentes, Instituto de Geología. Departamento de Geología, 118-119.
- Stewart, J., Amaya, R., Stamm, R., Wardlaw, B., Stanley, G., Stevens, C., 1997, Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in Sierra Santa Teresa, Sonora, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Special issue dedicated to the International Workshop on The Geology of northwestern Sonora, Mexico, 14, 115-135.
- Thompson, M., Miller, A., 1944, The Permian of southernmost Mexico and its fusulinid faunas: Journal of Paleontology, 18(6), 481-506.
- Thompson, M., Miller, A., 1949, Permian fusulinids and cephalopods from the vicinity of the Maracaibo Basin in northern South America: Journal of Paleontology, 23(1), 1-24.
- Vachard, D., Fourcade, E., Romero, J.E., Mendez, J., Cosillo, 1997, Foraminifères et Algues du Permien du Guatemala: Geobios, 30(6), 745-784.
- Vachard, D., Flores de Dios, A., Pantoja J., Buitrón, B.E., Arellano, J., Grajales, M., 2000, Les fusulines du Mexique, une revue biostratigraphique et paléogéographique: Geobios, 33 (6), 655-679.
- Von Möller, 1878, Die spiral-gewundenen Foraminiferen des russischen Kohelenkalks: Acad. Imper. Sci. St.-Petersbourg, Mém., ser.7, v.25, no. 9, 147 p., 15 pl., 6 fig.

# ICNOFÓSILES DE VERTEBRADOS TERRESTRES DEL CENOZOICO TARDÍO EN EL ÁREA DE "PIE DE VACA", TEPEXI DE RODRÍGUEZ, ESTADO DE PUEBLA

Miguel Angel Cabral Perdomo<sup>1,\*</sup>

## RESUMEN

En el área de Tepexi de Rodríguez, Estado de Puebla, existen cinco localidades portadoras de huellas fósiles de vertebrados terrestres. Estos icnofósiles se encuentran conservados en calizas lacustres de la Formación "Pie de Vaca", cuya edad ha sido estimada en cerca de 2 millones de años o en lo que se conoce como la transición Plioceno-Pleistoceno. En la zona se han registrado alrededor de 283 huellas y 14 rastros pertenecientes a cinco tipos de mamíferos y a dos tipos de aves. Asimismo, se han encontrado los tafoglifos del esqueleto completo de un flamenco y de dos huesos aislados, estos últimos pertenecientes también a aves. El análisis de las huellas y los rastros de mamíferos revela que los autores de estos fueron organismos típicos del Plioceno-Pleistoceno, como camélidos, felinos de gran talla, proboscídeos y artiodáctilos pequeños; por su parte, las huellas de aves indican la presencia de dos grupos: flamencos y aves zancudas del tipo de los carádridos.

Palabras clave: Icnita, huella, rastro, mamíferos, aves.

## ABSTRACT

In Tepexi de Rodríguez, State of Puebla five localities with fossil vertebrate tracks has been found. The ichnofossils are preserved in a lacustrine limestone from the Pie de Vaca Formation, wich age has been estimated as Plio-Plesitocene ( $\pm 2$  million years). 283 tracks and 14 trackways are known from the area, belonging to five different mammals and two birds. Also, there are three taphoglips: a complete skeleton of a flamingo and two isolated bird bones. The analysis of these tracks and traces shows that the authors were Plio-Plesitocene camelids, big felids, proboscideans and small artyodactils. The bird tracks were made by two diferent kind of animals: flamingos and caradrids.

Keywords: Footprints, trackway, mammals, birds.

<sup>1</sup> Museo de Paleontología,  
Área Académica de Biología,  
Universidad Autónoma del  
Estado de Hidalgo, Carretera  
Pachuca-Tulancingo km. 4-5,  
Pachuca, C. P. 42184, Hidalgo,  
México. Teléfono: (771)  
7172000, extensión 6712 y 6715;  
FAX: (771) 7172112

\*cabralma@uaeh.edu.mx

## INTRODUCCIÓN

El registro paleontológico de vertebrados de México es extenso, tanto en el tiempo como en la diversidad de formas que han sido reconocidas. Los fósiles de estos organismos son principalmente dientes y elementos óseos, aunque también se conocen otras evidencias, como piel, excrementos y pisadas. De estas últimas, aunque no son muy abundantes, el país cuenta con un registro importante en cuanto a diversidad taxonómica y distribución geográfica. De las huellas que se tienen registradas en el país, las que mejor se conocen son las de dinosaurios y aves, ya que son las que están mejor representadas, mientras que las icnitas de mamíferos sólo han sido encontradas en tres estados de la república: Jalisco, Coahuila y Puebla (Rodríguez-de la Rosa, 2004).

El municipio de Tepexi de Rodríguez en el Estado de Puebla es uno de los sitios mexicanos más importantes con huellas fósiles de vertebrados terrestres. En ésta zona se conocen una gran cantidad de pisadas de mamíferos de diferentes grupos, además de huellas de aves, algunas de las cuales son únicas en el mundo (Cabral-Perdomo, 1995).

## LOCALIDADES ICNOFOSILÍFERAS

El municipio de Tepexi de Rodríguez se localiza en el sur del Estado de Puebla, a unos 90 kilómetros al sureste de la capital del estado. Las huellas fósiles han sido encontradas en cinco localidades ubicadas en las inmediaciones de la cabecera municipal, en lo que se conoce como la zona paleontológica “Pie de Vaca” (Figura 1), nombre dado por los habitantes de la región a una de las localidades en donde existen una gran cantidad de huellas de camélidos, las cuales fueron confundidas con pisadas de bovinos.

Los fósiles aparecen en diferentes niveles de una secuencia de calizas lacustres, cuya edad tentativa ha sido asignada al Cenozoico Tardío, alrededor del límite entre el Plioceno y el Pleistoceno ( $\pm 2$  millones de años). Las rocas portadoras de los fósiles se originaron en lo que fue la orilla de un gran lago que existió en el área durante ese tiempo, en donde deambulaban los animales que vivían en el lugar, dejando marcadas sus pisadas.

De estos sitios, en el que se han encontrado el mayor número de huellas es el paraje conocido como “Pie de Vaca”, ubicado a tres kilómetros al noreste del centro de Tepexi de Rodríguez y a unos 300 m al

Sur del Museo Paleontológico de Sitio “Pie de Vaca” del Instituto de Geología de la UNAM. La localidad abarca una extensión aproximada de poco más de una hectárea y está delimitada por una cerca metálica. Dentro de ella, aflora una laja de caliza lacustre de alrededor de 190 metros cuadrados (Figura 2), en la que se pueden apreciar claramente pistas de camélidos, felinos, artiodáctilos pequeños y las impresiones del esqueleto de un flamenco y de dos huesos aislados.

Otra localidad icnofosilífera del área es la “Cantera Laja Blanca”, de la que se extrae ocasionalmente material para construcción. La cantera se encuentra a unos dos kilómetros al noroeste del Museo Pie de Vaca y en este sitio se han recolectado huellas de aves pequeñas y de un tipo de artiodáctilo pequeño.

A unos 250 metros al noroeste del Museo, sobre la barranca Agua Totol y a unos 50 metros de los nacimientos de agua que ahí se encuentran, se ubican otras dos localidades portadoras de huellas fósiles. La roca en la que aparecen los fósiles es una laja de caliza lacustre, en la que se pueden apreciar con claridad seis icnitas de artiodáctilos pequeños, 11 de felinos y lo que podrían ser siete huellas de camélidos (Figura 3). En estas localidades no es fácil distinguir los rastros de los animales debido a que la superficie está muy alterada, pero algunas de las improntas son muy claras, especialmente las de felinos, antílopes y de un ave palmípeda.

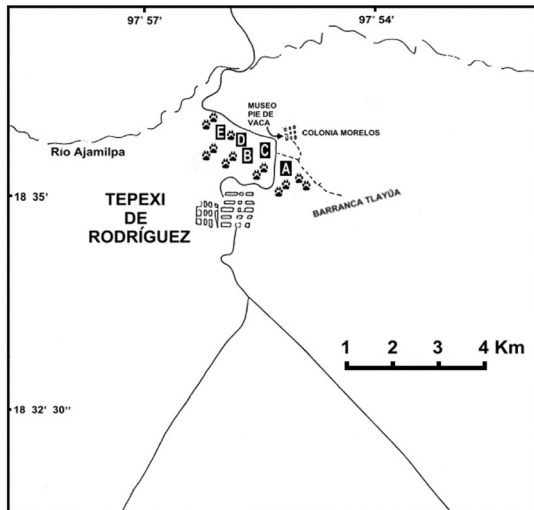
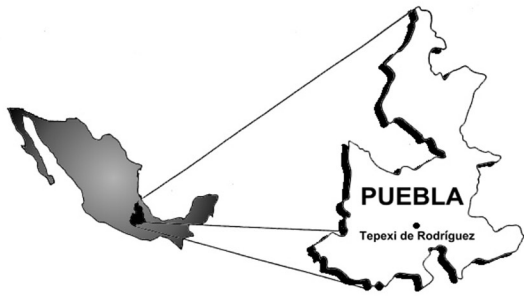
Por último, la localidad “Pochote-Elefante” se encuentra a 100 metros al noroeste del Museo de sitio y en ella se aprecia el rastro dejado por un proboscideo, el cual consta de seis huellas no muy bien preservadas.

## LAS HUELLAS FÓSILES DE TEPEXI DE RODRÍGUEZ

Hasta ahora, en Tepexi de Rodríguez se han identificado siete tipos diferentes de iconofósiles:

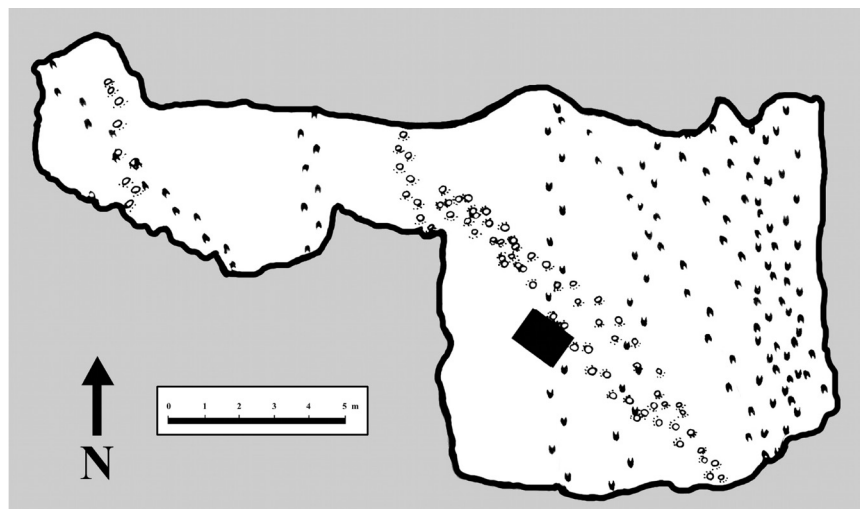
TIPO 1: Icnitas de Aves palmípedas (Figura 4e).

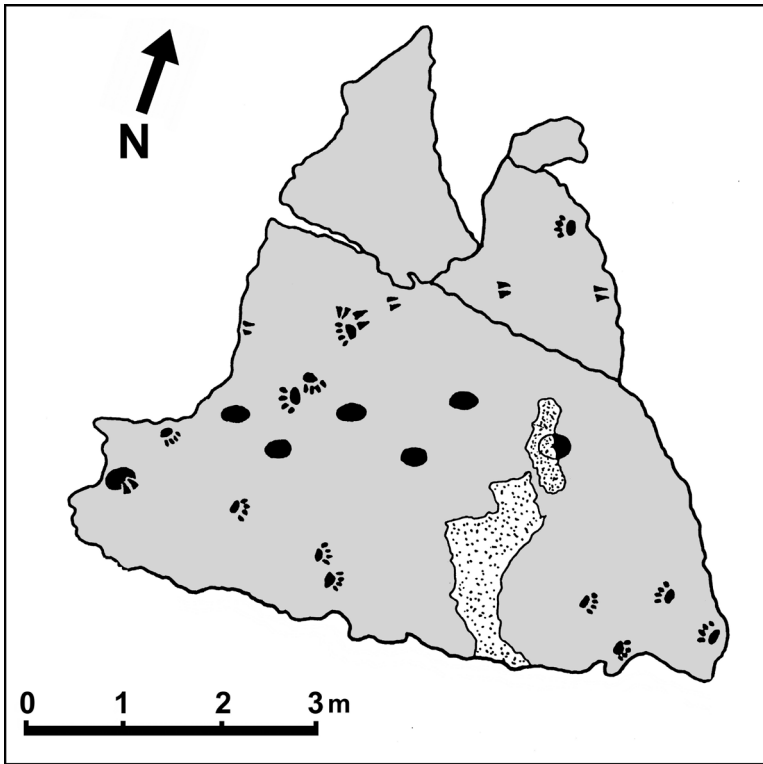
Estas huellas son tridáctilas, con membrana interdigital y hallux, y pudieron ser dejadas por un ave de talla grande. Las huellas no están bien preservadas, pues no se aprecian los cojinetes de los dedos ni marcas de uñas. La presencia de la membrana interdigital y el tamaño de las icnitas, hacen suponer que se tratan de pisadas de aves del tipo de los flamencos. Esta idea se basa también en el parecido de las huellas poblanas



**Figura 1.-** Mapa de localización de las localidades icnofosilíferas en el área de Tepexi de Rodríguez, Puebla. A = Pie de Vaca; B = Agua Totol 1; C = Agua Totol 2; D = Pochote-Elefante, y E = Cantera Laja Blanca.

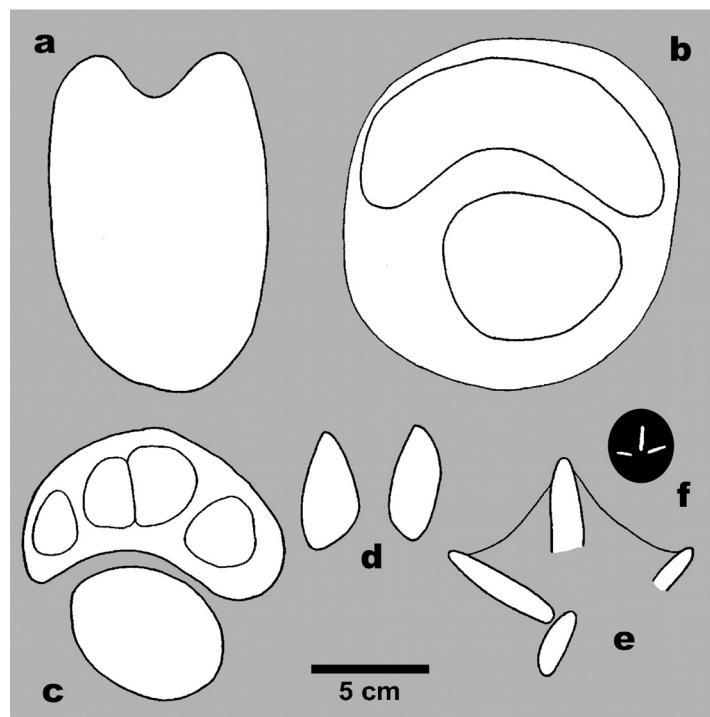
**Figura 2.-** Mapa de la localidad Pie de Vaca en donde se indican los rastros de camélidos (en negro) y los de felinos (en blanco). El rectángulo negro que se aprecia hacia el centro del afloramiento, representa el lugar en donde se encontró el tafoglifo de flamenco.





**Figura 3.-** Mapa de la localidad Agua Totol 2, en donde se indican las huellas de artiodáctilos y felinos.

**Figura 4.-** Esquemas de algunas de las huellas fósiles encontradas en el área de Tepexi de Rodríguez, todas a la misma escala. a = camélido; b y c = felinos; d = artiodáctilo pequeño; e = ave palmípeda, posiblemente un flamenco, y f = ave pequeña, posiblemente un caradriforme.





con unos icnofósiles reportados para el Pleistoceno Superior de Argentina (Aramayo y de Bianco, 1987).

**TIPO 2:** Icnitas de Aves pequeñas (Figura 4f): Estos fósiles también son tridáctilos y fueron dejadas por aves de talla pequeña, posiblemente de extremidades delgadas y largas. Las marcas de los dedos son muy largas y delgadas y los ángulos que forman los dedos II y IV con el dedo III son muy pronunciados. Estas características hacen que se parezcan a las de los carádridos que viven a las orillas de lagos y mares.

**TIPO 3:** Icnitas de Félidos (dos formas diferentes): En la localidad Pie de Vaca se encuentran tres rastros de huellas de forma subcircular (Figura 4b), que en la parte posterior presentan claramente un cojinete plantar de forma más o menos subtriangular, en ocasiones muy profundo y, en la parte anterior, presentan una depresión menos marcada en forma de luna creciente; esta depresión se encuentra en la parte de la pisada en donde se marcan los dedos en una huella de mamífero digitígrado actual, del tipo de los felinos. Además, no se observan marcas de garras, lo que refuerza la idea de que fueron dejadas por felinos. Los cálculos de la longitud de las extremidades (entre 65 a 72.5 cm de altura a la cintura) y de la distancia glenoacetabular (longitud del hombro a la cadera) en los tres rastros que se conocen, indican que fueron dejados por felinos de gran talla parecidos a los leones africanos actuales (*Panthera leo*). En el registro fósil de Norteamérica sólo se conocen felinos de estas dimensiones en el Pleistoceno tardío, con el león americano (*Panthera atrox*) como el más grande y el mejor representante. Los grandes felinos apuñaladores o tigres dientes de sable (*Smilodon californicus* y *Smilodon fatalis*), no llegaron a alcanzar estas tallas, pues al ser cazadores emboscadores, tenían los miembros más cortos y robustos que los felinos no-apuñaladores (Merriam, 1932). De hecho, los leones tienen las manos del mismo tamaño que los pies, mientras que en los felinos dientes de sable, las manos eran más pequeñas que los pies, pues estos animales dependían en gran medida del salto para poder atrapar a sus presas, por lo que los miembros posteriores eran más robustos que los anteriores, dando como resultado un animal de menor alzada que los felinos que dependen de la carrera para cazar, como es el caso de los leones. Esto se puede ver en los actuales jaguares (*Panthera onca*) y leopardos (*Panthera pardus*), los cuales tienen hábitos emboscadores y sus miembros posteriores son más cortos, en proporción al tamaño de su cuerpo, que los de las otras especies del género *Panthera* (Rodríguez de la Fuente, 1994; Martin, 1980; Cagnolaro, 1974).

Uno de los tres rastros presentes en Pie de Vaca (Figura 5) es de particular interés, ya que se trata de un animal que se desplazaba en una dirección determinada a un paso moderado, cuando súbitamente, incrementó su velocidad, giró sobre sus pasos y regresó por la dirección en la que se desplazaba, sólo que a un paso más veloz.

Otro de los rastros es muy irregular, posiblemente porque el animal cambió de paso en ese instante, de caminar a trotar o a galopar.

Un segundo tipo de huellas de felinos son las que se encuentran en la localidad Agua Totol 2 (Figura 4c). Estas icnitas son digitígradas, de forma subcircular, atribuidas a un felino de talla de mediana a grande. Los cojinetes plantar y digitales están bien marcados y diferenciados. No hay marcas de garras y las huellas no se encuentran formando rastros.

**TIPO 4:** Icnitas de Proboscídeos: Estas huellas son de forma casi circular, atribuidas a un proboscídeo de talla mediana. En algunas de las pisadas se pueden reconocer las marcas de las uñas. Las huellas están muy mal preservadas, por lo que no se asignan a un género en particular. El rastro que forman estas huellas comprende seis marcas con las que se pudo estimar una distancia glenoacetabular de alrededor de 1.70 metros y un tipo de locomoción típico de los proboscídeos conocido como amblaje. La forma y dimensiones de las huellas son semejantes a las de los actuales elefantes asiáticos, por lo que se puede especular que este rastro fue dejado por un animal del tipo de los mastodontes.

**TIPO 5:** Icnitas de Camélidos (Figura 4a): Estas huellas son de forma subovalada, con marcas de dos uñas separadas en la parte anterior, referidas a un camélido de talla mediana, como las actuales llamas y guanacos. En la localidad Pie de Vaca existen 150 de estas huellas, repartidas en 9 rastros producto del desplazamiento de diferentes individuos de la misma talla en varias direcciones. En todos los rastros, el largo de la pierna a la cintura es de 70 a 75 centímetros y las distancias glenoacetabulares son de 1.25 a 1.29 metros, con lo que se puede inferir que eran organismos de aproximadamente la misma talla de las llamas actuales (género *Lama*).

Por otro lado, el tipo de locomoción de los organismos en ese preciso instante, era un galope transversal, pues los pasos se encuentran bien distanciados y se puede ver un patrón de alternancia de los miembros anteriores y posteriores. Por otro lado, las grandes zancadas que se pueden ver son también indi-

cio de una marcha apresurada más que de un caminar normal.

**TIPO 6:** Icnitas de Artiodáctilos pequeños (Figura 4d): Estas huellas son de forma subtriangular, con la marca de la pezuña claramente unguilgrada, referidas a artiodáctilos de talla pequeña a mediana, que podrían pertenecer a venados o a berrendos. Sólo se conoce un rastro de este tipo que consta de ocho icnitas y se encuentra en la localidad “Pie de Vaca”. En los artiodáctilos unguilados, no se puede estimar el largo de la extremidad a partir del largo de la huella, ya que esta proporción varía en las diferentes familias del Suborden Ruminantia; sin embargo, se pueden atribuir estas icnitas a un unguilado de las familias Cervidae o Antilocapridae, que son los dos grupos cuyas huellas tienen estas características y de los cuales se tiene registro en el Cenozoico Superior de Norteamérica.

En este rastro las zancadas son muy dispares, y puede deberse a que el sistema de locomoción de los cérvidos y los antilocápridos es un galope transversal típico, en el que se presenta esta diferencia de zancadas. Por otro lado, la distancia glenoacetabular estimada representa a un animal con un tronco de 74.7 centímetros de longitud, lo cual concuerda con la asignación de estas huellas a un rumiante pequeño o mediano.

Este mismo tipo de huellas se encuentran en la localidad Agua Total 2, aunque no forman un rastro claro y definido.

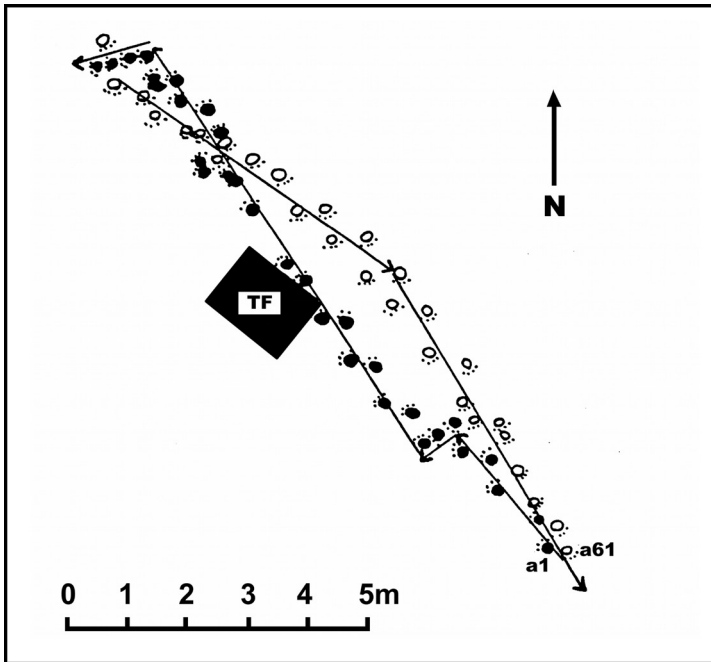
**TIPO 7:** Tafoglifos: Un tafoglifo es la impresión a manera de huella del cadáver de un animal. En la localidad “Pie de Vaca” se conocen los tafoglifos de dos huesos aislados y uno del esqueleto de un flamenco (Figura 6), siendo este último el más importante, debido a que se trata de una rareza paleontológica (Cabral Perdomo, 1995; Lockley, 1991). La impresión del esqueleto del flamenco comprende el cráneo en su vista lateral izquierda, las cuatro extremidades, al menos un elemento clavicular, parte de la columna vertebral y lo que parece ser la cintura pélvica. El cráneo se encuentra articulado con la región cervical de la columna vertebral y las extremidades están articuladas casi por completo, aunque la región distal de los brazos, no se aprecia claramente. Uno de los pies está dentro de una huella de camélido, y tampoco se puede apreciar claramente. Por su parte, los dos huesos aislados, son semejantes a los observados en el flamenco, pero podrían haber pertenecido a otro individuo.

## CONCLUSIÓN

En la zona paleontológica de Tepexi de Rodríguez, Puebla, las rocas del Cenozoico Tardío que afloran, representan un sistema fluvio-lacustre en el que se conservaron los restos esqueléticos de muchos tipos de mamíferos, así como sus huellas y las de dos tipos de aves.

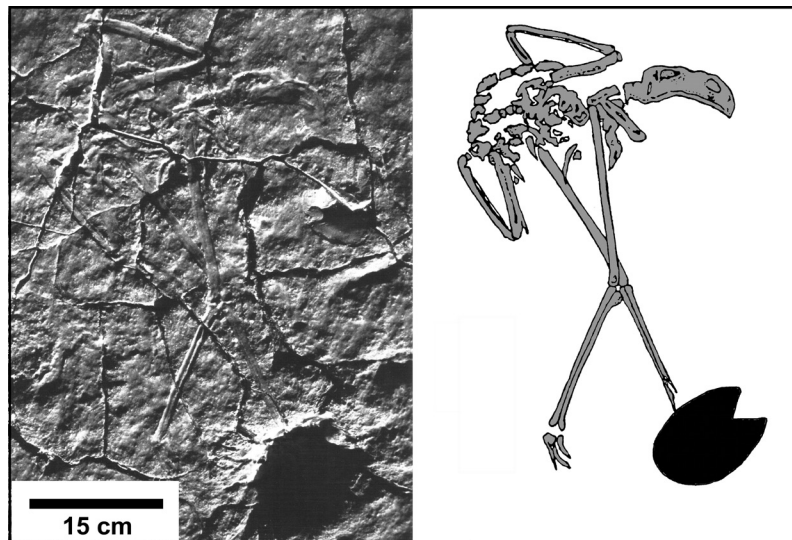
La principal importancia que tienen los estudios icnológicos y paleobiológicos de los icnofósiles de vertebrados de esta área, es que permiten conocer a ciertos organismos de los que no se tienen evidencias fósiles de sus esqueletos; también permiten reconstruir escenas del pasado que de otra forma sería imposible. Además, mediante la caracterización detallada de los diferentes icnofósiles que se conocen en el área, se pudo realizar una comparación con las faunas que se conocen del Plioceno y del Pleistoceno. La información obtenida de las huellas de camélidos, artiodáctilos pequeños, proboscideos y aves, no arroja mucha información sobre la edad, ya que tanto en el Plioceno como en el Pleistoceno, existieron organismos con las dimensiones que se estimaron en esos icnofósiles. A pesar de que las huellas no pueden ser empleadas para datar indirectamente un cuerpo de roca, el análisis de las icnitas de felinos de ésta área reveló que las huellas fueron dejadas por animales de tallas muy grandes, los cuales son propios del Pleistoceno Superior; durante el Plioceno, las tallas máximas que alcanzaron los felinos eran más o menos las de un puma actual (Puma concolor).

Por otro lado, la icnofauna de la formación Pie de Vaca arroja varias ideas sobre las posibles condiciones que predominaron cuando fueron dejadas las icnitas: las localidades en donde se han encontrado huellas, representan la playa de un gran lago que se extendía por la región; esta idea se refuerza por la presencia de flamencos en el área, organismos que en la actualidad suelen habitar en las orillas de lagos. Además, el paisaje que rodeaba al lago debió haber sido una área abierta y con vegetación no muy exuberante, hábitat en donde convivían camélidos del tipo de las actuales llamas y felinos parecidos a *Panthera atrox*. Estos carnívoros tenían hábitos más parecidos a los del actual león africano (Merriam, 1932), que a los de los tigres asiáticos (*P. tigris*). Los leones actuales viven en las sabanas y se especializan en la cacería de animales corredores (gacelas, antílopes pequeños, ñúes, búfalos, entre otros), los cuales viven también en zonas abiertas, por lo que los leones dependen de la velocidad y del trabajo de equipo para matar a su presa; la anatomía de estos animales es muy diferente a la de los fe-



**Figura 5.-** Raстро de un felino de la localidad Pie de Vaca. a1 = primera huella de la pista; a61 = última huella de la pista; TF = tafoglifo de flamenco. Las huellas en negro corresponden a la dirección noroeste que seguía el organismo hasta que giró, regresando en una dirección sureste.

**Figura 6.-** Fotografía (izquierda) y dibujo (derecha) del tafoglifo de flamenco pisado por un camélido, de la localidad Pie de Vaca.



linos que viven en zonas boscosas o selváticas (como *Panthera tigris* y *Panthera onca*), pues estos últimos dependen de la emboscada para capturar su comida.

La correcta interpretación de los iconofósiles y sus rastros permite reconstruir un fragmento de la historia del animal que las dejó y del ambiente en el que se desarrolló ese evento. Observando cuidadosamente las marcas de la actividad del animal, se pueden inferirse un buen número de detalles sobre el comportamiento del mismo. De esta manera, los iconofósiles se pueden “leer” y permiten relatar un suceso ocurrido en el pasado.

## LITERATURA CITADA

Aramayo, S. A., de Bianco, T. M., 1987, Hallazgo de una icnofauna continental (Pleistoceno Tardío) en la localidad de Pehuen-co (Partido de Coronel Rosales), Provincia de Buenos Aires, Argentina. Parte II: Carnivora, Artiodactyla y Aves, en IV Congreso Latinoamericano de Paleontología, Vol I, Bolivia, 532-547.

Cabral Perdomo, M. A., 1995, Los iconofósiles de vertebrados terrestres del Terciario Tardío del área de Tepexi de Rodríguez, Estado de Puebla: Univ. Nal. Autón. de México, Fac. de Ciencias, Tesis Profesional, 118 pp.

Cagnolaro, L., 1974, Mamíferos, en Enciclopedia Monográfica de Ciencias Naturales, Madrid, Aguilar S. A. de Ediciones, 209-451.

Lockley, M., 1991, Tracking dinosaurs: New York, Cambridge University Press, 234 p.

Martin, L. D., 1980, Functional morphology and the evolution of cats: Transactions of the Nebraska Academy of Science, (8), 141-154.

Merriam, J. C., 1932, The Felidae of Rancho La Brea: Carnegie Institution of Washington, 231 p.

Rodríguez de la Fuente, F., 1994, Enciclopedia Salvat de la fauna: Barcelona, Salvat Editores S. A.

Rodríguez-de la Rosa, R. A., 2004, The fossil record of vertebrate tracks in Mexico: Ichnos, (11), 27-37.

# LA PALEOICTIOLOGÍA EN MÉXICO

Katia A. González-Rodríguez<sup>1,\*</sup>

## RESUMEN

La paleoictiología es una rama de la paleontología que se encarga del estudio de los peces que vivieron en el pasado. México contiene una gran diversidad de paleoictiofauna que ha sido encontrada en depósitos de edades desde el Paleozoico hasta el Pleistoceno; sin embargo, las localidades cretácicas y terciarias son las mejor representadas. El estudio formal de esta fauna comenzó a mediados del siglo pasado, aunque desde el siglo XIX, se habían dado los primeros reportes de peces fósiles en México. Las cálidas aguas someras del Mar de Tethys, que cubrió nuestro país durante el Cretácico, permitieron la diversificación de fauna marina. El reemplazo de los peces neopterigios primitivos por los peces avanzados; así como la radiación de los teleósteos, que ocurrió durante el Cretácico, se ven reflejados en el número y tipo de familias de peces que se encuentran en varias localidades de México. La excelente preservación que presentan los peces de algunas localidades como la Cantera Tlayúa, ha permitido realizar estudios paleobiológicos y paleoecológicos que aportan mayor información de su vida en el pasado.

Palabras clave: Mesozoico, Cretácico, Terciario, neopterigios, teleósteos, Mar de Tethys

## ABSTRACT

Paleoichthyology studies fishes that lived in the past. México presents a great diversity of paleoichthyofauna found in deposits coming from the Paleozoic to the Pleistocene. Nevertheless Cretaceous and Tertiary localities are the most abundant. The study of fossil fishes began during the 19<sup>th</sup> Century but in the last half of the 20<sup>th</sup> Century the studies were increased. The warm shallow waters of the Tethys Ocean covering our country during the Cretaceous produced a great diversity of marine fauna. The replacement of primitive neopterygians by advanced fishes and a great radiation of teleost fishes, which began at the end of the Cretaceous, are shown in various Mexican deposits. The excellent preservation of fishes in some localities such as the Tlayúa Quarry allows to perform paleobiological and paleoecological studies that may reveal some aspects of fish life in the past.

Keywords: Mesozoic, Cretaceous, Tertiary, neopterygians, teleosts, Tethys Ocean.

<sup>1</sup> Museo de Paleontología,  
Centro de Investigaciones  
Biológicas, ICBI, Universidad  
Autónoma del Estado de  
Hidalgo. Ciudad Universitaria,  
Km 4.5 Carretera Pachuca-  
Tulancingo, Pachuca, Hidalgo, C.  
P. 42184.

\*katiaag@uaeh.edu.mx

## INTRODUCCIÓN

La paleoictiología es una rama de la paleontología que se encarga del estudio de los peces que vivieron en el pasado. En México el término es poco conocido y menos aún son los investigadores que se dedican a la revisión taxonómica y sistemática de esta fauna que ha habitado nuestro territorio desde hace millones de años.

Para comprender la presencia de peces fosilizados en lugares del país donde no existen cuerpos de agua en la actualidad, es necesario resaltar que la configuración de los continentes ha cambiado a través del tiempo geológico. Durante gran parte de la Era Mesozoica, entre los 150 y 60 millones de años, México estuvo casi totalmente cubierto por mares cálidos de diferentes profundidades, dejando solo algunas islas al descubierto (López-Ramos, 1981). La ruptura de la Pangea, una gran masa continental, en la cual se encontraba incluido nuestro territorio, comenzó hace 200 millones de años. Con la fragmentación de este super-continente, aunado al desplazamiento de dos grandes masas (Laurasia y Gondwana) resultantes de la ruptura, se comenzó a formar un mar interior a nivel de lo que representaba la zona tropical del planeta (figura 1). Este océano, denominado Mar de Tethys, que se fue abriendo del este hacia el oeste, a través Europa y del primitivo océano Atlántico, prevaleció en nuestro territorio y albergó gran diversidad de especies marinas tanto de invertebrados como de vertebrados, muchas de las cuales están representadas en localidades fosilíferas de la República Mexicana.

Más adelante, en el Terciario, cuando el territorio mexicano ya tenía la actual configuración, se formaron numerosos cuerpos de agua dulce en el continente. Estos lagos, en ocasiones quedaron aislados debido a eventos tectónicos y volcánicos que iniciaron desde el Cretácico. La fragmentación del hábitat originó el aislamiento de los peces y en consecuencia una gran especiación y endemismo. Muchas de estas especies dulceacuícolas existen en la actualidad y otras ya extintas, quedaron preservadas en depósitos terciarios del país.

## LOCALIDADES CON PECES FÓSILES

Con base en la evidencia presente en los cuerpos de roca de México, los geólogos y paleontólogos se han dado a la tarea de buscar sitios fosilíferos que muestren esta diversidad marina. Así es como hace más de un siglo, algunos geólogos extranjeros descubrieron

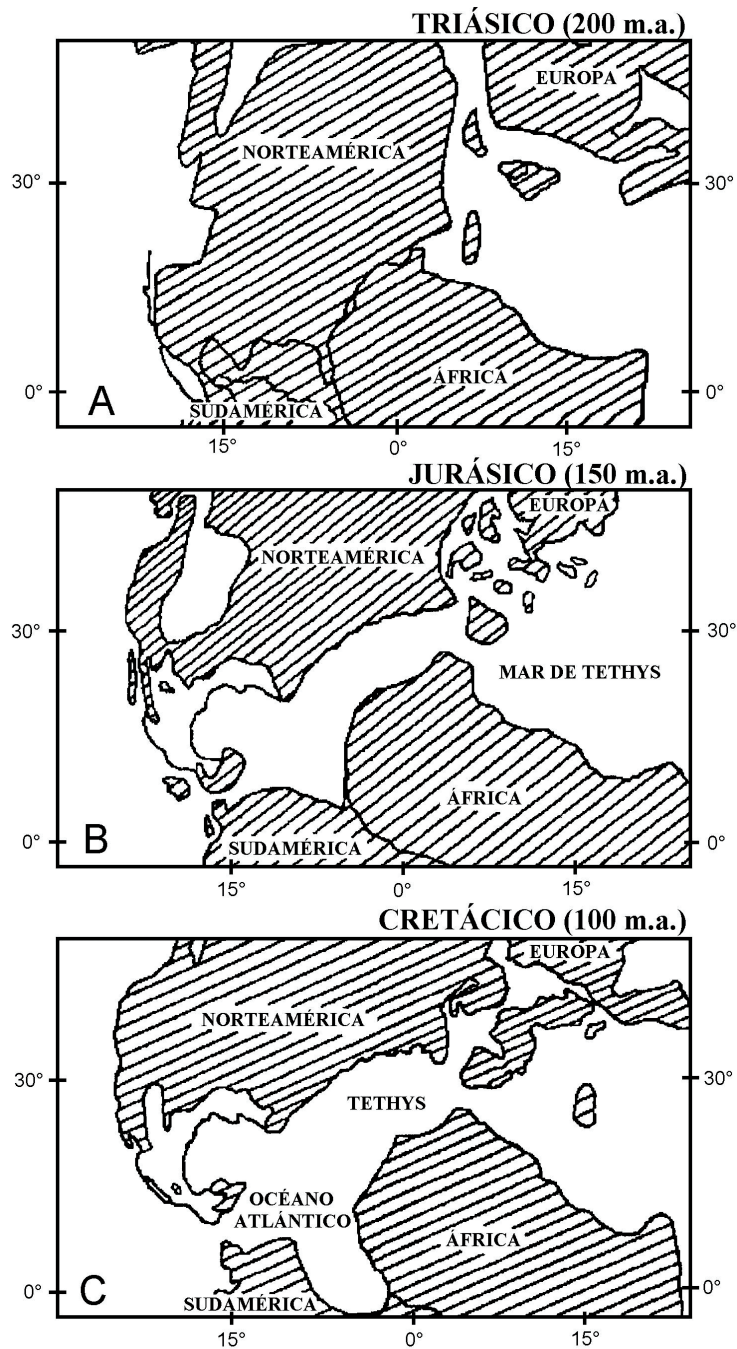
los primeros peces fósiles de México. En 1840 von Meyer encontró un diente de tiburón, denominado *Carcharodon mexicanus* el cual fue recolectado en Michoacán y es el primer pez fósil descrito en México. Cope en 1872, describió a *Primnetes longiventer*, que representa el primer registro de pez óseo mexicano. Otros descubrimientos fueron hechos por varios investigadores nacionales y extranjeros, como Félix, Aguilera, Böse, Villada, Müllerried, entre otros.

A mediados del siglo xx, Maldonado-Koerdell (1948a, 1948b, 1949, 1956) con la publicación de sus catálogos de peces fósiles de México y Dunkle y Maldonado-Koerdell (1953) dieron un gran impulso a la paleoictiología del país. En las restantes décadas numerosos paleontólogos extranjeros se dedicaron a recolectar y estudiar tiburones y rayas principalmente de la península de Baja California, y algunos otros investigadores, realizaron estudios con los peces dulceacuícolas de México; sin embargo, la escuela de paleoictiólogos, que existe en la actualidad en México, se formó bajo la asesoría del Dr. Shelton P. Applegate, a partir de su llegada a nuestro país a finales de los setenta.

Uno de los estados que ha tenido mayor atención por parte de los paleoictiólogos, dedicados al estudio de peces de agua dulce, es el estado de Jalisco, donde se han encontrado algunas localidades fosilíferas del Pleistoceno. En Chapala, Zacoalco y Santa Rosalía, se recolectaron fósiles de ictalúridos, aterínidos y ciprínidos (Álvarez, 1974) y en 1972, Álvarez y Arriola describieron el primer godeido pliocénico de Jalisco. Otros sitios donde se reportan peces dulceacuícolas incluyen: el Estado de México, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz y Sonora.

Los peces marinos, se encuentran ampliamente representados en localidades del Cretácico y Terciario. Los registros más antiguos de peces marinos se tienen en localidades paleozoicas de los estados de Chihuahua, Coahuila y Puebla, donde se reportan dientes de tiburón de la especie *Helicoprion mexicanus*. Hasta ahora solo existe un registro real de peces jurásicos, con una edad aproximada de 150 millones de años. Estos peces se encontraron en Tamán, San Luis Potosí y comprenden al menos dos especies diferentes de peces óseos (Dunkle y Maldonado-Koerdell, 1953).

Baja California Norte y Sur contienen numerosas localidades terciarias donde se han recolectado principalmente tiburones y rayas, aunque también los peces óseos están representados por fragmentos de hueso y escamas aisladas. En Michoacán, Veracruz, Tamaulipas, Tabasco y Chiapas, asimismo se han reportado



**Figura 1.** Configuración de los continentes durante el Mesozoico. **A** Pangea; **B** Separación de la Pangea y formación del Mar de Tethys; **C** Mares del Cretácico que permitieron la diversificación de fauna marina en México. Las zonas marcadas con líneas indican las tierras emergidas (Modificado de González-Rodríguez y Reynoso-Rosales, 2004).

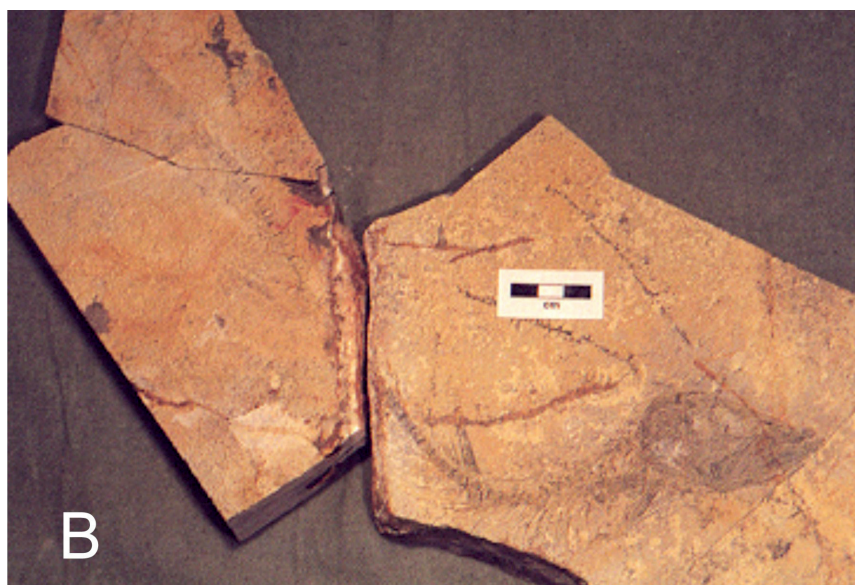
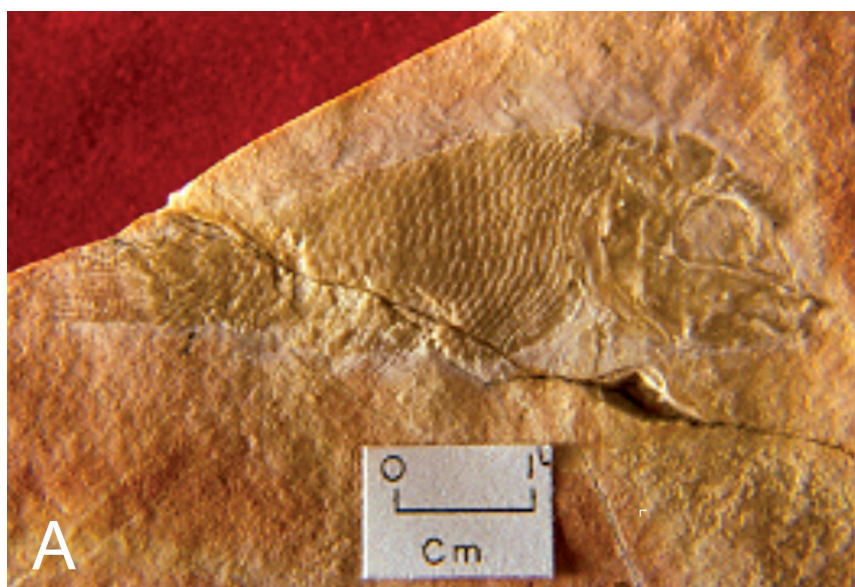
peces terciarios pero no son tan abundantes como los de Baja California. El gran potencial de las localidades de Baja California Norte y Sur ha sido estudiado por varios investigadores nacionales y extranjeros y en los últimos años destacan Applegate, Durham, Espinosa-Arrubarrena, Aranda-Manteca y González-Barba, en otros (Alvarado-Ortega *et al.*, 2006).

## PECES CRETÁDICOS DE MÉXICO

El Cretácico es uno de los períodos geológicos mejor representados en el registro fósil de todo el mundo. Durante este tiempo existió gran actividad volcánica que produjo interacciones entre placas oceánicas y continentales provocando cambios significativos, y

los mares poco profundos se extendieron a través de los continentes recién formados. Las condiciones paleogeográficas y paleoambientales que prevalecieron durante el Cretácico a nivel mundial, permitieron la abundancia y diversificación de los organismos marinos y ocurre el reemplazo de los “holósteos” (peces neopterigios primitivos) por los teleósteos (peces neopterigios avanzados), como grupo dominante (figura 2). La mayoría de los neopterigios primitivos desaparecen antes del Cretácico Tardío y solo los peces picnodontes continúan floreciendo (Romer, 1974).

En México existen muchos sitios donde han sido recolectados peces cretácicos, e incluyen: Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Chiapas.



**Figura 2. A** *Notagogus novomundi* (IGM-8173) es un representante de la familia Macrosemiidae, registrada por primera vez en América en la localidad Cantera Tlayúa de Puebla (Albiano). En el ejemplar se observa la forma típica romboide y brillante de las escamas de los peces primitivos. **B** *Enchodus* sp. (UAHMP-679) de la Cantera Muhi, Hidalgo fue un pez teleósteo depredador, muy abundante en los mares del Cretácico Tardío.



Algunas de estas localidades son poco conocidas y otras como la Cantera Tlayúa en Puebla (Albiano), la Cantera Muhi en Hidalgo (Albiano-Cenomaniano), la cantera de Vallecillos en Nuevo León (Turoniano), la cantera El Espinal en Chiapas (Aptiano-Albiano), Arroyo Las Bocas, Guerrero, Múzquiz y Cerro del Pueblo, Coahuila, presentan una amplia diversidad y son objeto de estudio en actualidad.

La Cantera Tlayúa con una antigüedad aproximada de 105 millones de años, es una de las localidades más importantes del país por la diversidad y abundancia de grupos presentes; asimismo, en ella se exhibe de manera evidente, la gran radiación de los peces teleósteos y el reemplazo de los peces primitivos “holósteos” que se dio a mediados del Cretácico. El número de familias de “holósteos” es inferior al de las familias de teleósteos. Existen cinco familias de peces primitivos contra alrededor de nueve familias de peces avanzados y en ellas el número de ejemplares es equivalente. Dentro de los neopterigios primitivos de Tlayúa, los semionótidos, picnodontos, macrosémidos, ophiópsidos y ionoscópidos están representados por varias especies nuevas (Applegate *et al.*, 2000), y grupos como la familia Macrosemiidae se reporta por primera vez en América.

Por el contrario, en localidades como la Cantera Muhi de Zimapán, Hidalgo o la Cantera de Vallecillo Nuevo León, de edades más jóvenes, se observa claramente la escasez de peces neopterigios primitivos, siendo los teleósteos el grupo dominante. En la Cantera Muhi, que se comenzó a estudiar hace poco tiempo, se han registrado varias familias de peces que incluyen condriictios (tiburones) y teleósteos (figura 3). Los tiburones comprenden hasta el momento dientes de *Ptychodus* sp. y *Squalicorax* sp., además de vértebras aisladas y otros fragmentos aún no identificados. Cabe destacar que *Ptychodus* y *Squalicorax* son registrados por primera vez para el Albiano-Cenomaniano en México (González-Rodríguez y Bravo-Cuevas (2005). Por su parte, los teleósteos incluyen a las familias Enchodontidae, Ichthyotringidae, Halecidae, Dercetidae, Ichthyodectidae y Elopidae; asimismo, se tienen ejemplares de otros elopomorfos, ostariópsidos y bericiformes. (figura 3). Los encodóntidos, ictiotrínidos, decértidos y bericiformes también se registran por primera vez en el Albiano-Cenomaniano de nuestro país.

Debido a la gran diversidad de paleoictiofauna que existe en las localidades fosilíferas de México y al buen estado de preservación en general, es posible estudiar aspectos taxonómicos, sistemáticos, paleoeco-

gráficos y paleoecológicos de los grupos que vivieron en el pasado. Los ambientes marinos son excelentes sitios para que se fosilicen los organismos debido a que cuando éstos mueren, se cubren de sedimento rápidamente quedando protegidos. Este rápido enterramiento permite que se preserven los esqueletos completos, o partes del cuerpo. Cuando el pez ha permanecido flotando después de morir o ha sido objeto de depredación, los fragmentos que quedan pueden ser depositados de igual forma en el fondo y quedar cubiertos rápidamente. Por otro lado, cuando el pez muere y tenía poco tiempo de haber comido, es posible encontrar preservado su último alimento o parte de él, en la región abdominal.

En los peces macrosémidos y clupeidos de la Cantera Tlayúa se han realizado algunos estudios del contenido estomacal. En los restos del tracto digestivo de estos peces se encontraron fragmentos microscópicos de crustáceos y algas, lo que sugiere que por lo menos antes de morir se alimentaron de estos organismos, que formaban parte del plancton. Asimismo, en los macrosémidos y otros peces de la localidad, se han descubierto partes del esqueleto de otros peces en la región abdominal, lo que además sugiere una dieta piscívora.

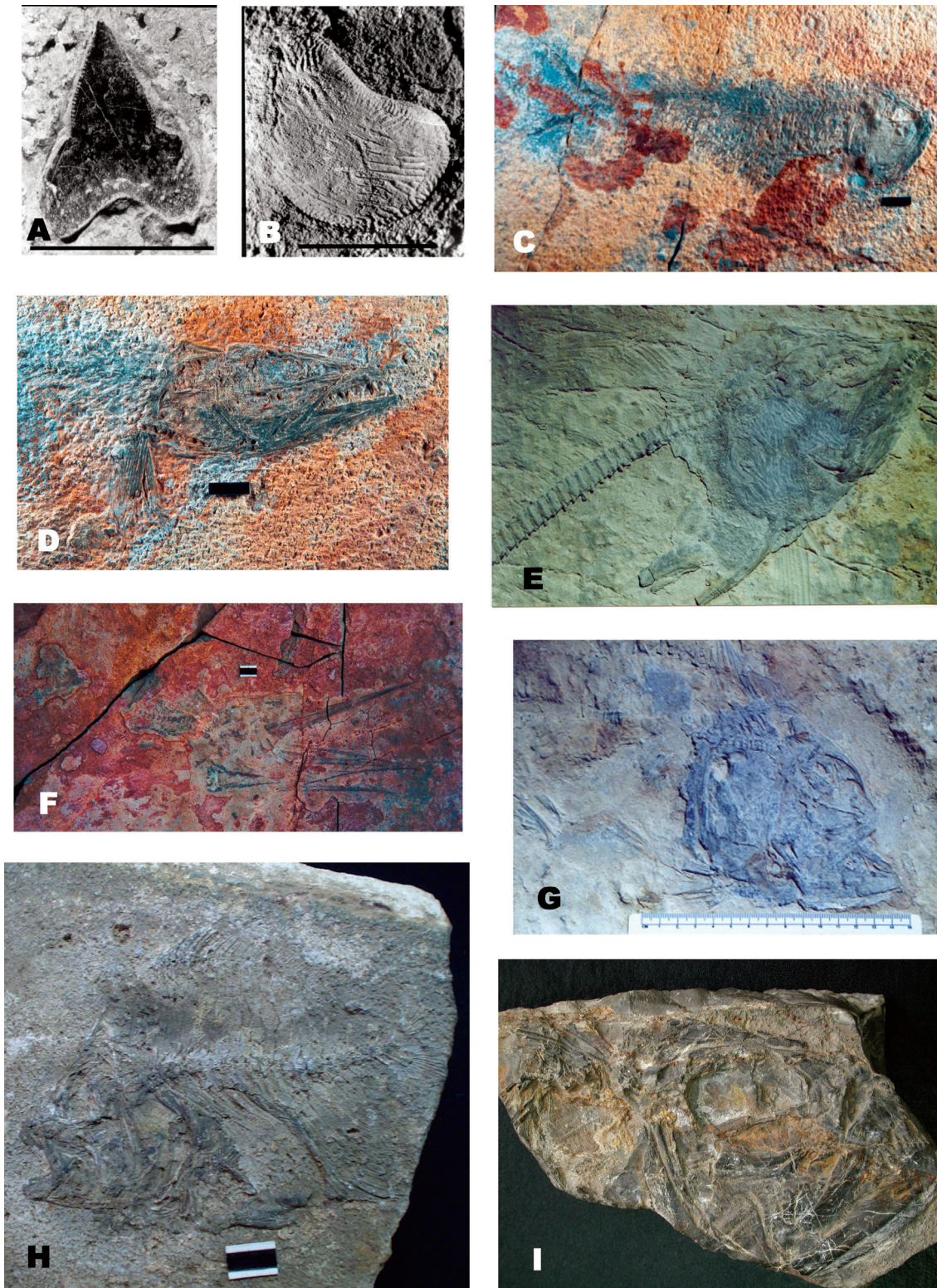
Estos y otros aspectos paleobiológicos y paleoecológicos pueden ser investigados en los peces de Tlayúa y de otras localidades fosilíferas de México. Aunque todavía existe mucho por hacer, el trabajo que se está realizando en varias instituciones del país comienza a dar frutos y sienta las bases para estudios futuros.

### AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Pública, al Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, al Instituto Nacional de Antropología e Historia y al Museo del Desierto de Coahuila, por invitarme a participar en la IX Semana Nacional de Paleontología y en la edición de este volumen. En particular quiero expresar mi agradecimiento a los Maestros en Ciencias, Rosario Gómez, Francisco Martínez y Rubén Rodríguez por su apoyo durante mi estancia en Coahuila.

### LITERATURA CITADA

- Alvarado-Ortega, J., González-Rodríguez, K., Blanco-Piñón, A., L. Espinosa-Arrubarrena, y Ovalles-Demián, E., 2006, Mesozoic Osteichthyans of Mexico, in Vega-Vera, F.



**Figura 3.** Paleodiversidad de peces encontrada en la Cantera Muhi de Zimapán, Hidalgo. **A** Diente de *Squalicorax* sp. (UAHMP-747); **B** Diente de *Ptychodus* sp. (UAHMP-631); **C** Elopomorfo (UAHMP-1063); **D** *Enchodus* sp., el pez más abundante en la localidad (UAHMP-1059); **E** Pez Salmoniforme (UAHMP-600); **F** Pez Ictyotríngido reportado por primera vez en México (UAHMP-2067); **G** Pez de la familia Enchodontidae con una gran talla (UAHMP-631); **H** Pez Bericiforme (UAHMP-2068). **I** Cabeza de pez ictiodéctido (UAHMP-1255).

- (ed.), *Studies on Mexican Paleontology. Topics on Geobiology*: Estados Unidos, Kluwer Academic Publishers B. V., pp. 169-207.
- Alvarez, J., 1974, Contribución al conocimiento de los peces fósiles de Chapala y Zacoalco (Aterínidos y Ciprínidos): *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México*, 7ª Época, 4, 191-209.
- Alvarez, J., Arriola, J., 1972, Primer godeido fósil procedente del Plioceno jalisciense (Pisces, Teleostomi): *Boletín de la Sociedad de Ciencias Naturales de Jalisco*, 6, 6-15.
- Applegate, S. P., González-Rodríguez, K., Alvarado-Ortega, J., 2000, Fish fauna of the Tlayua quarries, in Espinosa-Arrubarrena, L., Montellano-Ballesteros, M., Applegate, S. P. (eds.), *Paleontological highlights of the Mixteca Poblana in Central Mexico*. Field Guide, 60<sup>th</sup> Annual Meeting of Society of Vertebrate Paleontology, Universidad Autónoma de México y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. *Avances en Investigación, Publicación Especial, México*, pp. 95-105.
- Cope, E. D., 1872, On two extinct forms of Physostomi of the Neotropical region: *Proceedings of the American Philosophical Society*, 12, 52-55.
- Dunkle, D. H., Maldonado-Koerdell, M., 1953, Notes on some Mesozoic fossil fish remains from Mexico: *Journal of Washington Academic Science*, 43(10), 311-317.
- González-Rodríguez, K., Reynoso-Rosales, V. H., 2004, A new Notagogus (Macrosemiidae-Halecostomi) species from the Albion Tlayúa Quarry, Central Mexico, in Arrartia, G., Tintori, A. (eds.), *Mesozoic Fishes 3. Systematics, Paleoenvironments and Biodiversity*: München, Alemania, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, pp. 265-278.
- González-Rodríguez, K., Bravo-Cuevas, V. M., 2005, Potencial fosilífero de la Cantera Muhi (Formación El Doctor: Albiano-Cenomaniano) de la región de Zimapán, Estado de Hidalgo: *Paleos antiguo*, 1, 27-42.
- López-Ramos, E., 1981, *Geología de México: Tomo III. 2ª. Edición, Edición Escolar, México*, p. 353-367.
- Maldonado-Koerdell, M., 1948 a, Peces Fósiles de México, I. Elasmobranquios: *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 9(1-2), 127-133.
- Maldonado-Koerdell, M., 1948 b., Adiciones a "Peces Fósiles de México, I. Elasmobranquios": *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 9(3-4), 295-300.
- Maldonado-Koerdell, M., 1949, Peces fósiles de México II. Dipnoos, Ganoides y Teleósteos: *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 10(1-4), 241-245.
- Maldonado-Koerdell, M., 1956, Peces fósiles de México III. Nota preliminar sobre peces del Turoniano superior de Xilitla, San Luis Potosí, México: *Ciencia, México*, 16(1-3), 31-36.
- Meyer, H. von, 1840, *Über Uhde's Sammlung Mexikanischer Antiquitäten, Mineralien und Petrefakten*. *Neues Jahrb. f. Miner. Geol. u. Paläo.*, pp. 574-587.
- Romer, A. S., 1974, *Vertebrate Paleontology*: Estados Unidos, University of Chicago Press, 3ª. Edición, 468 p.

# EL REGISTRO DE HUELLAS DE DINOSAURIOS DE LOS ESTADOS DE OAXACA, MICHOACÁN Y PUEBLA

Victor Manuel Bravo Cuevas<sup>1,\*</sup>

## RESUMEN

Los estados de Oaxaca, Michoacán y Puebla albergan diversas localidades con huellas de dinosaurios. La evidencia indirecta disponible, documenta la existencia de por lo menos nueve grupos taxonómicos diferentes, desde el Jurásico Medio al Cretácico Tardío. El registro incluye formas carnívoras terópodos (coelurosaurios, alosaurios y/o ceratosaurios, ornitomímidos, dromaeosaurios, tiranosaurios), saurópodos y ornitópodos herbívoros (hipsilofodontes, iguanodontes y hadrosaurios), que representan alrededor del 70% de la diversidad total reportada para México.

Las paleoicnofaunas conocidas son las más australes para el Subcontinente Norteamericano y establecen la continuidad física de las áreas de distribución de Dinosauria, desde la porción occidental de Estados Unidos hasta lo que ahora es parte del Centro y Sureste de México, durante el Jurásico y Cretácico.

Palabras clave: paleoicnofaunas, huellas de dinosaurios, Centro de México, Sureste de México.

## ABSTRACT

Diverse dinosaur footprint localities are known in the states of Oaxaca, Michoacán and Puebla. The available ichnological evidence testifies the presence of at least nine different dinosaur groups from Middle Jurassic to Late Cretaceous. The dinosaurian record includes carnivore theropods (coelurosaurians, allosaurids and/or ceratosaurids, ornithomimids, dromaeosaurids, tyrannosaurids), sauropods and herbivore ornithopods (hypsilophodonts, iguanodonts and hadrosaurs), and represents the 70 % known dinosaur biodiversity of Mexico.

These paleoichnofaunas are the southernmost records for North America, and extend the geographic range of Dinosauria, from northwestern United States to Central and Southeastern Mexico, during the Jurassic and Cretaceous.

Keywords: paleoichnofaunas, dinosaur footprints, Central

<sup>1</sup> Museo de Paleontología,  
Centro de Investigaciones  
Biológicas, Universidad  
Autónoma del Estado de  
Hidalgo.  
Ciudad Universitaria s/n,  
Carretera Pachuca-Tulancingo  
km 4.5, CP 42184. Pachuca,  
Hidalgo, México.

\*vbravo@uaeh.edu.mx

Mexico, Southeastern Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Durante la última década, el estudio sobre huellas de vertebrados terrestres mesozoicos de México se ha incrementado significativamente, los trabajos existentes reportan la presencia de paleoicnofaunas integradas por tortugas, cocodrilos, pterosaurios, dinosaurios, aves y probablemente mamíferos. Sin embargo, el registro de impresiones de huellas de dinosaurios corresponde al más abundante y diverso, cuya evidencia procede de las siguientes localidades: Xochitlapilco, Jurásico Medio de Oaxaca (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1996, 2004; Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996); Chuta, Jurásico Tardío de Michoacán (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1978a, 1978b; Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996); una localidad innominada del Jurásico de Durango (Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 2004); San Martín Atexcal, Cretácico Temprano de Puebla

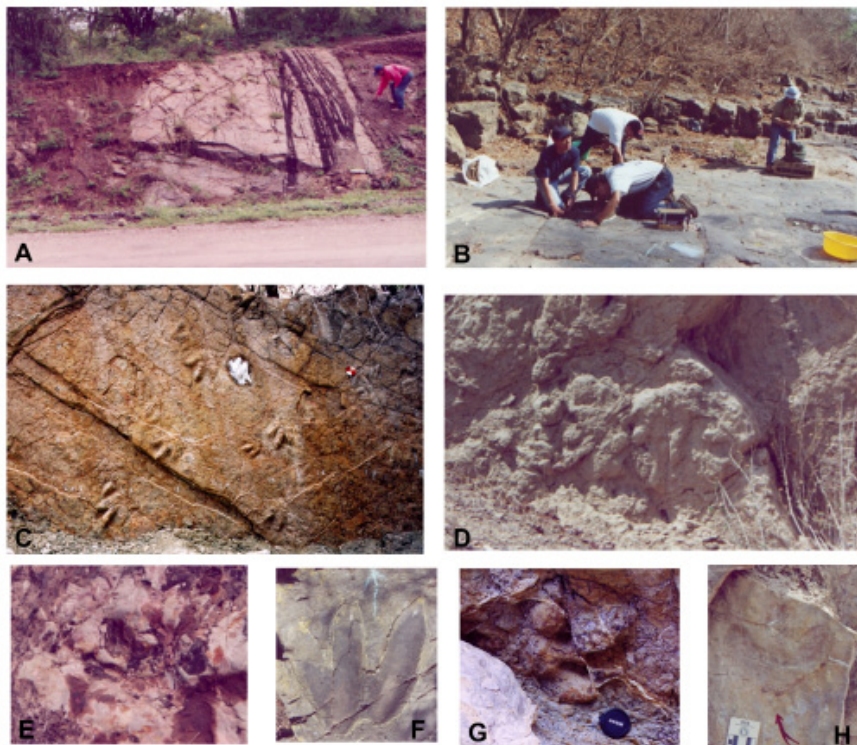
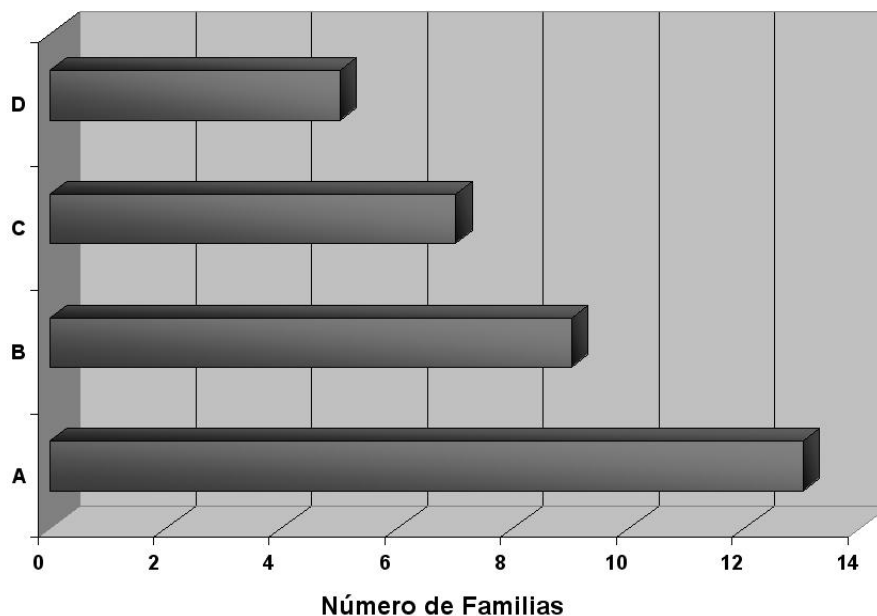
(Carrillo-Montiel *et al.*, 2004); Mitepec, Cretácico Tardío de Puebla (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1993; Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996) y El Aguaje, Cretácico Tardío de Michoacán (Ortiz-Mendieta, 2001). Asimismo, se conocen las de Rincón Colorado, El Pelillal, El Quemado, Las Aguilas y Sabinas del Cretácico Tardío de Coahuila (Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 2004) (figura 1).

Alrededor del 45% de los sitios hasta ahora conocidos se ubican al norte del país en Coahuila, mientras que el resto se encuentran distribuidos al centro y sureste en Michoacán, Puebla y Oaxaca. Estos tres últimos estados albergan las paleoicnofaunas con mayor riqueza taxonómica y permiten documentar la existencia de por lo menos nueve grupos taxonómicos de dinosaurios desde el Jurásico Medio al Cretácico Tardío, lo cual equivale aproximadamente a 2/3 de la diversidad total conocida de este grupo de vertebrados.



**Figura 1.** Mapa índice que muestra las principales localidades con huellas de dinosaurios para la República Mexicana. Coahuila: 1. El Quemado y Las Aguilas (Cretácico Tardío), 2. Rincón Colorado y El Pelillal (Cretácico Tardío), 3. Sabinas (Cretácico Tardío). Michoacán: 4. El Aguaje (Cretácico Tardío), 5. Chuta (Jurásico Tardío). Puebla: 6. Mitepec (Cretácico Tardío), 7. San Martín Atexcal (Cretácico Temprano). Oaxaca: 8. Xochitlapilco (Jurásico Tardío).

**Figura 2.** Diversidad taxonómica conocida de dinosaurios en México (A), mediante el estudio de huellas (B), restos óseos (C) y ambos tipos de evidencia (D).



**Figura 3.** Principales localidades con huellas de dinosaurios del Centro y Sureste de México. A. Afloramiento principal que alberga la paleoicnofauna Xochitlapilco, Jurásico Tardío de Oaxaca; B. Elaboración de duplicados sobre el cauce del Río El Salto, lugar donde se reconocen impresiones dinosaurianas del Cretácico Tardío de Michoacán; C. Afloramiento principal con impresiones dinosaurianas, ubicado en la cercanías de San Marín Atexcal al suroeste del Estado de Puebla; D. Afloramiento principal que alberga la paleoicnofauna Mitepec, Cretácico Tardío de Puebla. Impresiones dinosaurianas representativas de las paleoicnofaunas consideradas en el presente reporte: E. Impresión podial de un carnívoro pequeño del grupo de los coelurosaurios, Jurásico Tardío de Oaxaca; F. Impresión podial de un carnívoro de gran talla atribuida a un tiranosáurido, Cretácico Tardío de Michoacán; G. Impresión podial de un terópodo alosauroideo de talla mediana, Cretácico Temprano de Puebla; H. Una de las numerosas huellas de hadrosaurios que integran la paleoicnofauna Mitepec, Cretácico Tardío de Puebla.zz

dos para México (figuras 2 y 3).

### *La paleoicnofauna dinosauriana del Estado de Oaxaca*

El registro más antiguo de huellas de dinosaurios que se conoce para el país, procede de una localidad cercana a la población Santa María Xochitlapilco en la porción noroccidental del Estado de Oaxaca. Los estratos portadores consisten en areniscas de grano fino y limolitas, pertenecientes al Grupo Tecocoyunca del Jurásico Medio. La paleoicnofauna esta integrada por impresiones de terópodos coelurosaurios y alosaurios, saurópodos, así como ornitópodos del grupo de los hipsilofodontes (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2004).

Las icnitas pertenecientes a coelurosaurios se encuentran representadas por rastros y un conjunto de huellas aisladas de tamaño pequeño, las cuales integran un espectro de variación morfológica que va de una configuración fundamental tridactilar-mesaxónica hasta una forma hiperelongada elipsoidal de apariencia burdamente humana. La evidencia de formas carnívoras terópodos también incluye una huella aislada de alosaurio, que se distingue fundamentalmente por su mayor tamaño (figura 4A-4B).

Las impresiones atribuidas a ornitópodos incluyen huellas aisladas, cuyo tamaño y morfología indican que fueron generadas por hipsilofodontes (figura 5A), esta evidencia suplementa el escaso conocimiento que se tiene del grupo para el Jurásico de Norteamérica.

Las huellas de saurópodos son típicamente redondeadas con los dígitos dirigidos hacia afuera y tamaño pequeño; asimismo, incluyen una sola impresión manual asociada cuya configuración es semejante al de una herradura (figura 5D). La anómala proporción observada entre pisadas manuales y podiales en un grupo de dinosaurios cuadrúpedos, indica la existencia de formas pequeñas capaces de realizar actividades en posición bípeda, emparentados con el linaje ancestral a partir del cual se diferenciaron los sauropodomorfos jurásicos y cretácicos más avanzados de gran talla (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1996).

La paleoicnofauna Xochitlapilco constituye el registro más austral de dinosaurios para el Jurásico Medio de Norteamérica y extiende aproximadamente unos 300 km al sur la distribución de terópodos, saurópodos y ornitópodos, desde la porción noroccidental de Estados Unidos hasta el Sureste de México.

Por otra parte, el reconocimiento de una aso-

ciación faunística integrada fundamentalmente por formas pequeñas, indica que esta comunidad se desarrolló en un escenario geográfico insular, de tal suerte, que el espacio y recurso limitados condujeron a la adquisición de una menor talla. Este planteamiento es congruente con los modelos de evolución geológica y tectónica propuestos para el Jurásico, en los cuales el territorio Mixteco representa un bloque continental aislado entre Norteamérica y Suramérica (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2004).

### *Las paleoicnofaunas dinosaurinas del Estado de Michoacán*

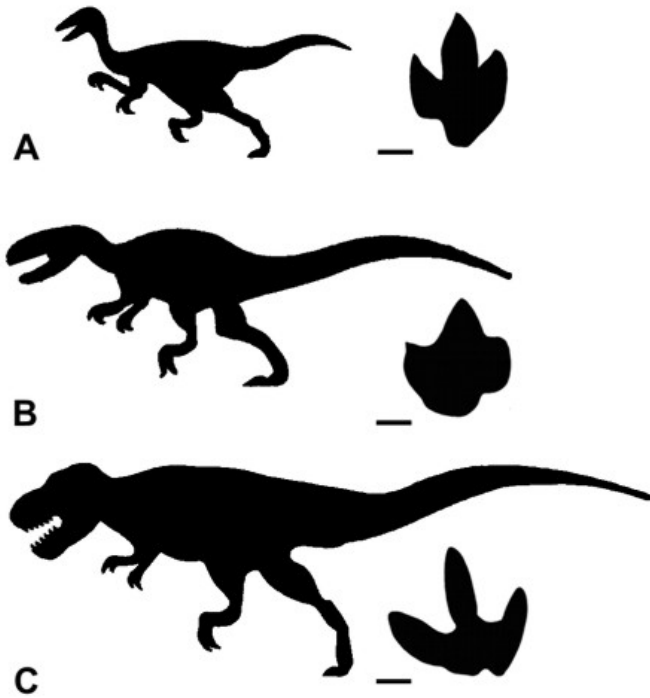
La primera localidad con huellas de dinosaurios que se reportó formalmente para el país, se encuentra cercana a la población Chuta en el extremo sur de Michoacán (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1978a, 1978b). La unidad portadora esta constituida por una secuencia volcanosedimentaria que representa depósitos palustres asociados a una planicie de inundación. La paleoicnofauna conocida incluye pisadas pertenecientes a coelurosaurios, alosaurios y/o ceratosaurios, iguanodontes e hipsilofodontes, esta asociación taxonómica permite restringir su edad al Jurásico Tardío (Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996).

El registro de dinosaurios carnívoros terópodos esta representado por huellas tridactilares mesaxónicas de tamaño pequeño a mediano, generadas respectivamente por coelurosaurios y algún grupo de carnosaurios jurásicos norteamericanos de las familias Allosauridae y/o Ceratosauridae (figura 4A-4B).

Las pisadas de ornitópodos herbívoros se distinguen por ser bastante robustas, dígitos redondeados e impresión plantar ancha, cuya variación en tamaño indica la presencia de formas hipsilofodóntidas e iguanodóntidas (figura 5A-5B).

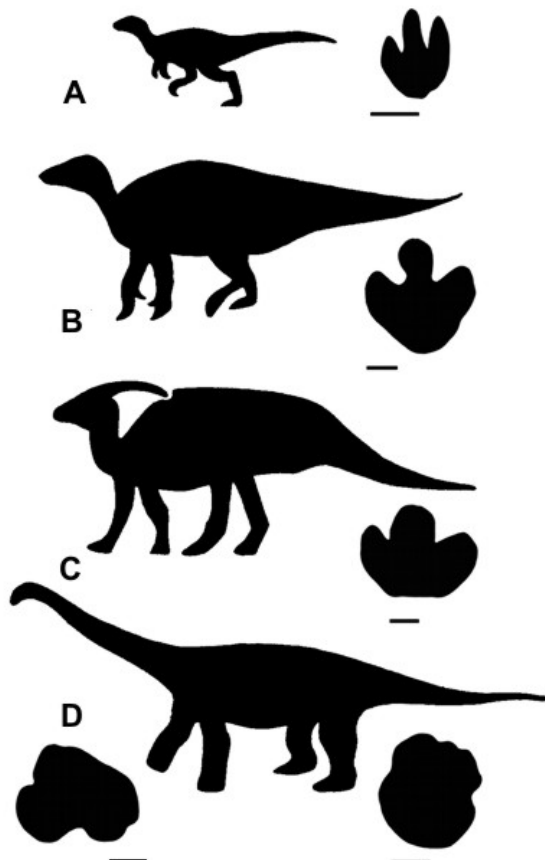
La comunidad dinosauriana de Chuta es estrechamente cercana a la que se conoce para la Formación Morrison del Jurásico Tardío de Colorado, por lo tanto, el conjunto faunístico michoacano permite establecer la continuidad física de las áreas de distribución de dinosaurios, desde la región occidental de Estados Unidos hasta la porción Pacífica sureña de México.

En la región suroccidental de Michoacán también se conoce un afloramiento con huellas de dinosaurios (Ortíz-Mendieta, 2001). La localidad se encuentra en el cauce del Río El Salto al noreste de la



**Figura 4.** Registro de formas dinosaurianas carnívoras que integran las paleoicnofaunas del Centro y Sureste de México. A. Las impresiones de coelurosaurios se conocen para el Jurásico de Oaxaca y Michoacán, Cretácico Temprano de Puebla y Cretácico Tardío de Michoacán. B. Las impresiones atribuidas a formas de tamaño mediano del grupo de los alosaurios y/o ceratosaurios, se conocen para el Jurásico de Oaxaca y Michoacán. C. Las impresiones de mayor tamaño corresponden algún grupo de tiranosáurido y se conocen para el Cretácico Tardío de Michoacán. Barras de escala A = 5 cm, B = 10 cm y C = 20 cm.

**Figura 5.** Registro de formas dinosaurianas herbívoras que integran las paleoicnofaunas del Centro y Sureste de México. A. Las impresiones de ornitópodos pequeños se atribuyen a hipsilofodontes y se conocen para el Jurásico de Oaxaca y Michoacán, así como, Cretácico de Michoacán y Puebla; B. Huellas atribuidas a iguanodontes se conocen para el Jurásico Tardío de Michoacán; C. Las impresiones pertenecientes a los ornitópodos de mayor talla corresponden a hadrosaurios, cuyo registro se restringe al Cretácico de Michoacán y Puebla; D. Las pisadas manuales (izquierda) y podiales (derecha) de saurópodos, integran parte de las paleoicnofaunas del Jurásico Medio de Oaxaca, así como, Cretácico de Puebla. En todos los casos la barra de escala equivale a 10 cm.





población Aguililla del Municipio El Aguaje. Los estratos portadores consisten en areniscas y limolitas bien litificadas de origen fluvioacustre, pertenecientes a la unidad informal "Arenisca Aguililla" del Cretácico Tardío. El registro incluye dos conjuntos de huellas cuya variación morfológica y de tamaño, indican la presencia de terópodos ornitomímidos, tiranosáuridos y dromaeosaurios, así como, ornitópodos del grupo de los hadrosaurios (figuras 4A, 4C y 5C). Esta asociación taxonómica testifica la transición de comunidades jurásicas integradas por formas de tamaño pequeño a mediano, hacia aquellas dominadas por representantes cretácicos carnívoros y herbívoros de gran talla. Asimismo, proporciona evidencia objetiva acerca de la amplia distribución que tuvieron los dinosaurios en el Continente Americano, durante el Cretácico Tardío.

Las localidades michoacanas Chuta y El Aguaje, albergan la mayor parte de la diversidad de dinosaurios que se conoce a la fecha para la República Mexicana.

### *Las paleoicnofaunas dinosaurianas del Estado de Puebla*

Recientemente, se reportó un afloramiento con huellas de dinosaurios, en las inmediaciones de la población San Martín Atexcal al sur del estado de Puebla. Las impresiones se encuentran preservadas en areniscas de grano fino a mediano, que representan depósitos de planicie de inundación en un sistema lagunar somero, pertenecientes a la Formación San Juan Raya del Cretácico Temprano. El registro corresponde a una sucesión icnofaunística integrada por alosaurios, saurópodos, iguanodontes y ornitópodos indeterminados (figuras 4B y 5). Esta paleoicnofauna constituye el primer conjunto dinosauriano que se conoce para el Cretácico Temprano de México, de igual forma, representa la ocurrencia más austral del grupo para Norteamérica durante esta época, lo cual permite extender su rango de distribución desde Alaska hasta el Centro de México (Carrillo-Montiel *et al.*, 2004).

Para la porción suroccidental del Estado de Puebla se conocen tres localidades con huellas de dinosaurios, que integran formalmente la paleoicnofauna Mitepec. La unidad portadora consiste en una secuencia de estratos margosos depositados en un ambiente transicional sublagunar marino, que forman parte de la Formación Mexcala del Cretácico Tardío. La evidencia icnológica esta representada por

huellas pertenecientes a saurópodos y hadrosaurios (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1993; Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996).

Las icnitas atribuidas a saurópodos incluyen una pisada podial y la respectiva manual, generadas por una forma juvenil de la Familia Titanosauridae. El resto corresponden a impresiones podiales robustas y trilobuladas, típicas de ornitópodos del grupo de los hadrosaurios (figura 5C-5D). En esta comunidad se reconoce un claro dominio de herbívoros ornitópodos, lo cual es congruente con el significativo registro de material (tanto óseo como icnológico) perteneciente a hadrosaurios, en numerosas localidades del Cretácico Tardío de Europa, Asia y Norteamérica. Aunado a esto, el reconocimiento de titanosaurios, testifica el desplazamiento de este grupo hacia la parte sur del Continente Americano, dado que, en Suramérica fueron más abundantes y diversos.

Atexcal y Mitepec, constituyen el límite austral de la distribución geográfica de icnofaunas constituidas por asociaciones terópodo-saurópodo-ornitópodo y saurópodo-ornitópodo en Norteamérica, durante el Cretácico.

### *Significación paleobiológica del registro*

Las paleoicnofaunas consideradas establecen la continuidad física del área de distribución de dinosaurios, hasta incluir partes del Centro (Chuta y El Aguaje, Michoacán; San Martín Atexcal y Mitepec, Puebla) y Sureste (Xochixtlapilco, Oaxaca) de México durante el Jurásico y Cretácico; asimismo, representan los registros más australes para el Subcontinente Norteamericano.

Finalmente, la evidencia icnológica en conjunto proporciona información relevante, acerca de la diversidad de formas dinosaurianas que habitaron el territorio nacional los últimos 105 millones de años de la Era Mesozoica.

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más sincero agradecimiento al Centro INAH Coahuila e instituciones participantes del estado, por su invitación a colaborar en el presente volumen. Asimismo, deseo manifestar que los datos que en este reporte se expresan, forman parte del trabajo en equipo que desde 1994 llevo al cabo con mis colegas y amigos el Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca y el Dr.

Eduardo Jiménez Hidalgo. Finalmente, se agradece al C. Jorge Alberto González Martínez, estudiante de la Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, quien participó activamente en la elaboración de una parte de las ilustraciones.

## LITERATURA CITADA

- Bravo-Cuevas, V. M., Jiménez-Hidalgo, E., 1996, Las dinosauricnitas de México: Su significación geológico-paleontológica: Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 147 p.
- Carrillo-Montiel, E., Ortiz-Ubilla, A., Bravo-Cuevas, V. M., Rodríguez-de la Rosa, R. A. (en prensa). Huellas de dinosaurios en el Cretácico inferior de San Martín Atexcal, Puebla: Paleos-Antiguo.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S. P., Espinosa-Arrubarrena, L., 1978a, Las huellas más australes de dinosaurios en Norte América y su significación geobiológica, en Actas del II Congreso de Paleontología y Bioestratigrafía y I Congreso Latinoamericano de Paleontología, Buenos Aires, Argentina 1, 249-263.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S. P., Espinosa-Arrubarrena, L., 1978b, Rocas volcanosedimentarias mesozoicas y huellas de dinosaurios en la región suroccidental pacífica de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 2, 150-162.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Tilton, T. L., Lang, H. R., Pittman, J. G., Lockley, M. G. 1993, Dinosauricnitas tardicretácicas en Puebla suroccidental y su significación geológico-paleontológica, en Memorias del IV Congreso Nacional de Paleontología, 33-34.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Jiménez-Hidalgo, E., Bravo-Cuevas, V. M., 1996, Footprints of small sauropods from the Middle Jurassic of Oaxaca, southeastern México, in Morales, M. (ed.), The Continental Jurassic: Museum of Northern Arizona Bulletin. Arizona, Flagstaff, 119-126.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Bravo-Cuevas, V. M., Jiménez-Hidalgo, E., 2004, The Xochitlapilco dinosaur ichnofauna, Middle Jurassic of Oaxaca, Southeastern Mexico: Description and paleontological significance: Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles County.
- Ortiz-Mendieta, J.A., 2001. Dinosauricnitas Cretácico-tardías de El Aguaje, Michoacán, Región Suroccidental de México y sus implicaciones geológico-paleontológicas: Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 75 p.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Aguillón-Martínez, M. C., López-Espinosa, J., Eberth, D. A., 2004, The fossil record of vertebrate traces in Mexico: *Ichnos*, 11, 27-34.

# PALEOMASTOZOLOGÍA DE LA CUENCA DE SAN MIGUEL DE ALLENDE, ESTADO DE GUANAJUATO, SUS CONTRIBUCIONES: EL INTERCAMBIO BIÓTICO ENTRE LAS AMÉRICAS

Oscar Carranza Castañeda<sup>1,\*</sup>

## RESUMEN

En la cuenca de San Miguel Allende se encuentra la secuencia estratigráfica más completa del Terciario tardío que se conoce en México y posiblemente en América del Norte. Es la única área de investigación en donde hasta ahora, están en superposición dos edades de mamíferos, Henfiliano (Mioceno tardío-Plioceno) y Blancano (Plioceno), las cuales contienen la información más completa sobre la diversidad de faunas de mamíferos del Terciario tardío en las cuencas de la Faja Volcánica Transmexicana.

Los inmigrantes sudamericanos presentes en las faunas de la cuenca de San Miguel Allende, son al menos un millón de años más antiguos que los descritos en las faunas de América del Norte, lo cual sugiere que el Puente Panameño que permitió el paso de los inmigrantes entre las Américas, fue eficiente en los límites del Henfiliano-Blancano, más de un millón de años antes de lo sugerido por los hallazgos de estos inmigrantes en las faunas de Arizona, Texas y Florida.

De acuerdo con la información disponible, es posible inferir que hubo diferentes periodos de migración debido posiblemente a diferencias del nivel del mar o movimientos tectónicos que limitaron la eficiencia del puente panameño, el cual quedó establecido durante el Irvingtoniano, abriendo la ruta del intercambio recíproco de faunas entre las Américas.

Palabras clave: Henfiliano, Blancano, Estratigrafía, fósil, Terciario tardío.

## INTRODUCCIÓN

Hasta mediados del siglo xx, nuestro conocimiento acerca de la estratigrafía del Terciario continental del centro de México, era el resultado de la información parcial y casual de tres localidades donde se hicieron hallazgos aislados de fósiles, que nunca fueron situados en una secuencia estratigráfica y la edad asignada a estas faunas fue en general Plioceno.

La primera localidad que se describió es la cuenca de Zacualtipán, ubicada en el estado de Hidalgo. Durante el siglo xix, el carbón era un importante energético, y en la cuenca carbonífera de Zacualtipán se explotaban los yacimientos existentes para proveer de este energético al sistema ferrocarrilero de la época. En la segunda mitad del siglo xix, durante las excavaciones en las di-

<sup>1</sup> Centro de Geociencias  
Campus UNAM,  
Juriquilla, Querétaro

\*carranza@geociencias.  
unam.mx

ferentes minas de carbón, los trabajadores descubrían huesos y dientes de animales, los cuales fueron entregados al doctor del área que a su vez los hizo llegar a Leidy (1882) y Cope (1886), quienes los describieron. Esta fauna se conoce como Fauna Local de Tehuichila, los autores refirieron las primeras especies de caballos fósiles del Terciario tardío de México. Desgraciadamente, nunca se tuvo información del estrato donde provenía el material, y la fauna fue determinada como una sola asociación faunística y asignada a la edad de "Plioceno". En la última década del siglo XX, se reiniciaron las investigaciones en un proyecto de colaboración entre la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y el Instituto de Geología de la UNAM. El hallazgo de nuevos fósiles, restos del oso *Agriotherium*, y los équidos *Calippus* (*Grammohippus*) *castilli* y *Dinohippus interpolatus*, que son fósiles índice para determinar la edad de los sedimentos que los contienen, y la revisión de la fauna descrita anteriormente, permitió concluir que en la cuenca, existen fósiles que representan dos edades de mamíferos, Henfiliano tardío y Blanco temprano (Carranza Castañeda y Espinosa, 1994).

La segunda localidad del Terciario conocida en el centro de México, es la localidad del Rancho La Goleta, que se dio a conocer a mediados del siglo pasado. El Rancho La Goleta, está situado a 10 km al Este de la ciudad de Morelia, estado de Michoacán. De esta fauna se describieron diferentes équidos, sin embargo el material está perdido y nunca ha sido estudiado formalmente. Las investigaciones que se realizaron en la segunda mitad del siglo XX, describen a la ardilla gigante *Paenemarmota* (Reppening, 1962) y diferentes clases de aves (Howard, 1965); posteriormente, se recolectó un cráneo y mandíbula del proboscido *Rhynchotherium falconeri*, posiblemente el mejor ejemplar que se encuentra en México. En esta última etapa de investigaciones, se realizó el análisis de las cenizas volcánicas del área, obteniendo un resultado de 3.6 Ma (millones de años), lo cual sitúa la edad en el Blanco temprano (Carranza Castañeda, 1991).

La tercera localidad que se conocía en el centro de México, fue la de Rancho El Ocote (Arellano 1951), ubicada en la cuenca de San Miguel de Allende y solo fue referida a la edad de Plioceno, sin darle mayor importancia. Esta localidad se describirá en este trabajo.

De acuerdo a los comentarios expuestos, es evidente que hasta mediados del siglo XX, la información de la estratigrafía, la diversidad de taxa y la edad de las asociaciones faunísticas contenidas en las cuencas sedimentarias del Terciario tardío continental del cen-

tro de México era prácticamente desconocida.

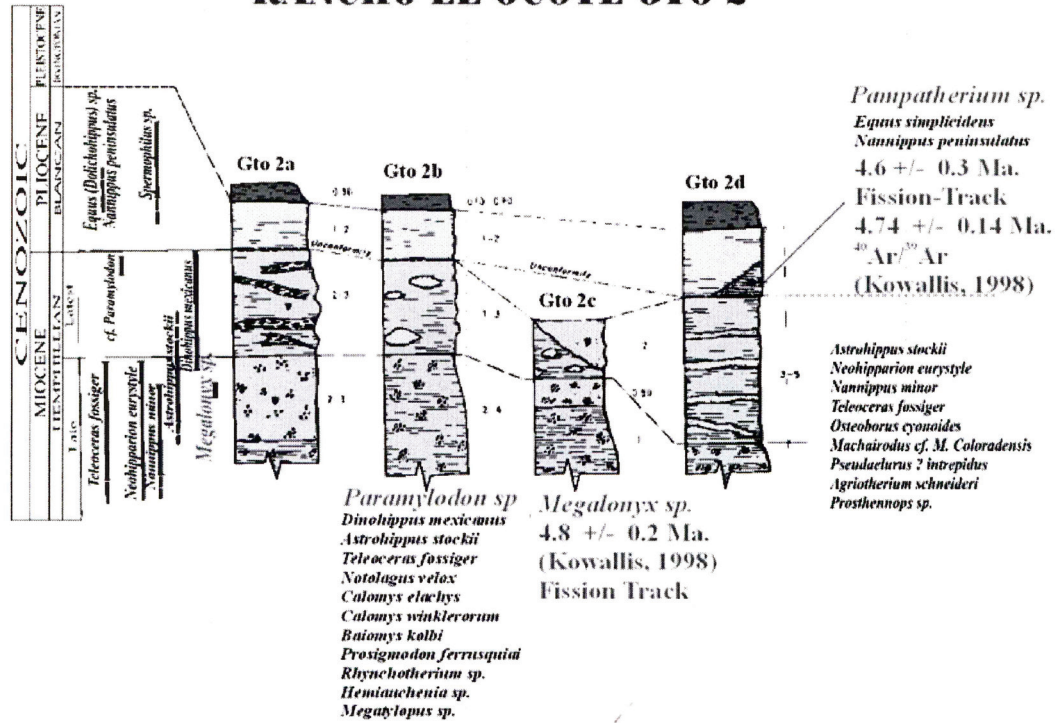
La única información disponible y confiable, procedía de la Fauna de Yepómera, que se encuentra al noroeste del estado de Chihuahua. El paleontólogo Chester Stock inició las investigaciones en el área de Yepómera, descubriendo abundantes restos fósiles. Así se formó la colección más numerosa y de mayor diversidad de mamíferos fósiles que se ha hecho de faunas de México, actualmente se encuentra en el Museo de Historia Natural del Condado de Los Ángeles, en la ciudad de Los Ángeles, California. El material más abundante en esta colección corresponde a los caballos que vivieron durante la edad de Henfiliano tardío (4.8 Ma). Uno de ellos *Dinohippus mexicanus*, es considerado el ancestro del caballo actual y tiene una amplia distribución geográfica en México, está presente en todas las localidades del Henfiliano que se conocen en el centro de México. El resto del material, ha sido mencionado en diferentes trabajos, entre los más significativos están los de Wilson (1937), Stock (1948 a y b), Lance (1950) y Lindsay y Jacobs (1985). Por casi todo el siglo pasado, esta fauna fue la única referencia confiable para el Terciario tardío continental de México y sirvió de correlación fundamental para la determinación taxonómica de las faunas fósiles que se descubrieron en las recientes investigaciones de las cuencas sedimentarias del centro de México.

Los comentarios anteriores reflejan la escasa información que se tenía sobre la paleontología del Terciario continental del centro de México, a pesar de la importancia que tienen los vertebrados fósiles para determinar la edad de los cuerpos de roca que no contienen materiales idóneos de ser fechados radiométricamente. Además, la importancia que tienen para conocer la evolución, distribución geográfica y extinción de diferentes taxa. Para llenar este vacío de información de las Ciencias de la Tierra, el Instituto de Geología de la UNAM, a partir de los años setenta, inició la investigación sobre la estratigrafía de las cuencas sedimentarias de la Faja Volcánica Transmexicana. Este proyecto continúa auspiciado por el Centro de Geociencias, Campus UNAM, Juriquilla, Qro.

## LA CUENCA DE SAN MIGUEL ALLENDE

Se localiza al noreste de la ciudad de San Miguel Allende, tiene una dirección norte sur con dos fallas que la limitan. Al este, los cerros de Rancho Viejo y al oeste los cerros de Tequisquiapan. Los sedimentos fluviales y lacustres que contienen los registros fósiles, se encuentran en la parte central de esta cuenca (figu-

## RANCHO EL OCOTE GTO 2



**Figura 1.** Columna bioestratigráfica compuesta de la sección Rancho El Ocote, San Miguel de Allende, Guanajuato

ra 1). Los resultados dados a conocer, han revelado la abundancia de fósiles, pero más importante aún, es la diversidad de vertebrados fósiles contenidos en la secuencia estratigráfica que representan dos edades de mamíferos en superposición: Henfiliano (Mioceno tardío) y Blancano (Plioceno), y en algunas localidades también se encuentran restos fósiles del Irvingtoniano (Plioceno tardío-Pleistoceno temprano). En esta secuencia estratigráfica están representadas las faunas que vivieron en el centro de México, los últimos cinco millones de años y se exponen en la Tabla 1. El material más abundante, es de caballos fósiles, que representan diferentes etapas de evolución, rinocerontes, camélidos, entre ellos taxa relacionados con las llamas y vicuñas de Sudamérica, roedores y lagomorfos, el tigre dientes de sable, el oso más imponente que haya existido en México, dos especies de cánidos, una de ellas, *Canis ferox*, fue descrita de esta cuenca y se considera el ancestro de los coyotes de América del Norte (Miller y Carranza Castañeda, 1996), el proboscídeo *Rhynchotherium* que aún retenía los colmillos en el maxilar y la mandíbula y tuvo amplia distribución geográfica en las faunas de México. Con el análisis y descripción del material fósil, se definieron los alcances estratigráficos de diferentes grupos, especialmente los équidos imprescindibles para determinar la edad

relativa de las faunas y los estratos de roca que las contienen, los cuales eran desconocidos.

Con la definición de los índices estratigráficos del área de estudio, se establecieron tres secciones estratigráficas: Sección Rancho El Ocote-Los Corrales, con edades del Henfiliano tardío-Blancano temprano (figura 2), es importante señalar que la localidad de Rancho El Ocote, fue la primera y única que se conocía en esta cuenca, la continuidad de las investigaciones en esta localidad, la sitúan actualmente como la fauna del Henfiliano tardío más importante de México por la abundancia y diversidad de fósiles, además de tener una secuencia estratigráfica, donde los límites Henfiliano-Blancano, han sido delimitados. La sección de Los Galvanes, también con faunas del Henfiliano tardío-Blancano temprano superpuestas y la sección más completa, la Fauna local de Rancho Viejo, que tiene una secuencia desde el Henfiliano temprano, Henfiliano tardío, Blancano temprano y del Irvingtoniano (Mioceno tardío, Plioceno y Pleistoceno temprano). Es en esta secuencia, donde los équidos están mejor representados, *Dinohippus interpolatus* y *Callippus (G.) castilli*, se encuentran en los estratos basales, *Dinohippus mexicanus*, *Nannippus minor*, *Astrohippus stockii* y *Neohipparion eurystyle* se encuentran en los estratos del Henfiliano tardío. En el Blancano

**Tabla 1.** Correlación de las faunas más importantes del Terciario tardío de México

<b>LISTA FAUNÍSTICA</b>	<b>CHIHUAHUA</b>	<b>GUANAJUATO</b>	<b>JALISCO</b>	<b>HIDALGO</b>	<b>MICHOACÁN</b>
<b>Orden Insectívora</b>					
<i>Notiosorex repenningi</i>	H	?H		?H	
<b>Orden Chiroptera</b>					
<i>Plionicterus</i> sp.	H	?H		?H	
<b>Orden Xenarthra</b>					
* <i>Glyptotherium</i> sp.		B	B		
* <i>Plaina</i> sp.		B	B		
* <i>Glossotherium</i> sp.		H, B	?B		
*? <i>Megalonyx</i> sp.		H	H	H	
<b>Orden Lagomorpha</b>					
<i>Sylvilagus</i> sp.					?B
<i>Hypolagus mexicanus</i> +		B			
<i>Hypolagus</i> sp.		H	?H	?H	
<i>Notolagus velox</i> +	H	H	H	H	
<i>Paranotolagus complicatus</i>		B			
<i>Pratilepus ?kansasensis</i> +		B			
<b>Orden Rodentia</b>					
<i>Spermophilus pattersoni</i>	H				
<i>Spermophilus matachisensis</i>	H	?B			
<i>Cynomys</i> sp.					B
<i>Spermophilus</i> sp.	H	H, B		?H	?B
<i>Paenemarmota barbouri</i>	H	H, B	?H		B
? <i>Pliogeomys</i> sp.		H			
<i>Geomys minor</i>	B				
<i>Copemys</i> near <i>C. valensis</i>	H	?H	?H		
<i>Calomys elachys</i>	H, B	H			
<i>Calomys *baskini</i>	H, B	H			
<i>Calomys winklerorum</i>		H			
<i>Calomys</i> sp.	H		?H	?H	
<i>Baiomys kolbi</i>	H, B	H			
<i>Prosigmodon oroscoi</i>	H, B.	H			
<i>Prosigmodon chihuahuensis</i>	H, B	H			
<i>Prosigmodon ferrusquiai</i>		H			
<i>Neotoma</i> cf. <i>N. Sawrockensis</i>		H			
<i>Neotoma</i> sp.		H	?H	?B	?B
* <i>Neocherus cordobai</i>		B	B		

<b>LISTA FAUNÍSTICA</b>	<b>CHIHUAHUA</b>	<b>GUANAJUATO</b>	<b>JALISCO</b>	<b>HIDALGO</b>	<b>MICHOACÁN</b>
<i>*Neocherus</i> sp.		B			
<b>Orden Carnívora</b>					
<i>Canis ferox</i>		H	H	H	
<i>Osteoborus cyonoides</i>		H	H		
<i>Osteoborus</i> cf. <i>O. cyonoides</i>	H		H		
<i>Borophagus diversidens</i>		B			
<i>Agriotherium schneideri</i>		H	H		
<i>Agriotherium</i> cf. <i>A. schneideri</i>	H		H	H	
<i>Tremarctos</i> sp.				B	
<i>Taxidea</i>	H	H ?B			
cf. <i>Trigonictis</i>		B			
<i>Pseudaelurus ?intrepidus</i>	?	H	H		
<i>Felis</i> cf. <i>F. studei</i>		B			
<i>Felis?</i> <i>lacustris</i>		?B			
<i>Machairodus</i> cf. <i>M. coloradensis</i> +	?	H	H	H	
<b>Orden Proboscidea</b>					
<i>Gomphotherium</i> sp.		?	?		
<i>Stegomastodon</i> sp.		H			
cf. <i>Stegomastodon</i>	H, B				
<i>Cuvieronius</i> sp.	H, B	?B	?B	?B	
<i>Rhynchoterium</i> cf. <i>R. falconeri</i> +		HB			B
<i>Rhynchoterium</i> sp.			H	?H	
<b>Orden Perissodactyla</b>					
<i>Teleoceras fossiger</i> +	H	H	H	?H	
<i>Calippus castilli</i> +		H	H	H	
<i>Neohipparion eurystyle</i> +	H	H	H	H	H
<i>Nannippus minor</i> +	H	H	H	H	
<i>Nannippus peninsulatus</i> +	?B	B	?B	B	?B
<i>Astrohippus stockii</i> +	H	H	H	H	
<i>Dinohippus interpolatus</i> +		H	H	H	H
<i>Dinohippus mexicanus</i> +	H	H	H	H	
<i>Equus simplicidens</i> +	?B	B	B	B	B
<i>Equus</i> sp.	B				
<b>Orden Artiodactyla</b>					
<i>Desmathyus brachidontus</i> +		H	?H	H	

LISTA FAUNÍSTICA	CHIHUAHUA	GUANAJUATO	JALISCO	HIDALGO	MICHOACÁN
<i>Prosthennops</i> sp.	?H				
<i>Platygonus</i> cf. <i>P. alemanii</i> . +		B			B
<i>Platygonus</i> sp.			B	?B	?B
<i>Megatylopus matthewi</i> +	?	H	H		
<i>Titanotylopus</i> sp. ?	H?				
<i>Hemiauchenia</i> sp.	H	HB	H B?	H	?B
cf. <i>Camelops</i>		?B			?
Camelidae indet.			H	H	H
<i>Hexobelomerix fricki</i>	H	H	H	H	

Abreviaturas: H = Henfiliano B = Blancano

\* Los primeros registros de taxa de origen neotropical coexistiendo con faunas de la región paleártica  
+ Fósiles índices del Terciario tardío del centro de México

### RANCHO VIEJO AREA, SAN MIGUEL ALLENDE, GUANAJUATO

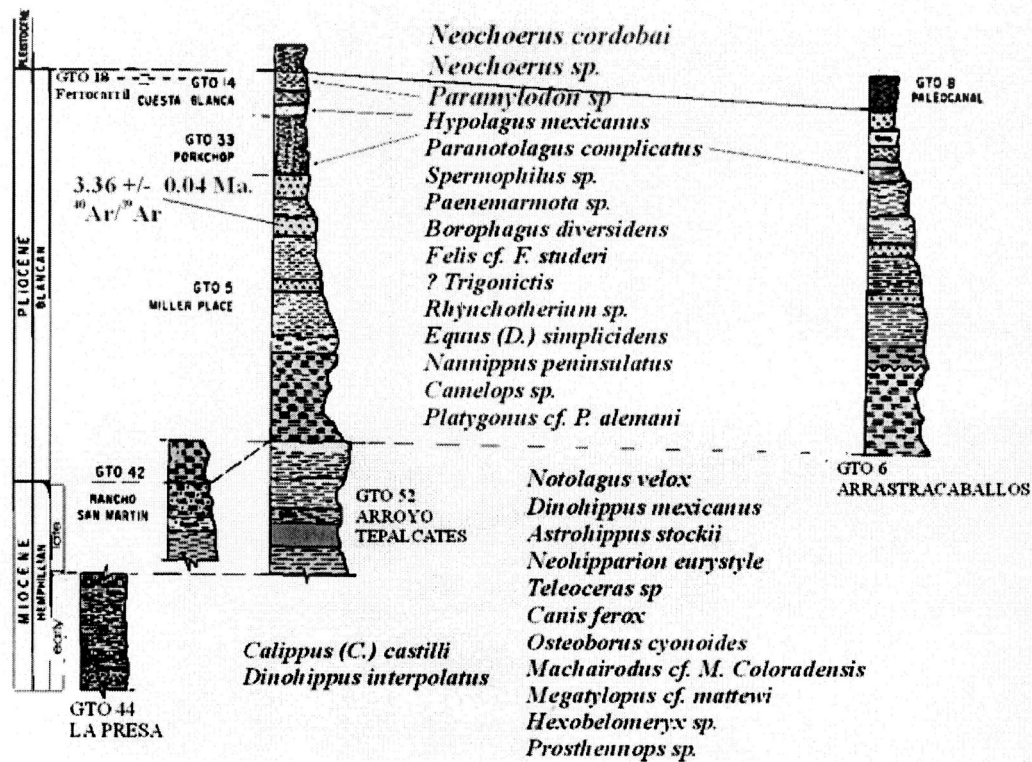


Figura 2. Columna bioestratigráfica de la sección Rancho Viejo, San Miguel de Allende, Guanajuato



sólo se encuentran *Nannippus peninsulatus* y *Equus simplicidens*, en la cima de la secuencia, se han recolectado restos de *Equus* sp. referidos al Irvingtoniano-Rancholabreano (figura 3).

Otra importante característica de la estratigrafía del área de estudio, la constituyen los estratos de ceniza volcánica intercalados con sedimentos aluviales y fluviales que contienen material fósil. Los fechamientos radiométricos de estas cenizas por medio de Fission Track o Ar/Ar, han contribuido con edades absolutas de estos estratos (Kowallis *et al.*, 1998), que además de las edades relativas obtenidas de los fósiles, son importantes aportaciones, para conocer con precisión cuando ocurrieron diferentes eventos biológicos y geológicos en la Faja Volcánica Transmexicana. Uno de estos acontecimientos de importancia regional para América del Norte, es la determinación de los límites de las dos edades de mamíferos, Henfiliano (4.8 Ma) y Blancano (4.7 Ma), obtenidas de la sección de Rancho El Ocote-Los Corrales (Kowallis *et al.*, 1998). De esta forma, se puede conocer con mayor exactitud la última aparición de índices estratigráficos como los équidos *Dinohippus mexicanus*, *Nannippus minor*, *Astrohippus stockii*, *Neohipparion eurystyle* y *Calippus*, el rinoceronte *Teleoceras fossiger*, los carnívoros *Osteoborus cyonoides*, el oso *Agriotherium schneideri*, el camélido *Megatylopus matthewi* entre otros. La primera aparición de los équidos *Nannippus peninsulatus*, *Equus simplicidens*, el carnívoro *Borophagus diversidens* y la primera invasión de inmigrantes sudamericanos, preludio del gran acontecimiento biológico, que fue el intercambio biótico entre las Américas. Los primeros registros de estos inmigrantes, el perezoso *Glossotherium*, uno de los primeros acorazados, relacionado con los armadillos, el pampaterio cf. *Plaina*, el gran acorazado sudamericano, *Glyptotherium*, que tuvo una amplia distribución geográfica y estratigráfica en México y el roedor gigante *Nechoerus*, cuyos descendientes aún viven en los ríos de América del Sur. Estos descubrimientos han aportado nueva información sobre cuándo se inició el intercambio biótico entre las Américas.

Los resultados obtenidos de la investigación en la cuenca de San Miguel Allende, son los más completos que se tienen hasta ahora de las cuencas de la Faja Volcánica Transmexicana. Con esta información se hizo posible extender las investigaciones a otras cuencas del Terciario tardío continental en el centro de México. De esta forma, se han estudiado, la cuenca de Zacualtupán, la de Tepeji del Río y de Santa María Amajac, en el estado de Hidalgo; la cuenca de Cuitzeo (Charo) y de Cinqua en el estado de Michoacán, la

cuenca de Acambay, en el estado de México, la cuenca de Tecolotlán, en el estado de Jalisco, las cuencas de Jalpan-Huanusco, y la de Tlaltenango-Colotlán en los estados de Jalisco y Zacatecas, y la cuenca de Miraflores en Baja California Sur.

Las faunas descritas del Henfiliano y del Blancano de la cuenca de San Miguel Allende, son actualmente la base de correlación con las faunas del centro de México y las faunas de las Grandes Planicies de América del Norte en los estados de California, Arizona, Texas, Nuevo México y Florida. Los resultados mencionados, demuestran la importancia que tuvo la Mesa Central como un intenso corredor natural, donde las faunas del Terciario tardío se desplazaron libremente, dejando la evidencia de su diversidad en las cuencas sedimentarias.

## EL GRAN INTERCAMBIO BIÓTICO ENTRE LAS AMÉRICAS

Entre los resultados más importantes de las investigaciones que se han realizado en la cuenca de San Miguel de Allende, están los descubrimientos de los registros de inmigrantes sudamericanos coexistiendo con faunas típicas de América del Norte. Las bases del conocimiento acerca de cuando se inició el intercambio biótico entre las Américas y la formación del puente panameño, que hizo posible este trascendental acontecimiento biológico, fue establecido con los hallazgos de los inmigrantes sudamericanos *Glossotherium*, *Glyptotherium* y *Nechoerus*, en sedimentos de 2.5 Ma, en las faunas de Cita Canyon, en el estado de Texas; 111 Ranch y Flat Tire, en el estado de Arizona y Haile xva y Santa Fe, en el estado de Florida (Galusha *et al.*, 1984; Marshall, 1985; Webb, 1997). Con estas evidencias, se instauró el concepto que el Puente Panameño se estableció hace tres millones de años, dando inicio a este importante evento biológico-geológico. Los descubrimientos de inmigrantes sudamericanos en el centro de México, han contribuido para definir con mayor precisión el inicio de este evento.

En las investigaciones realizadas en la sección estratigráfica de Rancho el Ocote-Los Corrales, 4.8 Ma, se recolectaron restos de un gran perezoso *Glossotherium* asociado con los équidos de edad henfiliana, y en los sedimentos de la fauna de Los Corrales, se recolectó un escudo de un pampaterio, *Plaina*. En la sección de Los Galvanes, en la localidad de Arroyo El Tanque, se recolectaron restos de *Glossotherium*, el roedor *Nechoerus* y del acorazado *Glyptotherium*. En el mismo nivel estratigráfico, en la localidad de Arroyo

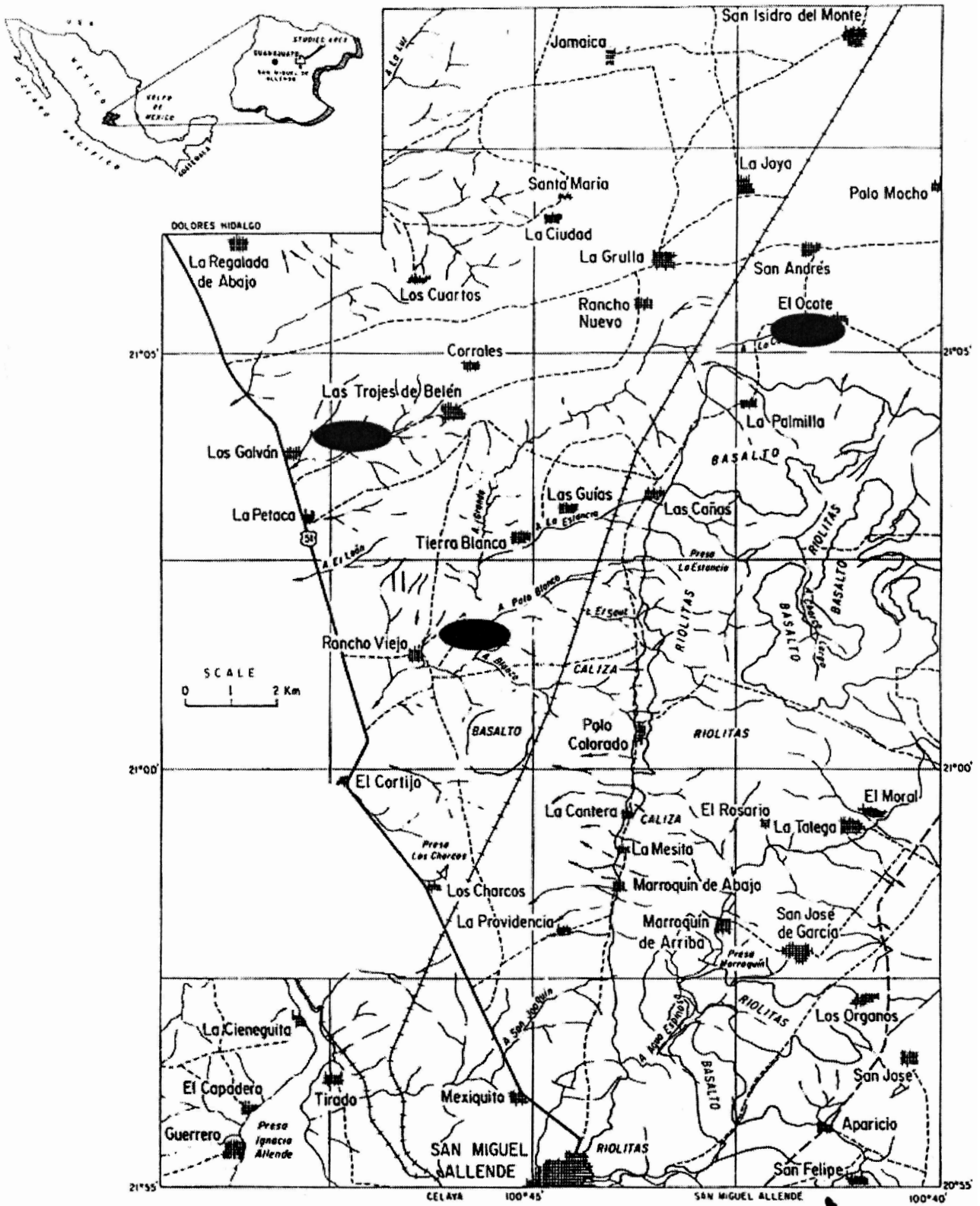


Figura 3. Área que comprende la Cuenca de San Miguel de Allende, mostrando los yacimientos más importantes.

Belén, distante solo tres kilómetros de Arroyo El Tanque, aflora el mismo nivel estratigráfico, aquí se recolectó un fragmento de caparazón de *Glyptotherium*, y diferentes placas del pampaterio *Plaina*. En la sección de Rancho Viejo se dieron a conocer los primeros registros de roedores caviomorfos, el capibara *Neochoerus*. Se describe una nueva especie *Neochoerus cordobai*, que representa una población de individuos de considerable tamaño (Carranza Castañeda y Miller, 1980; Carranza Castañeda, 1988). También se han recolectado elementos poscraneales y mandíbulas de una forma de menor corpulencia, que sólo fue referida al género *Neochoerus* sp. La osificación de las epífisis de los elementos poscraneales, son una importante evidencia para no considerarlos formas juveniles ni representativas de un dimorfismo sexual. La abundancia de estos roedores que son grandes nadadores, sugiere que las condiciones ambientales de la cuenca de San Miguel Allende, indudablemente fueron de mayor humedad, debido a los hábitos alimenticios de los capibaras que siempre están restringidos a sitios cercanos a ríos, arroyos o lagos donde disponen de plantas de agua dulce de las cuales se alimentan. Es importante repetir, que los géneros mencionados anteriormente, son los mismos inmigrantes que han sido recolectados en las faunas de los estados del sur de los Estados Unidos de América del Norte. El género *Glossotherium*, ha sido discutido ampliamente. El espécimen de *Glyptotherium* recolectado en Arroyo Belén, presenta similitud con el material de gliptodontes de la fauna de TTT Ranch de Arizona, con el cual fue comparado, el tamaño de la figura central que ocupa casi el 70 % del total de la superficie de cada escudo, el número de figuras periféricas y la forma rectanguliforme de casi todos los escudos lo diferencian notablemente de los gliptodontes que se han descubierto en localidades del Plioceno tardío-Pleistoceno de México.

El hallazgo en las localidades de Arroyo Belén, Los Corrales y Arroyo Los Halcones de osteodermos de un pampaterio que tentativamente ha sido referido al género *Plaina*, representa el primer registro de este género en localidades del Blancano temprano de América del norte. Las características que se presentan en la superficie dorsal de cada osteodermo y la configuración de los osteodermos de las bandas móviles, los hacen diferente del pampaterio *Holmesina floridanus*, única especie de pampaterios que se ha descrito del Blancano tardío en Norteamérica (Robertson, 1976) y del pampaterio sudamericano *Vassallia* del Mioceno-Plioceno de Catamarca Argentina.

Los inmigrantes sudamericanos mencionados anteriormente, se han recolectado en sedimentos que

se encuentra intercalados entre dos estratos de ceniza volcánica que han sido fechados radio métricamente, obteniendo edades de 3.9 Ma para el estrato basal y 3.3 Ma en los estratos superiores (Kowallis *et al.*, 1998). Estos resultados, sin duda confirman a los inmigrantes neotropicales del centro de México, como los registros más antiguos en Norteamérica, lo que sugiere que el inicio del gran intercambio biótico entre las Américas comenzó más de un millón de años antes de los tres millones de años sugerido por diferentes autores (Marshall, 1985; Webb, 1997), con base en las evidencias fósiles de las faunas de los estados del sur de los Estados Unidos de América del Norte.

Los inmigrantes de San Miguel Allende, representan la primera onda migratoria de faunas, lo que implica que el Puente panameño, reunía las condiciones ecológicas necesarias para favorecer el inicio de este gran acontecimiento biológico. Entre los hallazgos de San Miguel Allende y los registros de inmigrantes en las faunas de Arizona, Texas, y Florida existe una diferencia mayor a un millón de años. Una de las explicaciones posibles para este vacío de información, es la posibilidad de que las condiciones geológicas de Centroamérica cambiaron, limitando nuevamente la eficiencia del Puente Panameño, lo que sugiere que la migración, se realizó en diferentes etapas. Una segunda explicación es lo limitado de las investigaciones realizadas hasta ahora, en las cuencas sedimentarias de México, ya que aún existen cuencas en la región central y norte de México que no han sido estudiadas. Durante el Blancano tardío, las condiciones geológicas dieron origen a un puente terrestre eficiente, originando nuevos eventos migratorios, hasta que finalmente se estableció la conexión terrestre de Centroamérica (Carranza Castañeda y Miller, 2004).

## CONCLUSIONES

En la cuenca de San Miguel Allende, se encuentran las secuencias estratigráficas más completa del Terciario tardío de México y posiblemente de América del Norte.

Es la única área de investigación que se conoce hasta ahora, donde están en superposición dos edades de mamíferos, Henfiliano (Mioceno tardío-Plioceno) y Blancano (Plioceno), las cuales contienen la información más completa, sobre la diversidad de faunas de mamíferos del Terciario tardío en las cuencas de la Faja Volcánica Transmexicana.

Los inmigrantes sudamericanos presentes en las

faunas de la cuenca de San Miguel allende, son al menos un millón de años más antiguos que los descritos de las faunas de América del norte, lo que sugiere que, el Puente Panameño que permitió el paso de los inmigrantes entre las Américas, fue eficiente en los límites del Hemisferio-Blancano, más de un millón de años antes de lo sugerido por los hallazgos de estos inmigrantes en las faunas de Arizona, Texas y Florida.

De acuerdo a la información disponible, es posible inferir que hubo diferentes periodos de migración debido posiblemente a diferencias del nivel del mar o movimientos tectónicos que limitaron la eficiencia del puente panameño, el cual quedó establecido durante el Irvingtoniano, abriendo la ruta del intercambio recíproco de faunas entre las Américas.

Sin embargo, aún falta por investigar grandes cuencas del territorio nacional en los estados de Coahuila, Durango, Sonora y Chihuahua para poder complementar nuestra información estratigráfica y encontrar nuevas evidencias de inmigrantes en estas cuencas, para complementar la información estratigráfica del Terciario tardío de México y conocer con mayor certeza las rutas de migración de las faunas a través del altiplano mexicano.

## LITERATURA CITADA

- Carranza-Castañeda, O., 1979, *Rhynchotherium falconeri* del Rancho La Goleta, Michoacán, México (resumen): en Memorias III Congreso Latinoamericano de Geología, 1976, Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología, 28.
- Carranza-Castañeda, O., Miller, W. E., 1980, The Earliest Capybara Record in North America: Geol. Soc. America, Atlanta, Georgia, EUA. Noviembre, 12(7), 399.
- Carranza-Castañeda, O., Miller, E.W., 1988, Roedores Caviomorfos de la Mesa Central de México, Blancano temprano (Plioceno tardío) de la Fauna local Rancho Viejo, Guanajuato, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista 7(2), 182-199.
- Carranza-Castañeda, O., 1991, Faunas de Vertebrados fósiles del Terciario tardío del Centro de México (resumen). Memorias del III Congreso Nacional de Paleontología. Soc. Mex. Paleontología, 20-26.
- Carranza-Castañeda, O., Espinosa-Arrubarena, L., 1994, Late Tertiary Equids from the State of Hidalgo, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 11, 182-192.
- Carranza-Castañeda, O., Miller, E. W. 2004, Late Tertiary Mammals from Central Mexico and their Relationship to South American Immigrants: Revista Brasileira de Paleontología, 7(2), 249-261.
- Cope, E. D., 1885, "On Loup Fork in Mexico": American Naturalist, 19, 494-495.
- Cope, E. D., 1886, Report of the coal deposits near Zacualtipan, Mexico: American Naturalist, 23, 146-151.
- Galusha, T., Johnson, N. M., Lindsay, E. H., Opdyke, N. D., Tedford, R. H., 1984, Biostratigraphy and magnetostratigraphy, in late Pliocene rocks, 111 Ranch, Arizona: Bulletin of the Geological Society of America, 95, 714-722.
- Howard, H., 1965, A new species of cormorant from the Pliocene of Mexico: South. Calif. Academ. Sci. Bull., 64, pt.1, 50-55.
- Kowallis, J. B., Swisher, C. C., Carranza Castañeda, O.; Miller, E. W., Tingey, G. D., (1998) 1999, Fission-Track And Single Crystal  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Laser Fusion Ages From Volcanic Ash Layers in Fossil-Bearing Pliocene Sediments in Central Mexico, in Aguirre-Diaz, (ed.), Tectonic and Magmatic Evolution of Mexico during the Cenozoic: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15(2), 157-160.
- Lance, J. F., 1950, Paleontología y estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Estado de Chihuahua. Equidos excepto *Neohipparion*: Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geol. Bol., 54, 1-81.
- Leidy, J., 1882, On remains of horses: Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 1, 290-293.
- Lindsay, E. H., 1984, Late Cenozoic mammals from northwestern Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 4, 208-215.
- Marshall, L. G., 1985, Geochronology and land-mammal biochronology of the Transamerican faunal interchange, in Stehli, F. G., Webb, S. D. (eds.), The Great American Biotic Interchange: New York, Plenum Press, 49-85.
- Robertson, J. A., 1976, Latest Pliocene mammals

from Haile XVA, Alachua County, Florida:  
Bulletin of the Florida State Museum,  
20, 111-186.

Stock, Ch., 1948a, Uncovering the ancient life in  
Mexico: Eng. and Sci. Monthly, 11, 29-31.

Stock, Ch., 1948b, Restos de tejón (Taxidea)  
pliocénico del occidente de Chihuahua: Soc.  
Geol. Mexicana Bol., 13, 69-76.

Webb, S. D., 1997, The Great American Faunal  
Interchange, in Coates, A. G. (ed.), Central  
America: New York, Yale University Press,  
97-122.

Wilson, R. W., 1937, A new genus of lagomorph  
from the Pliocene of México: Southern  
Academy of Science, Bulletin, 36(3), 98-104.

Wilson, R. W., 1949, Rodents of the Rincon Fauna,  
western Chihuahua, Mexico: Carnegie Institute  
of Washington Publication, 584, 165-176.

# LOS VERTEBRADOS FÓSILES EN EL NORTE DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA

Francisco Javier Aranda Manteca<sup>1,\*</sup>

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un panorama general sobre la paleontología de vertebrados en el Estado de Baja California. Se describen las principales localidades y cuales son los principales descubrimientos, así como la interpretación de los ambientes de depositación donde se preservaron. Actualmente la Universidad Autónoma de Baja California, realiza una labor de rescate y preservación, que culmina con la formación de la Colección Paleontológica del Estado de Baja California, ubicada en Ensenada, Baja California, en la Facultad de Ciencias Marinas.

Palabras clave: Baja California, paleontología, vertebrados, dinosaurios, mamíferos marinos.

## ABSTRACT

Here is a general panorama on the vertebrate paleontology in Baja California State. Main localities and its principal discoveries are described, as well as the interpretation of depositional environments on which fossils where preserved. Nowadays the Universidad Autónoma de Baja California work on fossil rescue and preservation, leading to the creation of the Baja California State Paleontological Collection, located at Ensenada, Baja California, in the Marine Sciences Faculty.

Keywords: Baja California, paleontology, vertebrate, dinosaurs, marine mammals.

Los naturalistas del siglo XIX, cuando comenzaba el desarrollo de la geología moderna, realizaron incursiones en la Baja California. Llevados por el interés de comparar sus descubrimientos en la Alta California, buscaron localidades fosilíferas y encontraron un mundo de nuevas posibilidades, que hasta la fecha asombra a propios y extraños.

La paleontología en la región norte de la península de Baja California no ha reconocido fronteras, durante las primeras épocas los lugareños mostraron a los visitantes estudiosos de la naturaleza, importantes sitios y marcaron el inicio del estudio de los fósiles de Baja California. Con el paso del tiempo se han creado instituciones en ambos lados de la frontera que impulsan el conocimiento del patrimonio natural paleontológico. Entre las instituciones que más han contribuido al conocimiento de los fósiles de Baja California, se encuentran: Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Universidad

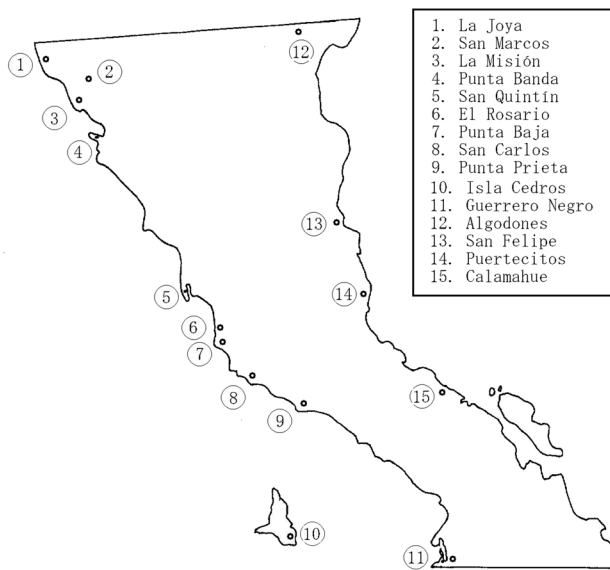
<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California. Colección Paleontológica del Estado de Baja California. Km. 103 Carret. Tijuana-Ensenada. Ensenada, B.C. C.P.22800; Tel 646-1744570 ext. 118; Fax 646-1744103.

\*aranda@uabc.mx

## Vertebrados Fósiles de Baja California

Nacional Autónoma de México (UNAM), San Diego Natural History Museum (SDNHM), Natural History Museum of Los Angeles County (NHMLAC), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), National Geographic Society (NGS), San Diego State University (SDSU) y University of California (UC).

En el norte de la península de Baja California existen reportes de restos de vertebrados correspondientes a la Era Paleozoica, los restos más antiguos conocidos corresponden con los sedimentos más antiguos en esta región. Representan un periodo en que aún no se formaba la península y los sedimentos se acumulaban, para formar las rocas sedimentarias de la margen sur occidental del cratón de Norteamérica (figura 1).



Estas rocas paleozoicas afloran en el Rancho San Marcos, a unos 50 Km. al norte de Ensenada, B. C. las características del depósito indican que los sedimentos se acumularon en el fondo abisal debido a los flujos de gravedad del borde de la plataforma continental marina, ocasionados por la actividad tectónica. Las rocas tienen una edad aproximada de 480 Millones de años (Ma), Ordovícico Temprano y los restos asociados a estos sedimentos son vertebrados marinos primitivos, conocidos como conodontes.

**Figura 1.** Principales localidades donde se colectan y rescatan fósiles de vertebrados en el estado de Baja California.

Los restos de estos organismos son principalmente placas dentarias pertenecientes a los géneros *Prioniodus evae* y *Oepikodus evae*, y su fosilización corresponde a cristales de fosfato de calcio. Hasta 1980, no se sabía como eran los conodontes, hasta que se encontró un espécimen completo y ahora son considerados dentro del grupo de los peces sin mandíbula o Agnathos. Todos están extintos.

Existen otras localidades fosilíferas del Paleozoico, como las de la región de Calamahue y la Sierra de Las Pintas entre Mexicali y San Felipe, B. C., donde también han sido reportados conodontes, asociados a crinoideos y bivalvos, de aproximadamente 300 Ma (Millones de años).

Durante la Era Mesozoica, ocurrieron varios eventos geológicos que provocaron el desarrollo de la actual península, sin que aún hubiera ocurrido la

El origen del batolito peninsular está ligado con la evolución de las rocas volcánicas del Jurásico y Cretácico, que presentan asociados sedimentos principalmente de origen marino.

Durante el Cretácico Temprano (Aptiano-Albiano) se produjo un proceso de gran magnitud que desarrollo las capas volcánicas y sedimentarias de la Formación Alisitos, formándose éstas últimas en un ambiente de depositación de mar tropical poco profundo, donde se desarrollaron grandes arrecifes de corales hermatípicos y de pelecípodos pachydontos. Hasta la fecha, no se han encontrado vertebrados asociados a estos depósitos.

Las rocas más conocidas de la península en su

región norteña son las del Grupo Rosario, éstas constituyen una secuencia de sedimentos marinos y no marinos, distinguidos en las formaciones Redonda, Bocana Roja y El Gallo, correspondientes a ambientes continentales y las formaciones Sepultura, La Cresta, Punta Baja y Rosario, que representan ambientes marinos. La Formación Rosario corresponde a una trasgresión marina generada por una gran elevación del nivel del mar durante el Cretácico Tardío (figuras 7 y 8).

Es en estos depósitos terrestres y transicionales en donde se han encontrado los dinosaurios en Baja California. Para la Formación Bocana Roja, al sur del poblado El Rosario, B. C., se ha reportado un grupo dinosaurios autóctonos, entre los que se encuentra el género *Labocania anomala*, correspondiente a un fiero carnosaurio de aproximadamente dos terceras partes del tamaño de un *Tyranosaurus rex*. Este carnívoro fue encontrado por Harley J. Garbani en 1970 y descrito por Ralph Molnar en 1974. Como características particulares, este carnosaurio se observa que es más masivo que otros terópodos y el cráneo y las mandíbulas se asemejan más a los carnosaurios asiáticos que a los encontrados en Norteamérica. Asociados se han reportado diversos restos de dinosaurios de la familia Hadrosauridae, tortugas de la familia Testudinidae y aves del género *Alexornis* sp.

A unos 300 km. Al sur de Ensenada, B. C. se encuentra un depósito fosilífero de gran importancia, cercano a la población llamada El Rosario, B. C., se tienen reportes de huesos de dinosaurios desde 1925, pero hasta los años 50's, comenzaron formalmente los trabajos de investigación, con J. Wyatt Dirham y Joseph H. Peck Jr. de la Universidad de California. Frank Kilmer en 1974 hace una descripción de la secuencia de sedimentos y los denomina Formación El Gallo, correspondiente a una secuencia de areniscas y lutitas que sugiere que la geografía de hace 73 Ma., era muy diferente a la actual. La península estaba unida aún al continente y durante las épocas de tormentas los ríos cretácicos transportaban materiales rocosos desde las montañas hacia el mar, depositándolos en las planicies costeras, formando deltas y lagunas costeras, que en ocasiones eran cubiertas por el agua oceánica.

En la formación El Gallo, se han realizado múltiples exploraciones y excavaciones, como las de E. H. Colbert en 1960, Shelton Applegate y Henry Garbani en 1964, pero el investigador que más tiempo y esfuerzo ha dedicado aquí ha sido el Dr. William Morris, quien en varias ocasiones y con diferente apoy-

os, se dedico a la búsqueda formal de dinosaurios en Baja California. Como resultado de su trabajo, Morris encontró un esqueleto de dinosaurio parcialmente preservado, restos de piel del mismo dinosaurio, así como dientes comprimidos de un carnívoro similar a *Gorgosaurus*.

En 1967, Pedro Fonseca y Mario Torres (UABC), descubrieron parte de un hadrosauro extremadamente grande; su longitud en vida se estimó que correspondía a 16 metros de largo. Este dinosaurio fue bautizado por el Dr. Morris como *Magnapaulia laticaudus*. Asociados en el depósito se han descubierto otros dinosaurios como: ankylosaurus y troodontes; reptiles, como: pterodáctilos, tortugas y cocodrilos, así como aves y mamíferos terrestres.

Como parte, importante del ensamblaje fosilífero se han descubierto abundantes restos de vegetales, entre los que se encuentran, coníferas: araucarias y sequoias, así como ginkgos y palmeras largas, en muy buen estado de preservación.

Otro aspecto del Cretácico Tardío de Baja California en su región norte, son los sedimentos marinos de la formación Rosario, los cuales se extienden desde la frontera con USA hasta varios kilómetros al sur de El Rosario. En esta formación, se han reportado abundantes restos de invertebrados marinos, principalmente moluscos como: amonites, baculites, pelecípodos y gasterópodos. Muy pocos vertebrados se han recuperado a pesar de lo extenso de los afloramientos de esta Formación, entre los registros asociados con el rudista *Coralliochama orcutti*, que se encuentra en el depósito conocido como Punta Banda, al sur de la Bahía de Todos Santos, B. C., se han registrado dos dientes de tiburón del género *Cretolamna*. A pesar de los escasos registros de vertebrados, se tienen muchas probabilidades de encontrar restos de reptiles marinos en la Formación Rosario, tales como Ichthyosauridae, Plesiosauridae, Elasmosauridae y Mosasauridae, ya que este tipo de fósiles son frecuentes en los depósitos de California, correspondientes a la misma edad.

En la Colección Paleontológica de Baja California, no se tienen reportes de vertebrados para el norte de la península en el tiempo comprendido entre el Cretácico Tardío y el Mioceno Medio, lo que representa desde hace 65 Ma hasta unos 20 Ma. Sin embargo, en el estado de Baja California Sur se tienen importantes registros de mamíferos marinos en depósitos del Eoceno y Oligoceno, que representan un enorme potencial para el estudio de la evolución de muchos grupos de vertebrados marinos.



Los depósitos sedimentarios marinos de la formación Rosarito Beach, del Mioceno Medio (16 a 14 Ma), localizados entre Tijuana y Ensenada, son sin duda uno de los más importantes lugares para la colecta de vertebrados marinos en México (figuras 2 y 5). La asociación fosilífera de la Mesa La Misión es conocida como Fauna Local La Misión. Se tienen reportes de esta localidad desde 1913, durante las visitas del geólogo alemán Ernest Wittich. Posterior a su descubrimiento, los trabajos de John Minch, contribuyen enormemente a la comprensión de los aspectos geológicos de la región noroeste de la península de Baja California. Estos depósitos han sido objeto de diferentes colectas por instituciones principalmente de E. U. A., como: Museo de Historia Natural de San Diego, el Museo de Historia Natural del Condado de Los Ángeles, la Universidad de California en Berkeley, la Universidad Autónoma de México y la Universidad Autónoma de Baja California (figura 5).

Los depósitos de la Mesa La Misión, resultan significativamente importantes, ya que los restos son abundantes y se encuentran muy bien preservados en una toba arenácea, producto de episodios volcánicos relacionados con el cambio en la configuración de los límites entre las placas del Pacífico y de Norteamérica. En la Fauna Local La Misión, se han colectado más de 90 especies de vertebrados marinos, como: tiburones, rayas, peces óseos, tortugas marinas, aves costeras, mamíferos marinos (ballenas, delfines, lobos marinos, hipopótamos marinos y sirenios) y mamíferos continentales (camellos, caballos y perros). De acuerdo con las características del ensamblaje fosilífero, la fauna de esta localidad presentó un alto grado de endemismo, lo que sugiere que el depósito representa un sitio de alimentación y resguardo para diversas especies marinas, durante esta época de cambio en las condiciones oceanográficas influenciadas por la formación de la capa de hielo de la Antártica.

Entre los restos fósiles de mayor importancia están los restos de dos esqueletos de sirenios dugongidos, colectados durante una visita a La Mesa La Misión por estudiantes de la UABC; FCM, dirigidos por el Dr. Aranda-Manteca. Posteriormente, a este sirenio se le llamó 'la sirena que viaja hacia el norte', *Metaxytherium arctodites*, y corresponde a un linaje de sirenios que conquistó las frías aguas del océano Pacífico (figuras 3 y 6).

Otra importante localidad se encuentra en la región sur este de Isla Cedros, B. C. pertenece a la Formación Almejas inferior, del Mioceno Tardío (9 a 6 Ma) y es conocida como Fauna Isla de Cedros.

Hasta el momento, las localidades al sur del Poblado de Cedros, B. C., se distinguen por haber aportado el mayor número de holotipos fósiles de mamíferos marinos descritos en México, gracias a los trabajos de Frank Kilmer en los 60's quien reportó los primeros vertebrados para esta localidad y seguido por Richard Tedford y David Whistler, del NHMLAC, a cuyo trabajo se le dio continuidad por las colectas que en los años 90's realizaron los doctores Barnes y Aranda-Manteca, cuyos descubrimientos se encuentran bajo resguardo de la CPEBC. En los sedimentos de la Formación Almejas, se han encontrado muy abundantes y diversos restos de más de 80 especies de vertebrados marinos, donde resalta la diversidad de mamíferos marinos representados por 12 Familias: Pontoporiidae, Monodontidae, Phocoenidae, Albireonidae, Delphinidae, Physteridae, Ziphiidae, Kogiidae, Cethotheriidae, Balaenopteridae, Dugongidae y Otariidae. (figuras 4, 9, 10, 11 y 12).

Los holotipos de de la Fauna Isla Cedros son: las aves, *Cerorhinca minor*, *Mancalla cedrosensis* y *Puffinus tedfordi* descritas por Howard en 1971, los otáridos: *Aivukus cedrosensis* y *Thalassoleon mexicanus*, descritos por Repenning y Tedford en 1977 y los cetáceos *Parapontoporia pacifica*, *Denébola brachycephala*, *Piscolithax tedfordi*, *P. boreios*, *Albireo whistleri* y *Praekogia cedrocensis*, descritos por Lawrence G. Barnes en 1984.

La asociación y las características de los sedimentos de la Formación Almejas en Isla Cedros, B. C., indican que el depósito corresponde a un ambiente costero cercano a zonas de aguas profundas, con una muy alta productividad, capaz de sostener una muy diversa y abundante fauna donde ocurren varios depredadores tope, como mamíferos marinos y tiburones. También es importante resaltar que durante el Mioceno Tardío ocurrió una radiación adaptativa, que se puede relacionar con especies que se originaron en las zonas subtropicales y posteriormente, se adaptaron a aguas frías, en esta fauna hay varios ejemplos, tal es el caso de los monodóntidos más antiguos y sureños (ballenas blancas, belugas). Para esta asociación fosilífera se tiene el reporte más antiguo del famoso tiburón blanco, *Carcharodon carcharias*.

Siguiendo con el recorrido en el tiempo, ocurren otros depósitos menos estudiados que los anteriores, que representan un potencial alentador para dar continuidad al estudio de los vertebrados del norte de la península de Baja California. En las cercanías a la frontera con Estados Unidos de Norteamérica, en la localidad conocida como La Joya, B. C., cuyos sedi-



**Figura 2.** Cráneo y mandíbula de *Metaxytherium arctodites* Aranda-Manteca, Barnes and Domning, 1984, UABC-FCMM 3693, del Mioceno Medio, colectado en La Mesa La Misión, Baja California. (fotografía: Tomás Castelazo Y.)

**Figura 3.** Excavación de esqueleto del sireio *Metaxytherium arctodites*, octubre 1984, Mesa La Misión, Baja California.



**Figura 6.** Dientes de *Carcharocles chubutensis*, colectados en La Mesa La Misión, Mioceno medio, formación Rosarito Beach. (fotografía: Francisco Aranda-Manteca).



**Figura 5.** Húmeros de tres especies de tortugas marinas miocénicas, *Dermochelys*, *Mesochelonia* y *Syllo-mus*, formación Rosarito Beach B.C. (fotografía: Susy Sánchez).



**Figura 4.** Diente anterior de tiburón gigante, del Mioceno Tardío, de la Formación Almejas Inferior, *Carcharocles megalodon*, colectado en Isla Cedros, Baja California. (fotografía: Francisco Aranda-Manteca).



**Figura 7.** Campamento de exploración y colecta de fósiles de dinosaurios del Cretácico tardío en el área El Rosario, Baja California, por estudiantes y maestros de la Facultad de Ciencias Marinas, UABC. (Fotografía: Francisco Aranda-Manteca).

**Figura 8.** Vértebra caudal de Hadrosaurino, Pico de pato, *Magnapaulia laticaudus*, colectado en El Rosario, Baja California (izquierda) y tibia posiblemente de la misma especie, colectada en el Ejido Eréndira, Baja California. (Fotografías: Enrique Quintero).





**Figura 9.** Vista general de Valle Blanca, donde se observan las formaciones Tortugas, Mioceno medio (abajo en blanco) y Almejas, Mioceno Tardío-Plioceno temprano (arriba, amarillo) en Isla Cedros, Baja California. (fotografía: Francisco Aranda-Manteca).

**Figura 10.** Cráneo y mandíbulas de *Thalassoleon mexicanus*, UABC-FCMM 2138, colectado en Isla Cedros, Baja California. (fotografía Tomás Castelazo).



**Figura 11.** Cráneo de *Denebola brachycephala*, Mioceno tardío, formación Almejas inferior, Isla cedros, B.C. (fotografía: Francisco Aranda-Manteca).

**Figura 12.** Cráneo de holotipo *Piscolithax tedfordi*, Mioceno tardío, formación Almejas inferior, Isla cedros, B.C. (fotografía: Lawrence G. Barnes).



mentos corresponden a la formación San Diego, de edad Plioceno, se han colectado vertebrados marinos, tiburones como *Carcharocles megalodon* y *Carcharodon carcharias*, rayas y ballenas, parientes de los rorcuales actuales. Otra localidad, de la misma edad, se encuentra en la región cercana a San Felipe, conocida como formación Llano El Moreno, donde se han reportado impresiones de peces óseos asociadas con capas de diatomeas. Esta última localidad representa un episodio primitivo del proceso de formación del Golfo de California.

Al sur de Ensenada, se encuentra la población de San Quintín, B. C., en ella se registran episodios de vulcanismo reciente, en cuyas capas de sedimentos piroclásticos se han recuperado restos de dos mamuts identificados como *Mammuthus imperator* asociados a huesos de camellos y otros mamíferos no identificados. Otro elefante de la misma edad fue encontrado en la población San Antonio de Los Buenos, al sur de Tijuana, en los años 70's, cuando un grupo de estudiantes de la Escuela Superior de Ciencias Marinas descubrieron y excavaron un esqueleto de Mastodonte, *Mammut americanum*, asociado con restos de tapir y otros huesos no identificados. Otros mamuts han sido colectados en las cercanías de Mexicali y en el ejido San Vicente, B. C.

En toda la costa Pacífica y en el Golfo de California, ocurren importantes acumulaciones de restos de alimentos marinos consumidos por los habitantes precortesianos de Baja California, depósitos conocidos como concheros. En ellos se ha estudiado la dieta de estos habitantes, que correspondía a un alto consumo de moluscos de la zona costera como los mejillones y pequeñas almejas, así mismo se encuentra asociados huesos de mamíferos marinos, como delfines, lobos marinos y ballenas, asociados a los instrumentos líticos que servían para su colecta y preparación.

Actualmente muchos de los restos colectados en la región norte de la península de Baja California se almacenan en la Colección Paleontológica del Estado de Baja California, la cual se ubica en Ensenada, Baja California, bajo el resguardo de la Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. Este es un esfuerzo de la UABC, para preservar el patrimonio natural paleontológico del Estado, el cual ha dado como resultado el rescate y conservación de más de 40,000 especímenes, que corresponden a 120 especies de diferentes vertebrados, tanto terrestres como marinos, de los cuales 40 especies son mamíferos marinos, de 14 familias, pertenecientes al periodo Neogeno, particularmente Mioceno y Plioceno.

La Colección Paleontológica del Estado de Baja California, alberga las faunas de mamíferos marinos fósiles más estudiadas en México.

# PLANTAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR DE COAHUILA

Sergio R.S. Cevallos Ferriz<sup>1</sup>

## RESUMEN

El estudio de las plantas del Cretácico Superior de Coahuila ha permitido reconocer una diversa flora que parece compartir elementos con flora de latitudes mayores, pero a la vez muestra una pequeña pero clara diferencia en la composición de la vegetación que creció hace 70 a 65 millones de años en la Formación Olmos de la Cuenca Carbonífera y en la Formación Cerro del Pueblo en la Cuenca de Parras. Seguramente el entendimiento del cambio de flora y vegetación en la región a través del tiempo geológico explicará en forma más completa y dinámica el paisaje actual del estado.

Palabras clave: Coahuila, Cretácico Superior, Plantas fósiles, Formación Cerro del Pueblo, Formación Olmos.

## ABSTRACT

The study of Upper Cretaceous plants in Coahuila has allowed recognition of a diverse flora that seems to share elements with higher latitude floras; even more, it also demonstrates a small but clear difference in vegetation composition growing some 70 to 65 million years ago in the Olmos Formation of the Carboniferous basin and the Cerro del Pueblo Formation of the Parras basin. Certainly, comprehension of the flora en vegetation change through geologic time in the region will explain in a more complete and dynamic way the extant scenery in the state.

Keywords: Coahuila, Fossil plants, Upper Cretaceous, Cerro del Pueblo Formation, Olmos Formation.

## INTRODUCCIÓN

Las angiospermas o plantas con flor, como comúnmente se les conoce, son el resultado de una serie de procesos evolutivos a través del tiempo, los cuales han permitido que desde su origen durante el Cretácico temprano, hayan radiado, diversificado y permanecido hasta la actualidad. El estudio de polen, flores, frutos, semillas, hojas, folíolos y maderas fósiles, ha contribuido notablemente en el entendimiento sobre el origen y evolución de este grupo de plantas, así como con la aportación de nuevos caracteres para estudios filogenéticos (e.g., Dilcher, 1974; Hickey 1973, 1977; Hickey y Wolfe, 1975; Hickey y Talor, 1991; Weber, 1973, 1975, 1976; Wolfe, 1975, 1987; Wheeler y Baas, 1991; Tiffney 1985a, 1985b). Dos son las hipótesis que por mucho tiempo sirvieron de modelo para explicar el origen de este grupo, que sigue

<sup>1</sup> Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, Del. Coyoacan, 04510 México D.F.

hasta la fecha representando un fenómeno biológico por resolver. Hacia inicios del siglo pasado Arber y Parkin, (1907, 1908) propone que la flor es homóloga a un estróbilo bisexual con numerosos ovarios y órganos polínicos dispuestos en espiral. El perianto estaría formado por partes conspicuas y la polinización la realizarían insectos (e.g., cucarachas o escarabajos). Esta propuesta conocida como la hipótesis euantial ha sido ejemplificada con miembros de Magnolidae. En contraste, tiempo después Wettstein (1935) discute a la flor como homóloga a los órganos reproductivos unisexuales de una gimnosperma. Bajo esta perspectiva las flores eran pequeñas, anemófilas, unisexuales y simples. Además, normalmente se organizaban como largas inflorescencias, y cada flor estaría compuesta por un solo carpelo contenedor de un solo óvulo unitegumentado. Miembros de Hamamelidae (Fagales, Juglandales, Myricales) servían de modelo para ejemplificar esta hipótesis conocida como pseudoantial.

Decisión sobre que hipótesis explica mejor el origen de las angiospermas no se ha alcanzado, pero tanto el registro fósil como los análisis cladísticos y del reloj molecular sugieren que el grupo se había diferenciado desde hace 132 a 135 millones (e.g., Hickey y Doyle, 1977; Magallón-Puebla *et al.*, 1999). El registro de polen más temprano y aceptado proviene de estratos de la Formación Helez (Valangiano-Hauteriviano) de Israel y del Barremiano de Inglaterra (Hughes, 1976; Brenner, 1996). Algunos de estos granos son monosulcados y tienen forma de barco del tipo de los que posiblemente se relacionan con monocotiledóneas o algunas dicotiledóneas magnoliáceas. Estos granos son asignados a los géneros de polen disperso *Clavatipollenites*, *Retimonocolpites* y *Liliacidites*. La presencia de estos tipos de polen se relaciona con la presencia de hojas de paleohierbas y eudicotiledóneas (Hickey y Doyle, 1977). La diversificación de polen es similar a la diversificación de tipos de hojas (Hickey y Wolfe, 1975). La adquisición de los caracteres de la flor y de la madera ha sido discutida con mayor detalle en tiempos relativamente más recientes (Taylor y Hickey, 1996).

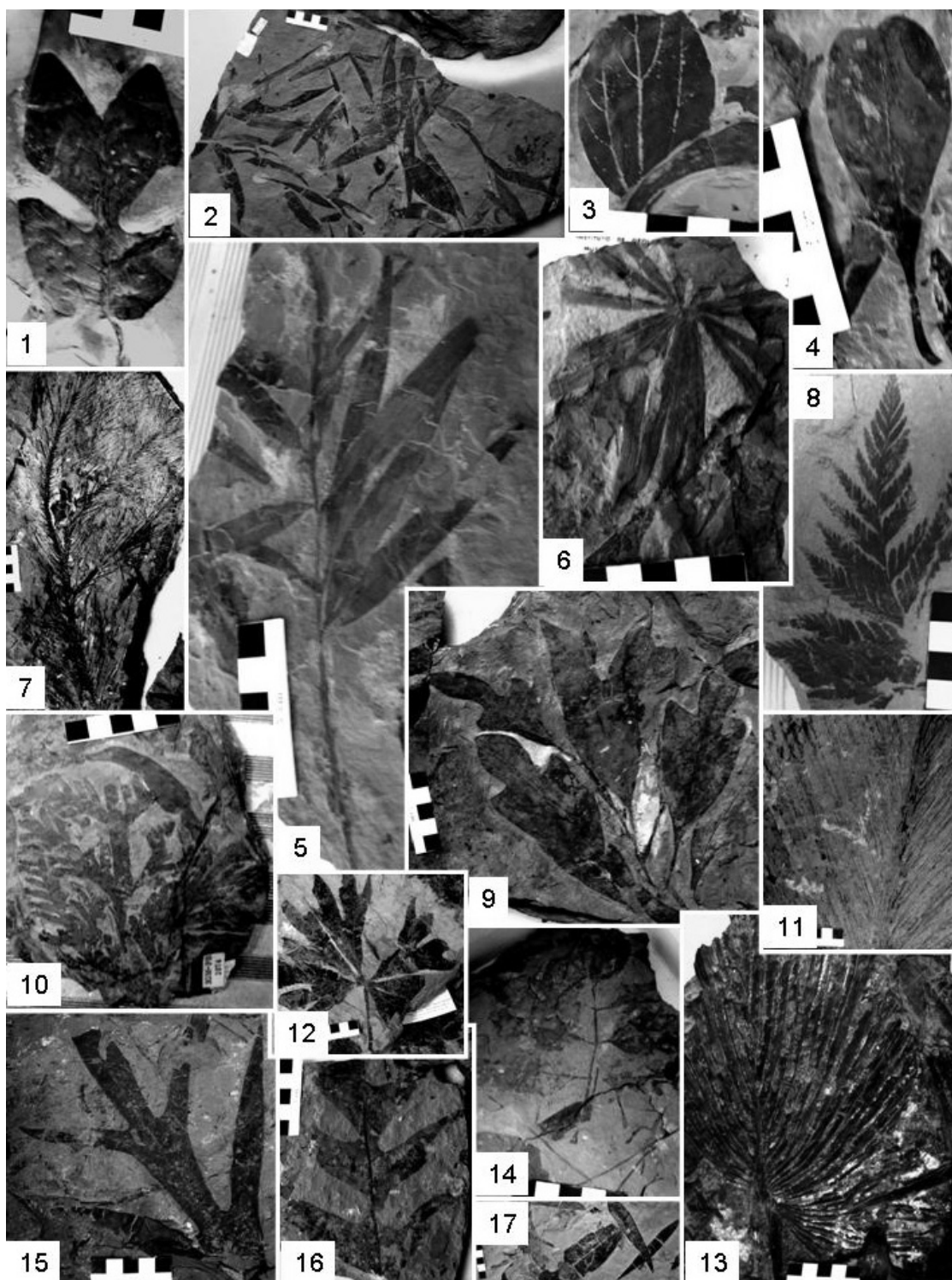
Las rocas más comunes en Coahuila tienen edad cretácica y por ello pueden ser importantes en el estudio de las plantas con flor de este tiempo. La rápida diversificación de las angiospermas seguramente ocurrió durante el Cretácico Inferior, al mismo tiempo en que los mamíferos se vuelven más comunes, y comenzaban a reemplazar a los dinosaurios (Gandolfo, 2002). Los cambios geológicos que se dan en las tierras emergidas de México de aquel tiempo seguramente promovieron importantes cambios biológicos que conllevaron la

“modernización” radical de los ecosistemas terrestres en la región, que son la base del origen de la flora y vegetación actual de México (Cevallos-Ferriz y Ramírez-Garduño, 1998).

El material fósil conocido de Coahuila que ha aportado al entendimiento de las plantas con flor de este tiempo en la región sur de América del Norte se han recolectado en dos formaciones principalmente, la Formación Cerro del Pueblo y la Formación Olmos. El material se ha conservado como impresiones, compresiones carbonosas y permineralizaciones. Las observaciones que se hagan sobre este material deben entenderse como parte de los procesos biológicos que un grupo de plantas, en su mayoría extintas, estaban desarrollando en ese momento para lograr con el tiempo volverse el grupo dominantes en casi la totalidad de los ecosistemas.

## FÓSILES DE PLANTAS

*Hojas (figuras 1-17).* Desafortunadamente las hojas recolectadas en Coahuila carecen de cutículas que son muy importantes para establecer la relación taxonómica de estos órganos; sin embargo, el estudio de estas hojas a través su arquitectura seguramente aportará al mejor entendimiento de los niveles de organización alcanzados por las plantas en aquel tiempo. Por ejemplo, una primera aproximación que se puede hacer es que varios de los tipos de hojas recolectados en Coahuila recuerdan a los tipos de hoja conocida hacia el norte de América del Norte. Es evidente en este caso la presencia de palmeras que en la Formación Olmos están representadas por dos tipos de hojas, *Phoenocites* y *Sabalites* (figuras 11, 13), mientras que en la Formación Cerro del Pueblo hasta el momento solo se ha recolectado de forma abundante la segunda (Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1994). Otras hojas, como una de tipo compuesta a la que aun falta por corroborar algunas características recuerda la arquitectura foliar del grupo de Anacardiaceae (figura 14), en donde pertenecen el mango, el pistache, la mala mujer, etc., pudiera atestiguar la edad mínima de la familia (Martínez Millán, 2004). Seguramente las plantas que produjeron estas hojas están relacionadas con las plantas del Cretácico inferior que son pequeñas, simples y con venación pinada en el Neocomiano de Siberia (120 millones de años), o con aquellas del grupo Potomac de América del Norte que se recolectan en sedimentos del Barremiano-Aptiano, en donde las angiospermas representan el 2 % de toda la flora (Hickey, 1973; Hickey y Doyle, 1977; Hickey y Wolfe, 1975; Taylor y Hickey,



**Figuras 1-17.** Impresiones carbonizadas de la Formación Olmos (Material recolectado por el Dr. R. Weber)

**1** *cf. Liriodendron*. **2-4** Hojas dispersas indeterminadas. **5** Rama con hojas indeterminadas. **6** Verticilo con hojas largas. **7** Rama de conífera. **8** Helecho indeterminado. **9** Rama con hojas tipo protolauraceae. **10** *Brachyphyllum*. **11** Fragmento de hoja de *Phoenocites* (palmera). **12** *Manihotites*. **13** Fragmento de hoja de *Sabalites* (palmera). **14** Hoja compuesta indeterminada. **15-16** Hojas dispersas tipo protolauraceae. **17** Hojas dispersas indeterminadas. Escala en centímetros.



1996). De esta región varios géneros, entre ellos *Fico-phyllum*, *Proteaephyllum*, *Vitiphyllum*, *Celastrrophyllum*, han sido reconocidos, otros dos géneros estarían asociados con las monocotiledóneas: *Acaciaephyllum* y *Plantaginopsis*. En América del Norte es a partir de este momento que las angiospermas comienzan a diversificarse rápidamente, representando el 25 % de la flora en el Cretácico Inferior de Patapsco. Las hojas de ese momento pueden ser palmadas, semejantes a las de Platanaceae como *Araliaephyllum* y *Araliopsoides* o enteras y sin lóbulos con venación pinnada como en *Betulites* y *Populites*. Es importante señalar que Weber (1972) sugiere que dentro del material que el recolectó en la Formación Olmos hay ejemplares que recuerdan a Betulaceae, Salicaceae, Lauraceae o Moraceae, entre otras, pero cuya identificación definitiva requiere de nuevas observaciones (figuras 1–13). El material de la Formación Olmos recolectado por Weber representa sin duda la colección más completa de estas plantas para México, y aparentemente el poco material recolectado en la Formación Cerro del Pueblo incluye varias formas muy parecidas a las de la Formación Olmos.

**Flores y frutos (figuras 18–35).** El registro más antiguo de un fruto corresponde con el de *Nyssidium* (con caracteres similares al género *Nyssia*) del Barremiano, aunque también tiene parecido con folículos de *Cercidiphyllum* (Crane *et al.*, 1991; McIver, 2002). No obstante, hay quienes argumentan que se parece también a semillas de las cycadeioides. Material proveniente del Albiano de Australia ha sido discutido como una angiosperma; el fósil se caracteriza por tener un tallo delgado, con hojas expandidas en cuyas axilas se observa una retícula muy laxa interpretada como inflorescencias. Esta es interpretada como una probable cima, en la que los ovarios de las flores están asociados con brácteas adosadas al eje principal, además, parece haber dos bractéolas que parecen ser axilares a la bráctea que rodea al menos a un ovario. El ovario es pequeño, oblongo y termina en un estigma que carece de estilo (Taylor y Hickey, 1990, 1992). El material se ha comparado con inflorescencias de las familias Piperaceae, Saururaceae y Chloranthaceae (Taylor y Hickey, 1990, 1992). Otros frutos y parte de flores de Hamamelidae y Rosidae fueron encontrados en sedimentos del Grupo Potomac. Además de que flores bisexuales han sido reportadas de depósitos del Albiano de Rusia (Gandolfo, 2002).

Crane y Dilcher (1984) han descrito materiales del límite Cretácico Inferior-Superior colectados en

sedimentos de la Formación Dakota. Por ejemplo, en *Lesqueria* el gineceo está compuesto por numerosos folículos dispuestos helicoidalmente sobre un receptáculo, formando una cabeza esférica; cada folículo tiene un pedúnculo y dos extensiones semejantes a estilos y supuestamente tienen dehiscencia longitudinal. En cada folículo las semillas se ordenan en dos líneas con 10 a 20 de éstas (Crane y Dilcher, 1984). La morfología de los folículos es similar a la de los carpelos de muchas Magnoliidae, sin poder hasta el momento ser más precisos en su determinación taxonómica.

Otro fósil importante de esta formación es *Archaeanthus*, también considerado miembro de Magnoliidae. *Archaeanthus* consiste de una rama masiva terminada en una flor, o de folículos dispuestos en espiral (carpelos conduplicados) que se abren a lo largo de la sutura adaxial. Los 10 a 18 óvulos maduros que contienen los folículos se ordenan en dos líneas, una en cada lado de la sutura. Debajo del receptáculo se observan tres tipos diferentes de cicatrices interpretadas como probablemente pertenecieran a los estambres si son pequeñas, o pertenecieran a las partes del perianto si se cuentan de 6-9, y si es una sola se interpreta como perteneciente a la bráctea de la flor. No hay duda que *Archaeanthus* tiene caracteres compartidos con distintos géneros del orden Magnoliales y demuestra claramente la presencia de las angiospermas para el Cenomaniano (Dilcher y Crane, 1994). Este hallazgo estaría dando valor a la teoría de Arber y Parkin (1907) sobre el origen de la flor. Asociadas a *Archaeanthus* se recolectaron además a las siguientes partes que se consideran forman parte de esta estructura reproductora, *Archeopetala* (perianto), *Kalymmanthus* (brácteas florales) y *Liriophyllum* (hojas).

Otros fósiles interesantes de América del Norte son *Caloda*, *Prisca* y la flor de Rose Creek recolectados en la Formación Dakota, de edad Cenomaniana. *Caloda* consiste de una inflorescencia con un eje principal con varios ejes secundarios dispuestos helicoidalmente, cada eje secundario está terminado en un receptáculo pequeño con carpelos conduplicados sostenidos por un corto pedúnculo. Los carpelos son aplanados lateralmente, tienen una sutura adaxial y una sola vena abaxial. Esta inflorescencia es semejante a la de algunos miembros de Hamamelidales y Najadales, pero puede también ser considerado por sus características como un miembro primitivo de Piperales, donde las flores son unisexuales, las partes del perianto son pequeñas o nulas y están dispuestas en racimos muy densos (Dilcher y Kovach, 1986). *Prisca* representa racimos formados por folículos. Estos son en verdad carpelos conduplicados que contienen

óvulos con dos tegumentos. Los racimos son simples, compuestos por brácteas y pedúnculos alternos o receptáculos, cada uno de los cuales lleva a los folículos dispuestos en espiral. Los folículos son elípticos a globosos, en el interior llevan entre 2-6 óvulos ortótropos sostenidos dentro del lado interno de los márgenes con el micrópilo orientado hacia el interior del folículo. Los óvulos no sobrepasan los 0.8 mm de longitud. No hay evidencia de perianto o androceo (Retallack y Dilcher, 1981). Sin dudas pertenece a un grupo extinto. La flor de Rose Creek está representada por estructuras reproductivas pentámeras, con simetría radial y pétalos alternando con lóbulos del cáliz, el cual tiene forma de copa. Los cinco estambres están fusionados en la base del receptáculo. El gineceo está compuesto por cinco carpelos dispuestos en forma de anillo sobre un receptáculo. Tiene en general morfología similar a la de las flores polinizadas por insectos (Basinger y Dilcher, 1984). Sus caracteres permiten compararla con familias de la subclase Rosidae (Saxifragales, Rosales, Rhamnales).

La presencia de flores pequeñas como, por ejemplo, las descritas por Friis (1990), Friis y Skaby (1982), Crane, Herendeen *et al.* (1994, 1999); Crepet *et al.* (2001) y Gandolfo *et al.* (1997, 1998, 2000, 2004), entre otros (con granos tricolpados, flores unisexuales, pequeñas, con perianto inconspicuo) en sedimentos relativamente coetáneos con los materiales de la Formación Dakota, estarían confirmando la existencia de plantas anemófilas y las polinizadas por insectos al mismo tiempo – aunque se ha discutido que la anemofilia y polinización por insectos se diferencian tempranamente durante el proceso de evolución de las angiospermas (e.g., Crepet y Nixon, 1994, 1998).

Aunque de la Formación Olmos se conocen flores, frutos, inflorescencias o infrutescencias bien conservadas su estudio detallado no se ha realizado (figuras 34–35). Entre ellas, destaca la inflorescencia/infrutescencia con más de un metro de longitud de una palmera (e.g., Weber, 1972) (figura 34). En contraste, las estructuras reproductivas recolectadas en varias localidades de la Formación Cerro del Pueblo han sido estudiadas con mayor detalle (e.g., Pérez-Hernández *et al.*, 1997; Pérez-Hernández y Cevallos-Ferriz, 1998; Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994; Pérez Hernández *et al.*, 1997; Pérez Hernández y Cevallos-Ferriz, 1998; Estrada-Ruiz, 2004) (figuras 18–32). Estas representan en su mayoría a plantas monocotiledóneas, destacando por su abundancia los frutos de Zingiberales (Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994). Uno de ellos representa a una de las comunidades más antiguas de este tipo de planta extinta

y cercanamente emparentada con *Musa*, el plátano (Musaceae), *Striatornata sanantoniensis* Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz (figura 18), mientras que el otro tipo de fruto seguramente también representa a una planta extinta que aparentemente se relaciona con la planta del ave del paraíso (Strelitziaceae), aunque su afinidad taxonómica más precisa es incierta, *Tricostatocarpon silvapinedae* Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz (figura 19). Estos frutos sugieren que en el orden la forma de dispersión de las semillas cambió de la realizada mediante agua o viento en frutos con muchas (cientos) semillas hace 70 millones de años, a llevada a cabo por animales como sucede en los representantes actuales de este grupo, que poseen frutos “carnosos” con número de semillas reducido y algunas con arilo (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994). Frecuentemente se recolectan en esta formación infrutescencia poligonales que se han separado como representando a dos tipos de plantas distintas, dependiendo del número de fruto que cada una tiene (Estrada-Ruiz, 2004) (figuras 21–22). La comparación morfológica y anatómica que se ha hecho de éstos sugiere que representan especies distintas del mismo género, pero este último es de difícil ubicación en categorías taxonómicas superiores, aunque comparte mayor similitud con miembros del orden Arales, en especial con plantas de Araceae (Estrada-Ruiz, 2004). Otras dos infrutescencias son parecidas a las producidas por algunas eudicotiledoneas, Phytolaccaceae y Fagales (Pérez Hernández *et al.*, 1997; Pérez Hernández y Cevallos-Ferriz, 1998) (figuras 20, 23). Infrutescencias con frutos aparentemente “carnosos”, pentacarpelares, dispuestos en espiral, y con una sola semilla por carpelo son comparados de manera muy cercana con los frutos de *Phytolacca* (Pérez Hernández *et al.*, 1997; Pérez Hernández y Cevallos-Ferriz, 1998) (figura 20). Son tan parecidos que ni la edad que separa al fósil de las plantas actuales cuestiona la inclusión del fósil en este género de plantas actuales. Una última infrutescencia conocida de la Formación Cerro del Pueblo parece representar a una planta extinta cuyos caracteres se encuentran mejor representados en las Fagales (figura 23), pero para precisar su posición taxonómica, como en el caso de *Tricostatocarpon*, mayor información sobre la planta completa es requerida. La impresión de un fruto triangular con proyecciones finas, que recuerdan espinas, semejan los frutos de Ceratophyllaceae (figura 25), sin embargo, más observaciones son necesarias para corroborar esta afinidad por ahora tentativa (Ramírez-Garduño y Cevallos-Ferriz, 1998). Recientemente también se describió un tipo de flor pequeña, pentámera, con copa

floral cuya construcción sigue el plan arquitectónico de la flor de Rhamnaceae (Calvillo Canadell, 2000) (figuras 29–30).

Semillas dispersas también han sido recolectadas o encontradas dentro de coprolitos en la Formación Cerro del Pueblo. De acuerdo con Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz (1998), dos de ellas representan a plantas acuáticas o subacuáticas. Una de ellas es operculada y tiene un integumento con tres capas que forma un ala discreta, recordando la construcción de las semillas de algunas Lythraceae (figura 32), que después son muy comunes en el registro fósil del Terciario (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz (1998). El segundo tipo de semilla tiene una característica particular, la presencia de una cámara calazal, que entre las plantas actuales sólo es conocida en un género, *Caltha*, de Ranunculaceae (figura 28). Aparentemente, ésta facilita la dispersión de la semilla en el agua, sirviendo de flotador (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1998. Otras dos semillas recuerdan a miembros de Cleomaceae y Magnoliaceae, pero mayores detalles requieren de estudios comparativos cuidadosos entre semillas de plantas fósiles y actuales (figura 31).

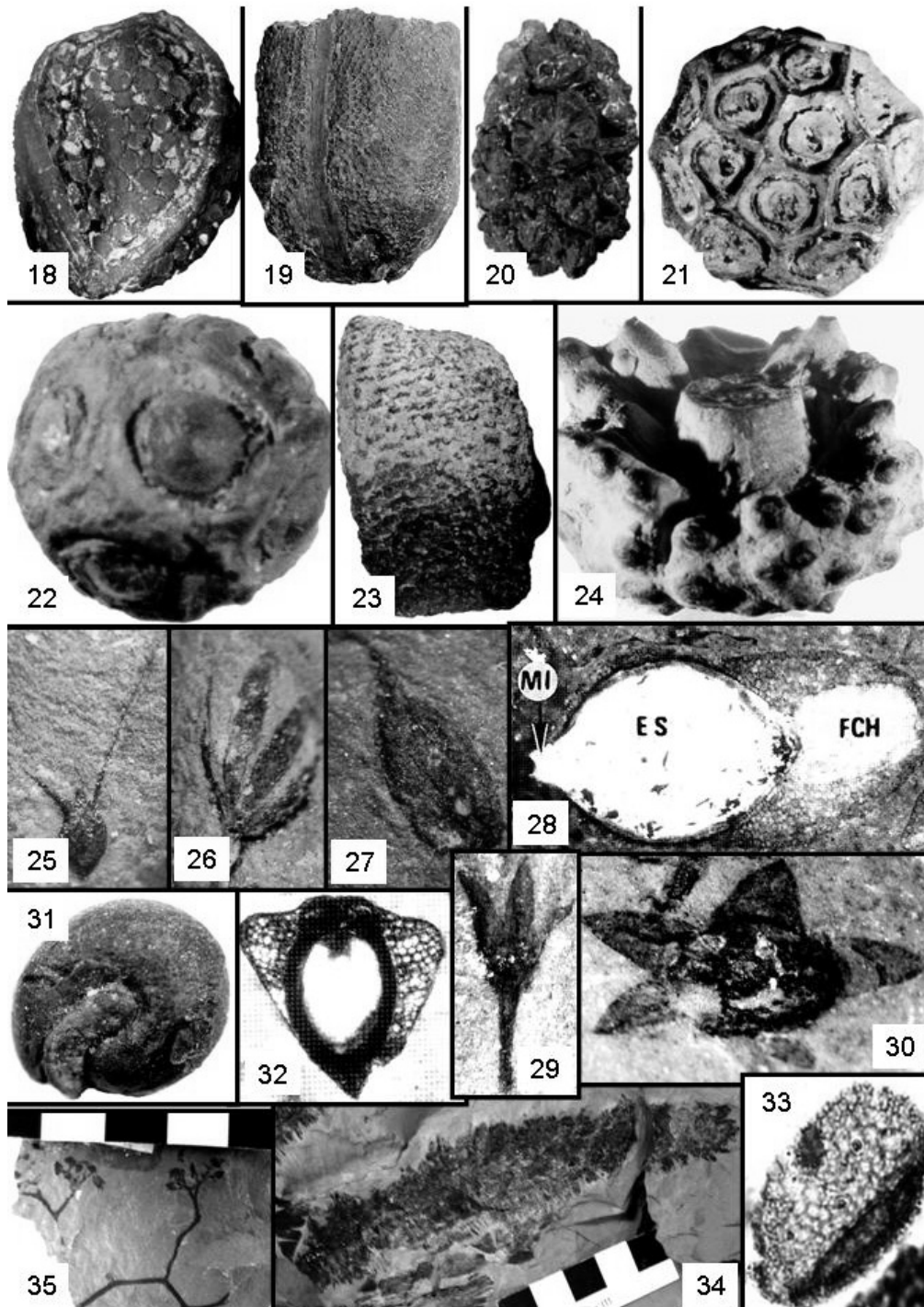
**Polen (figura 33).** Una fuente muy importante de información sobre las plantas del pasado, no solo del Cretácico, es el polen (figura 33). Desafortunadamente este ha sido utilizado en México principalmente para estudios bioestratigráficos en donde la identificación taxonómica del material quedó muchas veces relegado a segundo término. No obstante, los estudios de Rueda-Gaxiola (1967), Martínez-Hernández *et al.* (1980) y Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga (1996) señalan claramente que en la Formación Olmos coexistieron gimnospermas y angiospermas. Aun más, hacen evidente que si bien las gimnospermas no son el grupo dominante su diversidad es alta e interesante en esta paleoflora (Rueda-Gaxiola, 1967; Weber, 1972, 1975). En esta formación también se han reportado granos de polen monosulcados con estructura tectada-columelar -pared más elaborada y lisa y tricolpado, triangular tricolporoides y triporados, que primero se reportan del Barremiano-Cenomaniano (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1996). Como sucede en muchas paleofloras de la época, y en yacimientos más antiguos con edad de Aptiano y Albiano, el polen semejante al de Laurales es también conspicuo. No obstante, el registro más antiguo de polen de angiosperma proviene del Valangiano-Hauteriviano de Israel (Hill, 1996).

**Madera (figuras 36–43).** Las maderas permineralizadas de la Formación Olmos han permitido documentar la presencia de plantas gimnospérmicas que producían xilema secundario semejante al de las Podocarpaceae, Taxodiaceae y Cheirolepidaceae, además de demostrar la presencia *Paraphyllanthoxylon*, un tipo de madera que pudiera relacionarse con familias como Lauraceae, Burseraceae, Anacardiaceae, Falcourtiaceae, entre otras (Cevallos-Ferriz, 1992; Cevallos-Ferriz y Weber, 1992). Sin embargo, es importante notar que si bien no se han encontrado en conexión orgánica, tanto madera como hojas y polen pueden relacionarse con los mismos grupos, lo que sugiere que estos estuvieron presentes en esta región hace unos 70 a 65 millones de años. Recientemente se recolectaron otros dos tipos de maderas que continúan mostrando la presencia de un importante componente arbóreo dentro de la comunidad (Estrada Ruiz *et al.*, 2004) (figuras 36–43). Una de estas seguramente representa un tipo de planta extinta relacionada con Fagaceae (figuras 40–43), mientras que la otra tiene afinidad con Malvales (figuras 36–39). Algunos de estos tipos de maderas también han sido reportados de afloramientos contemporáneos del otro lado de la frontera, en el parque nacional del Big Ben (Wheeler y Baas, 1991), Nuevo México. Es importante señalar aquí, que al menos tres diferentes tallos, algunos con un manto de raíces, de palmeras son conocidos de la Formación Olmos (Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1994). Desafortunadamente, las maderas recolectadas en la Formación Cerro del Pueblo no están bien conservadas, pero aquellos ejemplares en los que se ha podido observar algo de estructura recuerdan más bien el tallo de las monocotiledóneas.

Antes, las maderas cretácicas de angiospermas eran consideradas raras y escasas, especialmente aquellas del Cretácico temprano; no obstante, Nishida reporta una madera con elementos de vaso con placas de perforación escalariformes, que se cree que es una característica que aparece durante el Albiano (Nishida, 1969). También, del Cretácico Inferior de Arizona se ha recolectado maderas de angiospermas que aun requieren de estudios detallados (Wheeler com. pers., 2002).

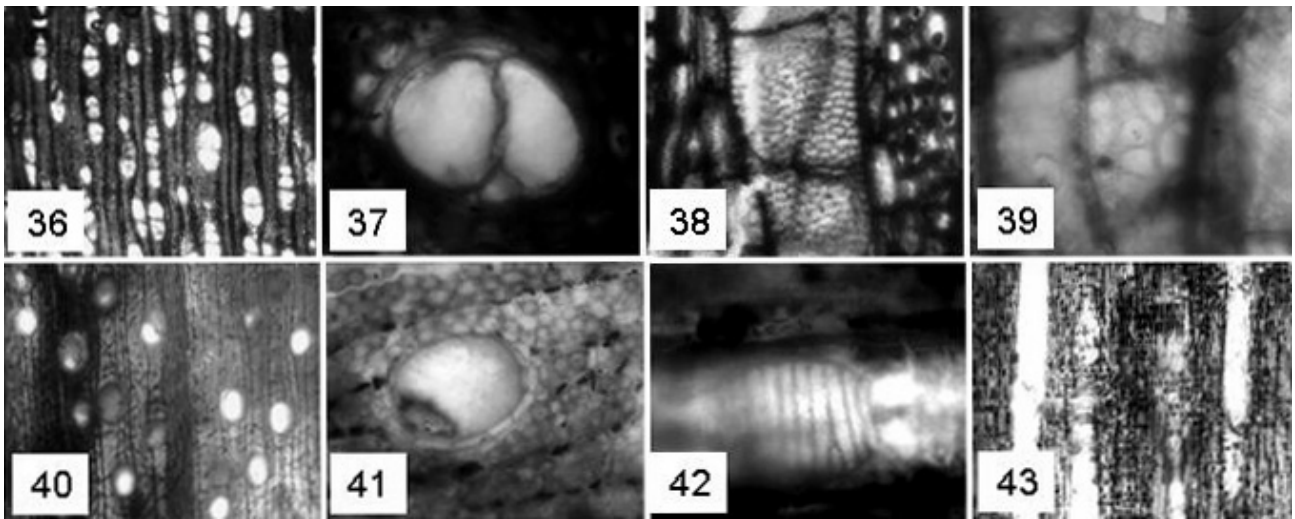
## IMPLICACIONES DEL REGISTRO FÓSIL

Es bueno conocer este registro histórico de la vida que a menudo es negado o utilizado con reserva para explicar la historia de la vida. Junto con el registro fósil hay otros enfoques de investigación que permiten adentrarse en diversos aspectos de la vida pasa-



**Figuras 18 -35.** Permineralizaciones e impresiones carbonosas de estructuras reproductores de las Formaciones Cerro del Pueblo y Olmos

**18** *Tricoſtatocarpón silvapinedae* (Musaceae). **19** Fragmento de *Striatornata sanantoniensis* (insertae sedis). **20** Infrutescencia de Phytolaccaceae. **21-22** Infrutescencias de Arales. **23** Infrutescencia de Fagales. **24** Infrutescencia indeterminada. **25** cf. Ceratophyllaceae. **26-27** Frutos tipo aquenio. **28** *Eocaltha* (Ranunculaceae). **29-30** Impresiones de flores semejantes a las de Rhamnaceae. **31** Semilla semejante a las de Cleomaceae. **32** Semilla semejante a las de Lythraceae. **33** Grano de polen semejante al de Liliaceae. **34** Porción de una inflorescencia indeterminada de palmera. **35** Sistemas de ramas terminados con flores/frutos indeterminados.



**Figuras 36 – 43.** Maderas de la Formación Olmos

**36–40** Madera de planta extinta relacionada con Malvales. **40–43** Madera de planta extinta relacionada con Fagales. **36** Corte transversal mostrando porosidad. **37** Acercamiento de un elemento de vaso. **38** Corte tangencial mostrando elementos de vaso con punteaduras alternas y placa de perforación simple. **39** Punteaduras de vaso-radio. **40** Corte transversal mostrando porosidad. **41** Acercamiento de un elemento de vaso. **42** Corte tangencial mostrando placa de perforación escalariforme. **43** Corte radial con radios heterocelulares.

da, pero hasta el momento el único acercamiento que analiza evidencia directa de la vida sigue siendo la paleontología. Por ello, Calvillo-Canadell (2005) resume que las plantas fósiles proveen evidencia directa de la vida pasada, aportan la edad mínima conocida de la existencia de un grupo determinado, apoyan su historia biogeográfica, sirven como taxones adicionales que proveen nuevos caracteres o nuevos estados de carácter, y amplían la distribución temporal y espacial de los taxones. Pero esto no se hace solo y únicamente mediante la acumulación de trabajo como el que aquí se esboza logrará entender cada vez más la vida del pasado.

Por ejemplo, aunque en primera instancia los fósiles del Cretácico Superior de Coahuila recuerdan en forma cercana a los fósiles descritos para otras localidades de América del Norte es necesario establecer hasta que punto comparten el mismo tipo de plantas y a que se debe que no compartan otros. De la misma forma es necesario documentar que elementos comparten y cuales les dan características particulares a las comunidades que se desarrollaron en el momento de depósito de las Formaciones Olmos y Cerro del Pueblo. Esto permitirá esbozar no solo características de las plantas sino de su forma de asociación y en cierta medida permitiría evaluar, aunque de manera preli-

minar, la plasticidad y adaptabilidad de los elementos que formaron la flora del Cretácico Superior. No es menos importante el proponer una hipótesis que explique por que plantas de grupos que ahora son típicas del Hemisferio Sur crecieron ampliamente durante el Cretácico Superior en el Hemisferio Norte, como lo sugieren los representantes de Zingiberales y Arales. Relevante sería estudiar el tipo de interacciones que hace aproximadamente 70 millones de años se daban entre los organismos, por ejemplo, plantas-animales, hongos-plantas, o entre el medio y los organismos, por ejemplo, agua (precipitación, transpiración)-plantas, temperatura (mes más frío, mes más caliente)-plantas, y explorar el resultado de estas interacciones. Desde luego, muchos de estos problemas biológicos ya se discuten en otras partes del mundo y Coahuila ofrece la oportunidad de sumarse a estos grupos de trabajo, como lo hacen los integrantes del Laboratorio de Paleobotánica del Instituto de Geología, UNAM. Desafortunadamente, en México apenas se inician este tipo de trabajos que permitirán a los interesados conocer de forma más completa y dinámica la vida.

Seguramente al realizar estos estudios se podrá ir entendiendo ¿cómo, por qué y cuándo? la vegetación calido húmeda que se recolecta en sedimentos del Campaniano y Maastrichtiano de Coahuila cambió

en forma drástica para dar lugar al variado paisaje más bien seco y caliente en zonas bajas y frío y húmedo en las zonas altas que hoy caracterizan al estado.

## LITERATURA CITADA

- Arber, E.A.N., Parkin, J., 1907, On the origin of angiosperms: Botanical Journal of the Linnean Society of London 38, 29–80.
- Arber, E.A.N., Parkin, J., 1908, Studies on the evolution of angiosperms. The relationship of angiosperms to the Gnetales: Anals of Botany (London), 22, 489–515.
- Basinger, J. F., Dilcher, D. L., 1984, Ancient bisexual flowers, Science, 224, 11–13.
- Brenner, G.J., 1996, Evidence of the earliest stage of angiosperm pollen evolution: A paleoequatorial section of Israel, in Taylor, D.W., Hickey, L. J. (eds.), Flowering plant, origin, evolution & phylogeny: New York, Chapman & Hall, 91–115.
- Calvillo, C. L., 2000, Determinación taxonómica de estructuras reproductivas y vegetativas de plantas fósiles de Tepexi de Rodríguez Puebla: Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 64 p.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Weber, R., 1992, Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista, (10), 65–70.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1992, Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México: Anales Instituto de Biología Univ. Nac. México, Serie Botánica, 63(2), 111–137.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Ricalde-Moreno, O.S., 1994, Palmeras fósiles del Norte de México: Anales del Instituto de Biología, serie Botánica, 66, 1–106.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Gómez-Núñez, R., Aguillón-Martínez, M., 1994, Upper Cretaceous fruits from General Cepeda, México: A type similar to Pandanaceae (resumen), in IV International Organization of Paleobotany Conference, Contributions Papers and Poster Sessions, 134.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., Ramírez-Garduño, J. L., 1998, Las plantas con flores en el registro fósil: Ciencias, 52, 46–57.
- Crane, P.R., Manchester, S.R., Dilcher, D.L., 1991, Reproductive and vegetative structure of *Nordenskioldia* (Trochodendraceae), a vesselless dicotyledon from the early Tertiary of the northern hemisphere: American Journal of Botany, 78, 1311–1334.
- Crane, P.R., Dilcher, D.L., 1984, *Lesqueria*: An early angiosperm fruiting axis from the mid-Cretaceous: Ann. Missouri Bot. Gard., 71, 384–402.
- Crepet, W. L., Nixon, K. C., 1994, Flowers of Turonian Magnoliidae and their implications: Plant Systematics and Evolution, 8 (Supplement), 73–91.
- Crepet, W.L., Nixon, K. C., 1998, Fossil Clusiaceae from the Late Cretaceous (Turonian) of New Jersey and implications regarding the history of bee pollination: American Journal of Botany, 85, 1122–1133.
- Crepet, W.L., Nixon, K. C., Gandolfo, M. A., 2001, Turonian flora of New Jersey, USA: Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial 7, VII International Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems, 61–69.
- Dilcher, D.L., 1974, Approaches to the identification of angiosperm leaves: The Botanical Review, 40 (1).
- Dilcher, D.L., Crane, P.R., 1984, *Archaeanthus*: An early angiosperm from the Cenomanian of the Western Interior of North America: Ann. Missouri Bot. Gard., 71, 351–383.
- Dilcher, D.L., Kovach, W. L., 1986, Early angiosperm reproduction: *Caloda delevoryana* gen. et sp. nov., a new fructification from the Dakota Formation (Cenomanian) of Kansas: American Journal of Botany, 73, 1230–1237.
- Estrada Ruiz, E., 2004, Frutos permineralizados del Cretácico Superior del estado de Coahuila, México: Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 67 p.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2004, Descripción taxonómica de dos maderas fósiles de la Formación Olmos (Maastrichtiano), Coahuila, México (resumen), en Memorias del XVI Congreso Nacional de Botánica.
- Friis, E. M., 1990, *Silvianthemum suecicum* gen. et sp. nov., a new saxifragalean flower from the Late Cretaceous of Sweden: Biologiske Skrifter,

- 36, 1–35.
- Friis, E.M., Skarby, A., 1982, *Scandianthus* gen. nov., angiosperm flowers of saxifragalean affinity from the Upper Cretaceous of southern Sweden: *Annals of Botany* 50, 569–583.
- Herendeen, P.S., Crepet, W. L., Nixon, K. C., 1994, Fossil flowers and pollen of Lauraceae from the Upper Cretaceous of New Jersey: *Plant Systematics and Evolution*, 189, 29–40.
- Gandolfo, M.A., Nixon, K. C., Crepet, W. L., Ratcliffe, G. E., 1997, A new fossil Gleicheniaceae from Late Cretaceous sediments of New Jersey: *American Journal of Botany*, 84, 483–493.
- Gandolfo, M.A., Nixon, K. C., Crepet, W. L., Ratcliffe, G. E., 2000, Soriophores of the genus *Lygodium* from the Late Cretaceous of New Jersey: *Plant Systematics and Evolution*, 221, 113–123.
- Gandolfo, M.A., Nixon, K. C., Crepet, W. L., Stevenson, D. W., Friis, E. M., 1998, Oldest known fossil flowers of monocotyledons: *Nature*, 394, 532–533.
- Herendeen, P.S., Magallón-Puebla S., Lupia R., Crane P.R., Kobylinska, J., 1999, A preliminary conspectus of the Allon flora from the Late Cretaceous (Late Santonian) of Central Georgia, U.S.A: *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 86, 407–471.
- Hickey, L. J., Taylor, D. W., 1991, The leaf architecture of *Ticodendron* and the application of foliar characters in discerning its relationships: *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 78, 105–130.
- Hickey, L. J., 1973, Classification of the architecture of dicotyledonous leaves: *American Journal of Botany*, 60, 17–33.
- Hickey, L. J., 1977, Stratigraphy and paleobotany of the Golden Valley Formation (Early Tertiary) of western North Dakota: *Geological Society of America Memoir*, 150.
- Hickey, L.J., Doyle, J.A., 1977, Early Cretaceous fossil evidence of angiosperm evolution: *The Botanical Review*, 43, 3–104.
- Hickey, L. J., Wolfe, J.A., 1975, The bases of angiosperm phylogeny: vegetative morphology: *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 62(3), 538–589.
- Hill, C. R., 1996, A plant with flower-like organs from the Wealden of the Weald (Lower Cretaceous), southern England: *Cretaceous Research*, 12, 27–38.
- Hughes, N.F., 1976, *Paleobiology of angiosperm origins*: Cambridge, Cambridge University Press.
- Hughes, N. F., 1994, *The Enigma of Angiosperm Origins*: Cambridge, Cambridge University Press, 303 p.
- Magallón-Puebla, S., Crane, P. R., Herendeen, P. S., 1999, Phylogenetic pattern diversity and diversification of eudicots: *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 86, 297–372.
- Martínez-Hernández, E., Ramírez-Arriaga, E., 1996, Paleocorología de angiospermas de la flora mexicana durante el Mesozoico y Terciario. Algunas evidencias palinológicas: *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58, 87–97.
- Martínez-Hernández, E., Almeida-Leñero, L. Reyes-Salas, M., Betancour-Aguilar, Y., 1980, Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 4(2), 167–185.
- Martínez-Hernández, E., Ludlow Wieches, B., Sánchez López, M., 1980, *Palinología y sus aplicaciones geológicas Cuenca Carbonífera de Fuentes-Río Escondido, Coahuila*: Ediciones del Sector Salud. Comisión Federal de Electricidad.
- McIver, E.E., 2002, The paleoenvironment of *Tyrannosaurus rex* from southwestern Saskatchewan, Canada; *Can. J. Earth Sci.*, 39, 207–221.
- Nishida, M., 1969, A petrified trunk of *Bucklandia choshiensis* sp. Nov. From the Cretaceous of Choshi, Chiba Prefecture: *Phytomorphology*, 19, 28–34.
- Pérez-Hernández, B.R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1998, Infrutescencia compleja del Cretácico (Campaniano) de México (resumen), en *Resúmenes VII Congreso Latinoamericano de Botánica*, p. 264.
- Pérez-Hernández, B.R., Rodríguez-de La Rosa, R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1997, Permineralized infructescence from the Cerro del Pueblo

Plantas del Cretácico superior de Coahuila

- Formation (Campanian), near Saltillo, Coahuila, México: *Phytolaccaceae*: American Journal of Botany, abstracts, 84(6), 139.
- Ramirez-Garduño, J.L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1998, Determinación taxonómica del género *Ceratophyllum* (Ceratophyllaceae) a través de caracteres morfológicos del fruto: Resúmenes del VI Congreso Nacional de Paleontología. p. 49.
- Retallack, G., Dilcher, D.L., 1981, Early angiosperm reproduction: *Prisca reynoldsii*, gen. et sp. nov. from mid-Cretaceous coastal deposits in Kansas, U.S.A.: *Palaeontographica*, Abt. B., 179, 103-137.
- Rodríguez-de la Rosa, R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1994, Upper Cretaceous Zingiberalean fruits with in situ seeds from Southeastern Coahuila, México: *International Journal of Plant Sciences*, 155(6), 786-805.
- Rodríguez-de la Rosa, R., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1998a, Paleobiological implications of Campanian coprolites: *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 142, 231-254.
- Rueda-Gaxiola, J., 1967, Contribution al etude palynologique et pétrographique du charbon cretacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique: Tesis. Faculté des Sciences. Université de Lille. 3 vols.
- Taylor, D.W., Hickey, L. J., 1990, An Aptian plant with attached leaves and flowers: implications for angiosperm origin: *Science*, 247, 702-704.
- Taylor, D.W., Hickey, L. J., 1992, Phylogenetic evidence for the herbaceous origin of angiosperms: *Plant Systematics and Evolution*, 180, 137-156.
- Taylor, D.W., Hickey, L. J. (eds.), 1996, Flowering plant, origin, evolution & phylogeny, New York, Chapman & Hall.
- Tiffney, B.H., 1985a, Perspectives on the origin of the floristic similarity between eastern Asia and eastern North America: *Journal Arnold Arboretum*, 66, 73-94.
- Tiffney, B.H., 1985b, The Eocene North Atlantic land bridge: Its importance in Tertiary and modern phytogeography of the Northern Hemisphere: *Journal Arnold Arboretum*, 66, 243-273.
- Weber, R., 1972, La vegetación Maastrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México: *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, 33, 5-19.
- Weber, R., 1973, *Salvinia coahuilensis* n. sp. del Cretácico Superior de México: *Ameghiniana*, *Rev. Asoc. Paleont. Argentina*, 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: *Bol. Asoc. Latinoamericana Paleobot. Palinol.*, 3, 1-13.
- Wettstein, R.R. von, 1935, *Handbuch der systematischen Botanik*. 3rd ed. Franz. Deutidae, Leipzig.
- Wheeler, E.A., Baas, P., 1991, A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy: *International Association of Wood Anatomists Bulletin*, n. ser., 4, 79-88.
- Wolfe, J. A., 1975, Some aspects of plant geography of the Northern Hemisphere during the Late Cretaceous and Tertiary. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 62: 264-279.
- Wolfe, J. A., 1981, Vicariance biogeography of angiosperms in relation to paleobotanical data, in Nelson, G., Rosen, D. E. (eds.), *Vicariance Biogeography*, New York, Columbia University Press, 413-427.