

# Los fósiles del estado de Hidalgo

Katía Adriana González-Rodríguez  
Consuelo Cuevas-Cardona  
Jesús Martín Castillo-Cerón  
editores



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

# Los fósiles del estado de Hidalgo



# Los fósiles del estado de Hidalgo

Katia Adriana González-Rodríguez  
Consuelo Cuevas-Cardona  
Jesús Martín Castillo-Cerón  
editores



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Luis Gil Borja

*Rector*

Humberto A. Veras Godoy

*Secretario General*

© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Abasolo 600, Centro, Pachuca, Hidalgo, México, CP 42000

Correo electrónico: [editor@uaeh.edu.mx](mailto:editor@uaeh.edu.mx)

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el consentimiento escrito de la UAEH.

ISBN: 978-607-482-047-8

# Índice

	<b>Presentación</b> . . . . .	7
<b>Capítulo 1.</b>	<b>Los fósiles y la paleontología</b> . . . . . <i>Katia Adriana González-Rodríguez y Jesús Martín Castillo-Cerón</i>	9
<b>Capítulo 2.</b>	<b>Historia de los estudios paleontológicos (1841-1975)</b> . . . . . <i>Consuelo Cuevas-Cardona</i>	19
<b>Capítulo 3.</b>	<b>Las plantasfósiles</b> . . . . . <i>Rocío Hernández-López y Jesús Martín Castillo-Cerón</i>	33
<b>Capítulo 4.</b>	<b>Panorama de los invertebrados fósiles</b> . . . . . <i>Carlos Esquivel-Macías</i>	39
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Los crustáceos de la cantera Muhi elementos importantes en la evolución de los braquiuros.</b> . . . . . <i>Francisco J. Vega</i>	59
<b>Capítulo 6.</b>	<b>Los peces fósiles</b> . . . . . <i>Katia Adriana González-Rodríguez y Christopher Fielitz</i>	65





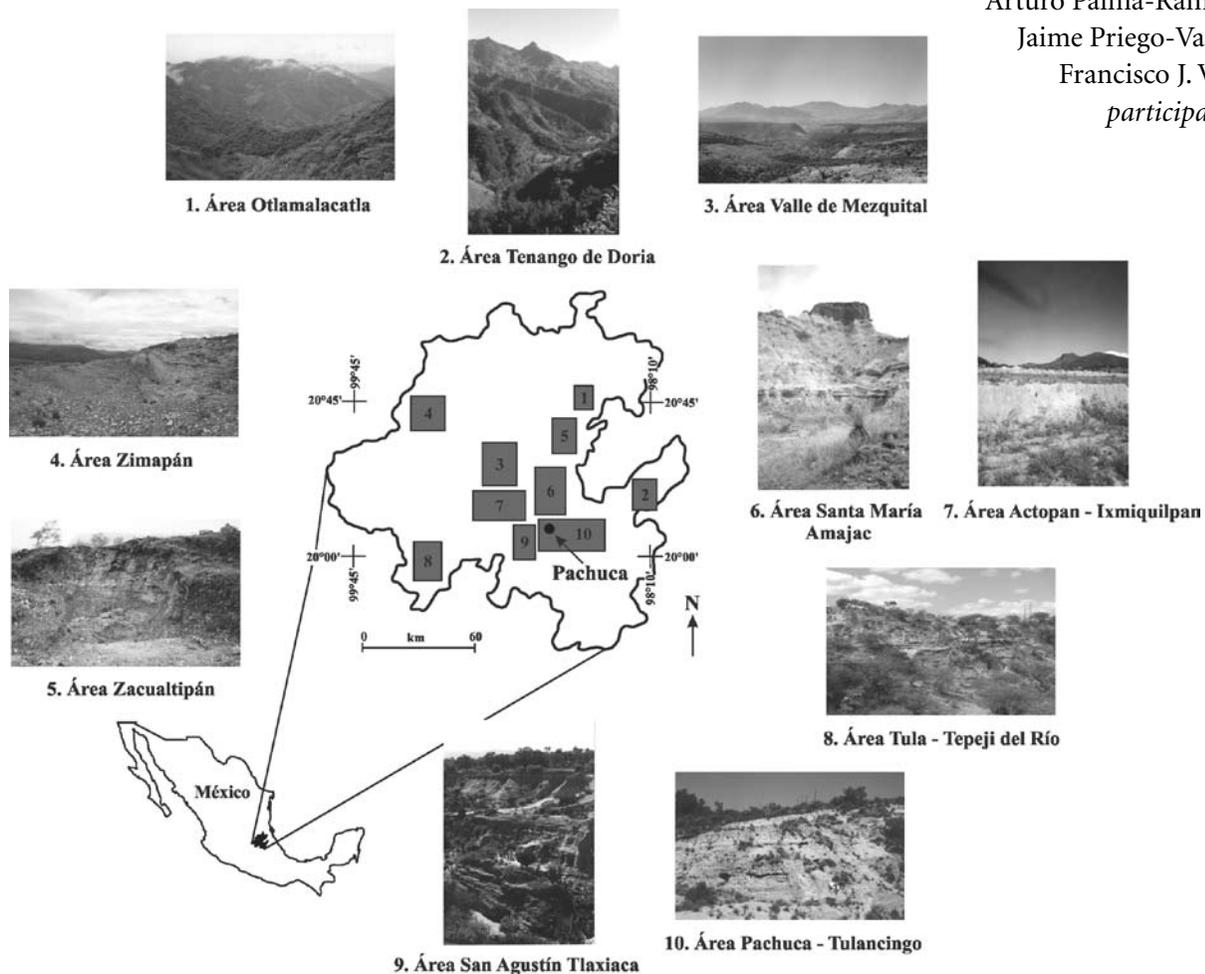
ción de la paleoflora de Hidalgo y se continúa con los diversos grupos de invertebrados y vertebrados. Al final se encuentra un glosario de los términos utilizados en cada uno de los capítulos.

La publicación de este libro fue posible gracias al apoyo financiero del Programa Anual de Investigación (PAI-2006-2007) de la UAEH, a través del proyecto de investigación titulado “Los fósiles del estado de Hidalgo”.

Los autores agradecen el apoyo en la edición de las figuras a la Lic. en Artes Visuales Érika. A. Alonzo González, al Biól. Jorge González Martínez y al Pas. de Biología Jaime Priego Vargas.

Katia Adriana González-Rodríguez  
 Consuelo Cuevas-Cardona  
 Jesús Martín Castillo-Cerón  
*editores*

Victor Manuel Bravo-Cuevas  
 Miguel Ángel Cabral-Perdomo  
 Jesús Martín Castillo-Cerón  
 Consuelo Cuevas-Cardona  
 Carlos Esquivel-Macías  
 Christopher Fielitz  
 Katia Adriana González-Rodríguez  
 Sergio Daniel Hernández-Flores  
 Rocío Hernández-López  
 Elizabeth Ortiz-Caballero  
 Arturo Palma-Ramírez  
 Jaime Priego-Vargas  
 Francisco J. Vega  
*participantes*



**Figura 1.** Mapa índice que muestra las principales áreas fosilíferas del estado de Hidalgo, centro de México (Elaborado por Victor Manuel Bravo-Cuevas).

# Capítulo

## Los fósiles y la paleontología

# 1

**Katia Adriana González-Rodríguez y Jesús Martín Castillo-Cerón**  
*Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

### Introducción

La historia de la evolución de los organismos puede ser revelada por el estudio de los fósiles. De manera tradicional se dice que un fósil es cualquier evidencia de vida en el pasado, que ha quedado plasmada en las rocas y tiene una antigüedad mínima de 10 mil años.

El registro fósil representa sólo una pequeña muestra de la vida del pasado, ya que no todas las plantas y animales tienen la misma posibilidad de conservarse y no todos los ambientes donde se depositaron son igualmente adecuados para su preservación. Los organismos que presentan partes duras como esqueletos, en el caso de los vertebrados, o conchas, como ocurre en algunos grupos de invertebrados, son candidatos idóneos para preservarse, aunque no es raro encontrar restos de plantas y de organismos con partes blandas en el registro fósil.

La paleontología es la ciencia que estudia los testimonios de vida en el pasado; se auxilia de otras

disciplinas como la anatomía comparada, la zoología, la botánica, la ecología, la biogeografía, la sistemática, la geología, la geofísica y la climatología, entre otras, para descubrir las características anatómicas de los organismos, dónde y cómo vivieron, cuáles eran sus relaciones en el ecosistema, cómo es que se preservaron y por qué los encontramos en los afloramientos. Un paleontólogo es un detective que debe estudiar todos los aspectos que condujeron a la preservación de estos restos, para reconstruir su pasado y establecer las relaciones de parentesco entre las especies, pues los fósiles son un testimonio real y tangible de su evolución.

A lo largo de la historia de la Tierra ha existido una serie de eventos geológicos y tectónicos, como la ruptura y unión de continentes (deriva continental), el vulcanismo, la orogenia, la expansión del suelo oceánico, las trasgresiones y regresiones marinas, entre otros, que han determinado en gran parte la distribución de los organismos y al mismo tiempo su permanencia o extinción (*Cuadros 1-4*).

Estos mismos eventos, a su vez, han favorecido o impedido la oportunidad de encontrarlos en los afloramientos actuales. Los fósiles más antiguos que se conocen (estromatolitos) datan de alrededor de

3000 a 2500 millones de años, y en México tenemos testimonio de ellos en Caborca, Sonora (aproximadamente 600 millones de años).

**Cuadro 1.** Escala de tiempo geológico: Cenozoico

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	PRINCIPALES SUCESOS
Fanerozoico (543 MA-actualidad)	Cenozoico (65 MA--actualidad)	CUATERNARIO (1.8 MA--actualidad)	Holoceno (0.01 MA-actualidad)	- Edad del hombre ( <i>Homo sapiens</i> ) - Enfriamiento posterior a un rápido aumento de temperatura
			Pleistoceno (1.8-0.01 MA)	- Abundancia de Plantas Herbáceas. - Grandes Carnívoros. - Herramientas de piedra en China (1.6 MA) - <i>Homo erectus</i> en China (1.2 MA) - Restos humanos más antiguos en Europa <i>Homo antecessor/ Homo erectus</i> (0.8 MA) - Primer <i>Homo neanderthalensis</i> (0.3 MA) - Primer <i>Homo sapiens</i> (0.26 MA) - Últimos <i>Homo neanderthalensis</i> (0.04 MA) - Extinción de mamutes, tigres dientes de sable, gliptodontes, perezosos gigantes, camellos y caballos - Se intensifica el descenso de temperatura en Europa, Asia y América del Norte (1 MA) - Periodos glaciales (0.8- 0.15 MA) - Se abre el estrecho del Mar Rojo, interrupción de la unión entre África y Arabia (1.5 MA) - Tectitas en Australia y Asia e impacto de meteorito (0.78 MA) - Erupción de Kos, Grecia (0.16 MA) - Erupción de Toba, Indonesia (0.075 MA) - Inicio de desprendimientos en el Atlántico Norte de icebergs cada 2-3,000 años (0.04 MA)
		TERCIARIO (65- 1.8 MA)	Plioceno (5.1-1.8 MA)	- Primeros hipopótamos y mamutes (5 MA) - Abundancia de plantas herbáceas (4.8 MA) - Herramientas más antiguas de piedra (2.5 MA) - Primer fósil de <i>Homo habilis</i> (2.4 MA) - Primeros Australopitecinos fuertes (2 MA) - Los homínidos se dispersan (2 MA) - <i>Homo erectus</i> se dispersa de África a Europa y Asia (1.8 MA) - Temperaturas en descenso y fluctuantes (5 MA) - Aumenta la aridez en Asia (3.6-3.5 MA) - Enfriamiento del Hemisferio Norte (3.6-3.5 MA) - Inicio de Glaciación en el Hemisferio Norte (3.2-2.6 MA) - Mantos de hielo en el Ártico (2.5 MA) - Temperaturas como las actuales (2.5 MA) - Levantamiento en el noreste de África (5 MA) - Cierre total del Tethys (5 MA) - La circulación del océano cambia al cerrarse el paso entre América del Norte y América del Sur (4.5-2.5 MA) - Inundación del Mediterráneo (4 MA) - Levantamiento de la Meseta del Tíbet (3.6 MA) - Erupción de Yellowstone, USA (2 MA)

**Cuadro 1.** Escala de tiempo geológico: Cenozoico (*continuación*)

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	PRINCIPALES SUCESOS
Fanerozoico (543 MA--actualidad)	Cenozoico (65 MA--actualidad)	TERCIARIO (65-1.8 MA)	Mioceno (24-5.1 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes mamíferos ramoneadores</li> <li>- Expansión de las praderas en latitudes medias y altas</li> <li>- Divergencia molecular entre primates y monos del viejo mundo (21 MA)</li> <li>- Dispersión de aves canoras (20 MA)</li> <li>- Animales pasteadores</li> <li>- Dispersión de simios primitivos por África central (20 MA)</li> <li>- Dispersión de équidos ramoneadores (<i>Hipparion</i>) en Norteamérica y su dispersión en Eurasia y África (18-16 MA)</li> <li>- Divergencia molecular de orangutanes de otros grandes monos (16 MA)</li> <li>- Disminución de los bosques africanos (15 MA)</li> <li>- Diversificación de ballenas y delfines (15 MA)</li> <li>- Diversificación de serpientes y anuros (14 MA)</li> <li>- Diversificación de roedores (14 MA)</li> <li>- Dispersión de primates de África a Europa (<i>Dryopithecus</i>) y Asia (<i>Sivapithecus</i>) (14.5 MA)</li> <li>- Extensas sabanas en latitudes bajas e intermedias (10 MA)</li> <li>- Se dispersan los cerdos y camellos (8 MA)</li> <li>- Divergencia molecular de chimpancés y humanos (8-6.5 MA)</li> <li>- Divergencia molecular de gorilas y humanos (7-5 MA)</li> <li>- Primeros parientes de los humanos (7-5 MA)</li> <li>- <i>Orrorin</i>: primera prueba del bipedismo (6-5 MA)</li> <li>- Al final de esta época se da el avance de los pastizales africanos (6-5 MA)</li> <li>- Intercambio de la fauna afroasiática (6-5 MA)</li> <li>- 23% de O<sub>2</sub> del nivel actual (20 MA)</li> <li>- Las temperaturas muy parecidas a las actuales (20 MA)</li> <li>- Las temperaturas caen y luego fluctúan por encima de los niveles actuales (16 MA)</li> <li>- Reforzamiento del monzón en Asia por el levantamiento del Tíbet (7 MA)</li> <li>- La colisión de la India con Asia origina el Himalaya (20 MA)</li> <li>- Australia se desplaza al norte (18 MA)</li> <li>- Desprendimiento de masas de hielo y vulcanismo en el este de África (18 MA)</li> <li>- Levantamiento del Tíbet (16-7 MA)</li> <li>- América del Sur se desplaza lentamente al norte (10 MA)</li> <li>- El fondo marino se expande empujando al noroeste a Arabia, separándola de África (10 MA)</li> <li>- Desecación de los restos del Tetis en el Mediterráneo (9-8 MA)</li> <li>- Europa deja de desplazarse hacia el norte de África (8 MA)</li> <li>- Levantamiento, enfriamiento y desertificación de África (7-5 MA)</li> <li>- Evaporación del Mediterráneo (7-5 MA)</li> </ul>
			Oligoceno (33.5-24 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeros pastizales</li> <li>- Temperatura promedio de 16° C</li> <li>- El océano de Tetis empieza a cerrarse</li> <li>- Comienza el levantamiento de los Alpes</li> <li>- Se crean las fosas a lo largo del Mar Rojo, separando Arabia y África</li> </ul>
			Eoceno (54.8-33.5 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aves gigantes</li> <li>- Diversificación de los mamíferos</li> <li>- Primer paquiceto (ballena)</li> <li>- Primer antropoide (<i>Eosimias</i>)</li> <li>- Primer primate (<i>Ida</i>)</li> <li>- Continúa la temperatura en 17° C</li> <li>- CO<sub>2</sub> al doble del nivel actual</li> <li>- 27% de O<sub>2</sub> del nivel actual</li> <li>- Crece la capa de hielo de la Antártida</li> </ul>
			Paleoceno (65-54.8 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dominio de las aves</li> <li>- Al finalizar esta Época aparecen équidos primitivos</li> <li>- CO<sub>2</sub> a dos veces el nivel actual</li> <li>- Temperatura promedio de 17° C</li> <li>- Desplazamiento del Atlántico Norte con actividad volcánica intensa</li> </ul>

**Cuadro 2.** Escala de tiempo geológico: Mesozoico

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	PRINCIPALES SUCESOS
Fanerozoico (543 MA-actualidad)	Mesozoico (252-65 MA)	Cretácico (142-65 MA)	Cretácico Superior (99-65 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 MA antes de que termine esta época se da la extinción de reptiles marinos (ictiosaurios, plesiosaurios, mesosaurios)</li> <li>- Casi al término de la época, aparecen los primeros primates (<i>Purgatorius</i>)</li> <li>- Al término de esta época, se da la gran extinción de dinosaurios</li> <li>- Extinción masiva del 76%, conocida como la gran extinción C/T</li> <li>- Al final se da el inicio de la diversificación de los mamíferos</li> <li>- CO<sub>2</sub> a dos veces el nivel actual</li> <li>- Temperatura promedio de 16° C</li> <li>- Australia y la Antártida comienzan a separarse</li> <li>- Apertura del Atlántico Norte</li> <li>- La India comienza un rápido desplazamiento al norte</li> <li>- Separación de Laurasia</li> <li>- Al finalizar esta época un gran meteorito impacta el Atlántico Medio, formando el cráter de Chicxulub</li> </ul>
			Cretácico Inferior (142-99 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dominio de los dinosaurios</li> <li>- Primeras plantas fanerógamas (<i>Archeofructo</i>)</li> <li>- Primeras plantas con hojas y flores</li> <li>- Dinosaurios con plumas</li> <li>- Primeros mamíferos placentados (<i>Eomaia</i>)</li> <li>- 5 MA antes de finalizar esta época aparecen las primeras serpientes</li> <li>- O<sub>2</sub> a 24% del nivel actual</li> <li>- Temperatura promedio de 17° C</li> <li>- Erupción e inundación de basalto en Paraná y Etendeca</li> <li>- América del Sur y África comienzan a separarse</li> <li>- Aumenta la expansión del fondo marino</li> <li>- 10 MA antes de finalizar esta época se da la máxima velocidad de expansión del fondo marino</li> </ul>
		Jurásico (199-142 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diversificación de los dinosaurios</li> <li>- Primeras aves (<i>Archeopteryx</i>)</li> <li>- Mamíferos con mandíbulas primitivas</li> <li>- Incremento de O<sub>2</sub></li> <li>- Incremento y decremento de CO<sub>2</sub></li> <li>- Comienza a abrirse el Atlántico Medio y el golfo de México</li> <li>- 10 MA antes de finalizar el periodo se empieza a abrir el Atlántico Sur</li> <li>- 2 MA después se separa Madagascar de África</li> </ul>	
		Triásico (252-199 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surgimiento de los dinosaurios y los pterosaurios</li> <li>- Segunda diversificación de los reptiles</li> <li>- Primer pez teleósteo</li> <li>- Primeros tiburones modernos</li> <li>- Surgimiento de mamíferos primitivos</li> <li>- Extinción del 35% de la biota marina y terrestre</li> <li>- El porcentaje de O<sub>2</sub> fluctúa de bajo (15%) alto (19%) y vuelve a descender</li> <li>- Temperatura alta, 19° C</li> <li>- Niveles de CO<sub>2</sub> en descenso</li> <li>- Al finalizar el periodo la temperatura desciende muy por debajo del nivel actual</li> <li>- Al comienzo de este periodo se da el nivel del mar más bajo de todos los tiempos</li> <li>- Ruptura inicial de Pangea</li> <li>- Desprendimiento intenso de masas de hielo</li> <li>- Se abre el océano de Tethys entre Báltica y Gondwana</li> <li>- Al finalizar el periodo se da un aumento en el nivel del mar</li> </ul>	

**Cuadro 3.** Escala de tiempo geológico: Paleozoico

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	PRINCIPALES SUCESOS
Fanerozoico (543 MA-actualidad)	Paleozoico (543-252 MA)	Pérmico (290-252 MA)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran extinción de reptiles primitivos y anfibios</li> <li>- Primera diversificación de los reptiles</li> <li>- Primeros sinápsidos endodermos (cinodontes)</li> <li>- Gran extinción de cerca del 96% de la biota; en el mar casi todos los invertebrados. En tierra: 78% reptiles, 67% anfibios y 30% insectos. En resumen: 60% de toda la biota.</li> <li>- Temperatura alta por encima del promedio actual</li> <li>- Aumento de CO<sub>2</sub></li> <li>- Liberia choca con Báltica originando los montes Urales</li> <li>- Grandes desiertos se forman en Laurencia</li> <li>- Al finalizar este periodo se da la erupción de rocas trapecanas de Liberia</li> </ul>
		Carbonífero (354-290 MA)	Pensilvánico (323-290 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes bosques de helechos y difusión de insectos alados</li> <li>- Primeros caracoles terrestres</li> <li>- Gran difusión de insectos alados</li> <li>- Primeros reptiles</li> <li>- Primeros sinápsidos (pelicosaurios: reptiles mamíferoides)</li> <li>- Descenso de temperatura por debajo del promedio actual 10°C</li> <li>- O<sub>2</sub> a su máximo nivel</li> <li>- Gondwana gira a la derecha; leve expansión del fondo marino</li> <li>- Máxima sedimentación de esquistos de carbón</li> <li>- Al término de la época Gondwana converge con Laurasia, la primera se desplaza al norte y causa la glaciación del Polo Sur</li> </ul>
			Missisípico (354-323 MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfibios temnospondilos</li> <li>- Primeros amniotas: antracosaurios (reptiles primitivos)</li> <li>- Edad de los anfibios</li> <li>- Primeras formaciones carboníferas en selvas extensas</li> <li>- Aparición de las cucarachas</li> <li>- Temperatura alta, 20°C promedio</li> <li>- Continúa bajo el nivel del mar</li> </ul>
		Devónico (418-354 MA)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeros insectos sin alas: termes, pseudoescorpiones, arañas</li> <li>- Tetrápodo más antiguo</li> <li>- Primeros tetrápodos terrestres: anfibios (lepospondilos)</li> <li>- Peces dulceacuícolas sin dientes</li> <li>- Abundancia de moluscos</li> <li>- Edad de los peces</li> <li>- Primeros bosques (2 a 3 m de altura)</li> <li>- Suceso de extinción masiva</li> <li>- Extinción del 25%: invertebrados y peces primitivos que vivían en arrecifes</li> <li>- Temperatura alta por encima del promedio actual</li> <li>- El O<sub>2</sub> al 15% de la atmósfera</li> <li>- Al finalizar el periodo aumenta el O<sub>2</sub> y existe un descenso de temperatura al promedio actual</li> <li>- Cierre del océano Iapeto y agrupación de Laurencia, Avalonia y Báltica para formar Laurasia</li> <li>- Al finalizar este periodo se da una glaciación</li> <li>- Como consecuencia de lo anterior baja el nivel del mar</li> </ul>
		Silúrico (443-418 MA)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeros peces con dientes</li> <li>- Primeras plantas vasculares de tierra: <i>Cooksonia</i>, <i>Eohostimella</i></li> <li>- Aparición de los hongos</li> <li>- Surgimiento de corales</li> <li>- Casi al concluir este periodo aparecen los animales realmente terrestres: lostrigonotárbidos (artrópodos)</li> <li>- Descienden niveles de CO<sub>2</sub>; temperatura ascendente</li> <li>- La mayoría de los continentes se agrupan en el Hemisferio Sur</li> <li>- Al finalizar este periodo, se da el nivel del mar más alto jamás registrado</li> <li>- Máxima inundación de continentes con mareas bajas</li> </ul>

**Cuadro 3.** Escala de tiempo geológico: Paleozoico (*continuación*)

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	PRINCIPALES SUCESOS
Fanerozoico (543 MA-actualidad)	Paleozoico (543-252 MA)	Ordovícico (490-443 MA)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeros vertebrados: peces primitivos, pez con caparazón</li> <li>- Primeras briofitas terrestres (parecidas a musgo)</li> <li>- Primeros animales de agua dulce (milpies)</li> <li>- Extinción del 50% de géneros marinos</li> <li>- Extinción masiva, cerca del 87% de la fauna: trilobites, Braquiópodos, Amonites - Continúa el descenso de la temperatura, al término de este periodo se encuentra por debajo del nivel actual</li> <li>- Laurasia y Báltica convergen</li> <li>- Al finalizar este periodo, se da una glaciación y baja el nivel del mar</li> </ul>
		Cámbrico (543-490 MA)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución drástica de formas ediacaranas</li> <li>- Primeros arrecifes de esqueletos de metazoarios: poríferos arqueociatos, cianobacterias</li> <li>- Explosión cámbrica: diversidad de artrópodos, primeros cordados</li> <li>- Edad de los invertebrados: trilobites, braquiópodos y otros animales con concha</li> <li>- Fauna de invertebrados de Burgess Shale; conodontes y peces sin mandíbula</li> <li>- Al inicio del periodo el O<sub>2</sub> se encuentra al 18% de nivel actual; temperatura alta</li> <li>- Temperatura en descenso; CO<sub>2</sub> sobrepasa 16 veces el nivel actual</li> <li>- El ensamble continental de Gondwana, se alarga de polo a polo</li> <li>- América del Norte se separa de Gondwana por el océano Iapeto</li> <li>- Velocidad de expansión máxima del fondo marino</li> <li>- Al término de este periodo se da la rotación de Gondwana al Polo Sur</li> </ul>

**Cuadro 4.** Escala de tiempo geológico: Hadeano, Arqueano y Proterozoico

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	PRINCIPALES SUCESOS
Precámbrico (4,560-543 MA)	Proterozoico (2,500-543 MA)			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeros animales de cuerpo blando: medusas y gusanos</li> <li>- Gran proliferación de eucariotas</li> <li>- Los hidrocarburos de petróleo y gas, indican extensa actividad microbiana en los mares</li> <li>- Primer fósil de eucariota</li> <li>- Primeras algas fósiles (con esqueletos de sílice)</li> <li>- Era caracterizada por glaciaciones</li> <li>- La temperatura de la superficie continúa descendiendo hasta llegar por debajo de la actual</li> <li>- Aumentan los niveles de O<sub>2</sub> por fotosíntesis de células procariotas y eucariotas</li> <li>- Formación del supercontinente de Rodinia</li> </ul>
	Arqueano (4,560-2,500 MA)			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeras células procariotas y eucariontes</li> <li>- Primeros fósiles: estromatolitos</li> <li>- Filamentos y esferoides microscópicos</li> <li>- Fósiles químicos: carbono en rocas sedimentarias</li> <li>- La temperatura de la superficie desciende gradualmente hasta llegar por debajo de la actual</li> <li>- Primera formación de vetas de hierro</li> <li>- Lava con estructuras acojinadas que indica la presencia de agua</li> <li>- Primeras rocas sedimentarias</li> </ul>
	Hadeano (4,560-3,800 MA)			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeras moléculas orgánicas</li> <li>- Se forma el primer océano y se evapora por acción de meteoritos.</li> <li>- Primeras lluvias</li> <li>- Diferenciación de las capas de la corteza terrestre</li> <li>- Enfriamiento y solidificación de la corteza terrestre</li> <li>- Reasentamiento, por gravedad, del interior del planeta</li> <li>- Recalentamiento de la Tierra hasta su fusión casi completa</li> <li>- Formación de la Tierra a partir de la nebulosa solar fría</li> </ul>

Cuadros 1-4. Elaborados por Jesús Martín Castillo-Cerón y Katia Adriana González-Rodríguez.

## ¿Cómo se forma un fósil?

Para explicar la presencia de fósiles en un afloramiento debe comprenderse primero qué factores físicos, químicos y biológicos permitieron que esos restos quedaran petrificados; asimismo, debe pensarse que esos organismos no estuvieron aislados, vivieron en un ambiente determinado y estuvieron relacionados con su entorno. Con el objeto de conocer la historia de un organismo fosilizado y los procesos que lo llevaron a preservarse a través de miles o millones de años, los paleontólogos hacen uso de una rama de la paleontología denominada tafonomía, que se encarga de estudiar los procesos que sucedieron en los organismos para que se fosilizaran, desde su muerte y enterramiento, hasta su descubrimiento y recolecta en los afloramientos (Figura 1).

Aunque sólo llegue a preservarse una mínima cantidad de organismos, o incluso sólo restos de una comunidad del pasado, la información que puede obtenerse es sumamente valiosa. El estudio detallado de un resto fósil y del terreno donde se encontró proporciona evidencia del ambiente donde vivió, del transporte que sufrió antes de ser depositado, de cuál era su papel en la cadena alimenticia, de cuáles eran sus interacciones en el ecosistema y de su historia evolutiva. Esto es lo que se conoce como la paleobiología de un organismo.

## ¿Dónde se encuentra a los fósiles?

Los fósiles generalmente se encuentran incluidos en las rocas sedimentarias, aunque en ocasiones pueden encontrarse en rocas metamórficas e incluso ígneas; sin embargo, en estas dos se encuentran con algún grado de alteración. Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de partículas que son transportadas por viento o agua hacia depresiones del terreno o cuencas de sedimentación. Las partículas depositadas son sometidas a presión por el peso de las capas superiores y se compactan, produciéndose posteriormente una consolidación o litificación de los sedimentos. También puede suce-

der que entre las partículas se introduzca un mineral que se cristaliza y funciona como cementante, o puede suceder la cristalización de soluciones químicas o precipitación de minerales. De cualquier forma, si un organismo murió y fue depositado al mismo tiempo que estos sedimentos, se fosilizará y permanecerá incluido en la roca a través de miles o millones de años.

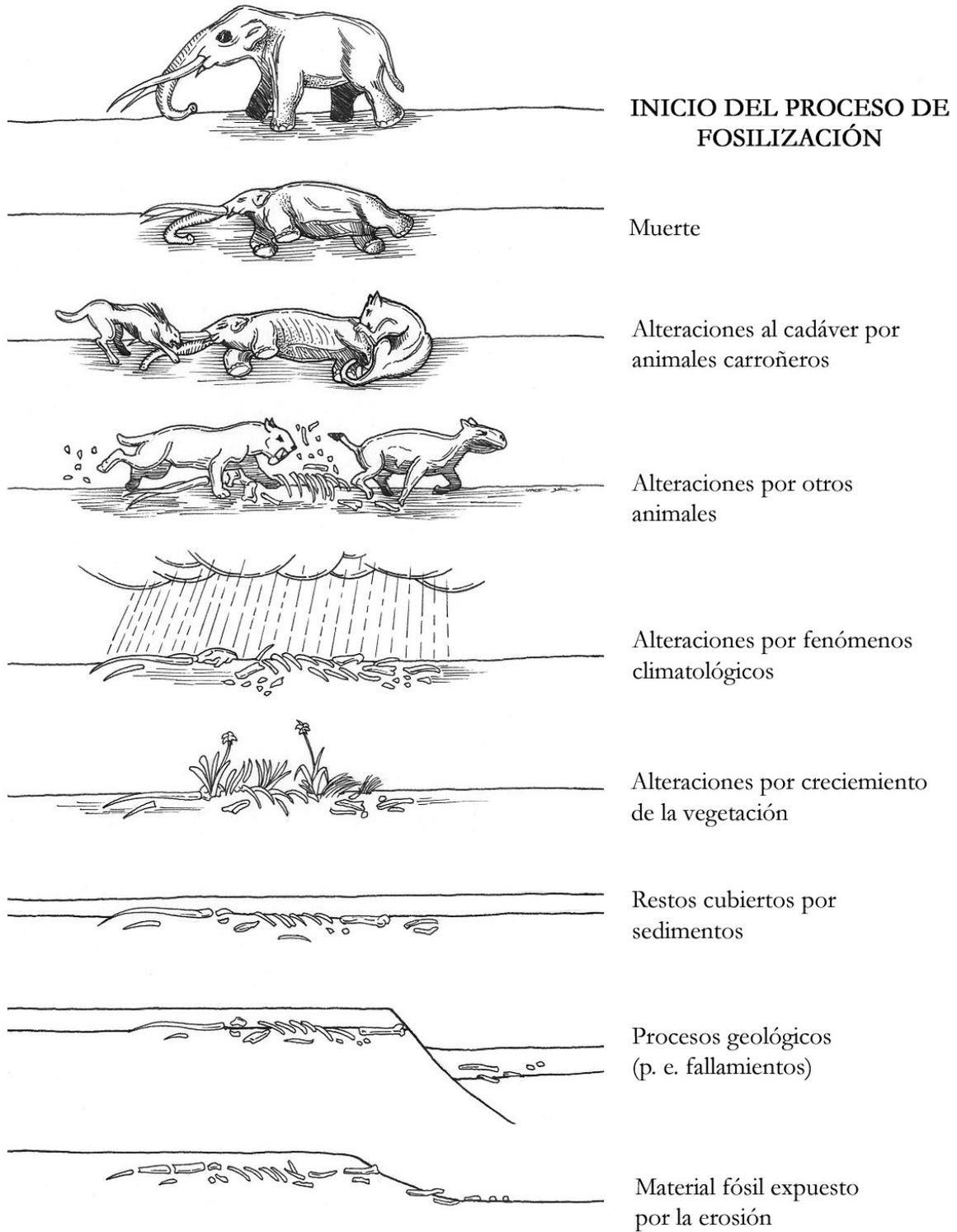
## Formas de conservación

Durante el proceso de fosilización los organismos pierden su composición original mediante un conjunto de cambios físicos y químicos que producen su preservación. De acuerdo con Schopf (1975), existen cuatro modos principales de preservación:

*Permineralización.* Se produce por la precipitación de minerales que se infiltran en las células o poros de huesos y conchas. Estos minerales disueltos en el medio forman cristales que llenan estos espacios produciendo cambios en la densidad, coloración y peso de los organismos, pero conservando la estructura de los tejidos. También puede darse un reemplazamiento total de la materia orgánica, por el depósito de otras sustancias minerales.

*Compresión carbonosa.* Este proceso generalmente se lleva a cabo en cuerpos de agua con poca oxigenación, como los pantanos y los sedimentos suaves. Usualmente las plantas se conservan de esta manera, aunque también pueden preservarse así los animales. En las plantas, después del enterramiento, las paredes celulares se reblandecen, pierden agua, gases y sustancias solubles. Posteriormente, los residuos orgánicos se transforman en una película de carbón, al mismo tiempo que se consolidan los sedimentos. La película carbonosa puede desaparecer y sólo permanece la impresión de los restos vegetales, que muestran claramente la estructura externa del resto vegetal.

*Preservación autógena.* Ésta da como resultado la formación de moldes internos o externos. Los organismos con partes duras como conchas, se entierran en sedimentos muy finos donde hay precipitación de minerales y se produce un endurecimiento



**Figura 1.** Proceso de muerte y enterramiento de un organismo para lograr su fosilización. Modificado de Behrensmeier (1980) por Jorge González-Martínez (2008).

rápido (cementación). La capa de sedimento que los cubre hace que conserven su morfología, aunque posteriormente puedan disolverse las partes duras por el paso de agua a través de los poros de la roca, con los que se forman los moldes.

*Preservación duripártica.* En ésta se conservan intactas las partes duras, debido al enterramiento rápido. El ambiente no permite la sustitución por minerales, y debido a ello las conchas o huesos no tienen grandes alteraciones, aunque pueden perder su coloración o sufrir rompimientos, fracturas y desplazamiento.

Otros tipos de preservación son: la *momificación*, que se da por deshidratación en ambientes áridos con altas temperaturas; la *conservación en brea o chapopoterías*, donde no existen desintegradores de la materia y se preservan organismos completos que quedaron atrapados en el chapopote; la *congelación* (criopreservación) en lugares con temperaturas por debajo de los cero grados centígrados; y la *conservación en ámbar* (resina de ciertos árboles), donde quedan preservados insectos, flores y polen.

### **Búsqueda, recolecta y resguardo de los fósiles**

Los paleontólogos siempre están en busca de nuevas localidades fosilíferas, por lo que utilizan diferentes estrategias para encontrarlas, que van desde la atención y respuesta al llamado de habitantes de un sitio cercano a una localidad fósil hasta la exploración de extensas regiones donde afloran rocas sedimentarias. El paleontólogo utiliza herramientas tan diversas como mapas geológicos y topográficos, fotos aéreas, ortofotos, geoposicionadores, brújulas, martillos geológicos, marros, cinceles, barretas, brochas, vendas de yeso, sustancias endurecedoras, pegamentos, etc., para descubrir y recolectar los fósiles. En el laboratorio también emplea diversos utensilios y técnicas químicas y mecánicas para limpiarlos y prepararlos antes de ser depositados en colecciones científicas para su posterior estudio.

Las técnicas que se utilizan para la recolecta de los fósiles son variadas y dependen del sedimento donde se encuentran, de su tamaño, forma, dureza,

delicadeza, etc. Para recolectar esqueletos de mamíferos de gran talla o ejemplares delicados que se encuentran en sedimentos poco consolidados, se utilizan moldes de yeso o jaquets. Estos moldes se preparan con vendas de yeso que sirven para envolver al fósil y a los sedimentos que lo contienen, de manera que se extraiga el organismo completo sin sufrir daño. Asimismo, los jaquets facilitan su transportación al laboratorio y su posterior preparación.

En el caso de microfósiles, se recolecta gran cantidad del sedimento que los contiene y se guarda en costales o bolsas para ser transportado al laboratorio. Una vez aquí, se pasa por tamices de varios calibres para separar los ejemplares de la roca. Otros sitios donde es común encontrar microfósiles son los lugares cercanos a los hormigueros (Castillo-Cerón *et al.*, 1996).

Los fósiles marinos generalmente se localizan en rocas sedimentarias duras, como las calizas. En este caso se emplean martillos, marros, barretas y cinceles para romperlas. Los fragmentos extraídos se guardan en bolsas de plástico y se etiquetan. Cuando las calizas son laminadas se emplean las mismas herramientas para extraer las lajas y, de ser posible, se utilizan explosivos para abrir las canteras.

Cuando se encuentran huellas o rastros, se vacía yeso en el interior del ejemplar para obtener un positivo de la huella o se prepara un molde de látex y, posteriormente en el laboratorio, se prepara otro molde para recuperar el negativo de la huella. También, si el rastro no es muy grande y las condiciones del sedimento lo permiten, puede extraerse la laja completa.

El paso final de este proceso es el resguardo del material en una colección científica. Los fósiles son parte del patrimonio nacional, por lo que deben ser conservados en instituciones reconocidas que los mantengan disponibles para su estudio. Como se mencionó anteriormente, los fósiles son la evidencia tangible de la vida en el pasado, y a través de ellos se pueden conocer y reconstruir la historia evolutiva de los organismos. Por estas razones, la gran riqueza fosilífera de Hidalgo, y en general de nuestro país, debe ser preservada y estudiada. Nuestra función como mexicanos es ayudar a su conservación.

## Literatura citada

- Anderson, J. S. y H. D. Sues. 2008. Major transitions in vertebrate evolution. Indiana University Press.
- Behereismeyer, A. 1980. Taphonomy and the fossil record. *American Scientist*, 72(6).
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y O. Carranza-Castañeda. 1996. Vertebrados fósiles del estado de Hidalgo / Fossil vertebrates from the state of Hidalgo. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Chiappe, L. M. 2007. Glorified dinosaurs: The origin and early evolution of birds. University of New South Wales, Sydney.
- Foster, J. 2007. Jurassic West: The dinosaurs of the Morrison formation and their world. Indiana University Press.
- Gradstein, F. M., J. G. Ogg y A. G. Smith. 2004. A geologic time scale. Cambridge University Press.
- Harland, W. B., R. I. Armstrong, A. V. Cox, L. E. Craig, A. G. Smith y D. G. Smith. 1990. A geologic time scale, 1989 edition. Cambridge University Press.
- Karpelenia, J. 2005. Geologic time. Reading essentials in science. Perfection Learning.
- Luhr, J. 2003. Earth: the definitive visual guide to our planet weather, forests, glaciers, deserts, mountains, rivers, oceans and volcanoes. Dorling Kindersley Limited.
- Ogg, J. G., G. Ogg y F. M. Gradstein. 2008. The concise geologic time scale. Cambridge University Press.
- Prothero, D. R. 2006. After the dinosaurs: The age of mammals. Indiana University Press.
- Schopf, J. 1975. Modes of fossil preservation. *Review of Paleobotany and Palynology*, 20:27-53.
- Prothero, D. R. 2007. Evolution: What the fossils say and why it matters. Columbia University Press.
- Smithsonian National Museum of Natural History (SNMNH). 2008. Geologic time. <http://paleobiology.si.edu/geotime/main/index.html>

# Capítulo

## Historia de los estudios paleontológicos (1841-1975)

# 2

**Consuelo Cuevas-Cardona**

*Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

### Resumen

Por varios siglos el estudio de los fósiles fue realizado dentro del marco de la historia natural, ciencia en la que también se incluían las plantas, los animales, las rocas y los minerales. A lo largo del siglo XIX se fue definiendo el estudio de la geología, por un lado, y el de la paleontología, por el otro; por eso es difícil deslindar estas disciplinas en un estudio histórico. En el presente artículo se hace una revisión de las investigaciones paleontológicas efectuadas en el estado de Hidalgo durante los siglos XIX y XX, en el marco de los sucesos políticos y los cambios económicos que afectaron el desarrollo de ambas disciplinas en el país.

### Abstract

The study of fossil remains was carried out within the framework of natural history during various centuries. This science also included plants, animals,

rocks and minerals. Throughout the nineteenth century the study of geology was being defined, on one hand, and of paleontology, on the other. That is why it is difficult to separate these disciplines in a historical study. This paper is a review of paleontological research conducted in the state of Hidalgo during the nineteenth and twentieth centuries, in the context of political events and economic changes that affected the development of both disciplines in the country.

### Los primeros pasos

Durante el Renacimiento europeo se escribieron las primeras obras acerca de los fósiles. Autores como Conrad Gesner (1516-1565) y, posteriormente, John Ray (1627-1705) se preguntaron qué serían aquellas formas que se parecían tanto a estructuras orgánicas, pero que no podían serlo, dado que se encontraban en sitios poco apropiados: ¿cómo iba a haber conchas marinas en la parte alta de una montaña? Durante muchos años se discutió si los fósiles

tenían un origen orgánico o no. Ray llegó a aceptar que algunos sí lo tenían, pero que otros eran sólo formas que de manera aleatoria tenían parecido a seres vivos (Rudwick, 1987:93-96).

Niels Stensen, o Nicolás Steno (1638-1686), escribió un libro llamado *Forerunner* en el que, además de discernir en la manera como podrían distinguirse los fósiles “orgánicos” de los “inorgánicos”, desarrolló una teoría que posteriormente resultaría de enorme trascendencia. Planteó que las distintas capas que podían observarse en las fallas geológicas se habían originado por precipitación y que los fósiles habían quedado atrapados en el sedimento. De esta manera, al estudiar las rocas de la región de Toscana, en Italia, distinguió los estratos que no tenían fósiles de los que sí lo tenían y dedujo, acertadamente, que los primeros provenían de épocas en las que aún no había vida en el planeta (Rudwick, 1987:98).

Una de las primeras referencias acerca de la existencia de fósiles en el territorio mexicano fue el libro de Miguel del Barco, *Historia natural y crónica de la antigua California*, publicado en 1757, en el que hizo notar la existencia de conchas marinas lejos de las costas e, incluso, en sitios montañosos (Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005:137).

En mayo de 1803 Alexander von Humboldt, el reconocido explorador alemán, visitó Atotonilco el Grande, Morán, Omitlán, Real del Monte y Arenal, y entre los estudios realizados hizo el cálculo trigonométrico de la altura absoluta de las formaciones conocidas como Los Órganos, de Actopan (2977.10 m) (Flores, 1924:4). Otro viajero que realizó estudios geológicos en Hidalgo fue Joseph Burkart, quien en 1825 hizo un recorrido entre Mineral del Chico y Tula para estudiar rocas y minerales. Unos años después, en 1828, visitó Real del Monte, El Chico y Zimapán, interesado sobre todo en las minas de estas regiones (Flores, 1924:4).

Uno de los primeros extranjeros que estudiaron los fósiles del estado de Hidalgo fue Christian Gottfried Ehrenberg, quien en 1841 observó unas espículas de esponja, que atribuyó a *Spongilla lacustris*, en muestras recolectadas por su hermano Carl, procedentes de Atotonilco el Grande y de San Miguel

Regla (Rioja, 1940:173). Carl trabajaba para la Compañía Real del Monte y Pachuca y enviaba material a su hermano, quien era profesor en Berlín, Alemania, y estaba interesado en estudiar todo tipo de microorganismos. Entre las obras que publicó se encuentra *Mikrogeologie*, en 1854, en la que describió numerosas diatomeas mexicanas de distintas partes del país, pues Carl le envió muestras de diferentes lugares (Maldonado-Koerdell, 1953). Sus estudios fueron tan importantes que es considerado uno de los fundadores de la Micropaleontología (Segura, 1991).

Los primeros estudios hechos en México por naturalistas nacionales sobre fósiles fueron los que realizaron integrantes de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, asociación que nació en 1868 con el fin de realizar estudios de la flora y la fauna del país. Dos de los socios, Antonio del Castillo (1820-1895) y Mariano Bárcena (1842-1899), estuvieron interesados en el tema. Antonio del Castillo, de hecho, fue el primer profesor en tener un nombramiento en el Museo Nacional, el primer centro de investigación científica profesional que hubo en México, y su cargo fue como profesor de Mineralogía y Geología (Cuevas-Cardona, 2002:46). Bárcena fue nombrado profesor interino de Paleontología, en el mismo museo, el 27 de enero de 1877. Sin embargo, pocos meses después le quitaron el cargo debido a que ya ocupaba otro en una comisión exploradora de la Secretaría de Fomento, y a partir de 1882 se le dio el nombramiento de profesor honorario de Paleontología que conservaría por el resto de su vida (Cuevas-Cardona, 2002:49).

En la revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, *La Naturaleza*, fueron publicados varios artículos paleontológicos de Mariano Bárcena. En uno de ellos, “Viaje a la caverna de Cacahuamilpa”, refirió que el sitio está conformado por rocas mesozoicas y que estas formaciones se encuentran también en los estados de Veracruz, Hidalgo, México, Morelos, Guerrero, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes y Chihuahua. En Hidalgo, señaló, habían sido estudiadas en las grutas de Puente de Dios y de Nejamay. Al parecer, un hombre llamado Jesús Manzano le había entregado fósiles de

estos sitios que mostraban su origen Mesozoico; tales eran conchas de *Nerinea* y restos de *Grifeas*, *Cranias*, *Vermetus* e *Hippurites* (Bárcena, 1876:83). En 1877 Bárcena describió una especie nueva de fósil a la que llamó *Nerinea castilli*, por supuesto en honor de Antonio del Castillo, y dijo que se encontraba en los estados de Querétaro, Hidalgo y Michoacán (Bárcena, 1877:201).

Otro naturalista, profesor de la sección de Geología y Paleontología del Museo Nacional a partir de 1885 y hasta 1914, fue Manuel María Villada (1848-1924). En 1897 publicó el *Catálogo de la colección de fósiles del Museo Nacional* en el que registró la existencia de un teleósteo: *Incertae sedis*, que fue localizado en una caliza cretácica de Tula, Hidalgo. (Maldonado-Koerdell, 1949).

### El Instituto Geológico Nacional

Antonio del Castillo fue un científico que no sólo se dedicó a realizar estudios geológicos y paleontológicos él mismo, sino que sentó las bases para que otros pudieran investigar sobre estas disciplinas. En 1877 fue nombrado director de la Escuela Nacional de Ingenieros y fundó la asignatura de Mineralogía, Geología y Paleontología. Al año siguiente asistió al primer Congreso Internacional de Geología, realizado en París, en el que se planteó la necesidad de unificar criterios de estudio y desarrollar cartas geológicas de las distintas regiones del mundo. En 1881 el congreso se celebró en Bolonia y en 1885 en Berlín. En este tercer congreso se propuso que los países debían unirse para trazar una Carta Geológica del Globo, con la integración de las cartas nacionales. En México no se contaba con una, por lo que Del Castillo empezó a presionar al gobierno de Porfirio Díaz para formar un centro de investigación que se abocara a su elaboración (Azuela, 2005:136, 151, 152).

Del Castillo era un hombre muy hábil. Hijo de un militar que fue gobernador del estado de San Luis Potosí, sabía manejar los complicados avatares de la política (Rubinovich y Lozano, 1998:10). Aunado a esto supo establecer relaciones con geólogos de otros países, lo que a la larga lo ayudaría a lograr

sus objetivos. Uno de ellos fue Edward Cope, un conocido geólogo y paleontólogo estadounidense que en 1885 realizó estudios de una zona de arcilla y carbón situada al oriente de Zacualtipán, Hgo. En esta zona encontró dos especies nuevas de caballos fósiles de tres dedos, a las que nombró *Hippotherium peninsulatum* y *Protohipus castilli*, nombre este último que muestra la buena relación que mantenía con Del Castillo. Cope leyó su descubrimiento ante la Sociedad Filosófica Americana el 16 de octubre de 1885 y lo publicó en las memorias de esta sociedad (Cope, 1886:146-151). Otro extranjero con quien Del Castillo estableció una fuerte relación fue con Burkart, a quien, de hecho, apoyó en la traducción de algunos artículos al español (Azuela, 2005:44).

Tres años después de que Del Castillo planteara la necesidad de un centro de investigación dedicado a los estudios geológicos, en 1888, se dio un primer paso y se fundó la Comisión Geológica de México que empezó a realizar un “esbozo geológico”. Un poderoso aliciente que llevó a su formación, además del proyecto de la Carta Global, fue que se avecinaba la celebración de la Feria Internacional de París en 1889. Estos eventos significaban una oportunidad para que Porfirio Díaz mostrara que México era un país civilizado y con aspiraciones progresistas, en el que era deseable invertir, por lo que en general fueron un factor que impulsó el desarrollo científico (Tenorio Trillo, 1998). Entre los propósitos de la Comisión estaba preparar cartas geológico-mineras, un catálogo descriptivo de especies minerales de México y otro de fósiles (Rubinovich y Lozano, 1998:23). Para realizar el bosquejo se hicieron estudios de campo y también se aprovecharon los que ya habían realizado otros grupos de investigación, como la Comisión de Límites con Guatemala, bajo las órdenes de Próspero Goizueta, resguardados en el Museo Nacional, y las colecciones del museo de la Comisión Geográfico-Exploradora. Con este apoyo lograron reunirse cuatro mil ejemplares de minerales, rocas y fósiles que se exhibieron en París (Rubinovich y Lozano, 1998:37).

Varios años después, el 18 de diciembre de 1892, se creó por fin el estatuto del nuevo centro de investigación que en su artículo 2 planteaba:

Son obligaciones del Instituto Geológico Nacional: I. Formar y publicar los mapas geológico y minero de la república mexicana con sus memorias respectivas. II. Hacer y dar a luz mapas geológicos especiales; y estudios de regiones interesantes del país, como distritos mineros, formaciones fosilíferas, grandes dislocaciones de terrenos (fallas) cañones, grandes cuencas, volcanes, grutas, etc. (AHCESU, 1892:1).

En su artículo 4 señalaba las secciones que constituirían la nueva institución:

1. Sección de paleontología (fauna y flora fósiles)
2. Sección de geología y minería
3. Sección de petrografía, estratigrafía y mineralogía
4. Sección de perforación de taladros de investigación de la riqueza mineral y acuífera de los terrenos (depósitos y corrientes de aguas subterráneas)
5. Sección de análisis químico y metalurgia
6. Sección de fotografía, litografía y de dibujos de fósiles, vistas, paisajes, planos, perfiles o cortes geológicos y mineros, reducciones y moldes
7. Sección de secretaría, correspondencia, estadística, traducciones y publicaciones.
8. Sección de contabilidad y pagaduría. (AHCESU, 1892:2).

Como puede verse, la sección de paleontología ocupaba un lugar importante. Del Castillo aseguró su nombramiento en la nueva institución al establecer en el artículo 5 que el personal estaría conformado, entre otros, por un “ingeniero director y lo será por ahora el de la Escuela Nacional de Ingenieros, encargado del examen, inspección y revisión de todos los trabajos, de la formación de memorias, de los informes y publicaciones y de ordenar la subdivisión de los trabajos de las secciones comprendidas en el artículo anterior” (AHCESU, 1892:3).

Don Antonio falleció en 1895 y el 15 de julio de ese año fue nombrado José Guadalupe Aguilera como director de la institución. Uno de sus primeros trabajos fue el que realizó sobre las minas de Pachuca y sus alrededores, ya que, manifestó en el prólogo, a pesar de que éstas eran de las más productivas del país, “ninguno de los numerosos y entendidos ingenieros que han dirigido los trabajos mineros, ni ninguna de las ricas compañías que explotan con más o menos éxito las minas, se han cuidado de emprender o intentar siquiera la descripción científica y detallada del Mineral desde sus diversos puntos de vista, para dar a conocer al mundo científico las múltiples observaciones y las interesantes especulaciones que del trabajo de las minas se desprenden” (Aguilera, 1897:3). El artículo es una amplia descripción de la zona. A los fósiles los abordó de manera somera:

En este grupo de rocas [calizas] no hemos encontrado restos fósiles y su carácter petrográfico muy semejante al de las rocas del Cretáceo Superior del norte de México sugiere inmediatamente la referencia de esta formación a dicha subdivisión del sistema Cretáceo. En comprobación de esta determinación hacemos constar que más hacia el norte, junto a la población de Atotonilco el Grande, así como en terrenos de la hacienda de San Pedro de Vaquerías, se decubren las calizas compactas fétidas con *Hippurites* y *Radiolites* del Cretáceo Medio Mexicano [...] Una rápida ojeada sobre una carta geológica del país, muestra los numerosos lugares inmediatos a la sierra de Pachuca, sierra de Las Cruces y demás elementos orográficos del centro del país en donde se encuentran depósitos cretáceos de naturaleza petrográfica más o menos variada [...] En cuanto a lo que se observa en el lado opuesto de la sierra, es decir, frente a su vertiente occidental, el Cretáceo Medio se presenta con gran espesor representado por las calizas de Nerineas y de *Hippurites* de Tula, Rincón de Guadalupe, Apaxco y Mixquiahuala, ocultas en la base misma de la sierra por los

inmensos depósitos volcánicos de la cuenca de México y del valle de Actopan (Aguilera, 1897:39, 48-49).

Tal como lo había hecho Antonio del Castillo, Aguilera asistió a todos los congresos internacionales de Geología. En el de 1901, según una reseña que hizo, se uniformaron los términos usados para describir las distintas épocas de la historia de la Tierra, pues al parecer en ocasiones se utilizaban nombres locales. Así, señaló:

En la Sección de Estratigrafía y Paleontología se presentó el informe de la Comisión Internacional de Clasificación Estratigráfica, que había sido nombrada por el Congreso de San Petersburgo para estudiar los principios de clasificación estratigráfica, manteniéndose en el terreno del método histórico pero tratando de hacerla más natural [...] Las divisiones de primer orden, que cronológicamente representan eras y estratigráficamente grupos, serán denominadas Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, condenando las denominaciones de Primario, Secundario y Terciario, de uso tan generalizado [...] Las divisiones de segundo orden llamadas respectivamente Periodos y Sistemas tendrán un valor muy general, debiendo sus caracteres paleontológicos indicar una evolución orgánica particularmente caracterizada por el estudio de los animales pelágicos. Para que una división estratigráfica sea erigida en Sistema es conveniente que la sucesión de las faunas que contenga sea susceptible de subdivisiones bien marcadas [...] La Comisión y con ella el Congreso, admiten como divisiones de segundo orden las generalmente usadas en número de diez, pero dejando cierta latitud a los autores que quieran admitir más o menos. Las diez aceptadas son, para el Paleozoico, cuatro periodos: Cámbrico, Silúrico, Devónico y Carbónico; para el Mesozoico los tres periodos: Triásico, Jurásico y Cretácico, dejando libertad

para los que quieran separar el Liásico del Jurásico; para el Cenozoico dos periodos: Terciario y Moderno (Aguilera, 1902:86).

Un aspecto interesante que muestra que a principios del siglo XX aún no se tenía determinada la edad de la Tierra es que un geólogo de apellido Joly presentó un trabajo en el que calculaba, de acuerdo con la medición del sodio del mar, que la Tierra tenía una edad de apenas 90 ó 100 millones de años (Aguilera, 1902:85).

En el congreso realizado en 1903 en Viena, Aguilera llevaba la consigna de proponer que en 1906 el congreso se celebrara en México. Además del nuestro, tres países se disputaron tal honor: Canadá, Portugal y Escocia (Rubinovich y Lozano, 1998:84). Aguilera logró reunir un mayor número de votos y la realización del congreso logró que el gobierno porfiriano dedicara más recursos económicos al instituto, además de que se contrató a más personal (Ordóñez, 1946:12). Entre los científicos extranjeros invitados a colaborar estuvieron el suizo Karl Burckhardt y el austriaco Paul Waitz (De Cserna, 1990:13). En la nómina del Geológico se contaba ya desde 1897 a Emilio Böse, un paleontólogo que había sido contratado por Aguilera durante el congreso internacional realizado en San Petersburgo en 1897 (Rubinovich y Lozano, 1998:57).

### Los veneros de petróleo

Hacia 1899 se iniciaron las obras que llevaron a la instalación de una red ferroviaria en México. Los dueños de las empresas ferrocarrileras eran ingleses y estadounidenses y los ingenieros que trabajaban para ellos pronto se dieron cuenta de que había regiones donde abundaba el chapopote. El presidente del Ferrocarril Central Mexicano, el estadounidense Albert Robinson, sabía que Edward Doheny había hecho fortuna con la explotación del petróleo en Estados Unidos, de manera que lo llamó para que evaluara los posibles recursos mexicanos. Lo que Doheny observó lo impulsó a adquirir en 1900 la

hacienda de Tulillo, en el municipio de Ébano, San Luis Potosí, terreno en el que abundaba un “lodo pegajoso”, el chapopote, que impedía cualquier actividad relacionada con la agricultura o la ganadería (Pedraza Montes, 1994).

Doheny fundó la Mexican Petroleum Company y propuso al entonces secretario de Hacienda, José Limantour, que el gobierno mexicano se quedara con el 51% de las acciones de la empresa. El ministro no estaba seguro de que en México hubiera petróleo suficiente como para que el negocio fuera redituable, por lo que pidió su opinión al secretario de Fomento, Manuel Fernández Leal, quien ordenó que el Instituto Geológico hiciera un peritaje en los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Oaxaca (Rubinovich y Lozano, 1998:73). Los encargados de hacerlo fueron Juan D. Villarelo y Ezequiel Ordóñez (1867-1950) y sus conclusiones resultaron contradictorias. Villarelo consideró que era prematuro dar resultados y que se necesitaban más estudios para tomar una determinación; en cambio, Ordóñez aseguró que en el lugar había petróleo y que convenía explotarlo. De acuerdo con Rubinovich y Lozano, Aguilera presentó al ministerio de Fomento sólo el informe de Villarelo, dado que Ordóñez tuvo un accidente y estuvo menos tiempo en la zona; de acuerdo con De Cserna, se presentó un informe dividido en tres partes: en la primera, Aguilera trataba de la geología de la región, y en las otras los dos geólogos exponían su punto de vista. Sea como sea, el gobierno de Díaz decidió no participar en el proyecto.

Hacia fines de 1903 Doheny había mandado perforar varios pozos que, si bien indicaban que había petróleo en la región, no habían dado el resultado esperado. Ezequiel Ordóñez fue quien localizó el sitio exacto en el que debía excavar para lograr la producción deseada, a un lado del cerro de La Pez. El 3 de abril de 1904 la perforación superó los 500 metros de profundidad y brotó un chorro de petróleo de más de 15 metros de altura, con lo que se inició la explotación de este recurso en el país (De Cserna, 1990:15; Rubinovich y Lozano, 1998:85-86). Ordóñez fue acusado de apoyar a los intereses extranjeros y renunció al Instituto Geológico Nacio-

nal después de que se realizó en México el congreso internacional de 1906.

### La Escuela de Altos Estudios

En 1908 José Guadalupe Aguilera formó parte de una comisión que intentó impulsar un proyecto largamente acariciado por Justo Sierra: la creación de una Escuela de Altos Estudios, en la que se coordinaran las actividades de investigación y se formaran hombres y mujeres de ciencia. En agosto de ese año la comisión entregó el dictamen correspondiente y días después el periódico *El Imparcial* publicó una nota en la que afirmaba: “En esta escuela serán refundidos los estudios especiales que se hacen en los diversos institutos: el Médico, el Geológico, el Bacteriológico, los que se hacen en el Museo Nacional, aportando a ella los elementos con que cuentan cada uno de ellos” (Anónimo, 1908). El 7 de abril de 1910 se expidió la Ley Constitutiva de la Escuela Nacional de Altos Estudios, cuyo artículo 6 señalaba que los centros de investigación existentes formarían parte de ésta. A partir de entonces los directores de los diferentes centros de investigación que existían debían mandar los informes de lo que habían realizado (AHCESU, 1910:12049).

Aguilera fue uno de los que más colaboraron con la nueva institución. Inmediatamente envió sus informes y prestó las instalaciones del Instituto Geológico para que se dieran ahí algunas clases, como la que él mismo impartió sobre Geología de México (AHCESU, 1914:2431). En uno de estos informes existen datos sobre algunas investigaciones realizadas en el estado de Hidalgo: se estudió la profundidad a la que podía encontrarse agua en varios poblados, como Tizayuca, Temascalapa, San Bartolo, San Luis, Téllez, Acayuca y Zapotlán. En ese entonces la gente consumía el agua de los jagüeyes, lo que resultaba antihigiénico. Con el informe podrían construirse pozos para obtener agua mucho más limpia (AHCESU, 1913:4034). Además, se había realizado un estudio geológico-minero de El Chico, Atotonilco el Grande y Metztlán, lugares estos dos últimos en los que se encontraron distintos fósiles:

Las tobas andesíticas están cubiertas por extensas capas de margas o areniscas muy finas de color amarillo, en lajas, endurecidas por la sílice que algunas veces forman capas de pederual. En estas lajas se encuentran capas fosilíferas con pequeños frutos de Characeas (plantas talofitas) y con las conchas de Cirripedios y Ostracodas. Encima de las lajas mencionadas descansan areniscas de cuarzo muy fino pero con mucha calcita formando casi calizas arenosas en las que se encuentran también restos de plantas. Estas areniscas en la parte superior pasan paulatinamente a margas finas también con Ostracodas, siguiendo más arriba la caliza compacta mesocretácica bien caracterizada. Esta caliza compacta comienza con zonas poco fosilíferas, principalmente Exogyras mal conservadas, Corales y algunos Lamelibranquios disminuyendo esta fauna en las capas más altas, en las que se encuentra fauna de agua más profunda. Estas capas superiores están formadas por foraminíferas de Miliolidas, Textularias, Globigerinas y muchas Nerineas y Corales. Abajo de Amajac y también en la barranca grande de Santa Catarina o de Metztilán se encuentra una serie de margas con muchos foraminíferos principalmente Lagenidas y Nodosarias, margas que tal vez representan un equivalente de las lajas antes mencionadas. Las formaciones que descansan sobre el Cretácico comienzan probablemente con el Mioceno y aunque estos depósitos están compuestos de material volcánico, se encuentran fósiles en varios lugares, los que permitieron precisar la edad relativa de los referidos depósitos. La superficie de las andesitas y de las rocas cretácicas está cubierta de conglomerado y material rodado y descompuesto en parte. En estos acarreo se encuentran los restos de un mastodonte, un colmillo y pedazos de dos molares. Es muy notable en estos depósitos de acarreo y arenas de andesita la gran cantidad de pedazos de piedra pómez que contienen, menor en las partes de abajo y mayor en las zonas de arri-

ba, formando en varios lugares capas extensas de pura piedra pómez con pocos acarreo de andesita. Muchas veces se observa en la parte más alta una alternancia repetida de arenas andesíticas y piedra pómez que sigue hasta la superficie de esta formación. El material bastante fino de estas capas permitió la conservación de plantas mono y dicotiledóneas que pudieron colectarse en gran cantidad. Encima de los depósitos mencionados se encuentran las extensas corrientes de basalto y las capas de tobas de la misma roca eruptiva que cubren gran parte del llano de Atotonilco dejando descubierta la zona del Noreste en donde se levantan lomas cretácicas. La erupción basáltica en esta zona parece terminar con una capa de tezontle y tobas de grano grueso que alcanza una potencia hasta de 30 metros (AHCESU, 1913:4037).

El informe anterior fue escrito en octubre de 1913, una de las épocas en que, de acuerdo con Ezequiel Ordóñez, el Instituto Geológico recibió más apoyo económico (Ordóñez, 1946:15). En ese entonces gobernaba el país Victoriano Huerta, quien había estudiado para ingeniero topógrafo (García Martínez, 1975:521), hecho que lo hacía comprender la importancia de la institución. Por desgracia, Huerta, además, nombró a Aguilera subdirector de la Secretaría de Fomento, lo que llevó a que una vez caído el usurpador, fuera despedido del Instituto Geológico y éste cerrado por algún tiempo (Rubinovich y Lozano, 1998:124; De Cserna, 1990:16).

La revolución mexicana afectó seriamente a varios centros de investigación del porfiriato: el Instituto Patológico desapareció en 1914, el Médico Nacional en 1915, año en el que el Bacteriológico suspendió sus actividades varios meses, y aunque se volvió a abrir en 1916, nunca más volvió a realizar los brillantes trabajos que hasta entonces había hecho (Cuevas-Cardona, 2007:53-89). El Instituto Geológico fue clausurado varias veces: estuvo cerrado de agosto a septiembre de 1914, de febrero a septiembre de 1915 y de febrero a mayo de 1917 (Rubinovich y Lozano, 1998:128).

Con el gobierno de Venustiano Carranza, la Secretaría de Fomento tuvo una reorganización total y el Instituto Geológico pasó a depender de la Dirección de Minas y Petróleo de la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria, dirigida por Pastor Rouaix (Anónimo, 1916). Esto indica, como lo dicen De Cserna (1990:16) y González-Torres (2005:126), la orientación de aplicación inmediata que se dio a este centro de investigación en aquel tiempo, pues muchos de los esfuerzos se dedicaron a la búsqueda de petróleo y minerales. Sólo para mostrar que esta tendencia en la época fue general, es interesante señalar que algunas de las recomendaciones que se dieron para que el Bacteriológico continuara funcionando fueron: “Reducir los presupuestos, limitar al *minimum* los trabajos de pura especulación científica y hacer trabajo de aplicación” (Cuevas-Cardona, 2007:84).

Otro impacto ejercido en el Instituto Geológico en esta época es que los profesores extranjeros fueron despedidos (De Cserna, 1990:17). Esto posiblemente se debió a que Carranza cesó a todos los empleados que no lo acompañaron a Veracruz. Cabe recordar que a la muerte de Victoriano Huerta, don Venustiano fue nombrado primer jefe de la revolución, pero Francisco Villa y Emiliano Zapata no reconocieron su liderazgo. El mismo Carranza tuvo que formar una convención que convocara a elecciones, la de Aguascalientes, representada por 150 generales revolucionarios que llegaron a la conclusión de que debían solicitar su renuncia. El primer jefe no aceptó, gobernó desde la ciudad de Veracruz, y en 1915, cuando Obregón venció a los villistas y él pudo regresar a la ciudad de México, las diferentes dependencias gubernamentales recibieron cartas como la siguiente: “Como por acuerdo dictado en febrero último, todo el personal de la Secretaría [...], a excepción del que se trasladó a Veracruz, quedó cesante, los empleados que no hayan recibido nombramiento posterior tienen el carácter de

provisionales” (AHCESU, 1915:6401). Varios profesores que habían trabajado en la Escuela de Altos Estudios fueron despedidos por este motivo.<sup>1</sup>

### El Departamento de Estudios y Exploraciones Geológicas

En 1918 la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria pasó a ser Secretaría de Fomento y Agricultura y surgió la Secretaría de Industria y Comercio de la que dependió el Instituto Geológico, al que ahora también se llamó Departamento de Estudios y Exploraciones Geológicas (AHCESU, 1918:18), cuyo fin principal continuó siendo la búsqueda de petróleo. En 1923 se exploró con este fin la zona comprendida entre Zacualtipán, Hgo., y Tuxpan, Ver. (AHCESU, 1923a:45). Una observación paleontológica fue la siguiente:

Durante este recorrido se observó que el terreno está cubierto por una corriente basáltica de edad reciente y, como a hora y media de Atonilco, aparecen pequeñas colinas de caliza en donde fueron encontrados fósiles que prueban que la caliza se encuentra debajo de la altiplanicie mexicana, siendo dichos fósiles del tipo Atlántico. En Huayacocotla se encontraron también fósiles interesantes para este estudio, observándose en las cercanías de este lugar que la erosión ha sido muy extensa, pues los ríos han cortado las rocas volcánicas y las sedimentarias en unos 1100 metros. (AHCESU, 1923b:14).

En estos años el Instituto se organizó en las siguientes secciones: Geología Minera, Hidrología, Geología Petrolera, Colecciones, Química, Topografía, Dibujo y Fotografía, Secretaría, Biblioteca y Publicaciones (AHCESU, 1927:80). Obsérvese que la sección de Paleontología había desaparecido.

<sup>1</sup> Charles Cumberland señala en su obra *La revolución mexicana. Los años constitucionalistas*, que si bien hubo una fuerte persecución y presión sobre todos los sacerdotes en esta época, los que eran extranjeros fueron expulsados del país sin ninguna contemplación. Cumberland indica que las actitudes xenofóbicas eran comunes en aquel entonces, p. 201-203.

El interés por la exploración petrolera no se detenía ni ante otro tipo de fenómenos geológicos. En mayo de 1923 hubo un fuerte temblor en Tlanchinol, Hgo., y un boletín enviado a la Secretaría de Relaciones Exteriores informaba que la comisión formada para estudiar la naturaleza del fenómeno debía realizar otro que abarcara la región comprendida entre Tlanchinol y la margen occidental de la laguna de Tamiahua, Ver., pues había altas posibilidades de encontrar aquí petróleo (AHCESU, 1923c:143).

En 1924 se formó una comisión que estudió la zona minera hidalguesa comprendida entre Atotonilco y Zimapán. Además de estos dos municipios se visitaron Actopan y Cardonal. En Atotonilco el Grande los investigadores encontraron huesos fósiles de diversas especies de *Equus* entre las capas de brechas y tobas. En los valles de Actopan e Ixmiquilpan descubrieron restos de mamíferos que formaban depósitos terciarios lacustres. En el camino que va de Ixmiquilpan a Alfajayucan, en “una excavación hecha al este de la mesa de la Cantera”, encontraron mamíferos de los géneros *Mastodon* y *Equus* de fines del Terciario y principios del Cuaternario (Flores, 1924:88-89), lo que indica que, a pesar de todo, las observaciones paleontológicas continuaban.

### El Instituto de Geología

Cuando la Universidad Nacional logró obtener su autonomía, y dado “que para cumplir los propósitos de elaboración científica, la Universidad Nacional debe ser dotada de aquellas oficinas o institutos que dentro del gobierno puedan tener funciones de investigación científica”, se declaró que el Instituto de Geología, el Instituto de Biología, el Observatorio Astronómico y la Biblioteca Nacional pasarían a formar parte de la Universidad (Canales, 1929:1, 3). De inmediato, el edificio de Ciprés 176 en donde se había alojado el Instituto Geológico pasó a formar parte del patrimonio universitario junto con el personal y la infraestructura existentes (AHCESU, 1929:9).

Al principio la situación económica no fue fácil, como lo muestra una carta enviada por el rector, Ignacio García Téllez, al secretario de Agricultura y Fomento en febrero de 1931, donde le solicita apoyo para la impresión de las láminas que ilustrarían el tomo V de los *Anales del Instituto de Geología*, debido a “la penuria en que se encuentra actualmente la Universidad” (AHCESU, 1931). De hecho el *Boletín del Instituto de Geología* dejó de publicarse en 1932 y no volvió a aparecer hasta 1946; los *Anales* se suspendieron en 1930 para volver a aparecer en 1936; y aunque se publicaron cuatro folletos de divulgación en 1930, sólo apareció uno en 1931, otro en 1932 y otro más en 1936.

A pesar de eso el trabajo continuaba. Karl G. Müllerried fue un científico alemán que llegó a México en 1922, contratado por la Compañía Alemana de Petróleo (Deutsche Erdöl A. G.). En 1925, cuando el Instituto Geológico aún dependía de la Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo, Müllerried fue contratado para explorar los estados de Coahuila y Chiapas. De noviembre de 1929 a julio de 1934 prestó sus servicios en el Instituto de Biología, donde se hizo cargo de la colección de fósiles, rocas y minerales del Museo Nacional de Historia Natural, que dependía de este instituto. De 1934 a 1937 y de 1945 hasta su muerte regresó al Instituto de Geología y realizó diferentes trabajos sobre el estado de Hidalgo (Maldonado-Koerdell, 1953).

Uno de éstos fue un estudio paleontológico del Valle del Mezquital publicado en 1938, en el que describió varios fósiles encontrados en los cerros Cuesta de México, Huadri, Cuxmaye y una parte de la sierra de San Miguel de la Cal: *Alectryonia carinata*, *Valva fragmentaria*, *Caprina* sp., *Purpuroidea* sp. y *Toucasia* sp. (Müllerried, 1938:39-41). En otro estudio, también sobre el Valle del Mezquital, Müllerried dio a conocer el descubrimiento de algunos dientes de selacios fósiles (Maldonado-Koerdell, 1948) y en otro describió a un *Hippurites* (Müllerried, 1948:3-10). También visitó la barranca de Santa María Regla, de la cual describió un anélido poliqueto marino que encontró entre las pizarras del lugar (Müllerried, 1947:3-5).

La depresión económica de la Universidad duró varios años. En 1946 Ezequiel Ordóñez, quien había regresado al Instituto de Geología en 1945 como director, escribió una reseña histórica en la que señaló:

A partir de la fecha en que esta institución formó parte de la Universidad y por causas ajenas a ella, su presupuesto se ha mermado considerablemente; pero no obstante esto, su personal ha seguido trabajando con el mismo empeño, como lo demuestran las labores realizadas dentro de este periodo. Sin embargo, confiamos plenamente en que las condiciones económicas de la Universidad mejorarán y que por lo tanto este Instituto recibirá nuevos impulsos y una ayuda económica eficaz, para mejorar su organización y los servicios que debe prestar al país. (Ordóñez, 1946:15).

Ordóñez planteó que durante los primeros años de su existencia, el Geólogo había hecho “especulación científica, sin que los asuntos en ellos tratados tuvieran una aplicación práctica inmediata, pero esto obedeció a la labor de preparación que necesariamente tenía que llevarse a efecto para entrar después, poco a poco, en la aplicación de estos conocimientos” (Ordóñez, 1946:16). Sobre los estudios paleontológicos los “justificó” así: “Como debe comprenderse, el estudio de los fósiles ha sido necesario para establecer los pisos estratigráficos mexicanos y relacionarlos con los grandes horizontes geológicos de otros países” (*Ibidem*). Durante su dirección, los estudios paleontológicos se realizaron en la sección de Geología Petrolera “para definir las relaciones estratigráficas y elaborar convenientemente los datos estadísticos de carácter geológico, especialmente para formar las Cartas Geológicas-Petroleras de cada uno de los estados y posteriormente de la república” (Ordóñez, 1946:17).

Diez años después, tanto la situación económica como la visión de la ciencia se habían modificado en la institución, y entonces, bajo la dirección de

Guillermo Salas, el primer departamento nombrado en un informe era el de Geología General y Micro y Macropaleontología. Se indicaba, además, que se habían enviado dos especialistas en estas áreas a obtener su doctorado en las universidades de Bonn y de Stanford (AHCESU, 1956:1).

A raíz de la expropiación petrolera en 1938, Petróleos Mexicanos (PEMEX), además de que formó su propio laboratorio de investigación paleontológica, colaboró con el Instituto de Geología. Esto es claro en el artículo de Alicia Silva Pineda sobre las plantas del Triásico Superior del estado de Hidalgo, publicado en 1963. La autora narró que el material fue colectado a mediados de 1962 por los geólogos José Carrillo y Jorge Patiño, ambos de PEMEX, quienes lo cedieron al Instituto de Geología para su estudio. Las localidades fósíferas se encontraban en “la prolongación del camino Zacualtipán-Tlahuelompa, al noreste de San Mateo, en el estado de Hidalgo” (Silva Pineda, 1963:1). La autora encontró tres especies que nunca se habían descrito en México: *Thaumatopteris* sp., *Stenopteris* sp. y *Pterophyllum longifolium*, además de encontrar una especie nueva: *Todites carrilloi*.

Algunos años después, Alicia Silva Pineda hizo un extenso estudio sobre las plantas de esta época en el artículo “La flora triásica de México” (Silva Pineda, 1979). En dicho escrito hizo una revisión de la distribución geográfica de esta flora en el país; los grupos de plantas que conformaron tal tipo de vegetación, géneros de Cicadofitas, Helechos, Coniferales, Equisetales, Pteridospermas y Ginkgoales; y las unidades estratigráficas en las que se encuentra este tipo de flora, como la formación Huizachal que se extiende en varias localidades de los estados de Tamaulipas, Hidalgo, Veracruz y Puebla. “En la parte basal de la formación Huizachal, que aflora sobre el camino Tlahuelompa a San Mateo, entre los estados de Hidalgo y Veracruz, se encuentra una flora abundante constituida por los helechos *Thaumatopteris*, *Todites* y *Metensides*, por la pteridosperma del género *Stenopteris* y por las cicadofitas *Otozamites* y *Pterophyllum*” (Silva Pineda, 1979:142). En 1981 describió la especie *Asterotheca meriani*

en esta misma formación y señaló que en 1963 algunos ejemplares de ésta, que pudieron estudiarse después con más detalle, se habían clasificado como *Todites carrilloi* y *Mertensides bullatus* (Silva Pineda, 1981-1983:52).

Para entonces, y desde 1975, se había fundado la *Revista del Instituto de Geología* (actualmente *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*) en la que participaron investigadores de distintos centros de investigación y asociaciones: el Instituto de Geología, el Centro de Geociencias y la Facultad de Ingeniería, de la UNAM, la Sociedad Geológica Mexicana, el Instituto Nacional de Geoquímica y la Sociedad Mexicana de Paleontología. Esto demuestra el crecimiento y la diversificación que han tenido en los últimos años las, ahora llamadas, Ciencias de la Tierra. Como muestra y para continuar con una de las investigadoras que ha dedicado sus esfuerzos a explorar el estado de Hidalgo, se mencionará un artículo más de Alicia Silva Pineda. En éste, la autora, junto con otros dos investigadores: el geólogo Héctor Ochoa-Camarillo y la paleontóloga de invertebrados Blanca Estela Buitrón, hicieron estudios del anticlinorio de Huayacocotla, en la región de Molango. En los antecedentes, los autores enumeraron 25 estudios geológicos y paleontológicos realizados sólo en esta zona, lo que muestra el número de trabajos que se realizaban en el país, en general, y en esta entidad, en particular. El artículo trata de distintos aspectos geológicos del sitio y de la manera como los fósiles encontrados en los distintos estratos permiten saber las condiciones del lugar en distintas épocas (Ochoa-Camarillo, Buitrón y Silva-Pineda, 1998:59-60).

## Conclusiones

La reseña aquí presentada se basó en la búsqueda de artículos y documentos de archivo referentes a los estudios realizados solamente en el estado de Hidalgo. Un análisis nacional arrojaría mucha más riqueza de hallazgos fosilíferos. Lo que no cam-

biaría es la historia de las instituciones en donde se han realizado los estudios paleontológicos y los distintos enfoques que se les ha dado a través de la historia.

Durante el porfiriato la investigación indudablemente fue apoyada: la Comisión Geológica de México pasó a ser el Instituto Geológico Mexicano, con edificio e infraestructura propios, si bien el desarrollo científico en el periodo estuvo afectado por los avatares de la economía y la dependencia directa de políticos que muchas veces no sabían lo que es la investigación científica.

El descubrimiento del petróleo y la revolución mexicana dieron un giro a la geología y paleontología realizada en el país: todos los recursos fueron enfocados a la búsqueda de nuevos yacimientos. Los primeros jefes revolucionarios consideraron que debía hacerse una “ciencia útil” y dejar de lado los estudios de “mera especulación científica”. Con el paso de los años se comprendería que no puede haber utilidad en la ciencia si no se hace antes investigación básica. Esto y el hecho de que los institutos pasaran a depender de una instancia académica, la UNAM, llevaron a que una vez que ésta superara las dificultades económicas se diera un fuerte desarrollo, lo que ha producido el crecimiento y la diversificación de las ciencias de la Tierra en el país.

Uno de los directores del Instituto de Geología, el M. en C. Diego Arturo Córdoba, fue invitado a trabajar en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Gracias a él se fundó el Laboratorio de Paleontología de la UAEH, en el que se realiza investigación y se forman nuevos científicos en el área. Los artículos que se reúnen en el presente volumen son resultado de estos trabajos.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por FOMIX-CONACYT correspondiente a la Convocatoria 2006-1, solicitud 43761, “Diversidad biológica del estado de Hidalgo”, que permitió la adquisición de datos para el presente trabajo.

## Referencias documentales

- AHCESU. 1892. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 1, expediente 2, folios 1-3.
- AHCESU. 1910. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Escuela Nacional de Altos Estudios, caja 20, expediente 400, folios 12048-12051.
- AHCESU. 1913. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Escuela Nacional de Altos Estudios, caja 7, expediente 148, folios 4031-4102.
- AHCESU. 1914. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Escuela Nacional de Altos Estudios, caja 20, expediente 427, folio 2431.
- AHCESU. 1915. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Escuela Nacional de Altos Estudios, caja 11, expediente 238, folio 6401.
- AHCESU. 1918. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 25, expediente 231, folio 18.
- AHCESU. 1923a. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 59, expediente 494, folio 45.
- AHCESU. 1923b. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 59, expediente 494, folios 14-15.
- AHCESU. 1923c. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 59, expediente 494, folio 143.
- AHCESU. 1927. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 61, expediente 514 bis, folio 80.
- AHCESU. 1929. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Universidad Nacional, caja 34, expediente 988, folio 9.
- AHCESU. 1931. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Universidad Nacional, caja 54, expediente 1737.
- AHCESU. 1956. Archivo Histórico del Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Instituto de Geología, caja 64, expediente 544, folio 1.

## Literatura citada

- Anónimo. 1908. Nota aparecida en el periódico *El Imparcial* el 15 de octubre de ese año.
- Anónimo. 1916. Directorio. Boletín Oficial de la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria. 4ª época, 1(1):s/p.
- Aguilera, J. G. 1897. El Mineral de Pachuca. Boletín del Instituto Geológico de México 1897. México: Tipografía de la Secretaría de Fomento.
- Aguilera, J. G. 1902. Reseña de los principales trabajos del 8º Congreso Geológico Internacional. Boletín de la Secretaría de Fomento. Congresos Científicos. Folleto VI:81-91.
- Azuela, L. F. 2005. De las minas al laboratorio: la demarcación de la geología en la Escuela Nacional de Ingenieros (1795-1895). México: UNAM.
- Bárcena, M. 1876. Viaje a la caverna de Cacahuamilpa. La Naturaleza, 1ª serie, III:75-91.
- Bárcena, M. 1877. Materiales para la formación de una obra paleontológica mexicana. Anales del Museo Nacional, 1ª época, I:195-202.
- Carreño, A. L. y M. Montellano-Ballesteros. 2005. La paleontología mexicana: pasado, presente y futuro. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 62(2):137-147.
- Canales, F. 1929. Ley Orgánica de la Universidad Nacional Autónoma. Diario Oficial, 60(21):1-8. Publicado el 26 de julio.
- Cope, E. 1886. Report on the Coal Deposits near Zaqualtipan in the State of Hidalgo, Mexico. Proceedings of the American Philosophical Society, 23(121):146-151.
- Cuevas Cardona, C. 2002. Un científico mexicano y su sociedad en el siglo XIX. Pachuca: UAEH.
- Cuevas Cardona, C. 2007. Ciencia de punta en el Instituto Bacteriológico Nacional (1905-1921). Historia Mexicana, LVII (1):53-89.
- Cumberland, Ch. 1975. La revolución mexicana. Los años constitucionalistas. México: Fondo de Cultura Económica.
- De Cserna, Z. 1990. La evolución de la Geología en Méxi-

- co (1500-1929). *Revista Instituto de Geología, UNAM*, 9(1):1-20.
- Flores, T. 1924. Estudio geológico de la zona minera comprendida entre los minerales de Atotonilco el Chico y Zimapán en el estado de Hidalgo. Boletín número 43 del Instituto Geológico de México.
- García-Martínez, B. 1975. La Comisión Geográfico Exploradora. *Historia Mexicana*, 24(4):485-555.
- González-Torres, E. 2005. Bosquejo sobre la evolución de la Geología en México (1904-2004). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(2):123-136.
- Maldonado-Koerdell, M. 1948. Peces fósiles de México, I. Elasmobranquios. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 9:CD-ROM.
- Maldonado-Koerdell, M. 1949. Peces fósiles de México II. Dipnoos, Ganoides y Teleósteos. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 10:CD-ROM.
- Maldonado-Koerdell, M. 1953. La contribución de Federico K. G. Müllerried a la Geología y Paleontología mexicanas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 14:CD-ROM.
- Müllerried, F. 1938. Paleontología. En: *Memoria de la Comisión Geológica del Valle del Mezquital*, Hgo. México: Instituto de Geología/UNAM, p. 39-41.
- Müllerried, F. 1947. Fósiles raros en México IV. Anélido poliqueto marino hallado en pizarras de la barranca de Regla, Hidalgo. *Anales del Instituto de Biología*, 18:3-5.
- Müllerried, F. 1948. Fósiles raros de México V. Un *Hippurites* del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo. *Anales del Instituto de Biología*, 19:3-10.
- Ochoa-Camarillo, H., B. E. Buitrón y A. Silva-Pineda. 1998. Contribución al conocimiento de la bioestratigrafía, paleoecología y tectónica del Jurásico (anticlinorio de Huayacocotla) en la región de Molango, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(1):57-63.
- Ordóñez, E. 1946. *El Instituto de Geología. Datos históricos*. México: UNAM.
- Pedraza Montes, J. F. 1994. Sinopsis histórica del municipio de Ébano del estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí: Centro de Desarrollo Municipal.
- Rioja, E. 1940. Estudios hidrobiológicos I. Estudio crítico sobre las esponjas del lago de Xochimilco. *Anales del Instituto de Biología*, 11:173-189.
- Rubinovich, R. y M. Lozano. 1998. Ezequiel Ordóñez. Vida y obra (1867-1950). México: El Colegio Nacional.
- Rudwick, M. 1987. El significado de los fósiles. Episodios de la historia de la paleontología. Madrid: Herman Blume.
- Segura, L. R. 1991. Christian Gottfried Ehrenberg: su publicación de 1841 y las especies de forminíferos de México nombradas por él. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 42:CD-ROM.
- Silva-Pineda, A. 1963. Plantas del Triásico Superior del estado de Hidalgo. *Paleontología Mexicana*, 18.
- Silva-Pineda, A. 1979. La flora triásica de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 3(2):138-145.
- Silva-Pineda, A. 1981-1983. *Asterotheca* y plantas asociadas de la formación Huizachal (Triásico Superior) del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 5(1):47-54.
- Tenorio Trillo, M. 1998. Artilugio de la nación moderna. México en las Exposiciones Universales (1880-1930). México: Fondo de Cultura Económica.



# Capítulo

## Las plantas fósiles

# 3

**<sup>1</sup>Rocío Hernández-López y <sup>2</sup>Jesús Martín Castillo-Cerón**

*<sup>1</sup>Posgrado Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

*<sup>2</sup>Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

### Resumen

En el estado de Hidalgo existen varias localidades con restos de plantas fósiles que van del Paleozoico al Pleistoceno. En los años recientes, una de las áreas mayormente exploradas ha sido la de Santa María Amajac, del Plioceno. En esta área se describieron e identificaron catorce morfotipos de plantas, los cuales permiten descubrir zonas de transición de la vegetación en el estado durante el Terciario. No obstante, es importante continuar con los estudios en las diferentes localidades fosilíferas para entender el desarrollo de la vegetación en Hidalgo. Para este fin es necesario incrementar el número de estudiantes e investigadores interesados en la paleobotánica.

### Abstract

Several fossil plant localities from Paleozoic to Pleistocene ages are known in the Hidalgo State.

The Pliocene Santa María Amajac area has been systematically explored in recent years. The fourteen plant morphotypes described from this area, have provided information about transitional vegetation zones during the Tertiary. However, to understand the development of the vegetation in the state, it is important to continue studying the different fossil plant localities. To this purpose, it is necessary to increase the number of students and paleobotany researchers.

### Introducción

A través del estudio del registro fósil de las plantas, la paleobotánica ha permitido conocer el tiempo en el que varios grupos se originaron y diversificaron (Taylor y Taylor, 1993), aportando información sobre la diversidad, distribución e interacciones de las plantas y los ecosistemas actuales (Weber y Cevallos-Ferriz, 1995).

En México las primeras referencias sobre plantas fósiles se limitan a reportes esporádicos de algunas especies encontradas durante prospecciones geológicas (Gío-Argáez y Rodríguez, 2003) y corresponden principalmente a plantas del Paleozoico y Mesozoico. Las plantas del Terciario fueron reportadas ocasionalmente por investigadores extranjeros, quienes depositaron el material recolectado en museos de Europa y Estados Unidos, por lo que los primeros trabajos paleobotánicos formales datan de la última década del siglo XIX (Gío-Argáez y Rodríguez, 2003).

### Principales grupos fósiles de plantas en el estado de Hidalgo

Existen varias localidades con restos de plantas fósiles que van del Paleozoico (Silva-Pineda, 1987) al Pleistoceno (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Hernández-López y Castillo-Cerón, 2007). El material es abundante, a veces fragmentado, pero generalmente presenta un buen estado de preservación.

#### Flora paleozoica

Al noreste del estado, en la región de Calnali, Silva-Pineda (1987) menciona una flora fósil proveniente de la formación Guacamaya de edad pérmica. El material fósil es escaso y está pobremente preservado. El grupo mejor representado es el de los helechos (*Pecopteris arborescens* y *Pecopteris* sp.), aunque también hay equisetales (*Equisetum* sp.), así como ejemplares escasos de cicadofitas (*Taeniopteris*), coniferofitas (*Walchia*) y fragmentos de pínulas de pteridospermas (*Neuropteris?* y *Odontopteris?*).

#### Flora mesozoica

En el área de San Mateo, también en el noreste del estado, en los límites con Veracruz, Silva-Pineda (1963) reporta impresiones de helechos, pteridospermas y cicadofitas para la formación Huizachal, correspondiente al Triásico tardío.

#### Flora cenozoica

En el área de Zacualtipán, en la Sierra Alta de Hidalgo, existen registros de plantas para el Mioceno, en localidades que han sido mencionadas correspondientes al Henfiliano temprano, con base en la paleomastofauna presente. De estas localidades, Martínez-Hernández (1991) reporta con base en estudios palinológicos, la presencia común y abundante de *Quercus* sp. y de *Typha*. En menor cantidad se encuentran *Ulmus*, *Engelhardtia* y *Celtis*, así como gramíneas, ciperáceas y compuestas, además de algunas pteridofitas y *Pinus* como la única gimnosperma presente, aunque en porcentaje reducido. Asimismo, se tienen semillas de cítricos por determinar, así como oogonios (estructuras femeninas) de algas calcáreas de los géneros *Chara* y *Nitella* (Hernández-López y Castillo-Cerón, 2007).

Por otro lado, ya en el Plioceno, en el área de Santa María Amajac, se han reportado plantas fósiles pertenecientes a las siguientes familias: Fagaceae —encinos— (Velasco de León *et al.*, 2000; Ortiz-Martínez y Velasco-de León, 2000), Platanaceae, Salicaceae, Rosaceae (Aguilar y Ortiz-Martínez, 2000) y la familia Asteraceae —compuestas— (Velasco de León *et al.*, 2000). Además se menciona a *Equisetum hyemale* (Aguilar *et al.*, 2002) y *Juniperus deppeana* (Silva-Pineda y Velasco de León, 2004), considerados como los primeros registros del Plioceno en México. En un estudio posterior, Hernández-López (2006) reporta la presencia de Poaceae, Anacardiaceae y Rhamnaceae, así como semillas de cítricos por identificar (Hernández-López y Castillo-Cerón, 2007).

En la misma área, pero en la localidad de Santórum, también del Plioceno, se ha reportado la presencia de los siguientes grupos de plantas: Aceraceae, Rhamnaceae, Leguminosae, Juglandaceae, Moraceae y gimnospermas sin identificar (Velasco de León *et al.*, 2000).

Para la localidad La Pinta de Vaquerías, localizada al norte de Atotonilco el Grande y con edad correspondiente al Pleistoceno, también se han reportado

impresiones de plantas fósiles, entre las que el género *Quercus* es el más común (Hernández-López, 2006).

### El trabajo paleobotánico en el Museo de Paleontología

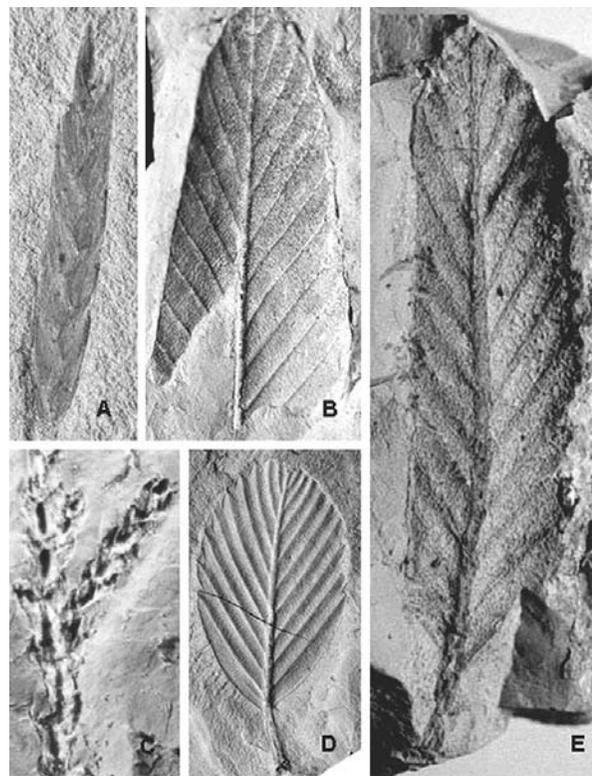
La recolecta de material paleobotánico se inició cuando ya estaba formado el Museo de Paleontología. Se realizó de manera conjunta con la de vertebrados, ya que durante las salidas a campo el material encontrado de plantas era trasladado a las instalaciones del museo y resguardado dentro de la Colección Paleobotánica, que hasta antes de 2004 contaba con apenas 77 ejemplares. Fue a partir de ese año que se iniciaron formalmente las primeras recolectas de plantas fósiles en la localidad de Santa María Amajac, que dieron como producto la primera tesis de licenciatura de la UAEH con enfoque paleobotánico (Hernández-López, 2006), de la cual se ha obtenido información relevante sobre los grupos de plantas ya mencionados en esta región en particular; asimismo, se ha incrementado considerablemente el número de ejemplares fósiles resguardados, que hasta el momento ascienden a 350 ejemplares (Hernández-López y Castillo-Cerón, 2007).

### Un estudio de caso

#### Localidad Hojas Fósiles (HGO-51)

La localidad Hojas Fósiles está ubicada en las coordenadas geográficas 20°18'21.5" latitud N y 98°42'42.8" longitud W, con una altura de 1823 msnm, y pertenece al área de Santa María Amajac, que se localiza en la zona centro-este del estado de Hidalgo, tres kilómetros al noroeste de la ciudad de Atotonilco el Grande.

En esta localidad se describieron e identificaron catorce morfotipos de plantas, de los cuales ocho corresponden al género *Quercus*. Asimismo, se identificaron las especies *Karwinskia* aff. *mollis*, *Karwinskia* aff. *humboldtiana* y *Juniperus* sp. (Figura 1), lo que sugiere zonas de transición en la vegetación debido a los cambios ocurridos durante el Terciario, y además, indica la presencia de un gran



**Figura 1.** A. *Glyceria* aff. *fluitans* (UAHMP-2513); B. *Karwinskia* aff. *humboldtiana* (UAHMP-2515); C. *Juniperus* sp. (UAHMP-2483); D. *Cercocarpus* aff. *macrophyllus* (UAHMP-2480); E. *Karwinskia* aff. *mollis* (UAHMP-2514), de la localidad HGO-51 en Santa María Amajac.

número de arroyos que desembocaron en el lago de Amajac (hoy paleolago) durante el Plioceno, ya que la mayoría de estas especies en la actualidad prosperan en este tipo de hábitat.

*Salix* aff. *humboldtiana* y *Populus* aff. *grandidentata*, *Glyceria* aff. *fluitans* y *Cercocarpus* aff. *macrophyllus* se establecieron en las márgenes del paleolago, donde el último fue abundante con respecto al género *Quercus*, que tuvo una mayor diversidad y menor abundancia.

### El género *Populus*

En esta localidad, Hernández-López (2006) encontró cinco fragmentos del género *Populus* correspondientes a dos morfotipos. El mejor preservado no corresponde a ninguna especie fósil ni actual de

México (Figura 2), pero sí es afín a *Populus grandidentata* del noreste de Norteamérica.

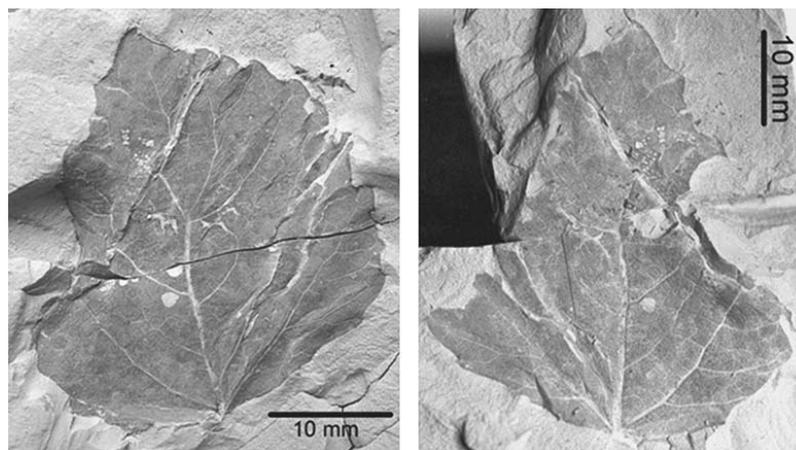
La descripción del ejemplar fósil es la siguiente: lámina ovada y simétrica, de tamaño micrófilo (836 mm<sup>2</sup>) a notófilo (3220 mm<sup>2</sup>), con base redondeada y obtusa (122°); ápice convexo y obtuso (105°-118°). Presenta un margen dentado y una proporción largo/ancho de 1.0-1.1:1. Venación primaria actinódroma (basal) con tres venas basales. Venación secundaria eucamptódroma. La venación terciaria es alterna percurrente. La venación de cuarto orden es opuesta percurrente. Presenta cuatro dientes por cada centímetro, con un espacio irregular entre cada diente. La forma del ápice en los dientes es simple con un seno redondeado.

### El género *Quercus*

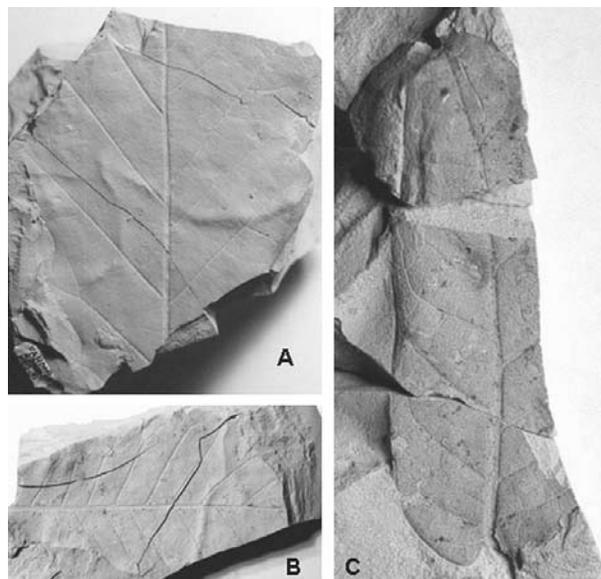
Arellano-Gil *et al.* (2005) consideran a *Quercus* como el género más abundante de la flora previamente reportada, por lo que Velasco de León (2004) propone la presencia de ocho nuevas especies, cinco asociadas con encino blanco. Asimismo, Hernández-López (2006) reporta ocho morfotipos de plantas fósiles correspondientes a este género (Figura 3), cuatro de los cuales fueron asignados a nivel especie: *Quercus* aff. *syderoxila*, *Quercus* aff. *laurina*, *Quercus* aff. *crassipes* y *Quercus* aff. *depressipes*.

Tales aportaciones sustentan la idea de la enorme diversidad y distribución de este género, el cual está asociado al paleolago y al relieve topográfico. Esta diversidad permite proponer una comunidad de chaparral para esta localidad (Aguilar y Ortiz, 2000), que se distingue por la presencia de especies arbustivas de encinos. Más tarde, Hernández-López, (2006) se refiere a esta comunidad como un bosque bajo esclerófilo, debido a la presencia de encinares, reconocidos por la presencia de algunas hojas grandes encontradas en el sitio. Así, es probable que durante el Plioceno, en la localidad Hojas Fósiles, se haya desarrollado una comunidad muy similar a un bosque bajo esclerófilo, debido a que en tal asociación domina el género *Quercus* y están presentes *Cercocarpus* y *Rhus*.

Actualmente, los encinos constituyen uno de los tipos de vegetación más importantes y característicos de las regiones montañosas de clima templado en México; sin embargo, el conocimiento sistemático de este género es deficiente, atribuido a diversos problemas (variación morfológica específica e hibridación de las especies, entre otros) y rara vez los caracteres vegetativos reciben un tratamiento sistemático y detallado (Martínez y Cevallos, 2005). Las características de mayor importancia taxonómica para encinos se encuentran en los rasgos foliares de las hojas. En algunas especies, éstos resultan



**Figura 2.** Ejemplar UAHMP-2525 de *Populus* aff. *grandidentata* de la localidad HGO-51 en Santa María Amajac (molde y contramolde).



**Figura 3.** Diversidad de encinos de la localidad HGO-51 en Santa María Amajac. A. *Quercus* sp. (UAHMP-2548); B. *Quercus* aff. *obtusata* (UAHMP-2568); C. *Quercus* aff. *crassipes* (UAHMP-2526).

superficiales para su identificación; sin embargo, en otras, estos caracteres tienen una importancia fundamental (Zavala, 1995). Lo anterior fue una de las razones por las que se desarrolló un trabajo sobre

arquitectura foliar de la flora de la localidad HGO-51 (Hernández-López, 2006), para posteriormente, compararla con descripciones actuales y verificar si realmente se trata de las mismas especies.

### Comentarios finales

El incremento en el número de ejemplares fósiles alojados en la Colección Paleobotánica del Museo de Paleontología de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y, de manera especial, el material recolectado en el área de Santa María Amajac, ha permitido entender más la conformación de la vegetación del lugar a través de los últimos dos millones de años.

Es importante llevar a cabo recolectas en las diferentes localidades fosilíferas de plantas de Hidalgo y realizar estudios profundos sobre ellas, para conocer de manera precisa, la flora que se desarrolló en el estado y al mismo tiempo, entender en gran medida, parte de la vegetación actual. Asimismo, y no por ello menos importante, es necesario contar con un número mayor de investigadores y estudiantes interesados en esta área, puesto que en la actualidad son escasos en el país.

### Literatura citada

- Aguilar, A. F. J. y E. L. Ortiz. 2000. Estudio paleoecológico de la flora pliocénica de Santa María Amajac, Hidalgo: Inferencia del paleoclima y de la paleocomunidad. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.
- Aguilar, A. F. J., A. Silva-Pineda y M. P. Velasco de León. 2002. Registro de *Equisetum hyemale* en el Plioceno de la región de Santa María Amajac, Hidalgo, México VII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica: Cartagena de Indias, Colombia, Asociación Latinoamericana de Botánica, p. 378.
- Arellano-Gil, J., M. P. Velasco de León, A. Silva-Pineda, F. R. Salvador y F. Beltrán. 2005. Origen y características geológicas del paleolago de Amajac, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2):199-211.
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y O. Carranza-Castañeda. 1996. Vertebrados fósiles del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca.
- Gío-Argáez, F. R., y H. E. Rodríguez. 2003. Panorama General de la Paleontología Mexicana. *Ciencia Ergo Sum*, 10(1):85-95.
- Hernández-López, R. 2006. Flora fósil de una localidad de Santa María Amajac, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca.

- Hernández-López, R. y J. M. Castillo-Cerón. 2007. Colección Paleobotánica, p. 65-67. En: J. M. Castillo-Cerón y J. Márquez-Luna (eds.). Colecciones del Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca.
- Martínez, M. M. y S. R. Cevallos. 2005. Arquitectura foliar de Anacardiaceae. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76(2):137-190.
- Martínez-Hernández, E. 1991. Prospección palinológica de los carbones de la Región Zacualtipán, Estado de Hidalgo. Convención de Evolución Geológica de México. Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Memorias. UNAM, UAH, SMMAC, SEP, p. 98-101.
- Ortiz-Martínez, E. L. y M. P. Velasco de León. 2000. Estudio de taxonomía numérica de hojas fósiles de Santa María Amajac del Plioceno del estado de Hidalgo, p. 54-55. En: J. G. López-Oliva, J. A. Arz-Sola, T. Cossío-Torres, H. De León-Gómez, J. L. Martínez, F. Medina-Barrera y J. A. Ramírez-Fernández (eds.). VII Congreso Nacional de Paleontología y I Simposio Geológico en el Noroeste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Silva-Pineda, A. 1963. Plantas del Triásico Superior del estado de Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana*, 18, 12 p.
- Silva-Pineda, A. 1987. Algunos elementos paleoflorísticos del Pérmico de la región de Calnali, estado de Hidalgo. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 1(1):328-346.
- Silva-Pineda, A. y M. P. Velasco de León. 2004. Primer registro de *Juniperus* (Cupressaceae) en la formación Atotonilco el Grande, Hidalgo. IX Congreso Nacional de Paleontología, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Libro de resúmenes.
- Taylor, N. T. y L. E. Taylor. 1993. *The biology and evolution of fossil plants*. Prentice Hall.
- Velasco de León, M. P., J. Arellano-Gil y A. Silva-Pineda. 2000. La secuencia lacustre y su biota de la formación Atotonilco el Grande de Santa María Amajac, en el estado de Hidalgo. II Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Puerto Vallarta, Jalisco. *GEOS*, 20(3):302-303.
- Velasco de León, M. P. y F. J. Aguilar-Arellano. 2000. Presencia del género *Platanus* en la flora pliocénica de Santa María Amajac, estado de Hidalgo, p. 83-84. En: J. G. López-Oliva, J. A. Arz-Sola, T. Cossío-Torres, H. De León-Gómez, J. L. Martínez, F. Medina-Barrera, J. A. Ramírez-Fernández (eds.). VII Congreso Nacional de Paleontología y I Simposio Geológico en el Noreste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Velasco de León, M. P., S. Romero-Rangel. 2001. Arquitectura foliar de diez especies de *Quercus* (Fagaceae) como fuente de información para la identificación de ejemplares fósiles. XV Congreso Mexicano de la Sociedad Botánica. Sociedad Botánica de México, Querétaro, p. 704.
- Velasco de León, M. P. 2004. The genus *Quercus* in the Pliocene from Santa Maria Amajac, Hidalgo, Mexico. VII International Organization of Paleobotany Conference. Bariloche, Argentina. Abstracts book, p. 129.
- Weber, R. y S. R. S. Cevallos-Ferriz. 1995. Perfil actual y perspectivas de la paleobotánica en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 55:141-148.
- Zavala, C. F. 1995. Encinos hidalguenses. Universidad Autónoma de Chapingo, México, 129 p.

# Capítulo

# 4

## Panorama de los invertebrados fósiles

**Carlos Esquivel-Macías**

*Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

### Resumen

El inicio de las actividades formales de un proyecto sobre invertebrados fósiles obliga a hacer una reflexión introductoria acerca del origen y del significado del término “invertebrados”, para luego dar pie a un repaso de los antecedentes de la paleontología de este grupo en el estado de Hidalgo. El resultado de esto se plasma en un primer apartado dedicado propiamente a autores que han estudiado la entidad, en orden cronológico.

En un segundo apartado se hace un brevario que recorre todas las edades y las formaciones principales que contienen fósiles de invertebrados encontrados hasta ahora en Hidalgo. Se mencionan los principales taxones específicos encontrados.

En un tercer apartado se comentan la estructura y los métodos fundamentales de un proyecto de investigación sobre los fósiles de invertebrados del Jurásico hidalguense, que va enfocado a descri-

bir, con mucho mayor detalle que en trabajos previos, el paleoambiente biótico y sedimentario de la paleocuenca Huayacocotla. Dichos métodos comprenden: 1) relación de afloramientos y descripción taxonómica; 2) morfología funcional; 3) tafonomía; 4) petrología; y 5) geoquímica.

Al final se trata de las múltiples aplicaciones tanto potenciales (mecanismos tectónicos de la región) como ya desarrolladas (estratigrafía, exploración de recursos) del estudio de los invertebrados en Hidalgo.

### Abstract

The beginning of formal activities in a fossil invertebrate project sets down one initial reflection about the original significance of the term “invertebrates”. This leads to the review of previous paleontological works in the state; therefore we examine in chronological order, the geological and paleontological work done before.

In a second section, we review the ages and principal geological invertebrate fossil formations, and the major species found until now. Here we mention the principal taxa.

In the third section we comment the methods and structure to be improved for the development of a research project on Jurassic Hidalgo invertebrates. This work pretends to describe with more detail than previous works, the paleoenvironment and sedimentation patterns of the Huayacocotla formation. Such methodology includes: 1) location of fossil outcrops and taxonomic description; 2) functional morphology analysis; 3) taphonomy; 4) petrology; 5) geochemistry.

Finally, we comment the various potential applications (tectonics of the region), as well as the ones already developed (stratigraphy, exploration of natural resources) of the invertebrate studies in Hidalgo.

## Introducción

La necesidad de escribir una reseña sobre los invertebrados de Hidalgo surgió en el año 2000, cuando inició en la UAEH un plan de investigación sobre su paleontología. Los objetivos del proyecto serán cumplidos a largo plazo, por lo que este capítulo se considera un paso inicial en la difusión de los resultados preliminares.

Conviene aclarar que el término “invertebrados” no se refiere a un grupo natural, más correctamente se trata de un término acuñado por Aristóteles cuando describió a los animales “con sangre” y los que no la tenían, o “con vértebras” y a los que carecían de éstas. Centurias después, el brillante naturalista del siglo XVIII, Jean Baptiste Lamarck, disertó acerca de la escala zoológica, en la que situó a los vertebrados arriba y supuso una “escala de degradación” por niveles de organización, que hoy llamamos “planes estructurales”, cada vez más primitivos. Esto influyó para que en la actualidad los interesados en zoología aún hablemos de “vertebrados” e “invertebrados”, como si los últimos fuesen un apartado para seres inferiores, dando la falsa im-

presión de que no vale la pena detenerse en ellos, lo que es un enorme error pues todas las especies presentes en la Tierra actual son resultado de una larga historia evolutiva.

Actualmente se clasifica al reino animal en unos 30 grupos mayores o phyla, de los cuales sólo uno contiene a los vertebrados. Dentro de él están los mamíferos, a los que pertenecemos los seres humanos. Llama la atención que el resto del reino animal es normalmente “discriminado” con la etiqueta de invertebrado por no poseer la “suprema cualidad”: el sistema nervioso central superdesarrollado y los huesos que lo protegen. Es decir, que son clasificados por carecer de algo, olvidando así el plan estructural propio que los hace pertenecer a alguno de esos 30 grupos naturales. Además, debe decirse que los cordados no son el “último grito de la moda evolutiva”, como podrían considerarlo muchos naturalistas posteriores a Lamarck, al postular una evolución secuencial con base en la escala zoológica. Tampoco son el grupo más antiguo, pues existen evidencias de que los cordados se diferenciaron hace unos 570 millones de años, junto con la mayoría de los otros 30 grupos, y es claro que han producido a nuestra propia estirpe, la clase de los mamíferos, hace unos 200 millones de años.

En consecuencia, el plan estructural de nuestra especie no es el último en llegar al escenario evolutivo, por lo que tampoco es aceptable el lugar común consistente en que los vertebrados, y en particular los humanos, somos recién llegados a un mundo que se organizó hace muchos cientos de millones de años, prejuicio al que a veces dan pie las ideas creacionistas clásicas. Con base en un conocimiento más preciso del origen de la biodiversidad, y tomando en cuenta el vasto mundo de los invertebrados, es más congruente apoyar las ideas de muchos paleontólogos brillantes (entre los cuales se encuentra S. J. Gould), relacionadas con que la mayoría de los 30 phyla actuales, incluido el nuestro, surgieron en un lapso relativamente breve, hace 570 millones de años.

Dicho lo anterior, es de interés sopesar con objetividad la existencia de lo que podríamos llamar coloquialmente “el derecho a la diversidad” de los

otros 29 phyla, mal llamados invertebrados, para que nuestros estudiantes universitarios de biología y otros interesados aprendan a considerar que la diferencia entre cada uno de ellos es tan fundamental como la que hay con respecto a los vertebrados, ya que representan 29 formas distintas de existir y adaptarse al mundo. Una consecuencia de este enfoque podría ser el tener mejores argumentos para la conservación de toda esa biodiversidad actual.

En este contexto hay que recordar que los invertebrados son más abundantes como número absoluto de especies, como biomasa y como total de individuos, conforman más del 90% del registro fósil mundial, comparado con plantas y vertebrados. Hay que añadir el hecho de que este registro fósil concierne, en su mayoría, a “invertebrados” que viven y han vivido en los lechos oceánicos, lo que incrementa la probabilidad de fosilización respecto a cualquier otro tipo de organismos, pues es el ambiente más susceptible para conservar restos orgánicos por sedimentación. Asimismo, es ese argumento lo que los hace inmejorables sujetos para estudios evolutivos, paleoecológicos y bioestratigráficos, entre otros, dada su continuidad en el tiempo y espacio.

Con tales argumentos invito al lector a desecher el antiguo prejuicio sobre “los invertebrados”, que fácilmente podríamos llamar “discriminación taxonómica”, para abrir la mente a una gama de seres que han poblado el planeta durante muchos millones de años y que lo siguen poblando en la actualidad. Es a los que dejaron su huella en los sedimentos de los mares que cubrieron el estado de Hidalgo en repetidas ocasiones, a los que se dedica esta aproximación.

### **Antecedentes de la paleontología de invertebrados en Hidalgo**

Muchos investigadores han contribuido al estudio de los invertebrados fósiles de Hidalgo. Un buen comienzo es Alexander von Humboldt quien alrededor de 1803 visitó las regiones de Pachuca, Actopan, Real del Monte y Zimapán; entabló relación académica con geólogos como Andrés del Río y

recolectó fósiles que se llevó de México (Trabulse, 1997). Posteriormente, los alemanes Félix (1891, 1899) y Félix y Lenk (1889-1899, 1891a,b) publicaron acerca de la geología y de la paleontología de México, en particular del Jurásico y Cretácico de la Sierra Madre Oriental. Otro alemán notable fue Emil Böse (1898), en su época el mejor conocedor del Cretácico de México y de sus amonites, quien por interesante coincidencia estudió en la Humboldt Universität de Berlín, en 1889, con Karl Von Zittel, especialista en equinodermos. Posteriormente se especializó en el Liásico (Jurásico inferior) de los Alpes y en 1898 trabajó en el Instituto Geológico de México donde puso atención a Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Chihuahua y Coahuila. Sus publicaciones sobre la estratigrafía y la paleontología del Cretácico del norte de México son aún fundamentales para los geólogos; sin embargo, alguna vez pasó por el oriente de México donde hizo apreciaciones geológicas con base en amonites y describió la formación Potrero, más tarde renombrada por Imlay *et al.* (1948) como Huayacocotla (Seibertz y Buitrón, 1999), la cual contiene numerosos fósiles.

En 1930 Burckhardt publicó un estudio sintético sobre el Mesozoico mexicano y dedicó un capítulo al estado de Hidalgo, en el que hizo una descripción de la geología regional y de los fósiles encontrados. Éstos se llevaron a Suiza y hoy se encuentran en el Museo de Historia Natural de Ginebra. Posteriormente, H. K. Erben (1956b) publicó sobre el Jurásico de México y sus amonites, un trabajo fundamental y descriptivo de más de 100 taxones recolectados en la región limítrofe entre Veracruz, Hidalgo y Puebla (*Figura 1A*), profuso en ilustraciones y sinonimias respecto del Liásico (Jurásico inferior) europeo. Un discípulo de Erben, Schmidt-Effing, describió en 1980 en la región de Tenango de Doria, Hidalgo, y Huayacocotla, Veracruz, una biozonación de la formación homónima en relación con la litología, buscando equivalencia entre ambas localidades, y propuso informalmente una nueva zonación bioestratigráfica (Schlatter y Schmidt-Effing, 1984). Uno de los mexicanos que hizo aportaciones en esta línea fue Ezequiel Ordóñez, quien en su ex-

ploración del oriente de México recolectó amonites del Jurásico inferior de la formación Huayacocotla y del Jurásico superior, depositados en el Instituto de Geología de la UNAM.

Con base en la colectas de Schmidt-Effing (1980), Schlatter y Schmidt-Effing (1984), el material de Erben (1956a, b) y Burckhardt (1930) depositado en Ginebra, Suiza, Blau *et al.* (2001, 2003) y Meister *et al.* (2002, 2005) estudiaron la bioestratigrafía y paleobiogeografía del área de Tenango de Doria, que recientemente fue dotada de más información de campo en colaboración con quien escribe.

Segeström (1956, 1961) describió la formación Las Trancas con amonites del Jurásico de edad Portlandiano-Kimeridgiano (*circa* 150 ma), la cual correlacionó con las formaciones fosilíferas Tamán/Santiago, San Andrés y Pimienta del noroccidente de Hidalgo (López-Ávila *et al.*, 1992; Yta *et al.*, 1999). En tiempos más recientes, Buitrón *et al.* (1987) describieron los crinoideos pensilvánicos de la región de Calnali y obtuvieron nuevos registros para México.

Curiosamente, Alencáster-Ybarra y Coogan, quienes publicaron independientemente numerosos trabajos sobre rudistas mexicanos a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, no cuentan con publicaciones específicas sobre el estado, no obstante que en él se cuentan considerables afloramientos fosilíferos con estos organismos. Es importante señalar que las plataformas carbonatadas del Cretácico medio son las mismas en Hidalgo que en los estados vecinos, y sin embargo, se ha excluido su material por causas que escapan al presente trabajo. Se arriesga la hipótesis de que es posible encontrar la mayoría, si no es que todas las formas descritas, en los estados circunvecinos.

Por otra parte, Sour-Tovar y otros (2005), con base en braquiópodos y trilobites, han redefinido al cuerpo de roca más representativo del Pérmico en Hidalgo como formación Tuzancoa (Rosales-Lagarde *et al.*, 2005), antes Guacamaya, discutiendo cierta equivalencia con la misma en Tamaulipas y con la formación Las Delicias en Coahuila.

Villaseñor, en López-Palomino *et al.* (2006), ha utilizado los amonites del Jurásico superior (Oxfor-

diano) en la región de la Huasteca, muy cerca de los límites con Hidalgo, mediante bioestratigrafía, para reconocer nuevas especies y compararlas con el resto de la región caribeña, obteniendo conocimientos sobre la unidad ambiental y aislamiento de la región según el grado de endemismos en esa época.

Ochoa-Camarillo (1997) y Ochoa-Camarillo *et al.* (1998) publicaron sobre bioestratigrafía y paleoecología del anticlinorio de Huayacocotla en el noreste de Hidalgo y reportaron una diversidad de fósiles para el Jurásico que se toman en cuenta para asignar edades y paleoambientes.

Esquivel-Macías (2003, 2007) y Esquivel-Macías *et al.* (2005) han abordado la interpretación paleoambiental con enfoque multidisciplinario de la formación Huayacocotla, fundamentada en el uso de amonoides, almejas, y apoyada en datos de petrología y geoquímica (Ángeles-Cruz *et al.*, 2007; Esquivel-Macías, 2007).

Recientemente, Feldman *et al.* (2007) describieron la primera especie de camarón del género *Aeger* (*A. hidalguensis*) en el continente americano, un crustáceo decápodo del Albiano-Cenomaniano de la cantera Muhi en Zimapán, siendo uno de los pocos ejemplos de crustáceos reconocibles en México, pues aún aguardan por describirse otros taxones.

Flores-Camargo *et al.* (2007) han abordado los moluscos dulceacuícolas de los paleolagos cuaternarios del sur del estado (Blancano) de hace aproximadamente dos millones de años de edad, en particular los gasterópodos prosobranquios de la familia Hidrobiidae y los pulmonados de las familias Physidae y Planorbidae, pertenecientes a la formación Atotonilco en su miembro o facies lacustre.

Puede verse que los estudios geológicos y paleontológicos para Hidalgo y la región nororiente en el siglo XIX probablemente tuvieron origen en el interés por los recursos minerales de México, ya que posteriormente ese interés se centró en la búsqueda de petróleo, durante los inicios del siglo XX, cuando se abandonó al sistema Jurásico como portador del mismo y los estudios se enfocaron en el Cretácico. Sin embargo, después de un lapso de décadas en el que declinaron los estudios sobre la región, los

mexicanos volvieron a estudiarla con base en los nuevos enfoques de la paleontología, derivados de mejores métodos estratigráficos y nuevos intereses como los planteados por la teoría de la tectónica de placas, la biogeografía y la paleoecología.

### Breviario geocronológico y litoestratigráfico de invertebrados fósiles de Hidalgo

La razón por la que existen tan diversas paleofaunas y formaciones sedimentarias en la región es, por supuesto, geológica, dado que la integración tectónica de México es muy compleja y se han propuesto diversos mecanismos para explicarla (De Cserna, 1969; Walper y Rowett, 1972; Wood y Walper, 1974; Van der Voo *et al.*, 1976; Walper, 1977; Coney, 1983; McFarlan y Menes, 1991; Centeno y Keppie, 1999; Sánchez-Zavala *et al.*, 1999; Giunta *et al.*, 2006; Pindell *et al.*, 2006); sin embargo, escapa a los alcances de la presente contribución detallar esta historia. No obstante, es posible reconocer en el campo las principales eras y periodos, ya sea por su particular litología (litoestratigrafía) o por su contenido fósil (bioestratigrafía); asimismo, son notables los hiatos o interrupciones del registro por causas que aún se debaten, por ejemplo: la falta del registro sedimentario del Paleozoico inferior y del Terciario. En todo caso, la región está ampliamente dominada por rocas del Jurásico y del Cretácico marinos en cuanto a sedimentarias, y por tobos y basaltos terciarios, en cuanto a ígneas, lo que se refleja en el siguiente breviario y se resume en la Tabla 1.

### Pensilvánico

Poco estudiado, el Pensilvánico es el producto de mares someros relacionados con el choque de la Pangea con Gondwana (Arellano-Gil *et al.*, 1998). Este fragmento (323-290 ma) del Paleozoico superior se halla representado en la región de Calnali, Hidalgo, siendo correlacionable con la formación Del Monte, de Tamaulipas. Aquí se han encontrado los crinoideos: *Baryschr anosus*, *Cyclocaudex jucundus*, *C. insatura-*

*tus*, *Cylindrocauliscus fiski*, *Mooreanteris waylandensis* y *Plumeranteris sansaba* (Buitrón *et al.*, 1987).

### Pérmico

Los aspectos bioestratigráficos, tectónicos y paleogeográficos del lapso que va entre Wolfcampiano (280-290 ma) y Leonardiano (255-280 ma) están basados en sedimentos tipo *flysch* de la formación Tuzancoa (Sour-Tovar *et al.*, 2005), la cual se levanta tectónicamente durante la orogenia Ouachita, por compresión cortical este a oeste (López-Ávila *et al.*, 1992). Sus consecuencias paleoambientales son la eliminación por arrastre de los sedimentos hacia la cuenca de entonces, a partir de un sistema costero/lagunar que la hace muy fosilífera respecto a braquiópodos como *Neospirifer* sp., *Spiriferelina tricola*, *Holosia* sp., *Krotovia* sp., *Dasyaria* sp., *Derbyoides* cf. *D. dunbari*, *Neospirifer* cf. *N. amphigyus*, *Neospirifer* sp., *Spiriferellina tricola*, ¿*Holosia* sp., y al trilobite *Anysopigae whitei* (Sour-Tovar *et al.*, 2005), así como crinoideos no determinados (*Figura 1B*).

### Jurásico

Los aspectos bioestratigráficos, tectónicos, paleogeográficos y paleoambientales son distintos en la parte inferior (206-180 ma), media (180-159 ma) y superior (159-144 ma), puesto que varían las condiciones tectónicas. El antecedente directo es el Triásico, cuando hubo un levantamiento que produjo intensa erosión, dejando conglomerados y areniscas. Dicho material produjo la formación Huizachal del Sinemuriano inferior (Erben, 1956a), observable en la base de la megaestructura Huayacocotla que contiene los amonites *Vermiceras* sp. y *Arnioceras* cf. *A. abjectum*.

Así como a fines del Paleozoico la orogenia Ouachita produjo compresión cortical, también a fines del Triásico (248-206 ma) se produjo la orogenia Palizada, que origina las fosas marinas que prevalecieron hasta el Jurásico inferior; ellas tomaron forma de cuencas transarco en el lapso Sinemuriano-Pliensbaquiano-Toarciano (206-180 ma) cuyos sedimentos constituyen la muy fosilífera formación

**Tabla 1.** Resumen geocronológico de la paleofauna de invertebrados de Hidalgo

Período y épocas	Cefalópodos	Crustáceos	Rudistas	Bivalvos	Gasterópodos
Pensilvánico					
Pérmico		Trilobites Proetidae			
Jurásico inferior	Echioceratidae Phylloceratidae Oxinoticeratidae Schloteimiidae	Brachyura, Mecochiridae?		Taxodontidae Bakevelidae Pectinidae Posidoniidae, Nerineidae	Indeterminados
Jurásico medio	Reineckeidae			Ostreidae, Trigoniidae Gryphaeidae	Nerineidae
Jurásico superior	Reineckeidae Perisphinctidae Neocomithidae			Posidoniidae, Gryphaeidae	
Cretácico inferior	Neocomitidae, Bochianitidae, Olcostephanidae Acanthoceratidae Distoceratidae				
Cretácico medio	Mortoniceratidae	Aegeridae	Caprinidae Hipuritidae Radiolitidae	Ostreidae	Turritelidae Nerineidae
Terciario					Hydrobiidae Planorbidae Physidae
Cuaternario					Helicidae

Huayacocotla portadora de más de 100 taxones de amonoides de varias familias (Figuras 1A, 1C, 1D), entre las que destacan: Echioceratidae con *Arnioceras ceratitoides*, *Coroniceras* sp., *Pleuroechioceras* sp., *Echioceras* sp., *Microderoceras bispinatum*, *Paltechioceras harbledowense*, *P. rothplethzi*, *P. jamesdanae*, *P. cf. P. mexicanum*, *Ortechioceras* cf. *O. incahuasiense*, *O. cihuacoatle*; Oxinoticeratidae con *Oxinoticerias* sp., *Gleviceras* cf. *G. choffatti*, *Phylloceras* sp.; Arietitidae como *Coroniceras* aff. *C. conybear*; Schloteimiidae como *Sulciferites* cf. *S. stenorhynchus* y varias almejas, destacándose *Backevellia* sp., *Protocardia* sp., *Weyla* cf. *W. alata*, *Nucula* sp., *Nuculana* sp., *Paleotaxodonta* sp. y *Posidontis* cf. *P. semiplicata*; crinoideos como *Isocrinus* sp., pentacrinitidos no determinados y un crustáceo *Brachyura* sp., depositados porque también durante el Jurásico inferior hubo una trasgresión marina, que sedimentó un potente paquete en

las cuencas semi-restringidas. Al final de este tiempo tuvo lugar una pequeña orogenia que dio lugar a movimientos ascendentes y descendentes que originaron la deposición rítmica de lutitas y areniscas de la formación Huayacocotla, para posteriormente ser levantada y plegada (López-Ávila *et al.*, 1992).

Poco después, durante el Jurásico medio, se formó el conglomerado de clastos calizos y areniscas, hasta ahora sin fósiles, denominado formación Cahuassas; sin embargo, por los fósiles índice de las formaciones encajonantes (Huayacocotla y Tepexic), Suter (1990) estimó que pertenecen al intervalo Toarciario-Batoniano (160-190 ma) es decir, de la parte alta del Jurásico inferior y parte baja del Jurásico medio.

Las margas, areniscas calcáreas y coquinas de la formación Tepexic en la parte alta del Jurásico medio, muestran horizontes de bivalvos, en los que destacan *Ostrea* sp., *Gryphaea* sp. (Ochoa-Camarillo *et al.*,

Panorama de los invertebrados fósiles

Corales	Briozoarios	Braquiópodos	Crinoideos	Formación
			Cyclomischidae Flucticharacidae	Del Monte
	Indeterminados	Productellidae, Productidae, Orthotetidae, Trigonotretidae, Crenispiriferidae, Wellerellidae	Articulata Indeterminados	Tuzancoa (antes Guacamaya)
	Indeterminados		Isocrinidae Pentacrinidae	Huizachal Huayacocotla
				Cahuasas, Tepexic, Trancas
				Tamán, Santiago, Chipoco, Pimienta
				No identificada
Hexacorales Octocorales,	Indeterminados		Comatulidae	Doctor/Tamaulipas/Abra/ Tamabra
				Atotonilco/Tarango
				Secuencias lacustres indiferenciadas (Fm. Becerra?) Atotonilco, Tlanchinol

1998), fragmentos de braquiópodos y de *Trigonia* sp. Se le atribuye edad calloviana (154-168 ma) o parte alta del Jurásico medio (Erben, 1956a; Cantú-Chapa, 1971) con base en amonoides. En la localidad Huiznopala subyace en contacto erosional al grupo Tlanchinol y sobreyace a la formación Huayacocotla.

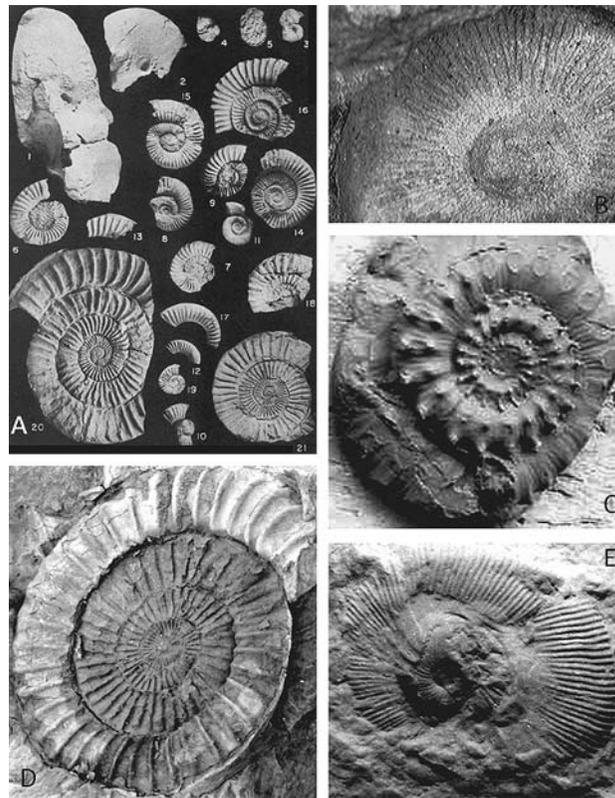
Al iniciar el Jurásico superior, en el Calloviano (164-159 ma), hubo una trasgresión marina que cubrió gran parte de la república mexicana y duró hasta el Oxfordiano (159-154 ma), Kimeridgiano (154-151 ma) y Titoniano (151-144 ma), generando varias formaciones.

Durante el Oxfordiano y el Kimeridgiano o parte baja del Jurásico superior, se inició el depósito de areniscas calcáreas muy fosilíferas de la formación Tamán/Santiago, de la cual Cantú Chapa (1971) describió la localidad tipo, cercana a Tamán, en San Luis Potosí. El miembro o formación Santiago destaca por

amonites bien conservados (*Figura 1E*), por ejemplo *Stephanoceras* sp. y *Reineckeia* sp. del Calloviano, en la parte alta y en la parte baja es abundante *Gryphea* sp. Sobre esta formación se depositó la caliza negra de la formación Chipoco, que también se halla sobre la Tepexic en la zona de Molango. Según Cantú-Chapa (1971) también contiene el amonoide *Reineckeia* sp. Sin embargo, el mismo autor y Ochoa *et al.* (1998) dan el intervalo Kimeridgiano-Titoniano (154-144 ma) y mencionan a *Idoceras* sp. y *Glochiceras* sp.

A continuación, en el Jurásico superior se depositó la formación Pimienta que descansa sobre la formación Chipoco en el área de Molango y es una alternancia de calizas negras y lutitas con capas de pedernal sin fósiles.

Adicionalmente, Segeström (1956, 1961) describe la formación Las Trancas en la región de Zimapán mediante fauna de *Paradontoceras* sp., del



**Figura 1.** A. Material fósil de Erben, quien describió en 1956 profusa fauna de invertebrados marinos de la Sierra Madre Oriental, en particular del Jurásico inferior (Jurásico inferior de México y sus amonitas). Tomado de Erben, 1956, lámina 28; B. Crinoideo fósil del Pérmico superior, de la formación Guacamaya/Tuzancoa *circa* Tianguistengo, Hidalgo. Localidad Otlamalacatla (INV-015); C. *Eoderoceras* sp., amonite característico del Jurásico inferior (Pliensbaquiano? de la formación Huayacocotla) cerca de Pahuatlán, donación de un lugareño, sin número de catálogo; D. *Paltechioceras* sp. (UAHMP-2251), amonite característico del Jurásico inferior (Sinemuriano tardío de la formación Huayacocotla), localidad Temapá, Hidalgo (INV-012); E. Amonoide sobre un “pavimento de almejas”, típico del Jurásico superior de la formación Tamán (Hidalgo/San Luis Potosí), donación de un lugareño, sin número de catálogo. Las siglas INV se refieren a la Sección de Invertebrados del Museo de Paleontología.

Titoniano (151-144 ma) con fragmentos asociados no confirmados de *Protancyloceras* sp., *Corongoce-  
ras* sp. y *Spiticer* sp. (comunicación personal Imlay con Segeström, 1961) que indicarían el Valanginia-  
no (137-132 ma); por ello, al no confirmarse, lo más probable es que se trate de la parte más alta del Ju-  
rásico para la formación Las Trancas.

### Cretácico

Destacan rocas calcáreas muy fosilíferas de origen marino, cuya estratigrafía e interpretación paleoam-  
biental están pobremente estudiadas (Segeström, 1956, 1961; Fries, 1962, 1966; Simons y Mapes,

1957; Flores-Castro y Piñeiro-Ramírez, 1996; Carri-  
llo-Martínez y Suter, 1982; Suter *et al.*, 1997).

Hasta ahora es comúnmente aceptada la exis-  
tencia de diversas formaciones del Albiano-Ceno-  
maniano y posiblemente del Turoniano (93-89 ma)  
(Segeström, 1956); en esta última habría calizas con  
faunas dominadas por *Inoceramus* e *Hipurites*. Asi-  
mismo, Segeström (1961) reporta que en la región  
de Zimapán hay capas con contenidos de *Texanites*  
y *Nowakites* indicando la parte alta del Cretácico  
superior o Coaniciano-Campaniano (89-78 ma).  
Adicionalmente, en fechas recientes han surgido  
evidencias de la existencia de sedimentos de la parte  
más baja del Cretácico inferior, en la región oriental

del estado, lo cual llenaría un aparente hiato en las secuencias mesozoicas de la zona. La evidencia de dicha propuesta consta de los amonites *Thurmaniceras* cf. *T. thurmani*, *Protancyloceras* sp., *Bochianites* sp. y *Olcostephanus* sp., todos coincidiendo en edad valanginiana (132-137 ma) (Figura 2A). El que Segeström también describiera la formación Santuario al este de Las Trancas, cerca de Ixmiquilpan, con fauna valanginiana de *Olcostephanus* y *Acanthodiscus* o *Distoloceras*, hace pensar en que tal determinación es correcta.

Con base en aspectos paleontológicos y bioestratigráficos, podría considerarse la existencia informal, extensa y ampliamente distribuida de un Cretácico medio/Albiano-Cenomaniano (circa 120-90 ma), cuya tectónica, paleogeografía y paleoambiente a pesar de parecer los de un solo lapso tectono-sedimentario y por tanto geocronológico, se juzgan tradicionalmente como la parte más alta del Cretácico inferior y la más baja del superior, distinguibles formalmente en otras latitudes con base en correlación bioestratigráfica. Durante este lapso persistieron los mares, lo que generó los cuerpos de roca aparentemente sincrónicos como las formaciones El Doctor, Tamabra, El Abra y Tamaulipas, consideradas representativas de ambientes peri-arrecifales (Wilson *et al.*, 1955; Muir, 1963; Carrillo-Bravo, 1971; Enos, 1974; Carrillo y Suter, 1991; Suter *et al.*, 1997; Aranda-Gómez *et al.*, 2000; López-Doncel, 2003).

En la formación El Doctor, Segeström (1961) distinguió: 1) el banco de Ixmiquilpan, en facies Cerro Ladrón, con gasterópodos (*Nerinea* sp., *Actaconella* sp.) y *Cosmannea* sp. y de la localidad Cerro de la Nube del mismo banco, rudistas (*Toucasia* sp., *Caprinuloidea* sp., *Monopleura* sp. y *Eoradiolites* sp.), pelecípodos (*Chondrodonta* sp., *Neithea* sp. y *Pinna* sp.), con microfósiles que indican una edad Albiano-Cenomaniano y escapan al objetivo de esta reseña; y 2) calizas intercaladas con lutitas calcáreas laminadas, lentes de pedernal negro. De la misma facies en la cantera Muhi de Zimapán, se encuentran *Mortoniceras* sp., del Albiano medio a superior, y *Aeger hidalguensis* n. sp. (Feldman *et al.*, 2007), así como comatúlidos indeterminados.

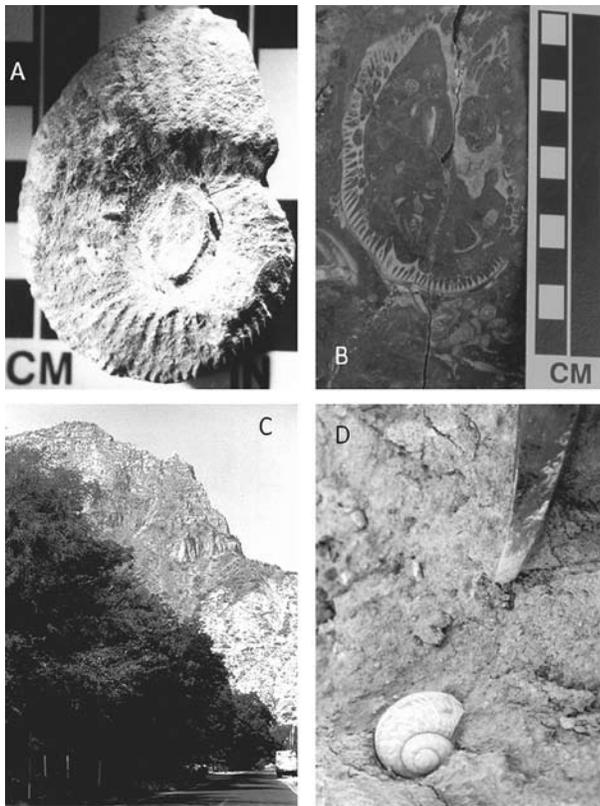
La formación El Abra es una secuencia arrecifal y de plataforma interna que, para los presentes fines, se considera sinónima de El Doctor en el estado de Hidalgo, particularmente referida a la facies Cerro Ladrón, de Wilson (1955). En su variante de facies arrecifal suele tener rudistas caprinidos, escasos corales y muchos gasterópodos. En facies de plataforma incluye rudistas (Figura 2B) (Bonet, 1952; Enos, 1974; Johnson, 1984). La fauna evidencia edad del Albiano-Cenomaniano (Aguayo-Camargo, 1998) y ocupa gran parte del oriente del estado.

La formación Tamabra comprende depósitos de pie de talud con bioclastos de rudistas (Enos, 1974; Carrillo-Martínez, 1981, 1997; López-Doncel, 2003), que podrían ser equivalentes en edad a El Doctor/Abra si se demuestra contemporaneidad. Por ahora es portadora de elementos fósiles transportados desde arrecife y plataforma, pertenecientes al Cretácico medio.

La formación Tamaulipas presenta calizas de estratificación variable (Muir, 1963). Se reconoce por su litología en el noroccidente y nororiente del área de estudio, sobreyace a la formación Huayacocotla y subyace a las formaciones Soyatal-Mexcala-Méndez en el noroccidente. Es correlacionable mediante microfósiles con las formaciones El Abra, Tamabra y Cuesta del Cura (Carrillo-Bravo, 1971; Aguayo-Camargo, 1998; López-Doncel, 2003).

En el noroccidente del estado se encuentran las formaciones Soyatal-Mexcala-Méndez. De la primera se conoce el pelecípodo *Inoceramus labiatus* de edad turoniana (89-93 ma). De la formación Mexcala, los amonites *Nowakites* y *Texanites*, así como multitud de foraminíferos indicativos del Coniaciano, Santoniano y Campaniano (89-71 ma). La formación Méndez se considera en la misma posición estratigráfica, pero sin macrofósiles (Segeström, 1961; Fries, 1962; Yta *et al.*, 1999).

A principios del Terciario (65 ma) toda la secuencia mesozoica es levantada, plegada, y se forman los grandes pliegues recostados y fallas inversas (cabalgaduras) hacia el noreste por la orogenia Laramide.



**Figura 2.** Amonoide del Valanginiano, Cretácico inferior de Hidalgo, localidad Nanthe (INV-061); B. Rudista, almeja especializada del Cretácico medio de la formación El Abra, Hidalgo, localidad El Palmar (INV-048); C. Rocas de la formación volcánica Atotonilco, en Hidalgo no hay sedimentos marinos de esta edad, ni por consiguiente, fósiles; D. Gasterópodo de sedimentos lacustres del Pleistoceno, formación lacustre inno-minada, Colonia Veracruz (INV-051). Las siglas INV se refieren a la Sección de Invertebrados del Museo de Paleontología.

### Terciario

Durante el Eoceno y principios del Oligoceno (54-30 ma) se verificó un fallamiento normal de distensión, formándose bloques de escarpa de falla tipo Graben y Horst para quedar sometida a erosión prolongada, que generó sedimentos visibles en la vertiente del golfo de México, hacia Chicontepec y en el valle de Zimapán, así como actividad volcánica. El Oligoceno-Mioceno (30-3 ma) tiene la presencia de un arco volcánico intracontinental, activo en nuestros días: el Eje Volcánico, que incluye el sur de Hidalgo; por todas estas razones, el registro de invertebrados cesó.

### Cuaternario

Aspectos paleoambientales y cambio climático se implican en los efectos de las glaciaciones, en cuanto al cambio de vegetación documentado en estos estratos. La formación volcánica Atotonilco el Grande (Figura 2C) rellenó el río Amajac en el Plioceno (2-4 ma). Segeström (1961) en Pedrazinni y Bazañez-Lo-yola (1978) concuerda con López-Ávila *et al.* (1992) en que las formaciones volcánicas del centro-sur del estado, Tamango y Atotonilco, son indistinguibles y equivalentes a la serie volcánica Tlanchinol en el noreste de Hidalgo, cuyo contenido fósil en cuanto a invertebrados se ignora y luce improbable. A fines del Plioceno (2-4 ma) se manifiesta el vulcanismo máfico que obstruyó el drenaje de las cuencas y generó paleolagos ya prácticamente desaparecidos. Sin embargo, a fines del Pleistoceno (1.8 ma) se formaron sedimentos aluviales y regolíticos con faunas de invertebrados, especialmente gasterópodos helicidos (Figura 2D) aún no determinados. La secuencia de los eventos está tomada de López Ramos (1972). Las edades en millones de años (ma) se dan con base en la *Geological Time Scale* (2003) de la Geological Society of America.

Ya que varias de las formaciones anteriores han sido reconocidas por el personal del Museo de Paleontología de la UAEH, se han recolectado invertebrados que se encuentran depositados en la colección de referencia. Dentro de los taxones cuya presencia se ha verificado destacan: amonoideos, bivalvos, gasterópodos, equinodermos, artrópodos y cnidarios, cuyas familias se enlistan a continuación (Esquivel y Gayosso, 2007).

### Ejemplo de estudio de los moluscos del Jurásico inferior (Sinemuriano) en Hidalgo

Dada la diversidad de periodos y de faunas correspondientes en el estado, resulta imposible reseñarlos con mínimo detalle en un espacio tan breve, así que para ejemplificar el trabajo sobre los invertebrados fósiles del estado de Hidalgo se muestran los fundamentos

Familia Phylloceratidae Zittel, 1884  
 Familia Scholothemiidae Spath, 1923  
 Familia Arietitidae Hyatt, 1874  
 Familia Oxinoticeratidae Hyatt, 1875  
 Familia Echioceratidae Buckman, 1913  
 Familia Eoderoceratidae Spath, 1929  
 Familia ¿Brancoceratidae? Spath, 1934 (1900)  
 Familia Nuculidae Gray, 1824  
 Familia Mytilidae? Rafinesque, 1815  
 Familia Bakevelliidae King, 1850  
 Familia Pectinidae Rafinesque, 1815  
 Familia Cardidae Lamarck, 1809  
 Familia Astartidae D'Orbigny, 1844

Familia Requieniidae Douvillé, 1914  
 Familia Caprinidae D'Orbigny, 1850  
 Familia Hippuritidae Gray, 1848  
 Familia Radiolitidae Gray, 1848  
 Familia Turritellidae Woodward, 1851  
 Familia Nerineidae Zittel, 1873  
 Subclase ¿Cidaroida? Smith, 1984  
 Familia Isocrinidae, Gislen, 1924  
 Familia Pentacrinidae Gray, 1842  
 Familia ¿Pterocomidae? Rasmussen, sin año  
 Familia Mecochiridae Van Straelen, 1925  
 Familia Palinuroidea Latreille, 1802  
 Clase ¿Octocorallia?

de un proyecto de investigación basado en invertebrados del Jurásico inferior. Se considera un ejemplo representativo, dado que el Jurásico, a pesar de contar con un área comparativamente muy reducida, es rico y diverso en fósiles marinos y variantes ambientales.

Se trata de un trabajo de corte paleoambiental realizado sobre las rocas de la región de Tenango de Doria, Hidalgo, y Pahuatlán, Puebla, fundamentado en cinco canteras representativas con fósiles de cefalópodos y almejas, las cuales se describen mediante una columna litológica (*Figura 3A*): Temapá, Peña Blanca, Potrero, Bopo y Chipotla. En cada sitio el trabajo se dirige a: 1) el reconocimiento de especies (taxonomía); 2) el análisis de sus adaptaciones al ambiente (morfología funcional) para decidir cómo vivían; 3) explicar cómo quedaron enterrados de esa forma (tafonomía); 4) describir microscópicamente las rocas (petrología); y 5) estudiar los componentes sustantivos de la roca (geoquímica).

1. La identificación de especies implica reconocer las principales estructuras y dimensiones de las mismas; para ello se liberan de la roca que las encajona. Se miden: diámetro, radio, número de vueltas de las conchas, el tipo y número de costillas, así como las modalidades del enrollamiento, el tipo de las uniones entre la concha y la pared de la cámara de crecimiento (suturas), entre otras variables. Luego se compara con las descripciones hechas por otros autores y se aplica el nombre correspondiente, o se le otorga uno nuevo si es necesario. Con este trabajo se han determinado, entre otras, las especies de la Tabla 2.

2. En la Tabla 2 se aprecian además los ambientes, hábitos y modos de alimentación de las mismas especies. Tales determinaciones se obtienen con base en la comparación de la morfología y hábitos de los animales actuales, los cuales sirven para inferir las actividades de los animales del pasado (Aberhan y Muster, 1997; Aberhan, 1998; Westermann, 1996); a esto se le denomina principio de uniformismo taxonómico (Dodd y Stanton, 1990). En el caso particular de los amonoideos, son importantes las formas de enrollamiento y la posición final en que se presenta la parte orgánica del ser respecto al sustrato, así como las cicatrices musculares, la apertura de la concha y el perfil hidrodinámico, además de otras cualidades que permiten inferir sus hábitos, los cuales ya están determinados a nivel de familias y, en muchos casos, a nivel de especies. En materia de conchas de almejas, al ser esencialmente sésiles, pueden calibrarse con respecto al tipo de sedimento en que habitan los bivalvos actuales, e inferir a partir de ello cómo vivían las del pasado. Por tanto, en estudios como el presente, procede comparar estas determinaciones con las provenientes de los análisis petrológicos y sedimentológicos particulares, apoyados en la naturaleza geoquímica del sedimento respecto a carbón orgánico, elementos traza y mayoritarios, para establecer la naturaleza de los paleoambientes con mucha precisión.

3. Con base en la estructura de tallas de los bioclastos, es decir sobre una estadística descriptiva que evidencie gráficamente hacia qué tallas se encuentran

**Tabla 2.** Taxones hallados en los cinco afloramientos que ejemplifican este estudio

GÉNERO Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AMBIENTE	HÁBITO	ALIMENTACIÓN
<i>Paleonucula</i>	Almeja	Nerítico	Infaunal no bisado	Suspensívoro
<i>Gervillella</i> sp.	Almeja	Nerítico proximal	Epibisado fondo firme	Suspensívoro?
<i>Gleviceras</i> sp.	Almeja	Nerítico	Necton	Filtrador de plancton
<i>Paltechiocras rothpletzi</i>	Amonite	Nerítico proximal	Necton/plancton	Filtrador de fitoplancton
<i>Neocrassina</i>	Almeja	Nerítico	Infaunal no bisado	Suspensívoro
<i>Brachyura</i>	Cangrejo	Nerítico proximal	Epibentónico	Depredador de bivalvos
<i>Protocardia</i>	Almeja	Cuenca proximal	Infaunal bisada	Suspensívoro
Madera?	No aplica	Transicional	Continental	No aplica
<i>Pachymia</i>	Almeja	Nerítico	Bentónico	¿?
<i>Weyla</i>	Almeja	Nerítico	Libre nado/reclinada	Suspensívoro
<i>Phylloceras</i>	Amonite	Talud	Nectónico /demersal	Depreda ictioplancton
<i>Gervillella</i>	Almeja	Nerítico proximal	Epibisada/ fondo firme	Suspensívoro
Gasterópodo no identificado	Caracol	Epicontinental	Bentónica /epifaunal	Detritívoro-micrófago?
<i>Paltechioceras harbledowense</i>	Amonite	Nerítico	Nectónica	Filtrador fitoplancton?
<i>Nuculana</i>	Almeja	Nerítico proximal	Infaunal sedim. móvil	Micrófago de biofilm
<i>Posidontis</i> cf. <i>P. semiplicata</i>	Almeja	Fondos disóxicos	Epifaunal /reclinada	Suspensívoro
<i>Paltechioceras mexicanum</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	Filtrador?
<i>Paltechioceras tardecens</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	Fitoplancton
<i>Ortechioceras pauper</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	Filtrador fitoplancton?
<i>Ortechioceras incaguasiense</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	Filtrador fitoplancton?
<i>Arnioceras</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	Filtrador fitoplancton?
<i>Plesechioceras</i> cf. <i>P. cihuacoatlae</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	¿?
<i>Ortechioceras jamesdanae</i>	Amonite	Nerítico	Nectónico	Filtrador fitoplancton?

los fragmentos de conchas y las conchas mismas, puede inferirse algo sobre el régimen de energía y de sedimentación. Para ello, también es útil observar el acomodo que exhiben los mismos bioclastos sobre el sustrato, como la posición horizontal o bien caótica y una serie de variantes que evidencian el ritmo y magnitud de la energía del ambiente y el orden de magnitud de la distancia a que fueron trasladados los bioclastos.

4. La petrología se basa en el estudio de la roca a nivel microscópico. Consiste en tomar rebanadas

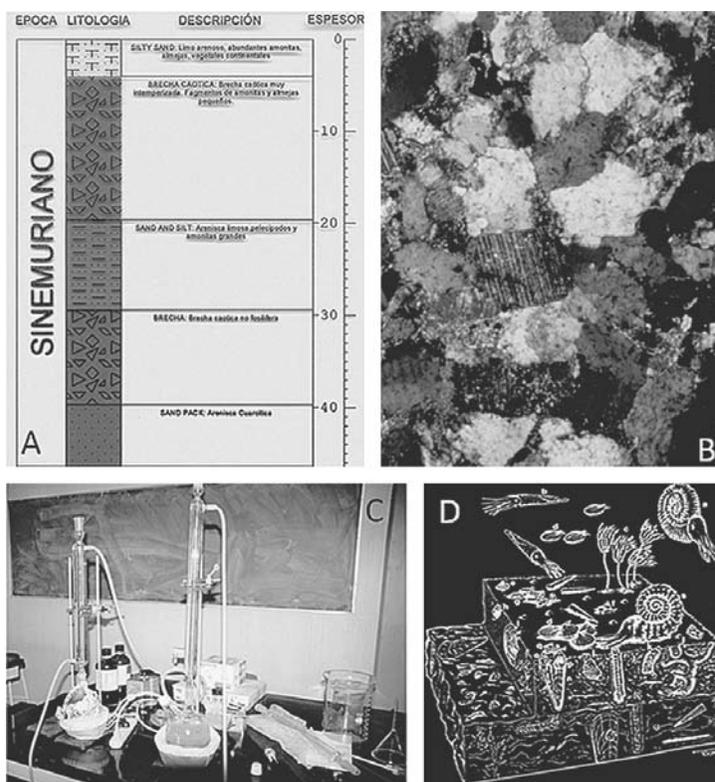
delgadas de hasta 30 micras de las muestras que contienen los fósiles, pues a ese grosor la mayoría de los minerales son traslúcidos. Una vez montadas las muestras en portaobjetos, se describen los detalles sobre el tipo de roca, en particular sobre la proporción de sus componentes arenoso, limoso y calcáreo, poniendo atención al tamaño, forma y orientación de los granos que la conforman, ya que eso indica las cualidades del ambiente de depósito (*Figura 3B*).

5. Los datos geoquímicos parten de la extracción de los componentes, por métodos propios de la química.

mica analítica (Figura 3C) y se destinan a tres tipos de análisis: a) la concentración de elementos mayoritarios, que son los presentes en concentración mayor al 1% e informan sobre la procedencia del sedimento y la naturaleza tectónica del protolito; b) la concentración de elementos traza, que son los presentes en menor proporción a 1% del peso, su particular combinación en el sedimento depende de la interacción que sufren en el agua, por lo que sugieren la salinidad, la oxigenación, el pH y la profundidad del sitio; c) el análisis de carbón orgánico, que es la detección y medida de moléculas particulares provenientes de diferentes tipos de organismos, que en el presente caso sugieren abundancia de clorofilas de plantas terrestres y algas verdes (Flores *et al.*, 2005).

### Interpretación de la paleocuenca Huayacocotla

En la Figura 3D se aprecia un diagrama tridimensional de una comunidad de fondo arenoso-limoso que se considera típica del Jurásico inferior (Mc Kerrow, 1978). Ese tipo de reconstrucciones son producto de un considerable análisis y obtención de detalles por algunos de los medios aquí descritos. La imagen de tal comunidad fue elegida a partir de Mc Kerrow (1978) porque coincide en muchos de los hábitos de los taxones que se han obtenido, así como con las evidencias petrológicas y geoquímicas. En el caso de las localidades de este estudio (Tabla 3), todas comparten parámetros faunísticos, petrológicos y geoquímicos muy cercanos, evidenciando



**Figura 3.** A. Modelo paleoambiental de mar somero con fauna típica del Jurásico inferior. Representa lo ocurrido en rocas de Hidalgo con 195 millones de años de edad. Modificado de Mc Kerrow (1978); B. Aspecto microscópico de las rocas del Jurásico inferior (Sinemuriano superior), estas vistas dan información sobre el tamaño y forma de los granos que las componen y, a su vez, sobre detalles del ambiente en que se formaron; C. Montaje experimental para extraer sustancias orgánicas de las rocas que dan información sobre el ambiente antiguo; D. Ejemplo de columna litológica, que formaliza las apreciaciones sobre el orden de sedimentación de las rocas, caso del afloramiento Chipotla.

**Tabla 3.** Comparación resumida de contenido fósil, litología, petrología y geoquímica con base en el contenido faunístico de cada localidad

Contenido faunístico	Localidad	Petrología	Litología	Geoquímica
Amonoides, bivalvos, gasterópodos y crinoideos	Temapá	Composición cuarzo-feldespática, matriz de limolita arenosa. Clastos angulosos a sub-redondeados, bien seleccionados	Limolitas y areniscas muy finas alternadas rítmicamente en láminas milimétricas	Elementos traza, elementos mayoritarios y carbón orgánico: compatibles con una plataforma silíceo somera con fondos disóxicos de baja circulación. En cuenca intrarco
Amonoides y bivalvos	Peña Blanca	Composición cuarzo-feldespática, matriz de limolita arenosa. Clastos angulosos a sub-redondeados, bien seleccionados	Limolitas y areniscas muy finas alternadas rítmicamente en láminas milimétricas	Elementos traza, elementos mayoritarios y carbón orgánico: compatibles con una plataforma silíceo somera con fondos disóxicos de baja circulación. En cuenca intrarco
Amonoides	Potrero	Composición cuarzo-feldespática, estructura blazer-Rabí. Clastos angulosos a muy angulosos, bien seleccionados	Limolitas y areniscas muy finas alternadas rítmicamente en láminas milimétricas	Sin análisis geoquímico
Amonoides y bivalvos	Bopo	Composición cuarzo-feldespática, matriz limosa. Clastos redondeados a sub-redondeados	Variable dentro de la composición de las areniscas limosas muy finas a arenas carbonatadas finas. Estratos definidos sin laminación	Elementos traza, elementos mayoritarios y carbón orgánico: compatibles con una plataforma silíceo somera con fondos disóxicos de baja circulación. En cuenca intrarco
Amonoides, bivalvos y artrópodos, restos vegetales	Chipotla	Limo arenoso. La fracción arenosa muy fina, matriz arcillosa estructurada en láminas milimétricas. Angulosa a sub-redondeada	Limolita arenosa muy fina con evidencia de acumulación de sedimentos de laguna costera y de plataforma	Elementos traza, elementos mayoritarios y carbón orgánico: compatibles con una plataforma silíceo somera con fondos disóxicos de baja circulación. En cuenca intrarco

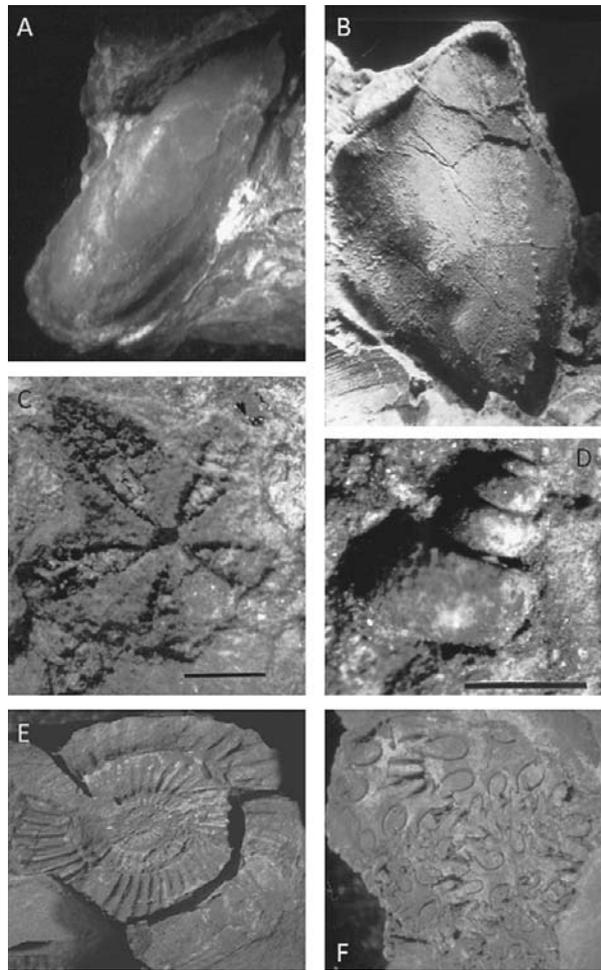
en conjunto los detalles del ambiente sedimentario y el ambiente biótico. Es así que los argumentos permiten hablar de un ambiente de plataforma somera siliciclástica de profundidad moderada, con la presencia de ríos de caudal estacional y con intensa erosión sobre un arco magmático insular que generaba una cuenca transarco. El arco limitaba la circulación del agua de fondo, que mostraba medios desde subóxicos a disóxicos. En las partes someras más costeras, bien oxigenadas por la agitación del oleaje, mostraba comunidades muy diversas de bivalvos, y en la columna de agua muy productiva, dados los aportes de minerales de los ríos, se sostenía

una fauna diversa (*Figura 4*) de amonites filtradores y planctófagos; asimismo se reconoce a los depredadores de estos amonites.

### Comentarios finales

Dada la diversidad de aspectos teórico-prácticos de las ciencias de la Tierra que se estudian en la región, hay muchas aplicaciones para el estudio de los invertebrados y en especial de los moluscos, por ser el grupo ampliamente dominante en estos sedimentos.

Tómese el ejemplo de la exploración de hidrocarburos que ya se ha beneficiado con estudios pa-



**Figura 4.** Fósiles importantes de la formación Huayacocotla (Sinemuriano). A. Almeja de ambiente somero oxigenado, localidad Chipotla (INV-024), sin número de catálogo; B. Posible fragmento de un brazo de cangrejo, localidad Chipotla (INV-024), sin número de catálogo; C. Cara articular de una placa columnar de un crinoideo isocrínido (UAHMP-2254), localidad Temapá (INV-012); D. Gasterópodo indeterminado (UAHMP-2253), localidad Temapá (INV-012); E. amonite *Paltechioceras rothpletzi* (UAHMP-2279), localidad Chipotla (INV-024); F. Suturas de *Phylloceras* sp. (unión entre pared y cámara de habitación de amonoides) (UAHMP-2255), localidad Temapá (INV-012).

leontológicos en los varios momentos históricos reseñados. Dicho trabajo, realizado durante fines del siglo XIX y principios del XX, reveló ampliamente que el potencial de reservorios petroleros se centraba en las calizas cretácicas de la franja costera del golfo de México (hoy terreno tectónico maya). Pero es en los sedimentos marinos jurásicos donde se originó

este recurso, y a partir de éste permeó para almacenarse en domos salinos y trampas estratigráficas, calizas del Cretácico, mucho más impermeables. La mejor comprensión actual del proceso de origen y acumulación a niveles comerciales de las reservas de petróleo crudo, encuentra apoyo en la localización y fechamiento de los diversos cuerpos de roca fosilíferos involucrados, con base en la presencia de los fósiles índice, es decir, aquellos que son diagnósticos de edades particulares.

Otro excelente ejemplo de utilidad es la búsqueda del mineral rodocrosita, que es el carbonato de manganeso color rojizo, cuyo producto al reducirse químicamente produce el manganeso metálico, del cual México es el principal productor mundial, gracias a los yacimientos del Jurásico hidalgense. Este recurso se localiza durante la búsqueda y determinación del contacto entre las formaciones Chipoco y Tepexic, definidas por su contenido fósil, y fechadas con el mismo medio, ya que ambas pueden parecer areniscas limosas de grano fino apizarradas. Es entre ellas donde se marca la transición del Jurásico medio al superior y entre las cuales se acumularon efusiones hidrotermales submarinas en forma de caliza manganesífera, por medio de corrientes marinas profundas.

Teórico en principio, pero con enorme aplicación potencial, es el conocimiento sobre el origen y proceso de apertura del golfo de México que representan estas rocas, relacionado con el aspecto anterior; asimismo, aquí se encuentra el límite de choque entre antiguas placas durante el Pérmico-Triásico para formar el supercontinente Pangea. Después, aquí es donde se invierte la tectónica y se vuelve la zona de expansión oceánica que inicia la separación de los continentes durante el Jurásico. Posteriormente, el fondo en expansión se traslada a la actual dorsal meso atlántica, mientras la paleocuenca Huayacocotla se levanta y sus sedimentos son plegados durante el Terciario. Al mismo tiempo surge un borde de expansión en el occidente de México que integra una serie de arcos volcánicos al borde occidental de México y después rota durante el Terciario para convertirse en el cinturón volcánico transmexicano.

Se abordó como caso de estudio el de los amonites del Jurásico inferior, particularmente bien representado en la megaestructura de la Sierra Madre Oriental, que da cuenta de las faunas marinas fósiles y los procesos que pueden dar información sobre el origen del territorio mexicano y su separación del viejo continente. Sin embargo, para todos los cuerpos de roca involucrados en la megaestructura Huayacocotla, cuando son definidos por sus fósiles índice y se interpretan bajo el paradigma de la tectónica de placas, resurge el potencial del estudio con base en los fósiles respectivos, aunque muchos investigadores del siglo XX habían dado por agotado el estudio de dichas formaciones.

En cuanto a la biogeografía, el listado taxonómico presentado (*Tablas 1 y 2*) consta de múltiples géneros y especies que se comparten con otras paleocuecas en diversos momentos de la historia geológica; ello permite comparar la distribución de

los taxones conforme al tiempo geológico y obtener conclusiones sobre la forma en que se dispersaron. Haciendo esto se avala, por ejemplo, la hipótesis del paleo-corredor hispánico en el Jurásico inferior (Damborenea, 2000), consistente en el descubrimiento de algunos elementos de las faunas de amonites y almejas ya referidos en el Hettangiano de la costa occidental de Sudamérica y Norteamérica, para ser encontradas en la región centro oriental de México durante el Sinemuriano y posteriormente en Europa central durante el Pliensbaquiano.

Otro ejemplo es la continuidad de la paleocuenca Ouachita entre el *mid continent* norteamericano y el este y sur de México durante el Pérmico; es decir, la existencia de un mar epicontinental que habría tenido continuidad desde el sur de México hasta todo el medio oeste de Estados Unidos, dada la existencia común de una serie de taxones (Esquivel-Macías, 2000; Esquivel-Macías *et al.*, 2004).

## Literatura citada

- Aberhan, M. y H. Muster. 1997. Paleobiology of Early Jurassic Bakevellid Bivalves from Western Canada. *Paleontology*, 40, Part 3:799-815.
- Aberhan, M. 1998. Early Jurassic Bivalvia of Western Canada. Part I. Subclasses Papeltaxodonta, Teriomorpha and Isofilibranchia. *Beringeria*, 21:57-150.
- Aguayo-Camargo, J. E. 1998. The Middle Cretaceous El Abra Limestone at its type locality (Facies, diagenesis and oil emplacement), East Central México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(1):1-8.
- Ángeles-Cruz, C., K. Flores-Castro, C. Esquivel-Macías, J. S. Armstrong-Altrin y J. M. Torres-Valencia. 2007. Presencia de carotenoides aromáticos en rocas siliciclásticas de la formación Huayacocotla (Jurásico inferior), estados de Hidalgo y Puebla (México): Implicaciones paleoambientales utilizando biomarcadores. En: J. S. Armstrong-Altrin, K. Flores-Castro y N. L. Cruz Ortiz (eds.). XVII Congreso Nacional de Geoquímica, 1-6 Oct. *Actas INAGEQ*, 13(1):164.
- Aranda-Gómez, J. J., R. Torres-Hernández, G. Carrasco Núñez y A. Aguillón-Robles. 2000. Contrasting styles of Laramide folding across the west-central margin of Cretaceous Valles-San Luis Potosí Carbonate Platform, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17(2):97-111.
- Arellano-Gil, J., S. D. Vachard, D. Yussim y A. Flores de Dios-González. 1998. Aspectos estratigráficos, estructurales y paleogeográficos del Pérmico inferior al Jurásico inferior en Pemuxco, estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(1):9-13.
- Blau, J., C. Meister, R. Schmidt-Effing y R. Schlatter. 2001. Ammonites from the Lower Jurassic (Upper Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México). Part I: *Erbenites* n. gen., a new Asteroceratinae. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 3:175-183.
- Blau, J., C. Meister, R. Schlatter y R. Schmidt-Effing. 2003. Ammonites from the lower Jurassic (Sinemurian)

- of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental), Mexico. Part III: Eechioceatidae: *Revue Paléobiologie*, 22(1):421-437.
- Bonet, F. 1952. La facies Urganiana del Cretácico medio de la región de Tampico. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 4(5-6):153-262.
- Burckhardt, C. 1930. Etudes syntétiques sur le Mesozoïque mexicain: *Schweiz Palaont. Abh.*, 49-50:1-280. lution of the Mid-continent and the Gulf Coast areas- a plate tectonics view. *Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies*, XXVI: 132-143.
- Buitrón, B. E., J. Patiño-Ruiz y A. Moreno-Cano. 1987. Crinoides del Paleozoico tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 1(1):125-136.
- Cantú-Chapa, A. 1971. La serie Huasteca (Jurásico medio-superior) del centro este de México. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 3(2):17-40.
- Carrillo-Bravo, J. 1971. La plataforma Valles-San Luis Potosí. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, XXIII(1-6):102.
- Carrillo-Martínez, M. 1981. Contribución al estudio geológico del macizo calcáreo El Doctor, Querétaro. *Revista del Instituto de Geología*, 5(1):25-29.
- Carrillo-Martínez, M. 1997. Hoja Zimapán 14Q-e (7) con resumen de la geología de la hoja Zimapán, estados de Hidalgo y Querétaro. *Carta geológica de México, Serie 1:1000000*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa con texto.
- Carrillo-Martínez, M. y M. Suter-Cargneluti. 1982. Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro. En: *Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional 6, México*. Libro Guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes, estados de Hidalgo y Querétaro, México: 1-20.
- Carrillo-Martínez, M. y M. Suter-Cargneluti. 1991. Región de Zimapán, Hidalgo. Observaciones de un ejemplo de la tectónica de la Sierra Madre Oriental. En: *Convención sobre la Evolución Geológica de México - Primer Congreso Mexicano de Mineralogía*, UNAM, UAEH, Sociedad Mexicana de Mineralogía, SEP: 2-20.
- Centeno-García, E. y J. D. Keppie. 1999. Latest Paleozoic-early Mesozoic structures in the central Oaxaca terrane of Southern México: Deformation near triple junction. *Tectonophysics*, 301:231-242.
- Coney, J. 1983. Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 15(1).
- Damborenea, S. E. 2000. Hispanic corridor: Its evolution and the biogeography of bivalve mollusks. *Georesearch Forum*, 6:369-380.
- De Cserna, Z. 1969. Tectonic framework of southern México and its bearing on the problem of continental drift. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LXXX (2):159-168.
- Dodd, J. R. y R. J. Stanton. 1990. *Paleoecology, concepts and applications*. Wiley Interscience, John Wiley and Sons.
- Enos, P. 1974. Reefs, platforms and basins of Middle Cretaceous in Northeast México. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 58(5):800-809.
- Erben, H. K. 1956a. El Jurásico medio y el Calloviano de México. *Congreso Geológico Internacional Instituto de Geología, UNAM, México*, 20. Monografía 140.
- Erben, H. K. 1956b. El Jurásico inferior de México y sus amonitas. *XX Congreso Geológico Internacional, Instituto de Geología, UNAM, México*.
- Esquivel-Macías, C. 2000. Braquiópodos y crinoideos del Paleozoico tardío de las formaciones Olinalá, Guerrero; Patlanoaya, Puebla; y Cuxtepeque, Puebla. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias UNAM.
- Esquivel-Macías, C. 2003. Temapá-Hidalgo: A new Fossiliferous outcrop from Lower Jurassic with crinoids and ammonoids on east central México. *Paleoenvironment Interpretation. 99<sup>th</sup> Annual Meeting Cordilleran Section. The Geological Society of America*, 35(4):30.
- Esquivel-Macías, C., F. Solís-Marín y B. E. Buitrón-Sánchez. 2004. Nuevos registros de placas columnares de crinoideo (Echinodermata, Crinoidea) del Paleozoico superior de México, algunas implicaciones paleobiogeográficas y paleoambientales. *Coloquios de Paleontología*, 54:15-23.

- Esquivel-Macías, C., R. G. León Olvera y K. Flores-Castro. 2005. Caracterización de una nueva localidad fosilífera del Jurásico inferior con crinoides y amonites en el centro oriente de México (Temapá-Hidalgo). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(1):97-114.
- Esquivel-Macías C. y A. Gayosso-Morales. 2007. Colección de invertebrados. En: J. Castillo-Cerón y J. Márquez (eds.). Colecciones del Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciencia al Día 4:69-73.
- Esquivel-Macías, C. 2007. Acercamiento entre la paleontología y la geoquímica para abordar estudios sobre ambientes antiguos. Estudio de caso para el Jurásico de la Sierra Madre Oriental. En: J. S. Armstrong-Altrim, K. Flores-Castro y N. L. Cruz Ortiz (eds.). XVII Congreso Nacional de Geoquímica, 1-6 Oct. Actas INAGEQ, 13(1):187-191.
- Feldman, R. M., F. J. Vega, L. Martínez-López, K. A. González-Rodríguez, O. González de León y M. R. Fernández-Barajas. 2007. Crustacea from the Muhi Quarry (Albian-Cenomanian), and a review of Aptian mecochiridia (Astacea) from México. *Annals of Carnegie Museum*, 76(3):145-156.
- Felix, J. 1891. Versteinerungen aus der mexicanischen Jura- und Kreide-Formation. *Paleontographica*, 37(5-6):140-199.
- Felix, J. 1899. Uebersicht über die Entwicklung der geologist Formationen in Mexico, nebst einem Anhang über die Höhlenbildungen dieses Lande. En: J. Felix, H. Lenk, H. Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Republik México, Theil 2: Leipzig, Arthur Felix, 155-186.
- Felix, J. y H. Lenk. (1889-1899). Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Republik Mexico: Leipzig, Stuttgart, Verlag von Arthur Felix; und E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E.Nägele), 3.
- Félix, J. y H. Lenk. 1891a. Uebershit über die geologischen Verhältnisse des mexicanischen States Puebla. *Paleontographica*, 37(5-6):117-139.
- Félix, J. y H. Lenk. 1891b. Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Republik México, Theil 3: Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Koch), p. 78.
- Flores, K., J. S. Armstrong-Altrim, C. Esquivel-Macías, C. A. Ángeles, C. L. E. Ortiz y K. Selvaraj. 2005. Geoquímica inorgánica de rocas sedimentarias liásicas de una porción de la Sierra Madre Oriental, estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz (México): Determinación de procedencia, contexto tectónico dominante y grado de intemperismo. XII Congreso Latinoamericano de Geología, Ministerio de Minas de Quito. Ecuador. 4-6 de Mayo. Editado en disco compacto.
- Flores-Camargo, D. G., M. P. Velasco de León y E. Naranjo-García. 2007. Moluscos dulceacuícolas del Blancano temprano, pertenecientes a la formación Atotonilco el Grande, Hidalgo, México. En: E. Ríos-Jara, M. C. Esqueda-González y C. M. Galván-Villa (eds.). Estudios sobre la malacología y conchiliología en México. Universidad de Guadalajara, México, 21-218.
- Flores-Castro, K. y F. Piñeiro-Ramírez. 1996. Geología y geoquímica de las áreas aledañas al distrito minero de Zimapán, Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, 35.
- Fries, C. Jr. 1962. Hoja Pachuca 14q-e (11), con resumen de la geología de la hoja Pachuca, estados de Hidalgo y México, serie 1:100000. Universidad Nacional Autónoma de México: 1 mapa con texto.
- Fries, C. Jr. 1966. Resumen de la geología de la hoja Pachuca, estados de Hidalgo y México. Carta geológica de México, serie 1:100000. Instituto de Geología, UNAM.
- Giunta, G., L. Beccaluva y F. Siena. 2006. Caribbean plate margin evolution: Constraints and current problems. *Acta Geológica*, 1-2:265-277.
- Imlay, H. R., E. Cepeda, M. Álvarez y T. Díaz-González. 1948. Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern Mexico. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 32(9):1750-1761.
- Johnson, C. 1984. Paleocology, carbonate petrology and depositional environments of lagoonal facies, Cupido and El Abra formations northeastern Mexico. Tesis de maestría. University of Colorado at Denver.
- López-Ávila, J., S. Enciso de la Vega, E. Rodríguez-Medina, H. Cortés-Guzmán, C. Rivera y Villasana, R. Montoya-Hernández y J. Praga-Pérez (eds.). 1992.

- Monografía geológico-minera del estado de Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales, Pachuca. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, publicación M-3e:18-28.
- López-Doncel, R. 2003. La formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, centro- noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(1):1-19.
- López-Palomino, R., A. B. Villaseñor-Martínez y F. Oloriz-Sáez. 2006. Primer registro del género *Vinalesphinctes* (Ammonitina) en el Oxfordiano de México: Significación bioestratigráfica y consideraciones paleobiogeográficas en el Jurásico superior de América. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(2):162-183.
- López-Ramos, E. 1972. Carta geológica del estado de Hidalgo, escala 1:500000. Instituto de Geología, UNAM, Serie de Cartas Geológicas Estatales: 1 mapa.
- McFarlan, E. Jr. y L. S. Menes. 1991. Lower Cretaceous. In: *The Gulf of México Basin. The Geology of North America. The Geological Society of America*:181-203.
- McKerrow, W. (ed.). 1978. *The ecology of fossils. An illustrated guide.* The Mit Press, Cambridge.
- Meister, C., J. Blau, R. Schlatter y R. Schmidt-Effing. 2002. Ammonites from the Lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México.) Part II: Phylloceratiodea, Litoceratiodea, Schloteimiidae, Arietitinae: *Revue Paleobiologie, Geneva*, 21(1):391-409.
- Meister, C., J. Blau, J. Dommergues, J. L. Schlatter, R. Schmidt-Effing, K. Burk. 2005. Ammonites from the Lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, Mexico), Part IV: Biostratigraphy, Paleobiogeography and taxonomic addendum: *Revue de Paleobiologie, Geneva*, 24(1):365-384.
- Muir, J. M. 1963. *Geology of the Tampico region.* American Association of Petroleum Geologist Publication: 280.
- Ochoa-Camarillo, H. R. 1997. Aspectos bioestratigráficos, paleoecológicos y tectónicos del Jurásico (anticlinorio de Huayacocotla) en la región de Molango, Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Simposio y Coloquio, 2.
- Ochoa-Camarillo, H. R., B. E. Buitrón y A. Silva-Pineda 1998. Contribución al conocimiento de la bioestratigrafía, paleoecología y tectónica del Jurásico (anticlinorio de Huayacocotla) en la región de Molango, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 5(1):57-63.
- Pedrazzini, C. y M. A. Bazañez-Loyola. 1978. Sedimentación del Jurásico medio-superior en el anticlinorio de Huayacocotla-cuenca de Chicontepec, estados de Hidalgo y Veracruz, México. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 10(3):6-25.
- Pindell, J., L. Kennan, K. P. Stanek, W. V. Maresch y G. Draper. 2006. Foundations of Gulf of México and Caribbean evolution: eight controversies resolved. *Geologica Acta*, 4(1-2):303-341.
- Rosales-Lagarde, I., E. Centeno-García, J. Dostal, F. Sour-Tovar, H. Ochoa-Camarillo y S. Quiroz-Barroso. 2005. The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early Permian Submarine Continental Arc in East-Central México. *International Geology Review*, 47:901-919.
- Sánchez-Zavala, J. L., E. Centeno-García y F. Ortega-Gutiérrez. 1999. Review of Paleozoic stratigraphy of Mexico and its role in the Gondwana-Laurentia connections. En: V. A. Ramos y J. D. Keeppie (eds.). *Laurentia-Gondwana connections before Pangea.* Geological Society of America, Special Paper, 336:211-226.
- Schlatter, R. y R. Schmidt-Effing. 1984. Bioestratigrafía y fauna de amonites del Jurásico inferior (Sinemuriano) del área de Tenango de Doria (estado de Hidalgo, México). 3er Congreso Latinoamericano Paleontología. Oaxtepec, Morelos, México: Instituto de Geología, UNAM, 154-156.
- Schmidt-Effing, R. 1980. The Huayacocotla Aulacogen in Mexico (Lower Jurassic) and the origin of the Gulf of México. In: R. H. Pilger, Jr. (ed.). *The origin of the Gulf of México and the early opening of the central North Atlantic.* Proceedings of a Symposium, Baton Rouge, LA, 79-86.

- Segestrom, K. 1956. Estratigrafía y tectónica del Cenozoico entre México, DF, y Zimapán, Hidalgo. En: Maldonado-Koerdell, M. (ed.). Estratigrafía del Cenozoico y del Mesozoico a lo largo de la carretera entre Reynosa, Tamaulipas, y México, DF. Tectónica de la Sierra Madre Oriental. Guía de excursiones del XX Congreso Geológico Internacional, 311-322.
- Segeström, K. 1961. Geología del suroeste del estado de Hidalgo y del noreste del estado de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13(3):147-168.
- Seibertz, E. y B. E. Buitrón. 1999. Emil Böse (1868-1927). Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15(1):3-4.
- Simons, F. S. y E. Mapes. 1957. Geología y yacimientos minerales del distrito minero de Zimapán, Hidalgo. Boletín del Instituto Nacional de Investigaciones en Recursos Minerales, 40:282.
- Sour-Tovar, F., A. Pérez-Huerta, S. A. Quiroz-Barroso y E. Centeno-García. 2005. Braquiópodos y trilobites del Pérmico inferior del noroeste del estado de Hidalgo, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22(1):24-35.
- Suter, M. 1990. Hoja Tamazunchale 14Q-e(5); con geología de la hoja Tamazunchale, estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Carta geológica de México, serie 1:100000, núm. 22, 55 p.
- Suter, M., J. Contreras-Pérez y H. Ochoa Camarillo. 1997. Structure of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central México. En: II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Pachuca, Hidalgo. Libro-guía de las excursiones geológicas, excursión 2. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México: 45-63.
- Trabulse, E. 1997. Historia de la ciencia en México. Versión abreviada. Fondo de Cultura Económica.
- Van der Voo, F., J. Mauk y R. B. French. 1976. Permian-Triassic continental configurations and the origin of the Gulf of Mexico. Geology, 177-180.
- Walper, J. L. y C. L. Rowett. 1972. Plate tectonics and the origin of the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico. Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies, XXII:105-116.
- Walper, J. L. 1977. Paleozoic tectonics of the southern margin of North America. Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies, XXVII: 230-241.
- Westermann, G. E. G. 1996. Ammonoid life and habit. En: N. H. Landman, Kazushige y R. A. Davis (eds.). 1996. Ammonoid Paleobiology. New York & London, Plenum Press.
- Wilson, B. W., J. P. Hernández y E. T. Meave. 1955. Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro, México. Boletín de la Sociedad Geológica de México, XVIII(1):1-10.
- Wood, M. L. y J. L. Walper. 1974. The evolution of the interior Mesozoic basin and the Gulf of México. Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies, XXV: 31-41.
- Yta, M., C. J. Galván y C. R. Esparza. 1999. Carta metalogénica-geológica-estructural del estado de Hidalgo, Pachuca, escala 1:250000. Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial: 1 mapa.

# Capítulo

## Los crustáceos de la cantera Muhi elementos importantes en la evolución de los braquiuros

# 5

**Francisco J. Vega**

*Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*

### Resumen

**D**os especies de crustáceos han sido recuperadas de la cantera Muhi, en rocas que representan sedimentos depositados durante el Albiano-Cenomaniano en la porción occidental del antiguo Mar de Tethys. El camarón *Aeger hidalguensis* representa el primer registro de ese género en América, caracterizado por poseer un par de apéndices extremadamente largos y espinosos, correspondientes a los terceros maxilípedos, los cuales eran posiblemente usados para capturar presas. Una especie del mismo género ha sido reportada para el Cenomaniano del Líbano, pero ni ésta, ni las especies del Jurásico de Solnhofen en Alemania, poseían apéndices tan largos. Con base en diferencias de talla y morfología de pleuras del abdomen es probable que existiera dimorfismo sexual en la especie de México, siendo los machos más grandes y con pleuras abdominales triangulares. El otro crustáceo corresponde a la langosta *Palinurus* sp., y representa el segundo registro

de ese género como fósil en América. Las características preservadas en el ejemplar de Hidalgo permiten confirmar que este género estuvo presente en América, probablemente antes que en cualquiera otra parte y que posteriormente desapareció, o bien ese linaje dio lugar a la langosta americana *Panulirus*.

### Abstract

Two crustacean species have been recovered from the Muhi quarry, found in rocks that represent sediments deposited during the Albian-Cenomanian in the occidental portion of the ancient Tethys Sea. The shrimp *Aeger hidalguensis* represents the first record for the genus in America, and is characterized by possession of a pair of extremely long and spiny appendages, which correspond to the third maxillipeds, used probably to catch prey. Another species of the same genus has been reported from the Cenomanian of Lebanon, but nor this species, neither the ones known from the Jurassic of So-

Inhofen had third maxillipeds as long as the ones from the Mexican species. Based on differences of size and shape of abdominal pleurae, it is possible that sexual dimorphism existed in the Mexican species, males being larger and with triangular pleurae. The other crustacean corresponds to the lobster *Palinurus* sp., and represents the second fossil record for this genus in America. Features preserved on the specimen from Hidalgo support the idea that this genus was present in America, probably before than anywhere else, and that it subsequently disappeared, or gave rise to the American lobster *Panulirus*.

### Introducción

El registro fósil de los crustáceos es relativamente escaso, comparado con otros grupos de macroinvertebrados, como los corales, moluscos, braquiópodos, equinodermos, e incluso los insectos. Basta revisar los volúmenes correspondientes a estos grupos, en la serie “Treatise on Invertebrate Paleontology” (Glaessner, 1969), para percatarnos de que la paleodiversidad de crustáceos no hace honor al número actual de especies y su abundancia. Este hueco en el conocimiento de la evolución de uno de los grupos más importante de artrópodos puede ser explicado con base en diversas teorías que incluyen la fragilidad inherente del caparazón de los crustáceos, pero si consideramos que, como todo artrópodo, los crustáceos deben mudar para crecer, resulta que su potencial para formar varios “clones” de un mismo organismo en el registro fósil es digno de tomarse en cuenta y apela a una revisión más detallada y cuidadosa cuando buscamos fósiles en una localidad.

En México, a partir de 1990, el número de especies se ha incrementado de alrededor de 20 a más de 50, entre las que destacan algunas especies que han extendido el rango estratigráfico de géneros y familias. Esto es sumamente importante, ya que podemos corroborar que nuestro territorio ha sido el sitio de origen, dispersión y persistencia de muchos taxones que en otras latitudes aparecieron más tarde o se extinguieron. Un ejercicio interesante es el de comparar cuántas especies de crustáceos fósiles han sido descri-

tas en regiones geográficas equivalentes al territorio nacional, en otros países, y podemos asegurar que la paleodiversidad que se encuentra en México es superior a la de muchas regiones equivalentes (por ejemplo, California, Arizona, Nuevo México y Texas), y año con año aparecen nuevas formas en localidades conocidas, o de reciente descubrimiento.

Tal es el caso de la cantera Muhi, Hidalgo, que constituye una de las nuevas localidades con mayor potencial fosilífero en el país. Aquí, las calizas de edad Albiano-Cenomaniano de la formación El Doctor incluyen microfósiles, amonites, equinodermos y peces, cuyos cuerpos fueron sepultados en el fondo de una cuenca marina, bajo condiciones de poca oxigenación y, posiblemente, alta salinidad (González-Rodríguez y Applegate, 2000; González-Rodríguez y Bravo-Cuevas, 2005; González-Rodríguez y Fielitz, 2005; González-Rodríguez *et al.*, 2000, 2004, 2005). Como parte de la composición de fósiles, dos especies de crustáceos han sido reconocidas: el camarón *Aeger* y el género viviente de langosta *Palinurus*, cuya presencia como fósiles en México representó una inesperada contribución a la historia evolutiva de los crustáceos (Feldmann *et al.*, 2007).

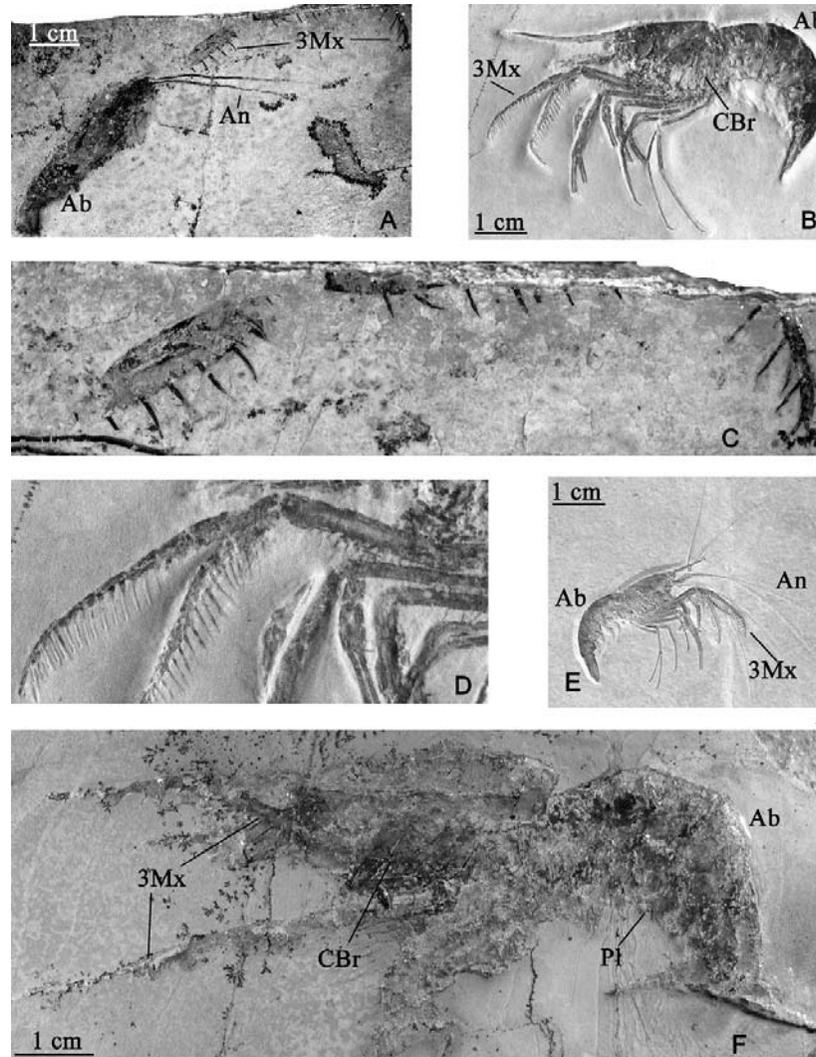
### Los crustáceos

#### *Aeger hidalguensis* (Figuras 1A, 1C, 1F)

Esta especie representa el primer registro del género en América, ya que ha sido reportado para el Cenomaniano de Líbano (Roger, 1946), aunque con ejemplares menos completos que los provenientes de Muhi. Otras dos especies constituyen el registro del género para el Jurásico de Europa, en la famosa localidad de Solnhofen, aunque sus característicos maxilípedos no son tan largos como los que se observan en la especie de México (Barthel *et al.*, 1990; Schweigert, 2001) (Figuras 1B, 1D, 1E). La longitud y naturaleza espinosa de estas estructuras hace suponer que *Aeger* pudo haber sido un camarón depredador, que atrapaba sus presas (pequeños peces y otros crustáceos) con sus largos apéndices. La supervivencia del género desde el Jurásico hasta el Cretácico tardío y la amplia distribución en ese

tiempo sugieren que era un crustáceo nadador, cuyo patrón morfológico fue exitoso y con la tendencia a presentar maxilípedos cada vez más largos, pues los que se presentan en *A. hidalguensis* son equivalentes al doble de la longitud del cuerpo (Figuras 1A, 1C), mientras que los de las otras especies no exceden dicha longitud.

Otro aspecto importante a destacar con relación a esta especie es la presencia de dos tallas, que bien podrían representar dimorfismo sexual, probablemente a favor del macho (de mayor talla). Esto se infiere a partir de la morfología de las pleuras, o extremos del abdomen, que suelen ser de forma triangular (Figura 1F).



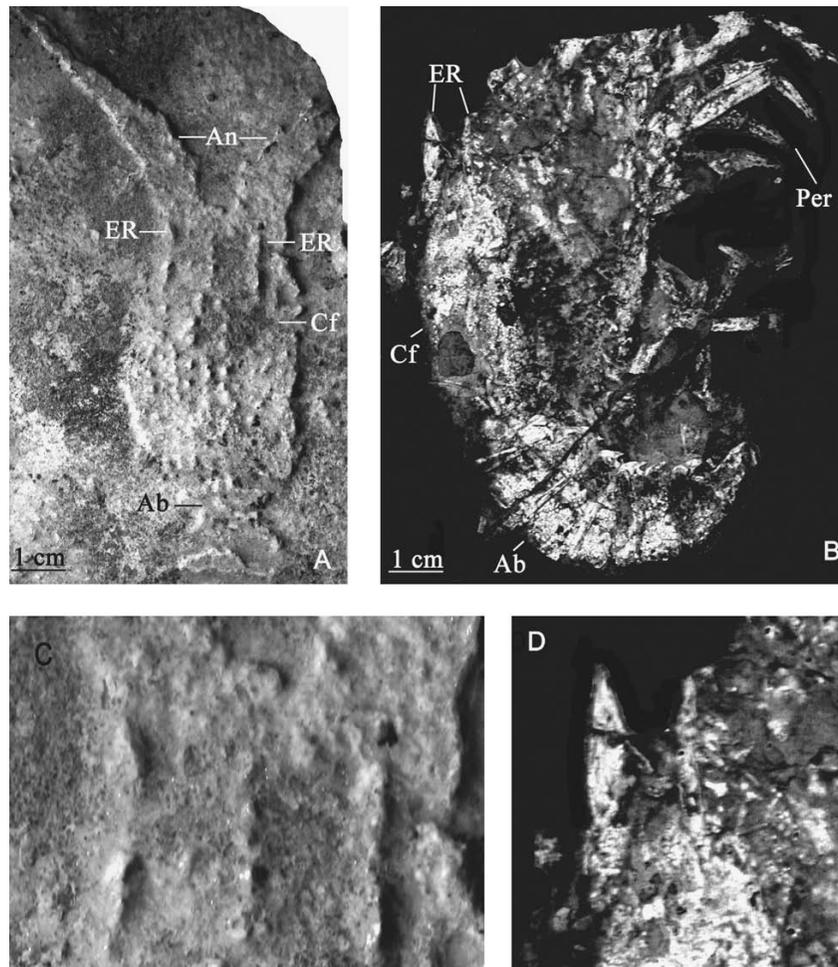
**Figura 1.** A, C, F: *Aeger hidalguensis*, cantera Muhi, Albiano-Cenomaniano, formación El Doctor, Hidalgo. A: Holotipo (UAHMP 2246), mostrando abdomen (Ab), antenas (An) y terceros maxilípedos (3Mx); B, D: *Aeger tipularius*, Solnhofen, Jurásico superior, Alemania; B: Litografía mostrando abdomen (Ab), cámaras branquiales (CBr) y terceros maxilípedos (3Mx); C: Acercamiento del tercer maxilípedo izquierdo de *Aeger hidalguensis*, holotipo (UAHMP 2246); D: Acercamiento de los terceros maxilípedos de la litografía de *Aeger tipularius*; E: *Aeger spinipes*, Solnhofen, Jurásico superior, Alemania, mostrando abdomen (Ab), antenas (An) y terceros maxilípedos (3Mx), fotografía cortesía del Dr. Gunter Schweigert, Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart, Alemania; F: *Aeger hidalguensis*, paratipo (UAHMP 711), mostrando abdomen (Ab), cámaras branquiales (CBr), pleuras del abdomen (Pl) y terceros maxilípedos (3Mx).

También es importante mencionar la preservación de las cámaras branquiales en el único ejemplar, que probablemente es un macho. Estas estructuras son visibles (*Figura 1F*) debido a la naturaleza extremadamente frágil y delgada del caparazón de estos camarones.

Por último, el hallazgo de esta especie dio oportunidad de revisar la familia a la que pertenece (*Aegeridae*), que originalmente sólo contenía a *Aeger* y ahora incluye también al género extinto *Acanthochirana*.

***Palinurus sp.* (Figuras 2A, 2C)**

El segundo registro fósil de la langosta *Palinurus* en América procede de la cantera Muhi. Se trata de un ejemplar juvenil que conserva el caparazón y parte del abdomen en posición dorsal, así como las antenas casi completas que muestran su característica espinosa. Dado que no se observan patas articuladas, es probable que el ejemplar represente una muda. Las espinas rostrales y su separación característica observada en *Palinurus* fueron bien preservadas en este ejemplar (*Figura 2C*).



**Figura 2.** A, C. *Palinurus sp.*, cantera Muhi, Albiano-Cenomaniano, formación El Doctor, Hidalgo. A. Hipotipo (UAHMP 659), mostrando abdomen (Ab), Antenas (An), cefalotórax (Cf) y espinas rostrales (ER); B, D. *Palinurus palaciosi*, Cantera El Espinal, Albiano, formación Sierra Madre, Chiapas; B. Holotipo (IHNFG 2481), mostrando abdomen (Ab), cefalotórax (Cf), espinas rostrales (ER) y pereópodos (Per); C. Acercamiento de la región anterior de *Palinurus sp.*, hipotipo (UAHMP 659), mostrando la separación de las espinas rostrales; D. Acercamiento de la región anterior de *Palinurus palaciosi*, holotipo (IHNFG 2481), mostrando la separación de las espinas rostrales.

El primer registro fósil de *Palinurus* en América es *P. palaciosi* (Figuras 2B, 2D), del Albiano de Chiapas (Vega *et al.*, 2006). Se trata de un ejemplar de mayor talla y claramente diferente al ejemplar de Hidalgo. La especie de Chiapas es probablemente el registro más antiguo del género, aunque existen reportes de ejemplares mal preservados del Barremiano, Aptiano y Albiano de Italia (Bravi y Garassino, 1998; Garassino, 2000), cuya asignación al género es dudosa.

La evolución de las langostas del grupo de los palinúridos ha sido revisada por otros autores, quienes han considerado su distribución geográfica, biología molecular y diferencias morfológicas entre las especies actuales (George y Main, 1967; George, 2006). Hasta el momento no se ha registrado ningún fósil del género cercano, *Panulirus*, típico de las costas de América en ambos océanos, y se estima que pudo haber surgido durante el Mioceno, hace aproximadamente 20 millones de años, a partir de un ancestro perteneciente al género *Palinurus*. Estos datos concuerdan con el registro fósil de *Palinurus*, cuyo registro más joven procede del Eoceno.

El único ejemplar recuperado de la cantera Muhi representa la presencia continua del género *Palinurus* en América, durante la parte inferior del Cretácico superior, y futuros hallazgos de ejemplares permitirán contar con características suficientes para poder establecer si la especie de Hidalgo es la misma que la de Chiapas, o si se trata de una nueva especie.

## Conclusiones

Los crustáceos de la cantera Muhi representan importantes extensiones estratigráficas y paleobiogeográficas de dos géneros, cuya paleobiología resulta sumamente importante para comprender la evolución, dispersión y supervivencia de uno de los grupos más diversos en nuestro planeta. Estos registros contribuyen de una manera importante al acervo paleontológico, ya que representan los primeros reportes de géneros ampliamente conocidos en el viejo mundo, pero con características claramente diferentes, que permiten considerarlos como piezas importantes en la reconstrucción de linajes.

Aunque la preservación de los crustáceos de la cantera Muhi no es comparable con la que se presenta en localidades como Solnhofen, los detalles morfológicos suficientes para establecer géneros, una nueva especie, e incluso diferencias que representan dimorfismo sexual, fueron registrados de manera fiel. En el plano del registro fósil de crustáceos en México, los ejemplares de la cantera Muhi representan el primer reporte de ese grupo para el estado de Hidalgo. Futuros hallazgos contribuirán significativamente a establecer el papel ecológico que desempeñaban estas especies en el antiguo fondo marino de la cantera Muhi.

## Literatura citada

- Barthel, K. W., N. H. M. Swinburne y S. Conway Morris. 1990. Solnhofen: A study in Mesozoic paleontology. Cambridge University Press.
- Feldmann, R. M., F. J. Vega, L. Martínez-López, K. A. González-Rodríguez, O. González-León y M. R. Fernández-Barajas. 2007. Crustacea from the Muhi quarry (Albian-Cenomanian), and a review of Aptian mecochiridia (Astacea) from Mexico. *Annals of Carnegie Museum*, 76(3):145-156.
- George, R. W. 2006. Tethys Sea fragmentation and speciation of *Panulirus* spiny lobsters. *Crustaceana*, 78(11):1281-1309.
- George, R. W. y A. R. Main. 1967. The evolution of spiny lobsters (Palinuridae): A study of evolution in the marine environment. *Evolution*, 21:803-820.
- Glaessner, M. F. 1969. Decapoda, p. R399-R533. En: R. C. Moore (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology*, 2:R399-R651.

- González-Rodríguez, K. A. y S. P. Applegate. 2000. Muhi quarry, a new Cretaceous fish locality in Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, supplement 3, 45a.
- González-Rodríguez, K. A. y V. M. Bravo Cuevas. 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.
- González-Rodríguez, K. A. y C. Fielitz. 2005. A new species of berycoid from the late Cretaceous of Muhi quarry, Hidalgo, Central Mexico. En: F. J. Poyato-Ariza (ed.): *Fourth International Meeting on Mesozoic Fishes – Systematics, Homology, and Nomenclature, Extended Abstracts*. Madrid, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid/UAM Ediciones, p. 109-111.
- González-Rodríguez, K. A., V. M. Bravo-Cuevas y C. Esquivel-Macías. 2005. A Late Cretaceous locality from the state of Hidalgo, Central Mexico. *Boletim de Resumos. II Congreso Latino-Americano de Paleontología de Vertebrados*. Río de Janeiro, Brasil, Serie Livros 12:128-129.
- González-Rodríguez, K. A., C. Fielitz y V. M. Bravo-Cuevas. 2004. Los peces aulopiformes de la cantera Muhi de Zimapán, Hidalgo. IX Congreso Nacional de Paleontología, SOMEXPAL, Tuxtla Gutiérrez, p. 40.
- González-Rodríguez, K. A., A. Moreno-Tovar y F. J. Vega-Vera. 2000. Zimapán, una nueva localidad cretácica marina en el estado de Hidalgo, México. VII Congreso Nacional de Paleontología y I Simposio Geológico en el noreste de México, SOMEXPAL, Linares, p. 35-36.
- Roger, J. 1946. Les invertébrés des couches à poissons du Crétacé supérieur du Liban. *Mémoires de la Société Géologique de France*, 23:1-92.
- Schweigert, G. 2001. The Late Jurassic decapod species *Aeger tipularius* (Schlotheim, 1822) (Crustacea: Decapoda: Aegeridae). *Stuttgarter Beitr:age zur Naturkunde, Serie B (Geologie und Paläontologie)*, 309:1-10.
- Vega, F. J., P. García-Barrera, M. C. Perrilliat, M. A. Coutiño y R. Mariño-Pérez. 2006. El Espinal, a new plattenkalk locality from the Lower Cretaceous Sierra Madre formation, Chiapas, Southeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(3):323-333.

# Capítulo

# 6

## Los peces fósiles

**<sup>1</sup>Katia Adriana González-Rodríguez y <sup>2</sup>Christopher Fielitz**

<sup>1</sup>Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>2</sup>Emory and Henry College, Virginia, EUA

### Resumen

Los peces son el más numeroso grupo de vertebrados que existe en la actualidad y están ampliamente representados en el registro fósil. A lo largo de su historia evolutiva han ocurrido varias radiaciones que permitieron su diversificación. El cambio en la configuración de los continentes, a través de millones de años, ocasionó que durante gran parte del Mesozoico la mayoría del territorio de México estuviera cubierto por aguas cálidas y poco profundas del Mar de Tethys. En varias regiones de Hidalgo existe evidencia de este mar que albergó tanto invertebrados como peces. En la cantera Muhi de Zimapán se han recolectado peces extintos de al menos doce familias diferentes que representan el primer registro de estos grupos en el Albiano-Cenomaniano de México. En el Terciario, cuando nuestro país había adquirido ya su configuración actual, se dio un gran vulcanismo y una orogenia que produjeron cambios en la topografía

y dieron origen a la formación de cuencas y lagos que, asimismo, permitieron una amplia diversidad de peces dulceacuícolas. Fracciones de esta diversidad se encuentran plasmadas en rocas pliocénicas de varias localidades de Hidalgo. Aquí se hace una reseña de estos registros.

### Abstract

Fishes are the most numerous group of vertebrates, and their fossil record is abundant. The large diversity was produced by the various radiations that occurred during their evolutionary history. Due to the constant change of continents configuration through millions of years, México was almost completely covered by the warm and shallow waters of the Tethys Sea, during the Mesozoic period. These waters carried a great diversity of marine fauna which is evident in some Hidalgo Cretaceous regions. The Muhi quarry in Zimapán exhibits this diversity. At least twelve fish families are present in

the quarry, and they represent the first record of Albian-Cenomanian fish fauna for México. In the Tertiary period, when our country had already acquired its actual configuration, volcanism and orogeny produced basins and lakes that also carried a diverse fresh-water fish fauna which has been found in Pliocene localities of the Hidalgo State. Here we show a description of these records.

### Introducción

Los peces constituyen el grupo de vertebrados más antiguo y más numeroso en la actualidad; se han descrito alrededor de 25,000 especies vivientes (Nelson, 2006) y quedan muchas más por descubrir. Los peces están bien representados en el registro fósil debido al ambiente acuático donde se depositaron y a las características de su esqueleto. Los primeros registros de este grupo datan de hace más de 400 millones de años, en el Devónico, con la presencia de peces con fuertes armaduras óseas, como los ostracodermos y placodermos, tiburones y rayas de esqueletos cartilagosos y peces óseos, parientes de la mayoría de los que conocemos en la actualidad.

A lo largo de la evolución de este grupo han ocurrido varias radiaciones adaptativas que permitieron su diversificación. Muchos grupos de peces, aquellos que tal vez no pudieron competir ante otras especies con mayores ventajas anatómicas que les dieron una mayor agilidad en el nado, una mayor facilidad en la obtención de alimento y nuevas estrategias en la reproducción, fueron reemplazados paulatinamente hasta que se extinguieron. Tal es el caso de los ostracodermos, placodermos y los paleoníscidos; sin embargo, peces como los tiburones y las rayas, que surgieron hace millones de años y eran considerados como organismos primitivos, aún habitan con gran éxito los mares de todo el mundo.

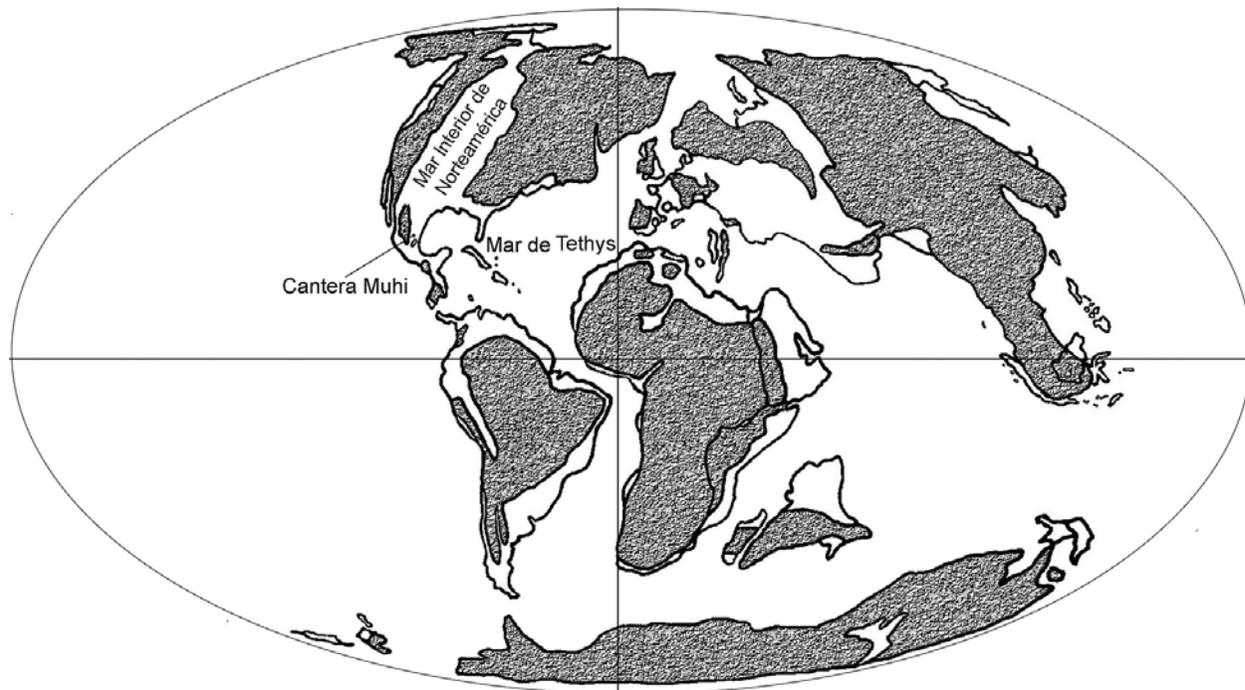
En México existen varias localidades fosilíferas con peces marinos debido a que durante gran parte de la era Mesozoica, entre los 150 y 60 millones de años, el país estuvo casi totalmente cubierto por aguas marinas de diferentes profundidades que dejaron sólo algunas islas al descubierto. Estas aguas

cálidas y poco profundas, que formaron parte del Mar de Tethys (*Figura 1*), permitieron la diversificación no sólo de peces, sino de una gran variedad de fauna marina que también es abundante en los depósitos de México.

De acuerdo con López-Ramos (1981), en el Cretácico temprano los mares del Jurásico superior persistieron a lo largo de la cuenca central sureste de México y noroeste de la república mexicana; ocasionalmente eran de aguas muy someras y a veces de tipo lagunar, o eran más profundos, como en el estado de Puebla y norte de Oaxaca. A finales del Cretácico temprano y principios del Cretácico tardío los mares abarcaron una porción más amplia, y tanto la porción noroeste del país como parte de la Sierra Madre Occidental estuvieron sumergidas. Finalmente, en lo que resta del Cretácico tardío, el continente mexicano estuvo sólo emergido en la parte noroeste y en el sureste de México, macizo de Guerrero-Oaxaca y el macizo de Chiapas. Los mares tuvieron diferentes profundidades y ocasionalmente se encontraban islas que constituyeron zonas inestables.

Durante el Cretácico tardío el nivel del mar fue elevado en todo el mundo. Como resultado, continentes y masas de tierra como Norteamérica, Sudamérica, Europa, África, Asia y el Oeste Medio, estuvieron parcial o totalmente cubiertos por aguas marinas (*Figura 1*). Las temperaturas globales fueron mucho más templadas que en la actualidad, por lo que estos ambientes marinos someros y cálidos fueron perfectos para el establecimiento y proliferación de abundante fauna. Además, los arrecifes o estructuras similares a arrecifes, formadas por rudistas (bivalvos), atrajeron gran diversidad marina como ocurre en la actualidad. No sólo invertebrados y peces habitaron estos arrecifes, sino que en algunas localidades es común encontrar reptiles marinos, reptiles voladores e, incluso, aves primitivas que vivieron en zonas costeras o islas.

Como los otros continentes, gran parte de Norteamérica estuvo cubierta por agua. Una gran ruta marítima conocida como Mar Interior del Oeste (*Figura 1*) seccionó Norteamérica por el centro, des-



**Figura 1.** El Mar de Tethys se extendió desde Asia hasta América durante el Mesozoico, ocasionando que gran parte de los continentes estuviera sumergida. Las aguas cálidas y someras de este mar permitieron la diversificación de fauna de invertebrados y peces en todo el mundo. En el Albiano-Cenomaniano los continentes tenían la configuración que se muestra sombreada en el mapa. Es por esto que en nuestro país pudieron establecerse y diversificarse los peces que ahora encontramos en la cantera Muhi de Zimapán (modificado de Smith *et al.*, 1994).

de el golfo de México hasta el océano Ártico (que en ese tiempo no tenía hielo). Así como la mayor parte de México estuvo sumergida, también lo estuvo el sureste de Estados Unidos, propiciando asimismo el establecimiento de una gran diversidad marina que es un tanto diferente a la que se encuentra en México.

En el Terciario, cuando la república mexicana ya tenía la configuración actual, se formaron numerosos cuerpos de agua dulce en el continente, que en ocasiones quedaron aislados como lagos 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 (Miller y Smith, 1986). Muchas de estas especies dulceacuícolas existen en la actualidad y otras ya extintas quedaron preservadas en depósitos terciarios del país, incluyendo el estado de Hidalgo.

### Peces mesozoicos de Hidalgo

En gran parte del territorio hidalguense afloran rocas del Cretácico que indican la existencia de los mares someros que cubrieron al país durante millones de años. Hacia la región noroccidental del estado, siguiendo la ruta Actopan-Ixmiquilpan-Zimapán-Jacala, pueden observarse, a los lados de la carretera, las rocas cretácicas de la formación El Doctor *sensu* Wilson *et al.* (1955), cuya litología da evidencia de distintas profundidades del mar que cubrió el estado hace aproximadamente 100 millones de años.

En estas rocas se han recuperado numerosos peces e invertebrados, de los cuales la mayoría representan nuevas especies. Carranza-Castañeda y Applegate (1994) reportaron el primer pez picnodonte de la formación El Doctor en el cerro Los Mendoza (HGO-13), un afloramiento del municipio de Progreso, Hidalgo. Los autores describieron

una placa vomeriana (placa con dientes del paladar de los peces) que no es posible asignar a ninguna especie y se encuentra depositada en la Colección Paleontológica del Instituto de Geología de la UNAM. Los picnodontes fueron peces con cuerpos profundos y delgados, parecidos a los peces ángel que habitan en la actualidad. Abundaron en los arrecifes de coral y bancos de rudistas y su presencia en esta porción de la formación El Doctor sugiere aguas poco profundas de un ambiente arrecifal. Hasta ahora, éste es el único registro de peces en la zona; sin embargo, la localidad no ha sido prospectada a detalle, por lo que es posible que más adelante se encuentre otro tipo de peces o invertebrados.

### La cantera Muhi de Zimapán

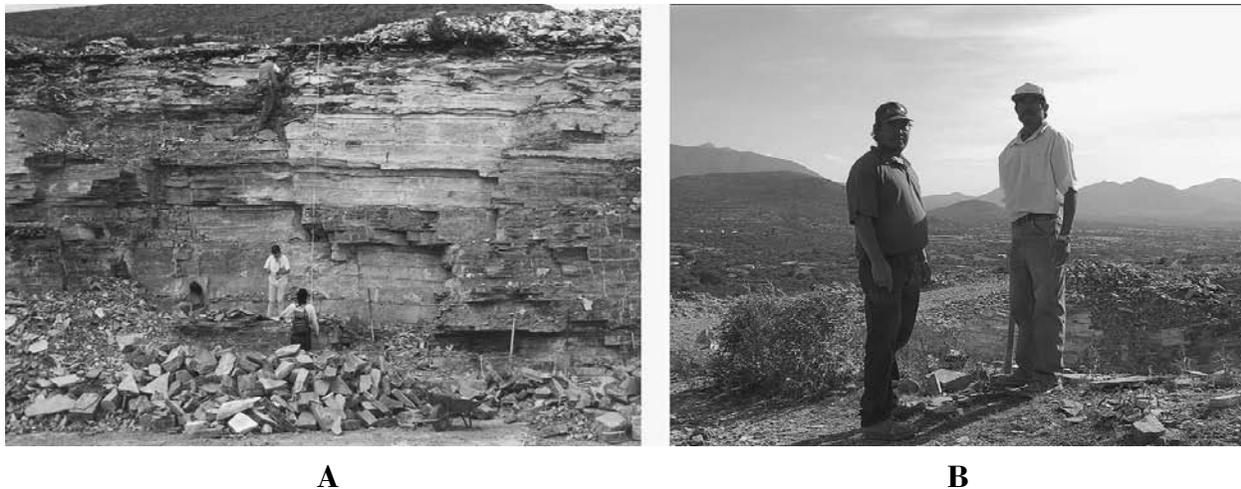
En el año de 1998 se reconoció en el municipio de Zimapán la localidad cantera Muhi (HGO-40), un sitio fosilífero que ha producido y sigue produciendo gran cantidad de invertebrados y especies de peces de hace aproximadamente 90 millones de años, algunos de los cuales se reportan por primera vez en México e incluso en el continente americano.

Zimapán es considerado uno de los distritos mineros más importantes del estado de Hidalgo,

pero su contenido fosilífero no había sido destacado hasta que personal del Instituto de Ciencias de la Tierra de la UAEH reconoció la presencia de peces y la importancia de su descubrimiento en una de las canteras del cerro Muhi. En el cerro existen al menos tres canteras que están siendo trabajadas por la comunidad y es principalmente en una de ellas donde se ha recuperado este valioso material.

La cantera del cerro Muhi (HGO-40), localizada al noreste del poblado de Zimapán (*Figuras 2A, 2B*), es explotada comercialmente por los habitantes del lugar para obtener lajas que son utilizadas en la construcción, cimiento y fachada de casas. Dentro de las lajas se encuentran preservados estos numerosos fósiles, que están depositados en el Museo de Paleontología de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAHMP) y que han sido recolectados a través de varios proyectos de investigación patrocinados por la Universidad.

El afloramiento consiste en una secuencia de alrededor de ocho metros de calizas micríticas de color gris claro, con intercalaciones de nódulos de pederrenal que pertenecen a la formación El Doctor de edad Albiano-Cenomaniano. Ésta es la primera localidad albiano-cenomaniana con peces que se reporta en el país y, por tanto, los organismos fósiles que ahí se



**Figura 2.** A. La cantera del cerro Muhi es explotada comercialmente para la obtención de lajas que se usan en la construcción de casas. Entre las lajas se preservaron los peces e invertebrados cretácicos; B. Trabajadores de la cantera, Ignacio y Sergio Yáñez, quienes participan en el rescate de los fósiles que ahí se encuentran.

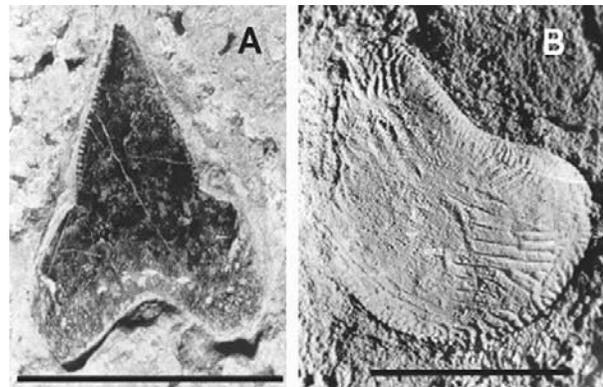
encuentran significan el primer registro de esa edad para México. La cantera se localiza dentro de la provincia geológica Plataforma Valles-San Luis Potosí que incluye los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo (González-Rodríguez y Bravo-Cuevas, 2005; González-Rodríguez *et al.*, 2005).

El conjunto fosilífero comprende calciesferas, miliólidos (foraminíferos), crinoideos planctónicos (comatúlidos), espinas de equinodermos (erizos), amonitas del género *Mortonicerias* sp., crustáceos —que son descritos en el capítulo 5 de este libro—, numerosos coprolitos y otros invertebrados indeterminados (González-Rodríguez, 2002; González-Rodríguez y Bravo Cuevas, 2005; González-Rodríguez *et al.*, 2005). Los peces que ya se encuentran extintos incluyen tiburones, rayas y peces óseos teleósteos (esqueleto totalmente osificado).

Los tiburones están representados por dientes aislados de *Squalicorax* sp. y *Ptychodus* sp. (Figura 3), escamas placoides y algunas vértebras aisladas no identificadas. Éste es el registro más antiguo de ambas especies de tiburones en México, con lo cual se amplía su alcance estratigráfico en el país (González-Rodríguez y Bravo-Cuevas, 2005). También se han encontrado tres ejemplares incompletos de rayas que probablemente pertenecen al orden Rajiformes; sin embargo, aún no se han asignado a un grupo en particular.

*Squalicorax* (Figura 3A) presentaba dientes con la típica forma triangular de los tiburones que viven en la actualidad; sus bordes laterales estaban aserrados, lo que sugiere que era un depredador que probablemente se alimentaba de peces que vivían en el sitio de depósito o cerca de él. Por el contrario, *Ptychodus* (Figura 3B) presentaba dientes trituradores, achatados y con una superficie rugosa, que indican que se alimentaba de organismos con cuerpos duros o cubiertos de conchas como los moluscos (caracoles) y crustáceos (camarones y langostas). Los tiburones reemplazan sus dientes durante toda la vida, por lo que en el registro fósil es común encontrar dientes aislados en vez de esqueletos completos.

Los tiburones más antiguos que se han encontrado en el mundo datan del Devónico, hace aproxi-



**Figura 3.** A. Diente aislado de *Squalicorax* sp.; B. Diente de *Ptychodus* sp., tiburones que fueron depredadores de los peces de la cantera Muhi.

madamente 350 millones de años. El Cretácico fue un periodo de gran éxito para este grupo, pero a finales del mismo se dio una gran extinción que provocó la desaparición de aproximadamente el 70% de las familias de tiburones y el 44% de extinción de las familias de rayas que han existido (Welton y Farish, 1993). En la cantera Muhi se hallan dos de las especies de tiburones ya extintas.

En el este del Mar de Tethys y en el Mar Interior de Norteamérica se han encontrado numerosas localidades con tiburones y rayas; en Texas, por ejemplo, es abundante el número de dientes aislados, espinas y escamas; sin embargo, en la cantera Muhi sólo se ha recuperado un diente de *Squalicorax* y cuatro dientes de *Ptychodus*. Esto no necesariamente significa que no fueran abundantes en Hidalgo, más bien sugiere que hace falta más esfuerzo de recolecta.

Los peces telósteos hasta ahora identificados incluyen lepisosteidos, aspidorrínquidos, ictiodécidos, elopomorfos, paquirizóntidos, clupeomorfos, ictiotrínquidos, decétidos, encodóntidos, halecoídes, euteleósteos, y acantomorfos. Algunos otros, aunque no identificados, constituyen un registro importante para el mundo (Figura 4A).

Esta fauna es similar a la que se presenta en las localidades del Cenomaniano medio de Hakel y Jaula, en Líbano, y a las del Cenomaniano temprano de Ein-Yabrud, Israel, que se hallaban en lo que correspondía al este del Mar de Tethys (González-

Rodríguez y Bravo-Cuevas, 2005; Fielitz *et al.*, 2005; González-Rodríguez *et al.*, 2005). La presencia de peces encodóntidos, ictiotrínquidos y acantomorfos, cuya aparición más temprana en el registro fósil es Cenomaniano temprano, respaldan la asignación de la edad que se ha dado a la cantera.

Los peces aspidorrínquidos, dercétidos, encodóntidos, paquirizóntidos, ictiodécidos y elopomorfos ya habían sido reportados en varias localidades cretácicas de México, pero los peces de la cantera Muhi representan el primer registro Albiano-Cenomaniano del país. Los más de 15 grupos diferentes de peces que se han recolectado hasta ahora en la cantera fueron abundantes en el este del Mar de Tethys durante el Cretácico tardío; sin embargo, las condiciones paleogeográficas de nuestro país permitieron la formación de nuevas especies de peces en Hidalgo.

Hasta ahora, los lepisosteidos de la cantera Muhi están determinados por una cabeza de hocico corto con numerosos dientes. Los representantes actuales son peces con cuerpo y mandíbulas alargados, boca con numerosos dientes en forma de agujas y cuerpo cubierto por fuertes escamas romboides que contienen una sustancia llamada ganoína, la cual les da una apariencia brillante. Existen dos géneros vivientes: *Lepisosteus* y *Atractosteus*, los cuales se conocen con el nombre común de pejelagartos. Actualmente habitan en aguas dulces o salobres poco profundas y se distribuyen en la parte este de Norteamérica, en Centroamérica, Cuba y México, pero en el pasado tuvieron una diversidad y distribución más amplia. El ejemplar de la cantera se parece a otros lepisosteidos de hocico corto que se han encontrado en depósitos marinos más jóvenes del Eoceno de Alemania (comunicación personal, Gloria Arratia, 2008), pero aún no se ha determinado a que género pertenece.

Los aspidorrínquidos eran peces de cuerpo y hocico alargados que presentaban escamas muy largas a los lados del cuerpo. A principios del Mesozoico fueron abundantes en los mares del mundo, pero lograron colonizar ambientes dulceacuícolas. Los registros de agua dulce de finales del Cretácico y principios del Terciario son de los más jóvenes en

Norteamérica (Maisey, 1996). Hasta ahora se ha recolectado un ejemplar incompleto con el cuerpo doblado que significa el registro más joven de México.

Los megalópodos (*Figura 4B*), parientes de los peces conocidos como lisas, tarpones y sábalo, que son muy abundantes en la actualidad, presentan una cabeza ancha con una mandíbula pequeña dirigida hacia arriba, la cual contiene numerosos dientes pequeños y puntiagudos. Estos peces, aunque no muy abundantes en la cantera, están representados también por varios ejemplares adultos y juveniles.

Los paquirizóntidos (*Figura 4C*) comprenden varios ejemplares incompletos de diferentes tamaños, que se caracterizan por exhibir un cuerpo ligeramente ancho, cabeza alargada con una mandíbula delgada y recta con numerosos dientes afilados y escamas muy pequeñas a lo largo del cuerpo. Al menos dos especies diferentes están presentes en la cantera Muhi, aunque no existe ningún ejemplar completo.

Los clupeomorfos (*Figura 4D*) son peces parientes de las sardinas que han sido muy numerosos desde el Cretácico temprano y actualmente habitan tanto ambientes marinos como de agua dulce o salobre. Estos peces presentan una serie de escamas modificadas en forma de escudos en la parte ventral del cuerpo y en algunos casos también en la parte superior, antes de la aleta dorsal. Los clupeomorfos se han reportado en otras localidades cretácicas de México y en la cantera existen representantes de al menos dos especies diferentes que se encuentran bajo estudio.

Los peces ictiodécidos (*Figura 4E*) de la cantera incluyen una cabeza incompleta que Alvarado-Ortega (2005) asignó a la familia Unamichthidae; dos partes del cuerpo aisladas y varios ejemplares casi completos de otra especie indeterminada; y además, dos ejemplares juveniles completos no asignados. En el Mar Interior de Norteamérica, los ictiodécidos estuvieron ampliamente representados por *Xiphactinus*, un enorme depredador que llegó a medir más de cinco metros. Hasta ahora no existe evidencia de su presencia en la cantera Muhi, pero podría ser posible su aparición.

Algunos peces como los ictiotrínidos se reportan por primera vez en el lado oeste del Mar de Tethys, es decir, constituyen el primer reporte en América. Los registros previos de este grupo provienen de Alemania y Líbano. Los ictiotrínidos eran peces con cabeza grande y hocico extremadamente alargado respecto a su cuerpo corto (*Figuras 4F y 4H*). Es de suponerse que este hocico alargado les permitió alimentarse de peces pequeños que vivían en el sitio de depósito, como ocurre con los pejelagartos y peces aguja en la actualidad (Fielitz y González-Rodríguez, 2005). Los ejemplares de la cantera pertenecen a una nueva especie del género *Ichthyotringa*, que fue descrita recientemente por Fielitz y González-Rodríguez (2008) y se denominó *Ichthyotringa mexicana* por su aparición en México.

Otro grupo de peces con hocico alargado son los dercétidos, cuyo cuerpo también es alargado y delgado, muy parecido a los peces aguja. En México ya se había reportado este taxón en depósitos turonianos de Nuevo León (Blanco-Piñón y Alvarado-Ortega, 2006) y de Guerrero (Alvarado-Ortega *et al.*, 2006a); sin embargo, éste es el registro más antiguo para Norteamérica. Los dercétidos se han encontrado en depósitos de Europa, Oeste Medio e incluso Brasil, pero nunca en el Mar Interior de Norteamérica, por lo que sus registros en México son los más norteamericanos de América. En la colección existe un ejemplar adulto incompleto y cinco ejemplares juveniles (*Figura 4J*).

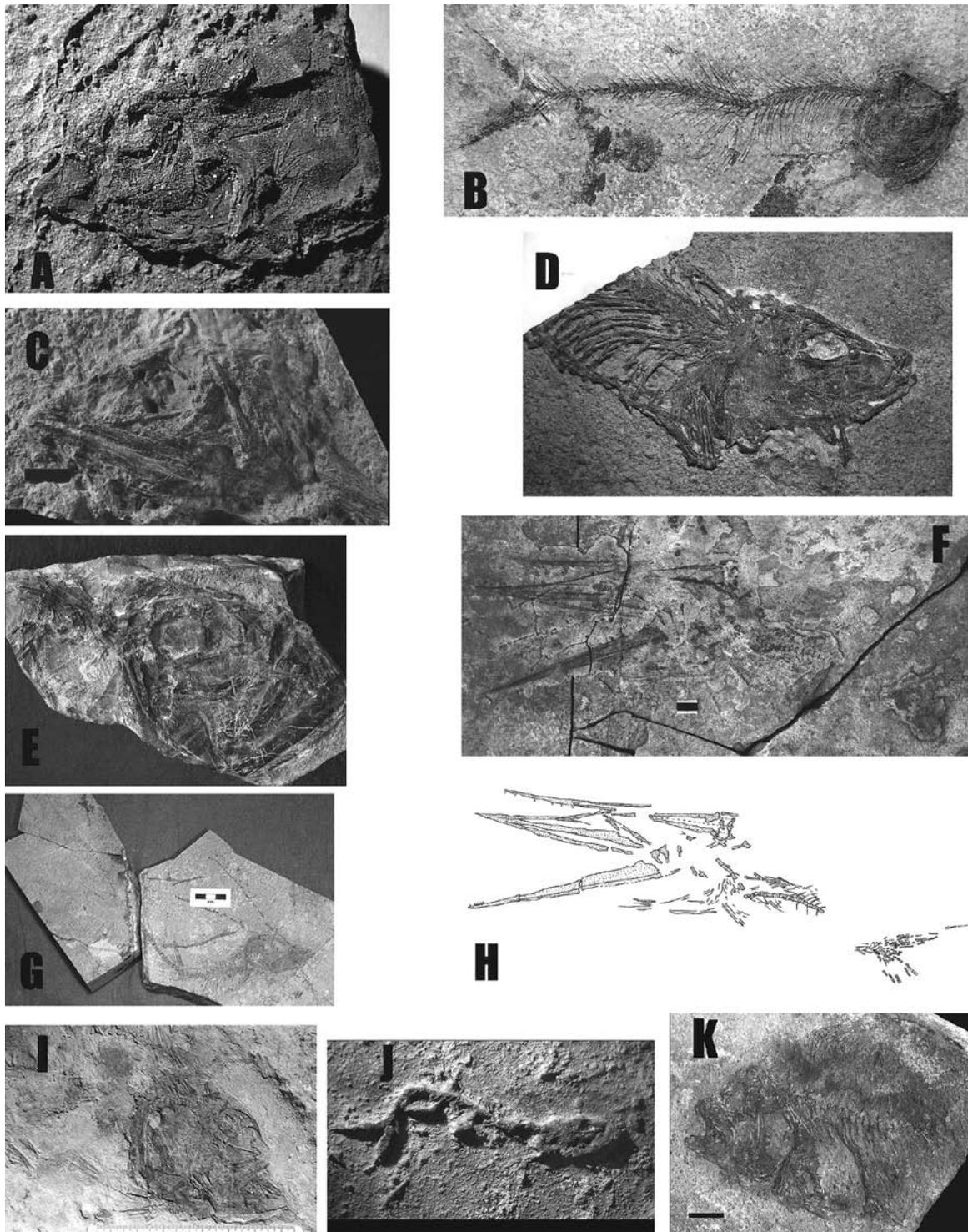
*Enchodus* sp. (*Figura 4G*) es el pez más numeroso y mejor conservado en la cantera. Su cuerpo es extremadamente alargado y delgado, pero no presenta un rostro pronunciado como los peces anteriores. *Enchodus* fue un pez común de los mares del Cretácico y se ha encontrado de manera constante en los depósitos de Europa y Norteamérica. Los ejemplares de la cantera Muhi, que también incluyen organismos juveniles, representan una nueva especie que igualmente está bajo estudio.

Al contrario de *Enchodus*, sólo se ha localizado un par de peces halecoides en la cantera. Los halecoides, al igual que *Enchodus*, pertenecen al grupo

de los encodóntidos, que son peces extintos incluidos en el orden Aulopiformes (Nelson, 2006). Los ejemplares de la cantera son peces de cuerpo ancho (*Figura 4I*) que no presentan las especializaciones de otros peces del grupo, como son los grandes dientes de *Enchodus* o el largo hocico de *Ichthyotringa* (Fielitz y González-Rodríguez, 2008). Los halecoides se han encontrado en otras localidades del Oeste Medio, pero su presencia en la cantera representa el primer registro para Norteamérica.

En la cantera Muhi se han recuperado cinco ejemplares denominados euteleosteos basales. Los euteleosteos son un grupo de peces que se consideran más avanzados que las anguilas, peces gato o mojarras. Existen alrededor de 17,419 especies en este taxón (Nelson, 2006). Hay algunos grupos que se consideran primitivos, como los salmones, peces lucio y peces argentinoides, entre otros. Los peces cretácicos, que son incluidos entre los euteleosteos basales, se han encontrado en Canadá, China, Líbano, Marruecos, Portugal y Sudáfrica (Fielitz, 2002). Son peces relativamente pequeños (6 a 14 cm). Su cuerpo es fusiforme y presentan una pequeña aleta dorsal en la mitad del cuerpo.

Los acantomorfos (*Figura 4K*) de la cantera significan el primer registro de este grupo en México y, por tanto, en el oriente del Mar de Tethys (González-Rodríguez y Fielitz, 2005). Su registro en el Mar Interior de Norteamérica es escaso y las pocas especies que se han localizado son muy diferentes a las de la cantera. Sus parientes actuales son comunes y ocupan prácticamente todos los océanos; existen especies tanto de arrecifes como de aguas profundas. Su cuerpo es generalmente ancho y corto y se caracterizan por presentar fuertes espinas en las aletas. Se han recolectado cinco ejemplares: un adulto y cuatro juveniles, los cuales exhiben una combinación de caracteres primitivos y avanzados que fueron descritos recientemente y pertenecen a una nueva especie denominada *Muhichtys cordobai* (González-Rodríguez y Fielitz, 2008) en honor al ingeniero Diego Córdoba, quien impulsó el desarrollo del trabajo geológico y paleontológico en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.



**Figura 4.** Algunos peces representativos de la cantera Muhi. A. Teleósteo indeterminado con fuertes escudos óseos (UAHMP-1387); B. Megalópido (UAHMP-1063); C. Paquirizóntido (UAHMP-1205); D. Clupeomorfo (UAHMP-2878); E. Ictiodéctido (UAHMP-1255); F; *Ichthyotringa mexicana* Fielitz y González-Rodríguez, 2008 (UAHMP-2067); G. *Enchodus* sp. (UAHMP-679); H. Dibujo de *Ichthyotringa mexicana* Fielitz y González-Rodríguez, 2008 (UAHMP-2067); I. Halecoide (UAHMP-631); J. Ejemplar juvenil asignado a la familia Dercetidae (UAHMP-2167); K. *Muhichthys cordobai* González-Rodríguez y Fielitz, 2008 (UAHMP-2068).

### Significancia de la cantera

La litología de la cantera, así como la presencia de miliólidos y calciesferas en las calizas y de radiolarios en los nódulos de pedernal, sugieren que el ambiente donde se depositaron los organismos de la cantera Muhi corresponde a una cuenca marina abierta. La cuenca en ocasiones recibía aguas provenientes de zonas menos profundas y aguas de mar abierto, las cuales llevaron consigo a la fauna. Algunos peces tal vez permanecieron flotando durante un tiempo, antes de su depósito, pero otros pudieron ser enterrados poco después de su muerte. Esto explicaría la presencia de huesos aislados y de peces completamente articulados (González-Rodríguez *et al.*, 2005).

Las especies de peces de la cantera que se han identificado son diferentes a las que se encuentran en el Mar Interior de Norteamérica, a pesar de que en el Cretácico tardío existió una conexión marina entre México y el centro de Estados Unidos (*Figura 1*). Aunque la mayoría de las familias de peces condriictios y osteictios están presentes en ambas regiones, las especies de peces óseos de Hidalgo parecen ser endémicas de México y muestran mayor afinidad con la fauna oriental del Mar de Tethys, que se desarrolló en la misma latitud y con una temperatura más templada. La gran diversidad de la cantera es muy similar a la de algunas localidades cretácicas de Europa y Asia, pero aún falta mucho por descubrir.

### Peces terciarios de Hidalgo

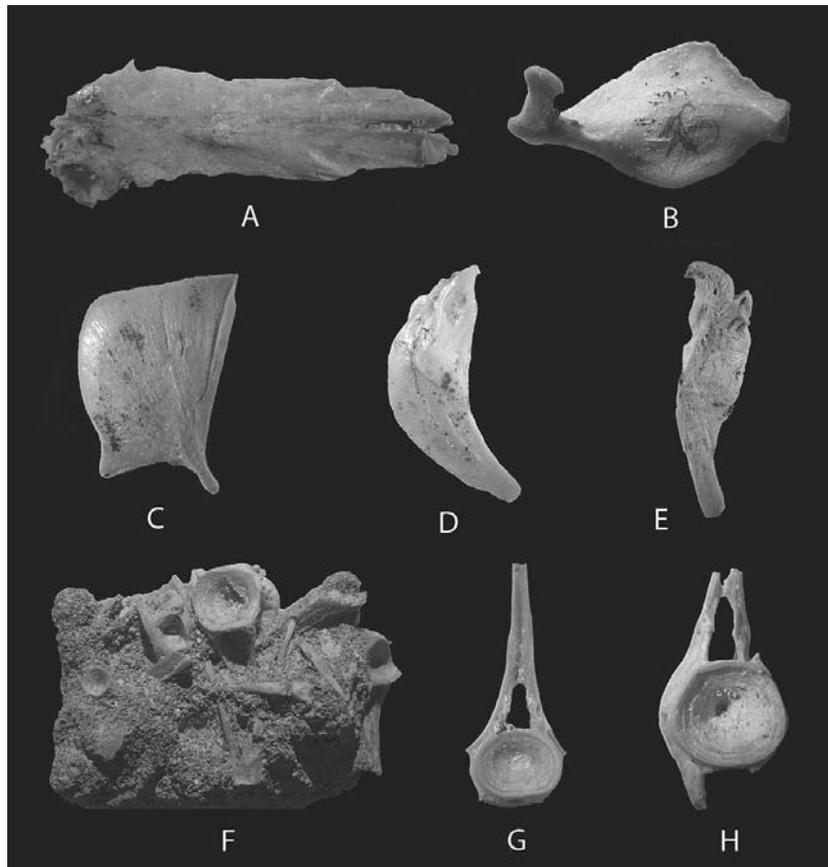
Castillo-Cerón y colaboradores reportaron en 1996 y 1997 la presencia de peces teleósteos en la localidad Potrero Zietla (HGO-2) de la región de Zacualtipán, a la cual le asignaron una edad de Henfiliano temprano (9-7.6 millones de años) por la asociación faunística de mamíferos que presenta. En este sitio se han hallado vértebras aisladas, escamas y numerosos otolitos (huesos del oído) de peces aún no identificados, que corresponden al menos a dos especies diferentes.

Asimismo, en la región de Tula, estos autores reportaron la presencia de vértebras y huesos aisla-

dos de peces en las localidades lacustres de La Cementera (HGO-3) y La Viga de Tula (HGO-4), ambas con una edad pliocénica (1.5 millones de años). Más adelante, Alvarado-Ortega y colaboradores (2006b) reportaron la presencia de *Ictiobus aguileirai* en los depósitos lacustres de los alrededores de Tula de Allende, el cual corresponde al primer registro del género de peces catostómidos (parientes de los peces gato) en México. Los restos fósiles de este taxón incluyen varios huesos del cráneo y del esqueleto axial. En el Museo de Paleontología de la UAEH se encuentran depositados numerosos huesos desarticulados de esta especie (*Figura 5*), que fueron recolectados en la localidad Viga de Tula, así como restos de *Ictalurus* aff. *mexicanus* (bagre), que se encuentran bajo estudio.

En la zona centro-este del estado, Castillo-Cerón y colaboradores (1996) estudiaron varias localidades fosilíferas de la región de Santa María Amajac, al noroeste de la ciudad de Atotonilco el Grande. Los autores reportaron la presencia de mamíferos del Plioceno y Pleistoceno, pero no de peces. Más adelante, Castillo-Cerón reconoció afloramientos con plantas fósiles, invertebrados, peces, anfibios y reptiles en varias localidades de la zona de Santórum, en lo que representa un ambiente lacustre (paleolago) perteneciente a la formación Atotonilco el Grande de edad pliocénica. Este autor mostró los afloramientos a personal de la Facultad de Estudios Superiores de Iztacala y a partir de entonces se han generado varios estudios relacionados con la flora y fauna que ahí se encuentra (Becerra *et al.*, 2002; Reyes y Vázquez, 2003; Becerra-Martínez, 2003; Rodríguez-Becerra, 2004; entre otros). Salvador-Flores (2001) realizó un estudio geológico y estratigráfico del paleolago de Amajac, el cual se formó durante el Plioceno debido al fuerte vulcanismo de la época que provocó cambios topográficos y el cierre temporal del río Amajac y de arroyos adyacentes. Esta cuenca lacustre se formó al mismo tiempo que la Sierra de Pachuca.

Dentro de la secuencia de diez unidades litológicas que describe Salvador-Flores (2001), en la unidad formada por limonitas laminadas con arcillas de



**Figura 5.** Huesos desarticulados de *Ictiobus aguilerai* Alvarado-Ortega *et al.*, 2006b: A. frontal (UAHMP-3023); B. maxilar (UAHMP-3024); C. opérculo (UAHMP-3025); D. preopérculo (UAHMP-3026); E. hiomandíbula (UAHMP-3027); F. huesos incluidos en la roca; G. y H. vértebras aisladas, sin número.

color blanco, es donde se encuentran los peces que pertenecen a la familia Goodeidae. Los goodeidos son peces de agua dulce, endémicos de México, que se distribuyen en el centro del país, principalmente en el sistema Lerma-Santiago (Miller, 2005). Becerra-Martínez (2003) reportó a *Goodea* sp. y probablemente a un nuevo taxón de peces, al estudiar la anatomía de las aletas impares de los ejemplares recolectados en Sanctórum; sin embargo, es necesario llevar a cabo estudios más detallados de su anatomía para establecer su posición taxonómica.

El personal de la Universidad de Hidalgo no ha realizado una recolecta exhaustiva en las localidades de peces de Sanctórum; no obstante, en el Museo de Paleontología de la UAEH se tienen algunos ejemplares de goodeidos. En la Figura 6 puede observar-

se uno de los caracteres diagnósticos del grupo, que es el acortamiento de los primeros seis a ocho radios de la aleta anal, además de la fusión de los huesos que soportan a esta aleta. Es importante realizar un mayor número de recolectas en la zona para hacer un estudio detallado y determinar cuál es la diversidad total de los peces que habitaron el paleolago de Amajac.

### Conclusiones

Hidalgo es un estado con un gran potencial fosilífero de organismos que vivieron tanto en ambientes de agua dulce como marinos. Los peces cretácicos están ampliamente representados en el municipio de Zimapán, dentro de las rocas de la formación



**Figura 6.** Pez goodeido (UAHMP-3022) pliocénico de Sanctórum, en Santa María Amajac, Atotonilco el Grande.

El Doctor, que son explotadas en el cerro Muhi. En una de las canteras del cerro se ha recuperado numeroso material fósil que plasma un panorama de la vida marina en el centro de México, la cual vivió hace aproximadamente 90 millones de años.

Para el Terciario también se tiene el registro de peces dulceacuícolas en varias zonas del estado y debe existir un mayor número de localidades. Los avances que se han logrado hasta ahora en el estudio de estos fósiles son notables; sin embargo, se necesita mayor prospección del territorio para conocer la diversidad total y el ambiente particular donde se depositaron estos animales acuáticos.

Aún falta mucho trabajo por hacer para conocer la diversidad total de peces fósiles de Hidalgo. El material que ya ha sido recolectado y se encuentra depositado en el Museo de Paleontología de la UAEH necesita ser estudiado a detalle, además de

que existen muchas zonas fosilíferas del estado por descubrir.

### Agradecimientos

Agradecemos la participación de los hermanos Sergio e Ignacio Yáñez, trabajadores de la cantera Muhi, en la recolecta del material que encuentran durante la explotación del sitio. Asimismo, a las autoridades de la comunidad de San Pedro, Zimapán, que nos han permitido llevar a cabo diversos estudios en la zona. El rescate y resguardo del material fósil de la cantera Muhi también ha sido posible gracias a varios proyectos de investigación apoyados por la UAEH, entre ellos el Programa Anual Universitario (PAU) y el Programa Anual de Investigación (PAI 2006-2007). Se agradece la preparación y edición de las figuras a la licenciada en Artes Visuales Érika A. Alonzo González.

### Literatura citada

- Alvarado Ortega, J. 2005. Sistemática de los peces ichthyodectiformes de la cantera Tlayúa, Puebla, México. Tesis de doctorado, posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alvarado-Ortega, J., L. Garibay-Romero, A. Blanco-Piñón, G. González-Barba, F. J. Vega y E. Centeno-García. 2006a. Los peces fósiles de la formación Mexcala (Cretácico superior) en el estado de Guerrero, México. *Revista Brasileira de Paleontologia* 9(3): 261-272.
- Alvarado-Ortega, J., O. Carranza-Castañeda y G. Álvarez-Reyes. 2006b. A new fossil species of *Ictiobus* (Teleostei: Catostomidae) from Pliocene lacustrine sediments near Tula de Allende, Hidalgo, Mexico. *Journal of Paleontology*, 80(5):993-1008.
- Becerra-Martínez, C. A. 2003. Estudio anatómico de las aletas impares de los goodeidos fósiles proceden-

- tes de Sanctórum (formación Atotonilco el Grande), Hidalgo. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Becerra-Martínez, C. A., A. F. Guzmán y M. P. Velasco de León. 2002. First fossil record of Goodeidae from Hidalgo State, Mexico. *Memories of II Internacional Symposium on Livebearing Fishes*, Querétaro, México.
- Blanco-Piñón, A. y J. Alvarado-Ortega. 2006. *Rhynchodercetis regio* sp. nov; A dercetid fish (Teleostei: Aulopiformes) from Vallecillo, Nuevo Leon State, Northeastern Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26(3):552-558.
- Carranza-Castañeda, O. y S. P. Applegate. 1994. Primer registro de peces picnodóntidos en el estado de Hidalgo. *Pancromo 23*, Revista de Investigación, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 1(1):56.
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y O. Carranza-Castañeda. 1996. Vertebrados fósiles del estado de Hidalgo / Fossil vertebrates from the state of Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca.
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y O. Carranza-Castañeda. 1997. Vertebrados fósiles del estado de Hidalgo. Colección: Raíces hidalguenses. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y SEP-FOMES, Pachuca.
- Fielitz, C. 2002. A new Late Cretaceous (Turonian) basal euteleostean fish from Lac des Bois of the Northwest Territories of Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39:1579-1590.
- Fielitz, C. y K. González-Rodríguez. 2005. A new ichthyotringoid from the El Doctor Formation (Cretaceous, Albian-Cenomanian), Zimapan, Hidalgo, Mexico. En: F. J. Poyato-Ariza, (ed.). Madrid, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid/UAM Ediciones, p. 91-93.
- Fielitz, C., K. González-Rodríguez y V. Bravo-Cuevas. 2005. Late Cretaceous aulopiforms (Teleostei: Aulopiformes) from the state of Hidalgo, central Mexico. 65<sup>th</sup> Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Mesa, Arizona, USA. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 25(3):56A-57A.
- Fielitz, C. y K. González-Rodríguez. 2008. A new species of *Ichthyotringa* from the El Doctor formation (Cretaceous), Hidalgo, Mexico. En: G. Arratia, H. P. Schultze y M. V. H. Wilson (eds.). *Mesozoic Fishes 4—Homology and Phylogeny*. Verlag Dr. Pfeil, Munchen Germany, p. 373-388.
- González-Rodríguez, K. 2002. Paleoictiofauna de la cantera Muhi en Zimapan, Hidalgo. VIII Congreso Nacional de Paleontología, Sociedad Mexicana de Paleontología. Guadalajara, Jalisco, p. 109.
- González-Rodríguez, K. y V. M. Bravo-Cuevas. 2005. Potencial fosilífero de la cantera Muhi (formación El Doctor: Albiano-Cenomaniano) de la región de Zimapan, estado de Hidalgo. *Paleos Antiguo*, 1:27-42.
- González-Rodríguez, K. y C. Fielitz. 2005. A new species of berycoid from the Late Cretaceous of Muhi Quarry, Hidalgo, Central Mexico. En: F. J. Poyato-Ariza (ed.), *Fourth International Meeting on Mesozoic Fishes—Systematics, Homology, and Nomenclature, Extended Abstracts*. Madrid, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid/UAM Ediciones, p. 109-111.
- González-Rodríguez, K., V. M. Bravo-Cuevas y C. Esquivel-Macías. 2005. A Late Cretaceous locality from the State of Hidalgo, Central Mexico. *Boletim de Resumos. II Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados*. Río de Janeiro, Brasil, Serie Livros, 12:128-129.
- González-Rodríguez, K. y C. Fielitz. 2008. A new species of acanthomorph fish from the Upper Cretaceous Muhi Quarry, Hidalgo, Central Mexico. En: G. Arratia, H. P. Schultze y M. V. H. Wilson (eds.). *Mesozoic Fishes 4—Homology and Phylogeny*. Verlag Dr. Pfeil, Munchen Germany, p. 399-411.
- López-Ramos, E. 1981. *Geología de México: tomo III*. 2<sup>a</sup> edición. Edición escolar, México, p. 353-367.
- Maisey, J. G. 1996. *Discovering fossil fishes*. Westview Press.
- Miller, R. R. 2005. *Fresh water fishes of Mexico*. The University of Chicago Press.
- Miller, R. R. y M. L. Smith. 1986. Origin and geography of the fishes of Central Mexico. In: C. H. Hocutt y E. O. Wiley (eds.). *The zoogeography of Nor-*

- th American Freshwater Fishes. John Wiley and Sons, p. 487-517.
- Nelson, J. S. 2006. Fishes of the world. 4<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons.
- Reyes, T. A. y R. S. Vázquez. 2003. Determinación taxonómica y geoquímica de la concha de ostrácodos fósiles pertenecientes al Plioceno presentes en Sanctórum, Hidalgo, México. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez-Becerra, R. 2004. Estudio tafonómico de los peces del paleolago de Amajac, Hidalgo. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salvador-Flores, R. 2001. Origen, sedimentología y estratigrafía del paleolago de Amajac, Hidalgo. Tesis de Ingeniería Geológica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Smith, A. G., D. G. Smith y B. M. Funnell. 1994. Atlas of Mesozoic and Cenozoic Coastlines. Cambridge University Press.
- Welton, B. J. y R. F. Farish. 1993. The collector's guide to fossil sharks and rays from the Cretaceous of Texas. Library of Congress. Catalog Number: 93-71704.
- Wilson, B. W., J. P. Hernández y E. T. Meave. 1955. Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro, México. Boletín de la Sociedad Geológica de México XVIII(1):1-10.



# Capítulo

## Micromamíferos fósiles

# 7

<sup>1</sup>Jesús Martín Castillo-Cerón y <sup>2</sup>Arturo Palma-Ramírez

<sup>1</sup>Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>2</sup>Posgrado Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

### Resumen

Es muy importante el conocimiento de los micromamíferos fósiles, ya que proporcionan una gran información acerca de microambientes, distribución y conformación de faunas, así como de diversos procesos evolutivos. Como resultado de los trabajos realizados en los sedimentos lacustres y fluviales del Cenozoico del estado de Hidalgo, se tienen quince localidades portadoras de micromamíferos, así como veinte taxones identificados, en los que destacan musarañas, tuzas, ratones, ardillas, conejos y murciélagos, entre otros, con edades que van del Mioceno al Pleistoceno.

### Abstract

Fossil micromammals are very important since they provide a great amount of information about micro-ancient environments, distribution and conformation of faunas, and diverse evolutionary proces-

ses. As a result of diverse works made in lacustrine and fluvial sediments of the Cenozoic from the Hidalgo State, fifteen micro-mammal localities, as well as twenty taxa have been identified, mainly shrews, moles, mice, squirrels, rabbits and bats, with ages that range from Miocene to Pleistocene.

### Introducción

Dentro del grupo de microvertebrados, además de los anfibios, reptiles y aves están los micromamíferos; en este grupo se considera de manera un tanto subjetiva a los mamíferos pequeños, por debajo de los 50 cm y los 45 k. Es decir, en este subgrupo se incluye a los insectívoros, roedores, murciélagos, lagomorfos, mustélidos, prociónidos y marsupiales.

Debido a la información que proporcionan, los micromamíferos juegan un papel sobresaliente en el registro fósil; su desarrollo rápido, su reproducción corta y continua, así como las grandes camadas que pueden llegar a tener, hacen de estos organismos un

excelente objeto de estudio. En ellos es factible encontrar cualquier cambio morfológico, por pequeño que sea, lo que a su vez puede verse reflejado en un muy corto periodo en su descendencia. A veces es posible ver en ellos cambios ambientales, incluso leves; por poner un ejemplo: a lo largo de cien años se suceden cuatro generaciones en los elefantes, mientras que en los roedores puede haber hasta doscientos ochenta.

Varios taxones se encuentran involucrados en la resolución de la problemática que representa el inicio del intercambio faunístico entre América del Norte y América del Sur, el famoso “establecimiento del puente panameño”. Uno de éstos serían los roedores cricétidos, representados en faunas del Henfiliano y del Blancano del centro de México. Este taxón es considerado importante en la biocronología de las conexiones terrestres entre las Américas (Lindsay y Jacobs, 1985; Jacobs y Lindsay, 1984), así como en la definición acerca de cuándo iniciaron la migración hacia América Central y del Sur. Lo anterior es motivo de gran controversia por varios especialistas en el tema. Algunos autores, como Hershkovitz (1962), creen que estos roedores migraron del norte hacia el sur de América hace 20 millones de años (ma); por su parte, Marshall (1985) comenta que este grupo alcanzó América del Sur hace 3 ma. Baskin (1978, 1979, 1986); Jacobs y Lindsay (1981), Czaplewski (1987), Carranza-Castañeda y Walton (1992), Castillo-Cerón (1994), Castillo-Cerón y Carranza-Castañeda (1994), sugieren que estos roedores se diversificaron en América del Norte durante el Plioceno temprano —5.3 ma Henfiliano— y que migraron hacia América del Sur cuando se inició la primera gran incursión de faunas a través del puente panameño hace 4.4 ma. La información dada por los micromamíferos recuperados en las diferentes localidades de la mesa central de México correspondientes al Henfiliano y Blancano, nos da nuevos indicios acerca de la evolución y diversificación de los cricétidos, y de cómo y cuándo este grupo arribó a América del Sur, además de los acontecimientos biológicos y geológicos previos y simultáneos al establecimiento del puente panameño (Carranza-Castañeda, 1991; Carranza-Castañeda y Castillo-Cerón, 1992; Casti-

llo-Cerón, 1994; Castillo-Cerón y Carranza-Castañeda, 1994; Castillo-Cerón *et al.*, 1996).

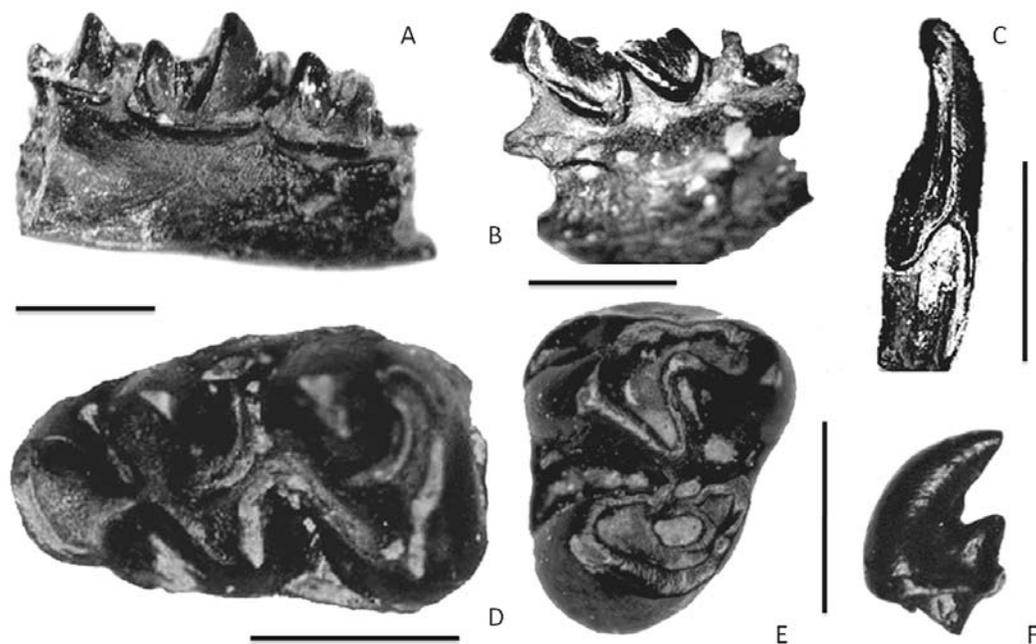
Desde principios de la década de los noventa del siglo pasado, de una manera sistemática y exhaustiva se han realizado diferentes prospecciones paleontológicas en el estado de Hidalgo. En un inicio, éstas se dieron de una manera un tanto sesgada al estudio de los macrovertebrados, pero muy pronto se trabajó con mayor detenimiento en estos grupos, en particular con los mamíferos (Carranza-Castañeda, 1991; Carranza-Castañeda y Castillo-Cerón, 1992). Hasta el momento se tienen quince localidades con restos de micromamíferos: seis del Mioceno, dos del Plioceno y siete pertenecientes al Pleistoceno.

De los veinte taxones identificados por el momento, diez se encuentran a nivel especie, dos conferidos a especie, siete a nivel genérico, pudiéndose dar el caso de que se trate de más de siete especies (lo cual es muy posible) y uno a nivel familia (Carranza-Castañeda y Castillo-Cerón, 1992; Castillo-Cerón, 1994, 1998, 2000a, b, c; Castillo-Cerón y Carranza-Castañeda, 1994, 2002; Castillo-Cerón, *et al.*, 1998, 2002; Cabral-Perdomo y Castillo-Cerón, 1998; Castillo-Cerón y Hernández-López, 2007).

### Paleofauna de micromamíferos

La familia Soricidae está representada en el estado con tres especies. Proveniente de sedimentos palustres correspondientes al Mioceno del área de la cuenca carbonífera de Zacualtipán, se tiene el género *Notiosorex* sp. (Figura 1A-C) (Castillo-Cerón, 1994, 2000b, c). Ya para el Pleistoceno se cuenta con el reporte del género *Cryptotis* sp., de los sedimentos fluviales de Actopan-Ixmiquilpan y Pachuca-Tulancingo. Finalmente está *Sorex saussurei* (Figura 2A), especie que se tratará más adelante, proveniente del área de Huasca de Ocampo (Castillo-Cerón, 2000a).

Como es de imaginarse, los roedores son los mejor caracterizados en las faunas de microvertebrados del estado de Hidalgo, debido a que en la actualidad son el grupo más diverso. Está conformado por cuatro familias, con ejemplares que van del Mioceno al Pleistoceno (Castillo-Cerón, 1994, 2000a, b,



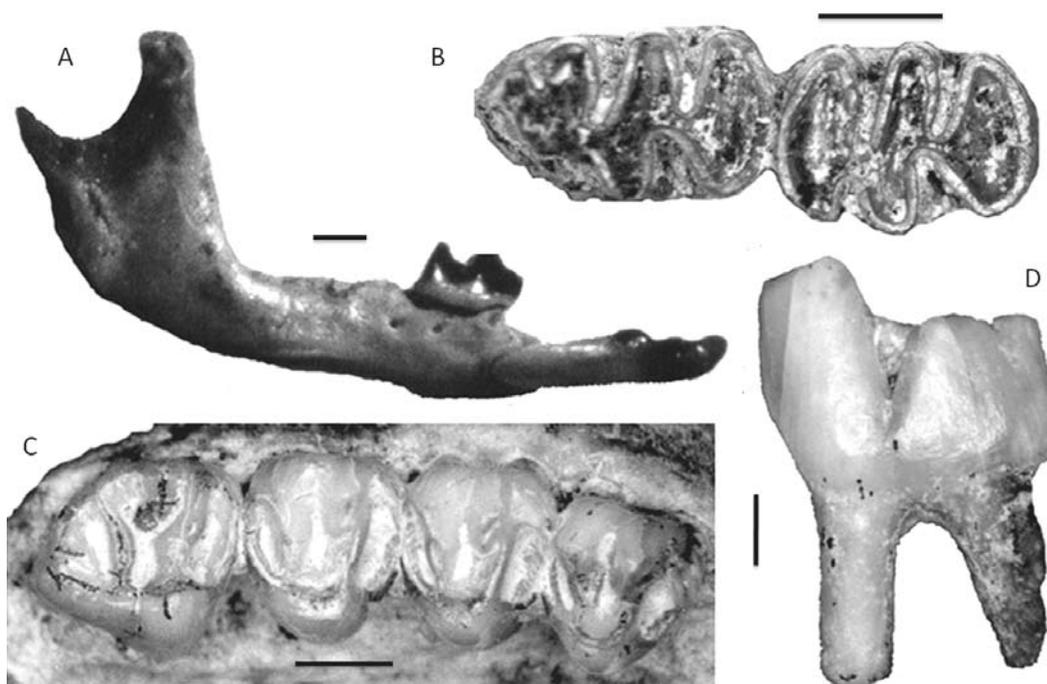
**Figura 1.** A-B. Fragmentos de ramas mandibulares de *Notiosorex* sp. (UAHMP-1501 y UAHMP-1502); C. Incisivo inferior de *Notiosorex* sp. (UAHMP-1519); D. Molariforme aislado de *Peromyscus* sp. (UAHMP-1538); E. Molariforme de un múrido indeterminado (UAHMP-1516); F. Incisivo de un murciélago por determinar (UAHMP-1560). Todos los ejemplares corresponden al Mioceno de Hidalgo.

c). Las tuzas están constituidas por tres especies que provienen de sedimentos fluviales pleistocénicos. *Cratogeomys castanops* y *Cratogeomys* cf. *merriami* se han registrado en las áreas de Actopan-Ixmiquilpan, San Agustín Tlaxiaca y Epazoyucan; mientras que se tienen restos de *Thomomys umbrinus* para la zona de Actopan (Cabral-Perdomo y Castillo-Cerón, 1998; Castillo-Cerón *et al.*, 1996, 1998).

Dentro de los roedores, la familia Muridae es la mejor representada. Se tienen tres roedores (*Figura 1D-E*, *Figura 3A-C*) del Mioceno del área de Zacualtipán: *Neotoma* sp. (*Figura 2B*), *Peromyscus* sp. y *Reithrodontomys* sp., las cuales están en proceso de comparación y asignación taxonómica definitiva (Castillo-Cerón, 2000b, c; Castillo-Cerón *et al.*, 1996, 2002). Para el Plioceno de las áreas de Amajac e Ixmiquilpan se tiene a *Baiomys taylori* y a *Peromyscus* sp. Del Pleistoceno se cuenta con los registros de *Hodomys alleni*, *Neotoma mexicana*, *Neotoma* sp. y *Peromyscus* sp., provenientes de las áreas de Actopan-

Ixmiquilpan, San Agustín Tlaxiaca y Pachuca-Tulancingo (Castillo-Cerón, 2000a). Los sigmodóntidos están presentes con *Calomys* sp. y *Sigmodon* sp. en el Mioceno de Zacualtipán. En el Plioceno de Amajac se ha registrado a *Sigmodon* sp., y para el Pleistoceno de Actopan se tiene a *Sigmodon hispidus* (Castillo-Cerón, 2000a, b, c). El perrito de las praderas, *Cynomys mexicanus*, es registrado en el área de Actopan (*Figura 2C*). Asimismo, la ardilla *Spermophilus* cf. *variegatus* es mencionada en el Pleistoceno de Actopan y Epazoyucan (*Figura 2D*). Ambos organismos son constituyentes de la familia Sciuridae (Castillo-Cerón, 2000a).

Se tiene el registro de los lagomorfos (conejos) *Sylvilagus audubonii* y *Sylvilagus floridanus* como constituyentes de las faunas de Actopan, San Agustín Tlaxiaca y Epazoyucan (Cabral-Perdomo y Castillo-Cerón, 1998). Finalmente, se cuenta con el registro de un murciélago (*Figura 1F*, *Figura 3D-E*), todavía por determinar, del Mioceno del área de Zacualtipán (Castillo-Cerón, 1994, 1998, 2000b, c).



**Figura 2.** A. Rama mandibular de *Sorex saussurei* (UAHMP-1622); B. Molariformes inferiores de *Neotoma* sp. (UAHMP-1637); C. Fragmento de maxila de *Cynomys mexicanus* (UAHMP-1639); D. Molariforme aislado de *Spermophilus* cf. *variegatus* (UAHMP-1632). Todos los ejemplares corresponden al Pleistoceno de Hidalgo.

### Estudio de caso: *Sorex saussurei*, una interesante historia sucesional

Jesús Martín Castillo-Cerón<sup>1</sup>

Sergio Daniel Hernández-Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>2</sup>Posgrado Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

La reconstrucción de asociaciones faunísticas en un espacio y tiempo horizontal (ecológico), así como el intercambio de las mismas en un espacio y tiempo vertical (geológico), son factores importantes para conocer y entender la conformación y distribución actual de las faunas de mamíferos. El caso de micromamíferos es todavía más complejo, ya que el tamaño dificulta enormemente su detección en el registro fósil, desde el momento de la muerte y enterramiento, pasando por el proceso de fosilización y terminando con la exposición y recuperación del material.

El registro de microvertebrados es, la mayoría de las veces, un tanto fortuito, ya que casi siempre los macromamíferos se recuperan primeramente y los microvertebrados van como “acompañantes” (a veces sin notarse) en el sedimento portador. El trabajo en paleontología resulta siempre un tanto anecdótico, sea por la localización, la preparación o la identificación de los fósiles recolectados. En el caso del material de micromamíferos mencionado en este apartado es muy interesante saber cómo fue localizado cada uno de los ejemplares.

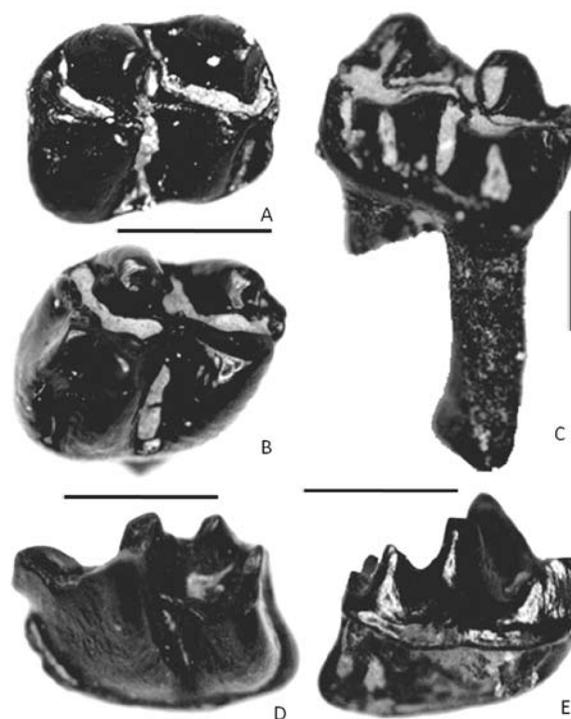
En primera instancia, durante el desarrollo de la tesis de licenciatura del segundo autor, se recolectó una egagrópila (restos de alimento, como pelo y huesos) de lechuga en los alrededores de la población de El Chico, en el estado de Hidalgo. Este material estaba conformado por dos ramas mandibulares y varios elementos post-craneales aislados, que fueron identificados como pertenecientes a *Sorex saussurei*. Cerca del sitio de recolecta hay sedimentos portadores de material fósil correspondientes al Pleistoceno, de los

que ya se contaba con la rama mandibular de una musaraña (*Figura 2A*). Aunque hasta ese momento no se había determinado a nivel específico, con ayuda del material reciente fue asignado también como perteneciente a *Sorex saussurei*.

En el área del rancho Santa Elena, en el municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo, se recolectó en el año 2003 una musaraña, que fue asignada a *Sorex saussurei*. Tomando en cuenta el material fósil de El Chico, se procedió a buscar sedimentos portadores, en los que se lograron recuperar molariformes aislados correspondientes a una musaraña también identificada y asignada a la especie *Sorex saussurei*.

Finalmente, con estos resultados halagadores, se realizó un trampeo de caída para capturar un insectívoro reciente en las cercanías de Los Guajolotes, ya que de los sedimentos fosilíferos cercanos se contaba también con la presencia de varios elementos craneales y molariformes aislados correspondientes a *Sorex saussurei*. Por fortuna, al segundo día de recolecta cayó en una trampa la musaraña que esperábamos: un ejemplar de *Sorex saussurei*.

Éste es uno de los primeros casos documentados de que, si se identifican primero insectívoros fósiles, después se buscan sedimentos pleistocénicos portadores de insectívoros y finalmente se revisan ejemplares actuales, puede demostrarse ampliamente que desde el Pleistoceno hasta el presente se encuentra la presencia continua de *Sorex saussurei*, al menos en el área de estudio que abarcó este escrito.



**Figura 3.** A-B. Molariformes de *Peromyscus* sp. (UAHMP-1540 y UAHMP-1541); B. Molariforme de *Reithrodontomys* sp. (UAHMP-1550); D-E. Molariformes de murciélagos por determinar. Todos los ejemplares corresponden al Mioceno de Hidalgo.

En la actualidad se está trabajando en un manuscrito científico formal para dar a conocer este insólito asunto de sucesión faunística, que en esta ocasión es un caso de distribución vertical y horizontal (geológica-ecológica), dado por la misma especie.

## Literatura citada

- Baskin, J. A. 1978. *Bensonmys*, *Calomys* and the origin of the Phyllotine group of Neotropical Cricetines (Rodentia: Cricetidae). *Journal of Mammalogy*, 50:125-135.
- Baskin, J. A. 1979. Small mammals of the Hemphillian age White Cone local fauna, northeastern Arizona. *Journal of Paleontology*, 53:695-708.
- Baskin, J. A. 1986. The Late Miocene radiation of Neotropical sigmodontine rodents in North America, En: K. M. Flanagan y J. A. Lillegraven (eds.). *Vertebrates, phylogeny and philosophy*. University of Wyoming, Contributions to Geology Special Papers, 3:287-303.
- Cabral-Perdomo, M. A. y J. M. Castillo-Cerón. 1998. Primer reporte de la mastofauna pleistocénica del área de Epazoyucan, estado de Hidalgo. VI Congreso Nacional de Paleontología, Sociedad Mexicana de Paleontología. Amoxcalli, Facultad de Ciencias UNAM, p. 14.

- Carranza-Castañeda, O. 1991. Vertebrados fósiles del Terciario tardío del estado de Hidalgo. Memoria de la Convención sobre la Evolución Geológica de México, 23-27 junio, Pachuca, Hidalgo, p. 23-24.
- Carranza-Castañeda, O. y J. M. Castillo-Cerón. 1992. Vertebrados fósiles del Mioceno tardío, de Zietla, Hidalgo. XI Convención Geológica Nacional, Veracruz, México, Sociedad Geológica Mexicana, p. 40.
- Carranza-Castañeda, O. y A. Walton. 1992. Cricetid rodents from the Rancho El Ocote fauna, Late Hemphillian (Pliocene), Guanajuato, México. *Revista del Instituto de Geología*, 10(1):71-93.
- Castillo-Cerón, J. M. 1994. Bioestratigrafía de los sedimentos continentales del área de Zacualtipán (Mioceno tardío), estado de Hidalgo, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Castillo-Cerón, J. M. 1998. Mastofauna miocénica del noroeste del estado de Hidalgo. IV Congreso Nacional de Mastozoología, Asociación Mexicana de Mastozoología, AC, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, AC. Xalapa Veracruz, México. s/p.
- Castillo-Cerón, J. M. 2000a. Bioestratigrafía de las localidades con vertebrados pleistocénicos de los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala. VII Congreso Nacional de Paleontología, Sociedad Mexicana de Paleontología. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, s/p.
- Castillo-Cerón, J. M. 2000b. Late Tertiary vertebrates from Hidalgo, Mexico. 31<sup>st</sup> International Geological Congress, Río de Janeiro, Brasil.
- Castillo-Cerón, J. M. 2000c. Fossil vertebrates from the Miocene of Hidalgo, Mexico. 60<sup>th</sup> Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Mexico, p. 34.
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y V. Bravo-Cuevas. 2002. Microvertebrados fósiles del Mioceno tardío del estado de Hidalgo. Guadalajara, México, VIII Congreso Nacional de Paleontología. Sociedad Mexicana de Paleontología.
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y O. Carranza-Castañeda. 1996. Vertebrados fósiles del estado de Hidalgo / Fossil Vertebrates from the State of Hidalgo. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Castillo-Cerón, J. M. y O. Carranza-Castañeda. 1994. Primer registro fósil de la familia Anguidae (Reptilia: Lacertilia), en Actopan, Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. *Revista de Investigación Pancromo*, 23(1):19-25.
- Castillo-Cerón, J. M. y O. Carranza-Castañeda. 2002. Vertebrados fósiles del Henfiliano del estado de Hidalgo, México. Santiago de Chile, 1er Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados. Sociedad Paleontológica de Chile.
- Castillo-Cerón, J. M., O. Carranza-Castañeda y M. A. Cabral-Perdomo. 1998. Vertebrados cenozoicos del estado de Hidalgo. VI Congreso Nacional de Paleontología, Sociedad Mexicana de Paleontología. Facultad de Ciencias UNAM, p. 17.
- Castillo-Cerón, J. M. y R. Hernández-López. 2007. Colección de microvertebrados. En: J. M. Castillo-Cerón y J. Márquez-Luna (eds.). Colecciones del Centro de Investigaciones Biológicas. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, p. 81-86.
- Czaplewski, N. J. 1987. Sigmodont rodents (Mammalia: Muroidea: Sigmodontinae) from the Pliocene (Early Blancan) Verde formation, Arizona. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 7:183-199.
- Hershkovitz, P. 1962. Evolution of Neotropical cricetine rodents (Muridae), with special reference to the Phyllotine group-Fieldiana. *Zoology*, 46:1-524.
- Jacobs, L. L. y H. E. Lindsay. 1981. *Prosigmodon oroscoi*, a new sigmodont rodent from the Late Tertiary of Mexico. *Journal of Paleontology*, 55(2):425-430.
- Jacobs, L. L. y H. E. Lindsay. 1984. Holartic radiation of Neogene muroid rodents and the origin of South American cricetids. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 4:265-272.
- Lindsay, H. E. y L. L. Jacobs. 1985. Pliocene small mammal fossils from Chihuahua. *Paleontología Mexicana*, 51:1-59.
- Marshall, L. G. 1985. Geochronology and Land-Mammal biochronology of the transamerican faunal interchange. In: F. Stehli y S. D Webb (eds.). *The Great American Biotic Interchange*, p. 49-78.

# Capítulo

# 8

## La megafauna del Pleistoceno

<sup>1</sup>Victor Manuel Bravo-Cuevas, <sup>1</sup>Miguel Ángel Cabral-Perdomo,

<sup>2</sup>Elizabeth Ortiz-Caballero y <sup>2</sup>Jaime Priego-Vargas

<sup>1</sup>Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>2</sup>Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

### Resumen

El Pleistoceno está ampliamente representado en México por un gran número de sitios en donde se han rescatado ejemplares fósiles de megamamíferos. El estudio de estos ejemplares ha contribuido a la reconstrucción de la biodiversidad que existió en Norteamérica durante los dos millones de años recientes. En particular, en las localidades fosilíferas del centro del país se han recuperado restos de organismos que testifican el gran intercambio faunístico que se llevó a cabo entre los dominios Neártico y Neotropical. Por su situación geográfica, el estado de Hidalgo es una de las mejores áreas para encontrar este tipo de evidencias paleontológicas; las investigaciones que se han realizado sobre el particular indican que en el territorio hidalguense existió una importante fauna de mamíferos de gran talla, que en su mayoría se encuentra extinta actualmente.

### Abstract

Mexican Pleistocene is well exposed in a great number of localities where mega-mammal fossil have been found. The study of these specimens has contributed to the reconstruction of the North American biodiversity that existed during the last two million years. Particularly in Central Mexico, remains of these mammals have been recovered, and they testify the great faunal interchange between the Nearctic and Neotropical Domains. Due to its geographical situation, the state of Hidalgo is one of the best areas to find those kinds of paleontological evidence, and the researches done on this matter show that a very important mega-mammal fauna existed in the state, most of it extinct today.

### Introducción

El Pleistoceno es un periodo geológico que va de los 1.8 millones de años a los 10,000 años antes del pre-

sente (Bell *et al.*, 2004), durante el cual ocurrió una serie de cambios climáticos estacionales y cíclicos (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2002) caracterizados por épocas de enfriamiento intenso, intercaladas por elevaciones de temperatura que establecieron cuatro periodos glaciares y tres interglaciares respectivamente (Kurtén y Anderson, 1980; Prothero, 2006). La biota que se conoce de este segmento temporal es muy parecida a la actual; sin embargo, se distinguió por la presencia de mamíferos terrestres que desarrollaron una gran talla, los cuales se reconocen tradicionalmente con el término de megafauna, tal es el caso de los mamutes, mastodontes, tigres dientes de sable, perezosos terrestres y muchas otras formas que fueron comunes en los hábitats de Norteamérica, Asia y Europa. Asimismo, durante este periodo ocurrió la evolución y expansión de nuestra especie, *Homo sapiens*, la cual para finales del Pleistoceno prácticamente se había extendido a todo el planeta (Kurtén y Anderson, 1980).

### El Pleistoceno de México

En la república mexicana se conocen numerosos depósitos sedimentarios pleistocénicos de origen fluviolacustre, de los cuales se ha recuperado una muestra importante de restos óseos fosilizados pertenecientes a diferentes taxones de mamíferos. La literatura sobre los vertebrados continentales del Pleistoceno de México es enorme; sin embargo, la mayoría de los reportes sólo incluyen listados faunísticos (cf. Castillo, 1869; Alvarez, 1965; Hibbard, 1955; Mooser y Dalquest, 1975; Carranza-Castañeda y Miller, 1984, 1987; Barrios-Rivera, 1985) y, por tanto, existe poca información acerca de la descripción, comparación y asignación taxonómica de las especies consideradas. La base factual disponible indica que el material referido a grupos de la megafauna es el más común en comparación con el de otras formas de talla pequeña a mediana (Montellano-Ballesteros y Jiménez-Hidalgo, 2006).

Se conocen localidades con restos de megafauna pleistocénica a todo lo largo y ancho del territorio nacional; sin embargo, la mayor parte de la evidencia

procede de áreas que se circunscriben al centro de México en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, México, Jalisco y el Distrito Federal (Ferrusquía-Villafranca, 1978; Carranza-Castañeda y Miller, 1984). Con relación a esto, la ausencia de control estratigráfico de los niveles portadores, el desconocimiento de la localización precisa de los sitios de estudio, así como el escaso análisis geocronológico de las secuencias sedimentarias fosilíferas, restringe el estudio paleobiológico detallado del registro correspondiente a los vertebrados terrestres de gran talla, así como de otros grupos de mamíferos.

### El Pleistoceno de Hidalgo

Para el estado de Hidalgo, es escaso el estudio paleontológico de sedimentos pleistocénicos y su fauna fósil asociada (cf. Villarelo y Bosë, 1902; Freudenberg, 1910, 1922; Mülleried, 1939; Maldonado-Koerdell, 1948). Los primeros reportes acerca de la existencia de megafauna pleistocénica hidalguense datan de principios del siglo XX. Una de las primeras evidencias incluye ejemplares dentales pertenecientes a mastodontes y caballos referidos a las especies *Mastodon shepardii* y *Equus excelsus* respectivamente, los cuales se recuperaron de sedimentos ubicados en las cercanías de Atotonilco el Grande (Villarelo y Bosë, 1902). Posterior a este hallazgo, se reportó la existencia de restos de mamut y un armadillo gigante procedentes de sitios en las inmediaciones de Actopan (Mülleried, 1939), así como material de un mastodonte asignado a *Mastodon oligobunis* recuperado al noreste del estado de Hidalgo (Maldonado-Koerdell, 1948).

A principios de la última década del siglo XX, un grupo de paleontólogos del Museo de Paleontología de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo inició una nueva etapa en la prospección y rescate de restos fósiles en diversas regiones de la entidad. El trabajo paleontológico realizado a la fecha ha permitido recuperar alrededor de 350 ejemplares pertenecientes a algún grupo de megafauna, procedentes de más de 40 localidades ubicadas en las siguientes cinco áreas del territorio hidalguense:

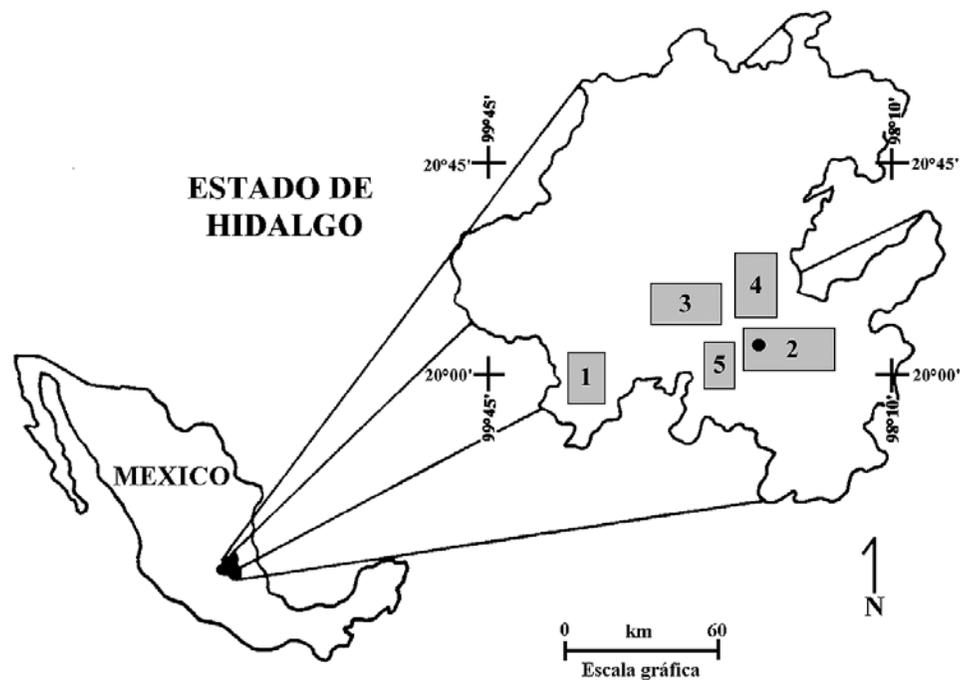
1) Tula, rincón suroccidental; 2) Pachuca-Tulancingo, extremo noreste de la cuenca de México; 3) Actopan-Ixmiquilpan; 4) Santa María Amajac; y 5) San Agustín Tlaxiaca, en la región centro-meridional (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Bravo-Cuevas, 2001, 2002) (Figura 1).

De lo anterior se sigue que el estado de Hidalgo alberga numerosos depósitos sedimentarios pleistocénicos con restos de megafauna, cuyo registro documenta parte de la biota terrestre que habitó el territorio hidalguense los recientes dos millones de años, así como aporta información relevante acerca de la taxonomía, ecología, evolución y patrones de distribución de diversos grupos de vertebrados de gran talla. Aunado a esto, la información derivada del estudio paleobiológico, de la base de datos disponible, contribuye al entendimiento de las interrelaciones existentes entre los cambios ambientales naturales y aquellos inducidos por el hombre, que condujeron a la configuración de las comunidades que actualmente habitan el centro de México.

### Los mamíferos de gran talla del Pleistoceno de Hidalgo

El término megafauna (del griego *mega*, grande) se emplea en paleontología para designar a vertebrados terrestres de gran talla con una altura mínima de 0.5 m y peso superior a los 45 k. Las especies incluidas en esta categoría fueron un componente importante de la biota terrestre pleistocénica, cuya interacción influyó en procesos ecológicos relacionados con el control de las poblaciones de herbívoros, así como en la distribución de plantas y nutrientes en el suelo (Donlan, 2007).

La megafauna de México comenzó a integrarse hace aproximadamente 1.9 millones de años mediante la inmigración de grupos procedentes de regiones septentrionales (v.gr. bisontes) y meridionales (v.gr. perezosos terrestres), que testifican un evento evolutivo importante conocido como el gran intercambio faunístico (Stehli y Webb, 1985). Durante el Pleistoceno el territorio nacional ya había adquirido



**Figura 1.** Mapa índice de las principales áreas del estado de Hidalgo que albergan localidades fósiles con restos de megafauna: 1) Tula, rincón suroccidental; 2) Pachuca-Tulancingo, extremo noreste de la cuenca de México; 3) Actopan-Ixmiquilpan; 4) Santa María Amajac; y 5) San Agustín Tlaxiaca, en la región centro-meridional. El punto indica la capital del estado, Pachuca.

su posición geográfica intertropical actual, así como su complicada fisiografía y un clima de templado a cálido tropical (González-Medrano, 1998). En particular, el centro de México se establece como la zona de confluencia de las regiones templadas septentrionales (dominio neártico) y tropicales meridionales (dominio neotropical), cuyas condiciones ambientales permitieron el desarrollo de una amplia gama de ambientes, como llanuras, bosques, selvas y praderas. La gran diversidad de hábitats y recursos disponibles permitió el establecimiento y permanencia de numerosos grupos de mamíferos, fundamentalmente de aquellos incluidos en la megafauna.

La megafauna pleistocénica hidalguense incluye especies de hábitos carnívoros y herbívoros, siendo estas últimas las más diversas y abundantes. Desde un punto de vista taxonómico se tienen cinco grupos ordinales que representan 13 familias y al menos 14 especies (Tabla 1). Aunado a esto, la evidencia disponible incluye alrededor del 40% de las familias de mamíferos de gran talla que se conocen en México y Norteamérica en conjunto.

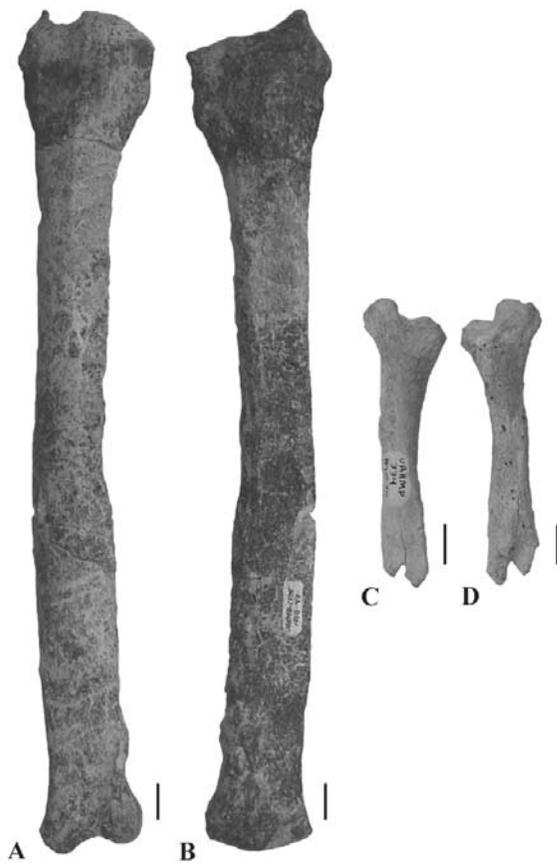
### La megafauna carnívora

El material perteneciente a formas carnívoras es escaso y fragmentario (Figura 2) y procede de localidades fosilíferas en las áreas Pachuca-Tulancingo y San Agustín Tlaxiaca. El análisis taxonómico de la muestra indica la presencia de un radio derecho cuya morfología y tamaño permiten adscribirlo confiablemente a la especie *Canis dirus* (Bravo-Cuevas, 2001, 2002), conocida coloquialmente como lobo prehistórico, la cual fue bastante común en el Pleistoceno de Norteamérica (Kurtén y Anderson, 1980; Anderson, 1995). Por otra parte, se tiene el extremo distal de una tibia derecha con una configuración y dimensiones cercanas a la de elementos pertenecientes a un lince (Cabral-Perdomo, 2001), misma que constituye la evidencia más austral de félidos en la república mexicana, dado que la mayor parte de su registro procede de localidades del norte del país, particularmente del estado de Nuevo León (Arroyo-Cabrales y Johnson, 1995). La muestra hidalguense representa alrededor del 10% de los carnívoros de

Tabla 1. Registro de la megafauna pleistocénica del estado de Hidalgo, centro de México

Orden	Familia	Género y especie	Nombre común	Área fosilífera
Carnívora	Canidae	<i>Canis dirus</i>	Lobo prehistórico	5
	Felidae	? <i>Lynx</i> sp.	Lince	2
Artiodactyla	Tayassuidae	<i>Platygonus</i> sp.	Jabalí	1, 4
	Camelidae	<i>Hemiauchenia</i> cf. <i>H. macrocephala</i>	Llama	2, 5
		<i>Camelops</i> cf. <i>C. hesternus</i>	Llama gigante	2, 5
	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	5
	Bovidae	<i>Bison</i> sp.	Bisonte	2, 5
<i>Ovis canadensis</i>		Borrego cimarrón	2	
	Antilocapridae	<i>Stockoceros conklingii</i>	Berrendo	5
Perissodactyla	Equidae	<i>Equus conversidens</i>	Caballo mexicano	1, 2, 3, 4, 5
Proboscidea	Gomphotheridae	<i>Cuvieronius</i> sp.	Gonfoterio	4, 5
	Mammutidae	<i>Mammut americanum</i>	Mastodonte	2, 3
	Elephantidae	<i>Mammuthus</i> sp.	Mamut	4, 5
Xenarthra	Glyptodontidae	<i>Glyptotherium floridanum</i>	Armadillo gigante	2, 5
	Paramylodontidae	<i>Paramylodon harlani</i>	Perezoso terrestre	4, 5

Áreas fosilíferas: 1. Tula; 2. Pachuca-Tulancingo; 3. Actopan-Ixmiquilpan; 4. Santa María Amajac; 5. San Agustín Tlaxiaca.



**Figura 2.** Ejemplares representativos de la megafauna carnívora del Pleistoceno de Hidalgo. Cánidos: Vista anterior (A) y posterior (B) del radio derecho del lobo prehistórico *Canis dirus* (UAHMP-1104). Félidos: Vista anterior (C) y posterior (D) del extremo distal de una tibia de linco ?*Lynx* sp. (UAHMP-334).

gran talla que se conocen del subcontinente norteamericano.

### La megafauna herbívora

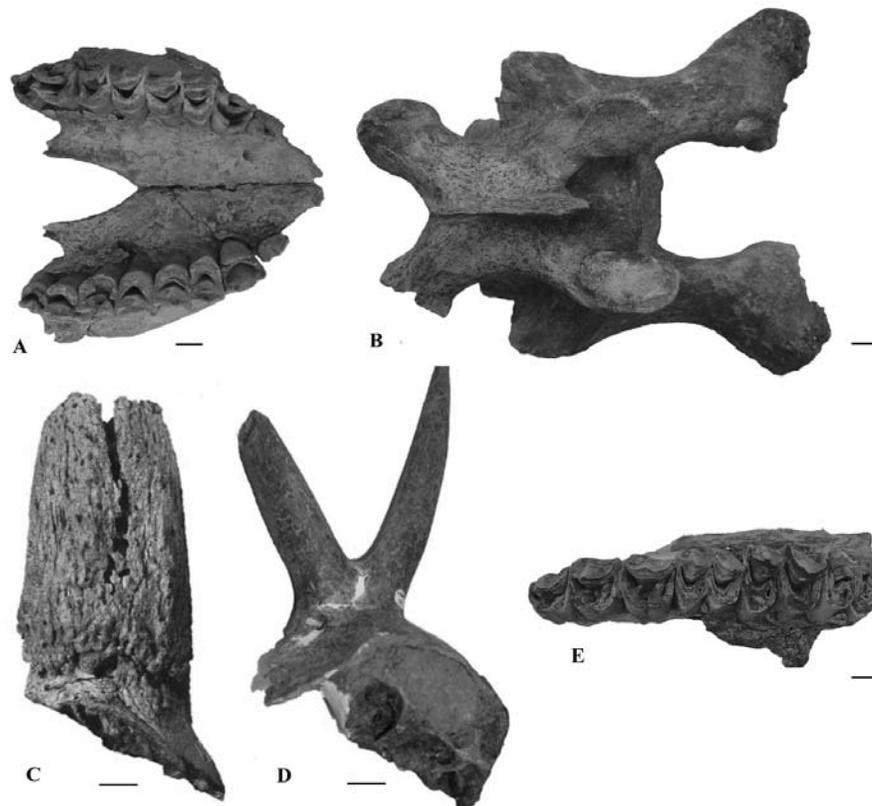
Las formas herbívoras fueron las más diversas y abundantes (Figuras 3 y 4) e integraron aproximadamente el 85% de la megafauna del estado de Hidalgo. El registro incluye artiodáctilos, perisodáctilos, proboscidios y xenartros, cuya evidencia procede de una buena parte de las localidades fosilíferas que se conocen en el territorio hidalguense.

Los artiodáctilos (ungulados de extremidades con número par de dedos) fueron los herbívoros

más diversos, entre ellos los jabalíes, camélidos, venados, berrendos y bisontes (Figura 3). El material de jabalíes es escaso e incluye algunos dientes aislados y mandíbulas, procedentes de sitios de las áreas Tula y Santa María Amajac; aunado a esto, el patrón oclusal de los molares permite asignar los ejemplares dentales al género *Platygonus* (Castillo-Cerón *et al.*, 1996). Los restos pertenecientes a camélidos son de las áreas Pachuca-Tulancingo y San Agustín Tlaxiaca (Bravo-Cuevas, 2001, 2002; Cabral-Perdomo, 2001), con una muestra integrada por dientes aislados, fragmentos craneales, vértebras, así como elementos de las extremidades, cuyo análisis taxonómico permitió reconocer dos especies diferentes de llamas: *Camelops* cf. *C. hesternus* y *Hemiauchenia* cf. *H. macrocephala* (Cabral-Perdomo, 2001; Cuevas-Ruiz, 2005).

El resto de los artiodáctilos son formas que desarrollaron cornamenta. Es el caso de los cérvidos, representados por un fragmento maxilar con la serie dental completa de un venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), recuperada del área San Agustín Tlaxiaca (Bravo-Cuevas, 2001, 2002; Bravo-Cuevas y Cabral-Perdomo, 2002); dientes aislados y el núcleo del cuerno de un bisonte (*Bison* sp.), procedentes de localidades en las áreas Pachuca-Tulancingo y San Agustín Tlaxiaca; y el cráneo parcial de un berrendo (*Stockoceros conklingii*), también de la última área mencionada (Cabral-Perdomo, 2001; Bravo-Cuevas, 2001, 2002). El registro hidalguense evidencia alrededor del 40% de las especies conocidas en Norteamérica.

Los ungulados de extremidades con dígitos impares, es decir, los perisodáctilos, fueron poco diversos e incluyeron únicamente équidos de la especie *Equus conversidens*, conocida comúnmente como caballo mexicano (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Bravo-Cuevas *et al.*, 2003). El material perteneciente a esta forma es sumamente abundante en comparación con cualquier otro grupo de herbívoros, con una muestra representada por dientes aislados, series dentales, mandíbulas, maxilas, cráneos (Figura 4A), diversos elementos postcraneales, así como esqueletos parcialmente completos. El registro cons-



**Figura 3.** Ejemplares representativos de la megafauna herbívora del Pleistoceno de Hidalgo. Artiodáctilos: A. vista ventral de una maxila con las series dentales completas de la llama *Hemiauchenia* cf. *H. macrocephala* (UAHMP-1142); B. vista dorsal de una vértebra cervical de la llama gigante *Camelops* cf. *C. hesternus* (UAHMP-1108); C. núcleo de un cuerno derecho de bisonte *Bison* sp. (UAHMP-930); D. vista lateral de un cráneo parcial del berrendo *Stockoceros conklingii* (UAHMP-1117); E. vista ventral de una serie dental completa del venado cola blanca *Odocoileus virginianus* (UAHMP-955). El material procede de localidades fosilíferas ubicadas en la porción centro-meridional del estado de Hidalgo. Barra de escala = 1 cm, excepto en B, C y D que es de 2 centímetros.

tituye alrededor del 10% de las especies de équidos y aproximadamente el 7% de los perisodáctilos del subcontinente norteamericano.

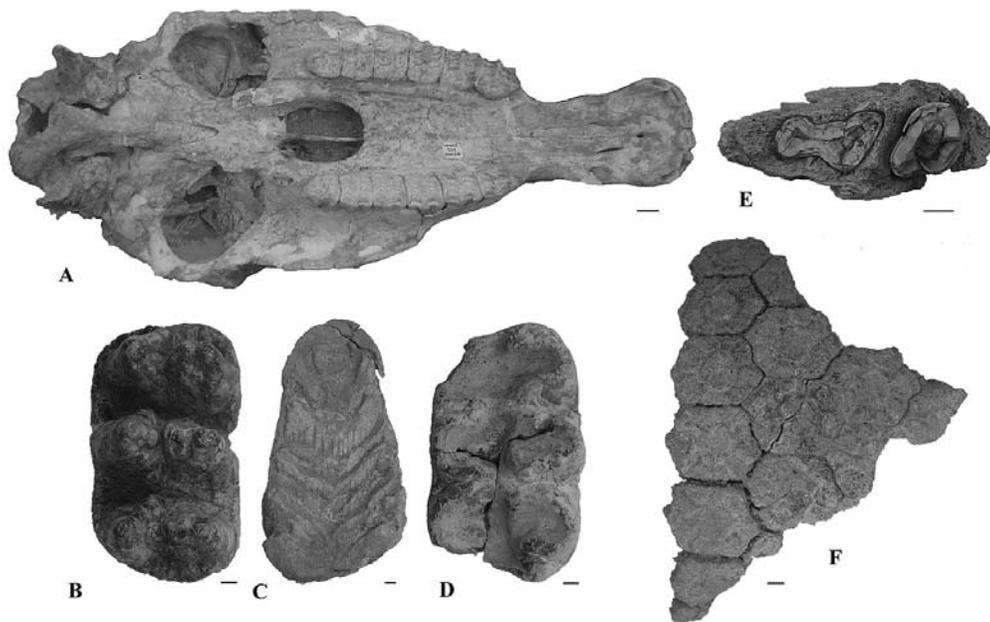
Los proboscídeos, grupo que contiene a los elefantes actuales, incluyen a las formas más grandes y corpulentas, entre las que se encuentran gonfoterios, mastodontes y mamutes. Los gonfoterios alcanzaron una altura de 2 a 3 m y peso de 3 ton, cuya evidencia procede de sedimentos ubicados en las áreas Santa María Amajac y San Agustín Tlaxiaca (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Bravo-Cuevas, 2001, 2002; Bravo-Cuevas *et al.*, 2003), e incluye fundamentalmente restos dentales que se distinguen por el desarrollo de múltiples cúspides sobre la superficie oclusal y cíngulo bien

desarrollado (*Figura 4B*), rasgos que permiten asignarlos confiablemente al género *Cuvieronius* (cf. García-Bárcena, 1989; Miller, 1990); asimismo, se conocen algunas vértebras asociadas que probablemente también son parte del mismo taxón (cf. Bravo-Cuevas, 2002). Los mastodontes, de tamaño y peso semejantes al de un elefante asiático, se conocen a partir de dientes aislados, mandíbulas y maxilas, recuperados de localidades en las áreas Actopan-Ixmiquilpan y Pachuca-Tulancingo (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Cabral-Perdomo, 2001); aunado a esto, los ejemplares estudiados hasta ahora poseen los caracteres descritos por Osborn (1936) y Olsen (1979) que distinguen a la especie *Mammot americanum* (cf. Cabral-Perdomo,

2001) (Figura 4C). Por su parte, los restos de mamut proceden de sitios en Santa María Amajac y San Agustín Tlaxiaca, e incluyen una muestra abundante en la que se encuentran ejemplares dentales (Figura 4D), cráneos parciales, así como diversos elementos post-craneales pertenecientes al género *Mammuthus* (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Bravo-Cuevas, 2001, 2002). Cabe destacar que el registro hidalguense en conjunto es bastante significativo, dado que representa el 75% de los proboscídeos que se conocen en Norteamérica.

Los xenartros son el único grupo de origen sudamericano de la megafauna, y en el estado de Hidalgo están representados por armadillos gigantes y perezosos terrestres. El material perteneciente a los primeros incluye numerosos escudos óseos aislados y articulados del carapacho (Figuras 4F, 4G), los cuales proceden de las áreas Pachuca-Tulancingo y San Agustín Tlaxiaca (Castillo-Cerón *et al.*, 1996; Bravo-Cuevas, 2001, 2002); asimismo, su morfología es

estrechamente cercana a la de aquellos pertenecientes a la especie *Glyptotherium floridanum*, al tener una figura central ligeramente cóncava y semejante en tamaño a las figuras periféricas (Gillette y Ray, 1981). Por su parte, la evidencia de perezosos terrestres es escasa; procede del área San Agustín Tlaxiaca (Bravo-Cuevas, 2001, 2002) e incluye un fragmento maxilar con los dos últimos molariformes, de los cuales el penúltimo se distingue por el desarrollo de un abultamiento en posición anterolingual y el último en sección transversal tiene una configuración semejante a un reloj de arena, rasgos que permiten asignarlo a la especie *Paramylodon harlani* (Figura 4E); asimismo, se cuenta con un calcáneo recuperado del área Santa María Amajac, que probablemente pertenece a un perezoso terrestre de tamaño semejante al de un paramilodonte (cf. Castillo-Cerón *et al.*, 1996). El registro en conjunto testifica alrededor del 35% de los xenartros norteamericanos.



**Figura 4.** Ejemplares representativos de la megafauna herbívora del Pleistoceno de Hidalgo. Perisodáctilos: A. Vista lateral del cráneo del caballo mexicano *Equus conversidens* (UAHMP-509); Proboscídeos: B. Vista oclusal de molariformes del gonfoterio *Cuvieronius* sp. (UAHMP-199), del mastodonte (C) *Mammuth americanum* (UAHMP-227) y de mamut (D) *Mammuthus* sp. (UAHMP-575); Xenartros: Vista lateral (E) del fragmento maxilar con los dos últimos molariformes del perezoso terrestre *Paramylodon harlani* (UAHMP-951), así como vista dorsal de escudos óseos articulados (F) del armadillo gigante *Glyptotherium floridanum* (UAHMP-S/N). El material procede de depósitos sedimentarios ubicados en la región centro-meridional del estado de Hidalgo. Barra de escala = 1 cm, excepto en A que es de 2 centímetros.

### Importancia de la megafauna del Pleistoceno de Hidalgo

El estudio de la paleodiversidad del estado de Hidalgo complementa el conocimiento que se tiene acerca del establecimiento de la biota que actualmente existe en México. Como se mencionó anteriormente, la situación geográfica del centro de México ha permitido que esta región fuera receptora de parte de las faunas que prevalecían, durante los últimos cuatro millones de años, tanto en el dominio neártico como en el neotropical. El estado de Hidalgo, al encontrarse en esta área, no es la excepción, y con las investigaciones paleontológicas llevadas a cabo en los depósitos cuaternarios que ahí afloran se han obtenido importantes datos sobre los mamíferos de gran talla. Por ejemplo, en Hidalgo se encuentran los registros más australes de Norteamérica de al menos dos especies de estos animales: el mastodonte americano (*Mammuth americanum*) y el lince (*Lynx* sp.).

Los megamamíferos que habitan actualmente el territorio nacional no son muy abundantes en comparación con otros grupos de vertebrados, incluidos los mamíferos pequeños. Así, en la actualidad pueden identificarse pocas especies consideradas dentro de la megafauna, clasificadas en sólo dos categorías ordinales que incluyen a seis familias, a saber: carnívoros, como jaguares, pumas, lince, lobos, coyotes y osos; y artiodáctilos, entre los que se encuentran jabalíes, berrendos, venados cola blanca y borregos cimarrones.

Al terminar el Pleistoceno se generó un proceso de extinción de estas grandes especies, pues desde hace poco más o menos 10 mil años dejaron de existir muchos grupos que estaban bien establecidos en nuestro país, como los proboscídeos, los camélidos, los bisontes, los caballos, los armadillos gigantes y los perezosos terrestres. Este evento de extinción ocurrió a gran escala y afectó a las biotas de todo el planeta. La pregunta que surge de ello es: ¿qué ocurrió para que se diezmará la biodiversidad a escala mundial? Es común que la explicación a este cuestionamiento esté relacionada con los albores del predominio de nuestra especie, pues se considera

que los hombres primitivos, en cualquier parte del planeta a la que arribaban, llevaron a cabo una cacería desmedida de las grandes especies de mamíferos, hasta llevarlas a la extinción. Sin embargo, en las faunas fósiles pleistocénicas del estado de Hidalgo no existe evidencia de que esto ocurriera, a pesar de que se conoce actividad humana muy temprana en muchas partes del estado, en particular en la cuenca de México (Solanes-Carraro y Vela-Ramírez, 2000).

La respuesta al fenómeno de extinción resulta muy compleja, debido a que pudieron estar involucrados múltiples factores entre los que pudo haber participado el ser humano. Quizá la explicación más acertada es la que se relaciona con el cambio climático que se dio al final del Pleistoceno, con el que terminó la última glaciación. Con dicho cambio, las comunidades de organismos que vivían adecuadas al clima extremo del periodo glacial no pudieron resistirlo, por lo que sus números poblacionales disminuyeron sin conseguir recuperarse y se extinguieron.

### Tópicos de interés y perspectivas

El estudio de los fósiles del Pleistoceno proporciona información relevante sobre el clima de los recientes dos millones de años de la historia del planeta. Con relación a esto, el primer autor y sus estudiantes de la licenciatura en Biología de la UAEH llevan a cabo estudios de los conjuntos faunísticos pleistocénicos del estado de Hidalgo, basados en la aplicación de métodos recientes como el análisis de patrones de diversidad ecológica (Andrews y Nesbit, 1979; Sánchez-Marco, 1998) y modelos bioclimáticos cuantitativos (Hernández-Fernández, 2001; Hernández-Fernández y Peláez-Campomanes, 2005), los cuales aportarán datos importantes acerca de los ambientes y condiciones climáticas.

Por otra parte, se realiza investigación sobre la dieta que tuvieron algunos grupos de la megafauna hidalguense, esto con la finalidad de tener indicadores ecológicos clave en la interpretación de ambientes terrestres antiguos. Un estudio preliminar sobre los hábitos dietarios de los caballos del Pleistoceno de

Hidalgo indica que estos perisodáctilos se alimentaron fundamentalmente de materia vegetal abrasiva y, por tanto, testifican indirectamente la presencia de pastizales por lo menos hace 160 mil años en lo que ahora es la porción centro-meridional del territorio hidalguense (Bravo-Cuevas y Priego-Vargas, 2007).

### Conclusiones

Con base en la información presentada en este capítulo se tiene que:

- El estado de Hidalgo alberga numerosos depósitos sedimentarios del Pleistoceno, de los cuales se ha recuperado una muestra significativa de restos óseos fosilizados perteneciente a diversos grupos de la megafauna de Norteamérica.
- La megafauna hidalguense evidencia aproximadamente el 40% del registro de mamíferos terrestres de gran talla que se conocen del Pleistoceno de México y el subcontinente norteamericano en conjunto.
- La megafauna del Pleistoceno de Hidalgo estuvo representada por cánidos, félidos, jabalíes, camélidos, venados, berrendos, bisontes, gonfoterios, mastodontes, mamutes, armadillos gigantes y perezosos terrestres. Como ocurre en las comunidades de mamíferos actuales, las formas herbívoras fueron las más diversas y abundantes.
- La base de datos disponible evidencia los recientes dos millones de años de la historia evolutiva de diversos grupos de la megafauna; asimismo, aporta información relevante acerca de la diversidad, distribución y composición de los conjuntos faunísticos del Pleistoceno del centro de México.

### La importancia del registro fósil del caballo mexicano en el estado de Hidalgo: un estudio de caso

Probablemente no ha existido ningún otro animal cuya importancia para el hombre sea similar a la del caballo, el cual lo ha acompañado y servido en un sin fin de actividades a lo largo de la historia

de la humanidad (MacFadden, 1992). Las culturas mesoamericanas desconocían por completo la existencia de dicho perisodáctilo y no fue sino hasta la llegada de los españoles que pudieron conocerlo; sin embargo, sorprende que el registro fósil de équidos conduce a considerar que la mayor parte de su historia evolutiva ocurrió en Norteamérica.

Los équidos son un ejemplo paradigmático ampliamente utilizado para explicar casi cualquier proceso evolutivo del que se tenga conocimiento (Carroll, 1998). Este grupo de perisodáctilos integra formalmente a la familia Equidae y sus representantes fueron uno de los componentes principales de las faunas de mamíferos del Cenozoico de Norteamérica (Kurtén y Anderson, 1980). La historia evolutiva de los caballos inició durante el Eoceno (*ca.* 58 millones de años) y tuvieron una radiación importante en el Mioceno (*ca.* 18 millones de años) que condujo a la diferenciación de los representantes actuales. Del Plioceno (*ca.* 5 millones de años) se conocen aproximadamente 59 especies, agrupadas en 15 géneros; sin embargo, durante el Pleistoceno (*ca.* 1.8 millones de años) se presentó una disminución importante de formas y se tienen únicamente las especies incluidas en el género *Equus* (Hulbert, 1993).

Aun cuando los équidos no fueron muy diversos durante los recientes dos millones de años, el material fósil perteneciente a este grupo de perisodáctilos es sumamente abundante y procede de numerosas localidades ubicadas principalmente en Norteamérica templada. Desde hace ya varias décadas, diversos investigadores se han dado a la tarea de reconocer a las especies pleistocénicas norteamericanas y, hasta principios de los noventa, se reportaba la existencia de al menos 40 diferentes (Hibbard, 1955; Mooser, 1958; Harris y Porter, 1980; Kurtén y Anderson, 1980). Con relación a esto, la caracterización e identidad específica de los taxones propuestos se basó principalmente en apreciaciones morfológicas, aparentemente diagnósticas a criterio del investigador y sin tomar en consideración la variación intraespecífica relacionada con la edad y/o sexo. En años recientes, la evaluación sistemática de rasgos craneales, dentales y postcraneales ha permitido es-

tablecer el rango de variación de algunos complejos de caracteres (v.gr. Winans, 1989), lo que revela que una gran parte de las especies previamente descritas no son válidas y, por tanto, la taxonomía no está aún completamente entendida.

Se considera que en México hubo tres especies de équidos pleistocénicos, las cuales se distinguen fundamentalmente por su tamaño: *Equus mexicanus* (talla grande), *E. conversidens* (talla mediana) y *E. sp.* (talla pequeña) (Alberdi *et al.*, 2003). En particular, la mayoría de las localidades fosilíferas del Pleistoceno de Hidalgo albergan material perteneciente a caballos, el cual se ha recuperado en sucesivas temporadas de campo realizadas por los paleontólogos de la UAEH; asimismo, forma la mayor parte de la

Colección de Macromamíferos del Museo de Paleontología de la misma institución. Actualmente se lleva a cabo una revisión detallada del material fósil disponible y un análisis de dietas antiguas, lo que ha proporcionado datos acerca de la taxonomía de las especies de équidos que habitaron el país y las prácticas alimenticias que desarrollaron las poblaciones de caballos que vivieron en lo que ahora es parte del territorio hidalguense. La información en conjunto complementa el registro de los vertebrados de gran talla de la república mexicana, así como representa evidencia objetiva de marcadores indirectos de los ambientes terrestres que se presentaron los recientes dos millones de años en lo que ahora es parte del centro de México.

## Literatura citada

- Alberdi, M. T., C. J. Arrollo y J. O. Polaco. 2003. ¿Cuántas especies de caballo hubo en una sola localidad del Pleistoceno mexicano? *Revista Española de Paleontología*, 18(2):190-205.
- Álvarez, S. T. 1965. Catálogo paleomastozoológico mexicano. INAH, Departamento de Prehistoria, 17:1-70.
- Anderson, E. 1995. Who's who in the Pleistocene mammalian bestiary. En: P. S. Martin y R. G. Klein (eds.). *Quaternary extinctions*. Tucson & London: The University of Arizona Press, p. 40-89.
- Andrews, P. y E. Nesbit. 1979. Patterns of ecological diversity in fossil and modern mammalian faunas. *Biological Journal of the Linnean Society*, 11:177-205.
- Arroyo-Cabrales, J. y E. Johnson. 1995. A reappraisal of fossil vertebrates from San Josecito cave, Nuevo Leon, Mexico. En: E. Johnson (ed.). *Ancient peoples and landscapes*. Lubbock, Texas: Museum of Texas Tech University, p. 217-231.
- Arroyo-Cabrales, C., J. O. Polaco y E. Johnson. 2002. La mastofauna del Cuaternario tardío de México. En: Montellano-Ballesteros, M. y J. Arroyo-Cabrales (eds.). *Avances en los estudios paleomastozoológicos*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, serie Arqueología, México, p.103-124.
- Barrios-Rivera, H. 1985. Estudio analítico del registro paleovertebradológico de México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.
- Bell, C. J., E. L. Lundelius Jr., A. D. Barnosky, R. W. Graham, E. H. Lindsay, D. R. Ruez Jr., H. A. Semken Jr., S. D. Webb y R. J. Zakrzewski. 2004. The Blancan, Irvingtonian, and Rancholabrean mammal ages. En: M. O. Woodburne (ed.). *Late Cretaceous and Cenozoic mammals of North America*. New York: Columbia University Press, p. 232-314.
- Bravo-Cuevas, V. M. 2001. Pleistocene faunal assemblage from South-Central region of the state of Hidalgo, Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, Abstracts of papers 21(3):35A.
- Bravo-Cuevas, V. M. 2002. Diferenciación geológica y bioestratigráfica de la formación Tarango para el estado de Hidalgo, centro de México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Reporte técnico (inédito).
- Bravo-Cuevas, V. M. y M. A. Cabral-Perdomo. 2002. El primer registro del género de *Odocoileus* para el estado de Hidalgo, centro de México. VIII Congreso Nacional de Paleontología, p. 35.

- Bravo-Cuevas, V. M., M. A. Cabral-Perdomo y J. M. Castillo-Cerón. 2003. ¿Cumplirá su destino la megafauna? *Especies*, 12(1):19-24.
- Bravo-Cuevas, V. M. y J. Priego-Vargas. 2007. Preliminary investigation on the ancient dietary regime of Pleistocene horses from the state of Hidalgo, Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology. Program and Abstracts*, 27(3):52A.
- Cabral-Perdomo, M. A. 2001. Vertebrados pleistocénicos de la región Pachuca-Tulancingo, estado de Hidalgo. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.
- Carranza-Castañeda, O. y W. E. Miller. 1984. Late Cenozoic mammals of Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 4(2):216-236.
- Carranza-Castañeda, O. y W. E. Miller. 1987. Rediscovered type specimens and other important published Pleistocene mammalian fossils from Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 7(3):335-341.
- Carroll, R. L. 1998. Patterns and processes of vertebrate evolution. USA: Cambridge University Press.
- Castillo, A. del. 1869. Clasificación y datos sobre mamíferos fósiles encontrados en el valle de México. *Zeitschrift Deutsche Geologische Gesellschaft*, 21:479-483.
- Castillo-Cerón, J. M., M. A. Cabral-Perdomo y O. Carranza-Castañeda. 1996. Vertebrados fósiles del estado de Hidalgo. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cuevas-Ruiz, G. 2005. Los camélidos pleistocénicos de los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala: Taxonomía y paleobiología. Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Donlan, C. J. 2007. Restoring America's big, wild animals. *Scientific American*, 296(6):48-55.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1978. Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in Middle America and problems of migration between North and South America. *Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 101:193-329.
- Freudenberg, W. 1910. Die Säugetierfauna des Pliocäns and Postpliocäns von Mexiko. *Geologische und Palaentologische Abhandlungen*, 14:195-231.
- Freudenberg, W. 1922. Die Säugetierfauna des Pliocäns and Postpliocäns von Mexiko. II, Mastodonten und Elefanten. *Geologische und Palaentologische Abhandlungen*, 14:103-176.
- García-Barcena, J. 1989. El hombre y los proboscidos de América. En: L. Mirambel (ed.). Homenaje a José Luis Lorenzo. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, serie Prehistoria, p. 41-79.
- Gillette, D. D. y C. E. Ray. 1981. Glyptodonts of North America. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 40:1-255.
- González-Medrano, F. 1998. La vegetación de México y su historia. *Ciencias*, 52:58-65.
- Harris H. A. y W. L. Porter W. 1980. Late Pleistocene Horses of Dry Cave, Eddy County, New Mexico. *Journal of Mammalogy*, 60(1):46-65.
- Hernández-Fernández, M. 2001. Bioclimatic discriminant capacity of terrestrial mammal faunas. *Global Ecology and Biogeography*, 10:189-204.
- Hernández-Fernández, M. y P. Peláez-Campomanes. 2005. Quantitative paleoclimatic inference based on terrestrial mammal faunas. *Global Ecology and Biogeography*, 14:39-56.
- Hibbard, C. W. 1955. Pleistocene Vertebrates from the Upper Becerra (Becerra Superior) Formation, Valley of Tequiquiac, Mexico, with notes on other Pleistocene Forms. *Contributions from the Museum of Paleontology, Michigan University*, XII(5):47-96.
- Hulbert C. R. Jr. 1993. Taxonomic evolution in North American Neogene horses (subfamily Equinae): the rise and fall of an adaptative radiation. *Paleobiology*, 19(2):216-234.
- Kurtén, B. y E. Anderson. 1980. Pleistocene mammals of North America. New York: Columbia University Press.
- MacFadden, B. J. 1992. Fossil horses. Cambridge University Press.
- Maldonado-Koerdell, M. 1948. Los vertebrados fósiles del Cuaternario en México. *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 1-2:1-35.
- Miller, W. E. 1990. A *Rhynchotherium* skull and mandible from southeastern Arizona. *BYU Geology Studies*, 36:57-67.

- Montellano-Ballesteros, M. y E. Jiménez-Hidalgo. 2006. Mexican fossils mammals, who, where and when? En: M. Montellano-Ballesteros, S. R. S. Cevallos-Ferriz y S. A. Quiroz-Barroso (eds.). Studies on Mexican Paleontology. Netherlands: Springer, p. 249-273.
- Mooser, O. 1958. La fauna "Cedazo" del Pleistoceno de Aguascalientes. Universidad Nacional Autónoma de México, Anales Instituto de Biología, 29:408-452.
- Mooser, O. y W. W. Dalquest. 1975. Pleistocene mammals from Aguascalientes, Central Mexico. Journal of Mammalogy, 56(4):781-820.
- Müllerried, F. K. G. 1939. Apuntes paleontológicos y estratigráficos sobre el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo. Anales Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México, 1(2):225-255.
- Olsen, S. J. 1979. Osteology for the archeologist. The American mastodon and the woolly mammoth. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, 56(3):1-43.
- Osborn, J. F. 1936. Proboscidea Vol. I. New York: American Museum of Natural History.
- Prothero, D. R. 2006. After the dinosaurs: The age of mammals (Life of the past). Indiana University Press.
- Sánchez-Marco, A. 1998. Implications of the avian fauna for paleoecology in the Early Pleistocene of the Iberian Peninsula. Journal of Human Evolution, 37:375-388.
- Solanes-Carraro, M. C. y E. Vela-Ramírez. 2000. Atlas del México prehispánico. Arqueología Mexicana, número especial, 3:1-77.
- Stehli, F. G. y S. D. Webb. 1985. The Great American Biotic Interchange. Plenum Press.
- Winans, C. M. 1989. A quantitative study of North American fossil species of the genus *Equus*. En: D. R. Prothero y R. M. Schoch (eds.). The evolution of Perisodactyls. Oxford University Press, p. 262-297.
- Villarello, J. y E. Böse. 1902. Criaderos de fierro de la hacienda de Vaquerías en el estado de Hidalgo. Boletín del Instituto Geológico México, 16:15-44.



bioestratigrafía. Estudio y organización de los estratos con base en su contenido fósil.

biofacies. Unidad de roca que contiene un conjunto de fósiles característicos de un medio particular; por tanto, puede haber varias biofacies contemporáneas adyacentes.

biomicritas. Son calizas micro-cristalinas, con tamaño de grano menor a 0.01 mm.

biozona. Rocas depositadas durante el intervalo de duración de unas especies, como lo prueba la presencia de fósiles de tales especies.

bivalvo. Organismo acuático perteneciente al grupo de los moluscos, cuyo cuerpo se encuentra contenido entre dos valvas o conchas asimétricas en vista superior.

Blancano. Edad que se le asigna a los fósiles que tienen una antigüedad de 4.4 a 1.9 millones de años.

bloque. Estructura geológica generalmente prismática o piramidal del orden de cientos a miles de metros, producto del rompimiento de la corteza superior ya sea por esfuerzos comprensivos o distensión de la corteza; el efecto genera una montaña.

bóvidos. Familia de artiodáctilos a la que pertenecen los búfalos, los bisontes y las vacas domésticas.

**ca, circa.** Próximo a, alrededor de.

cf., cfr., confert, conformis. En paleontología significa que todos los rasgos observados son conformes con el taxón indicado, pero que las observaciones son insuficientes para concluir que existe unidad taxonómica.

cabalgadura. Bloque plano que se desplaza hacia arriba durante el proceso de fallamiento vertical o normal de la corteza; el otro bloque resultante se hunde y forma un graben o valle plano.

calcáneo. Hueso del pie que forma el talón de los tetrápodos.

calciesferas. Restos de organismos fósiles unicelulares extintos del periodo Cretácico, que habitaban en aguas de características oceánicas.

calcita. Mineral compuesto de carbonato de calcio.

caliza. Roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio. En general es de origen marino.

cánidos. Familia de carnívoros en la que se agrupan los perros, los coyotes y los lobos.

canino. Colmillo de los mamíferos (ver cráneo).

capa. Unidad plana de roca sedimentario, delimitada de las rocas adyacentes por diferencias en su composición química o su textura.

carapacho. Armadura ósea que cubre el dorso o parte del dorso de ciertos animales como las tortugas y los gliptodontes.

caudal. Posición de una parte del cuerpo situada en la cola, cerca de ella o en la parte trasera del animal, como las vertebras caudales.

cefalotórax. Región del cuerpo en los crustáceos que consiste de la cabeza y algunos segmentos torácicos.

ceniza. Material de grano fino no consolidado, que se forma como resultado de explosiones volcánicas.

Cenozoico. Cuarta y última de las grandes eras en que está dividida la escala del tiempo geológico. Abarca desde 66.4 millones de años hasta la actualidad.

cf. Abreviatura que significa conferido a. En paleontología, se utiliza para denotar que el ejemplar no cuenta con elementos que permitan asignarlo a una especie en particular, pero puede tener relación con la especie a la que está conferido.

**circa (ca.).** Alrededor o cerca de. Se utiliza para dar una fecha o hecho de forma aproximada.

clasto. Fragmento de roca, resultado de la erosión de rocas preexistentes.

columna estratigráfica. Representación gráfica que se utiliza en geología para ilustrar la secuencia de rocas. Es un dibujo a escala de un paquete de rocas, donde pueden visualizarse los diferentes tipos de materiales que componen la unidad, así como los espesores de cada uno de los niveles estratigráficos.

conglomerado. Roca formada por la aglutinación de fragmentos más o menos redondeados de otras rocas preexistentes en una matriz de grano fino.

comunidad. En biología, un grupo interdependiente de plantas y animales.

cóndilo. Prominencia redondeada de un hueso que sirve para articularlo con otro, como la cabeza del fémur.

convergencia. Semejanza morfológica entre formas distintas. En un concepto evolutivo es la misma respuesta que tienen diferentes grupos de animales para resolver un problema similar. El ejemplo más

- claro de esto son los delfines y los reptiles marinos del Mesozoico llamados ictiosaurios, o las alas de los murciélagos, mariposas y aves.
- coprolito. Excremento fosilizado.
- corales. Organismos microscópicos coloniales que desarrollan crecimiento con base en sus propios esqueletos de carbonato de calcio, los cuales son pequeñas copas divididas por seis septos. Coloquialmente se le dice coral a la construcción calcárea que generan. Es el grupo dominante en los arrecifes contemporáneos, y muy frecuente en los arrecifes del Cretácico.
- cráneo. Conjunto de huesos que forman la cabeza de los vertebrados.
- Cretácico. Periodo geológico con duración de 75 millones de años. Entre 140 y 65 millones de años de antigüedad absoluta.
- crinoideos. Equinodermos marinos fijos o móviles constituidos de un tronco (sólo en las formas fijas) y cáliz o copa que lleva cinco brazos en forma de pluma.
- cruz, medida a la cruz. En los animales cuadrúpedos, es la medida que se estima desde el punto de intersección de la base del cuello y los hombros hasta el suelo. También se le conoce como alzada del animal.
- Cuaternario. Periodo del tiempo geológico que se refiere a los dos últimos millones de años de la era Cenozoica.
- desarticulado. Separado. Término que se utiliza en paleontología para indicar que las partes del esqueleto no se encontraban en su posición anatómica original.
- diacrónico. Desarrollo o sucesión de hechos a través del tiempo.
- diastrofismo. Deformación a gran escala de la corteza terrestre, que origina continentes, cuencas oceánicas, cordilleras.
- digitigrado. Animal que camina sobre los dedos de las extremidades, con el tobillo y la muñeca levantados del suelo. Ejemplos de digitígrados son los perros (cánidos) y los felinos.
- dimorfismo. Característica de muchas especies de organismos que poseen dos morfologías distintas, relacionadas con las diferencias sexuales de los machos y de las hembras. El ejemplo más claro es la especie humana, en la que tanto los hombres como las mujeres poseen sus propias características físicas.
- dinosaurio. (De *deinos*, terrible, y *saurios*, lagarto). Término general para designar a dos grupos de reptiles del Mesozoico: los saurisquios y los ornitisquios.
- discordancia. En estratigrafía, se refiere a una superficie de erosión o donde no hubo depósito de sedimentos. Constituye un vacío de información en tiempo geológico.
- discordancia angular. Discontinuidad estratigráfica en la que no existe paralelismo entre los materiales subyacentes.
- discordancia erosional. Vacío de información estratigráfica debido a la erosión.
- ecología. Ciencia que estudia las interrelaciones entre la vida animal y vegetal y su ambiente.
- ecosistema. Plantas y animales de una comunidad en conjunto con el ambiente físico que ocupan.
- e. g.* (*exempli gratia*). Por ejemplo.
- elementos poscraneales. En anatomía, son todos los huesos que forman el esqueleto, con excepción del cráneo.
- endémico. Organismo que es conocido únicamente en una región particular del planeta y que no cuenta con representantes en ningún otro sitio. Por ejemplo, los chimpancés son simios endémicos del África ecuatorial.
- Eoceno. Uno de los periodos de la era Cenozoica, que abarca desde 58 hasta hace 37 millones de años.
- équidos. Nombre que se aplica a los caballos, los burros y las cebras.
- escudo óseo. Huesos que conforman el carapacho de las tortugas y de algunos animales extintos. También se designa así a las rosetas de los carapachos de los gliptodontes.
- especie. En biología, conjunto de organismos genéticamente separados de otros y que tienen descendencia fértil entre sí.
- especimen. Ejemplar que forma parte de una colección.
- estratigrafía. Rama de la geología que estudia la disposición, características y origen de las rocas sedimentarias.

estrato. Cada una de las capas de una roca o depósito sedimentario.

eucamptódroma. Nervación de la hoja, en la cual los nervios laterales disminuyen de tamaño cerca del margen, donde se interconectan por medio de nervios pequeños.

evaporita. Capas sedimentarias como la sal o el yeso, formadas por la evaporación de agua de mar o de los lagos.

facies. Variaciones laterales del ambiente de depósito que se forman en las rocas sedimentarias.

falla. Línea de ruptura de forma variable que se produce cuando se aplican diferentes esfuerzos sobre las rocas.

filita. Roca producida por un fenómeno de metamorfismo incipiente en el que actúan temperaturas de algunos cientos de grados centígrados.

fauna. Conjunto de todos los animales de un ecosistema.

felinos. Nombre que se aplica en general a los gatos y las panteras.

fibula. Hueso que, junto con la tibia, forma la parte inferior de la pierna. En el ser humano se llama peroné.

filogenia. Historia evolutiva de un grupo de organismos relacionados entre sí.

flora. Conjunto de todas las plantas de un ecosistema.

foraminíferos. Animales unicelulares marinos que secretan una concha de carbonato de calcio y son indicadores de ambientes de depósito.

formación. Unidad litoestratigráfica, que representa un cuerpo de roca identificado por sus características litológicas y su posición stratigráfica. Una formación comprende varios miembros y capas.

fósil índice. Organismo que se caracteriza por tener una evolución rápida, en un corto periodo y con amplia distribución geográfica. Estas características tienen especial importancia en bioestratigrafía para determinar la edad de una fauna fósil.

gasterópodos. Organismos pertenecientes a los moluscos, con una concha univalva generalmente en espiral y un opérculo que les permite refugiarse. Se conocen tradicionalmente como caracoles. Algunas especies tienen colores sumamente brillantes y sin concha que resultan sorprendentes.

gastrolito. Rocas que son tragadas por muchas especies de reptiles y aves, utilizadas para moler los alimentos en el estómago o en la molleja.

género. Categoría taxonómica que incluye una o varias especies con caracteres fundamentales comunes.

geocronología. Rama de la geología que se refiere a la subdivisión del tiempo geológico correspondiente a la sucesión de acontecimientos biológicos y geológicos.

geomórfico. Perteneciente o relativo a la geomorfología, disciplina que estudia la topografía terrestre y parte de los fenómenos que la producen.

graben (fosa). Bloque hundido entre dos fallas paralelas.

hábitat. Espacio físico que ocupa un organismo dentro de un ecosistema.

Henfiliano. Edad de los fósiles de mamíferos con límites de tiempo entre 9 y 4.8 millones de años.

hiato. Hueco o falta de registro geológico en una serie stratigráfica.

holotipo. El ejemplar único designado o indicado como el "ejemplar tipo" de un taxón nominal del nivel de especie, en el momento de su publicación original.

horst. Bloque levantado entre dos fallas paralelas.

húmero. Hueso de la región superior del brazo.

icnofósil. Fósil de las huellas o marcas dejadas por la actividad de los animales o por una parte del cuerpo de éstos; pueden ser pisadas, impresiones de piel, plumas o pelo, huevos y nidos, madrigueras y excrementos.

*i.e., id est.* Esto es.

ílium o íleo. Hueso de la pelvis que está conectado a la columna vertebral.

*incertae sedis.* De colocación incierta, de posición taxonómica incierta.

incisivos. Dientes anteriores de los mamíferos, situados antes de los caninos (ver cráneo).

indeterminado. Término que se utiliza en paleontología cuando el espécimen que se está estudiando no proporciona información suficiente o no es diagnóstico, por lo que no se puede saber con certeza ni el género ni la especie del organismo en cuestión. Cuando el investigador tiene dudas del organismo, se antepone un signo de interrogación [?] al nombre del género o de la especie.

índice estratigráfico. Sinónimo de fósil índice.

Irvingtoniano. Edad que se asigna a los fósiles que tienen una antigüedad de 1.9 millones de años a 650 mil años.

isquio-isquion. Hueso de la pelvis que se encuentra por debajo y hacia atrás de la cuenca acetabular.

Jurásico. Periodo geológico que inicia 200 millones de años atrás y concluye hace 140 millones de años, con una duración absoluta de 60 millones de años.

karst. Estructura de disolución en las rocas calizas que genera cavidades cuya fase final es la formación de cavernas.

km. Abreviación de kilómetro(s).

lámina o limbo. Porción expandida y aplanada de la hoja.

limolita. Roca sedimentaria de grano fino que se produce cuando se consolidan sedimentos de origen continental en las cercanías de la desembocadura de ríos.

litología. Rama de la geología que se encarga del estudio de los diferentes tipos de rocas.

litosfera. Porción superficial del planeta Tierra en la que se encuentran los continentes y los océanos. Está dividida en varios bloques denominados placas tectónicas.

litoestratigráfico. Criterio para dividir los estratos rocosos de acuerdo con su pertenencia a cuerpos de roca previamente reconocidos y cartografiados denominados formalmente formaciones.

lutita. Roca sedimentaria compuesta de sedimentos de grano muy fino y de composición arcillosa.

ma. Abreviatura de millones de años. Se emplea frecuentemente en Ciencias de la Tierra.

máfico. Término general utilizado para describir minerales ferromagnesianos.

magma. Masa viscosa formada por rocas fundidas que existe en el interior del planeta. Cuando el magma sale a la superficie terrestre durante una erupción volcánica, se llama lava.

mandíbula. Región del cráneo donde se localizan los dientes inferiores. Comúnmente se le conoce como quijada del animal (ver cráneo).

manto. Región del interior de la Tierra que se encuentra en la zona intermedia entre la litosfera y el núcleo.

marcador estratigráfico. Sinónimo de fósil índice.

maxila. Región del cráneo donde se localizan los dientes superiores. Erróneamente se le conoce de manera común como mandíbula superior (ver cráneo.)

maxilípido. Apéndice de los crustáceos, formado por la transformación del primero, segundo y tercer pares de las tres primeras patas después de las maxilas.

Mesozoico. Tercera de las cuatro grandes eras en que está dividida la escala del tiempo geológico. Abarca desde 245 hasta hace 66.4 millones de años.

metacarpo. Huesos que forman la mano de un animal. Se encuentran entre los huesos de la muñeca llamados carpos y los dedos.

Mioceno. Periodo perteneciente a la era Cenozoica, que abarca desde 24 hasta hace 5 millones de años.

molar. Diente de los mamíferos que se encuentra después de los premolares. Su función es triturar el alimento (ver cráneo).

molariforme. Término que se usa en paleontología para referirse indistintamente a cualquiera de los dientes molares o premolares de un mamífero (ver cráneo).

morfotipo. Es una categoría taxonómica informal independiente del sistema de nomenclatura Linneana.

morfotectónico. Relación existente entre la fisiografía de una región con su geología, estructura e historia.

neárticos. Se denomina así a los organismos fósiles y actuales que son típicos de Norteamérica desde Alaska hasta el centro de México.

neotropicales. Se denomina así a los organismos fósiles y actuales que son típicos de Sudamérica, desde el centro de México hasta la Patagonia.

nódulo. Concreción (de cualquier tipo) ovalada, esférica o más o menos redondeada.

nombre científico. En biología, término binominal latinizado que se asigna a los individuos de una especie para diferenciarlos de otras. Por ejemplo, el nombre científico del caballo actual es *Equus caballus*, en donde el primer nombre se refiere al género y el segundo a la especie.

Oligoceno. Periodo de la era Cenozoica que abarca desde 37 hasta hace 24 millones de años.

opérculo. Estructura anatómica de los peces que cierra la cavidad branquial.

orogenia. Proceso geológico formador de montañas.

orografía. Descripción del paisaje en función de sus elevaciones y depresiones.

osículos dérmicos. Pequeños huesos que se encuentran entre la piel de muchos animales como los cocodrilos; en algunos mamíferos fósiles como los perezosos, estos huesos son redondeados.

Paleoceno. Periodo de la era Cenozoica que abarca desde 66.4 hasta hace 58 millones de años.

paleomastozoología. Rama de la zoología que estudia los mamíferos fósiles.

Paleozoico. Primera de las cuatro grandes eras en que está dividida la escala del tiempo geológico. Abarca desde 570 hasta hace 245 millones de años.

paratipo. Cada uno de los ejemplares de una serie tipo que no sea el holotipo.

pedernal. Roca silíceo que se origina por la precipitación de silicatos en el agua de mar y posteriormente se consolida por diferentes procesos de deshidratación; suele ser fosilífera.

pelvis. Conjunto de huesos que forman la cadera de un animal.

pereiión. Tórax de los crustáceos.

pereiópodos. Patas o apéndices del pereiión de los crustáceos.

perisodáctilos. Mamíferos que se caracterizan por tener dedos en un número impar; generalmente el dedo medio es el de mayor tamaño y todos presentan pezuñas. A este orden de animales pertenecen los caballos, los rinocerontes y los tapíres.

Pérmico. Último periodo geológico de la era Paleozoica; va de 290 a 248 millones de años de antigüedad absoluta, con una duración de 42 millones de años.

phyla. Plural de phylum.

phylum. Uno de los grupos principales o categorías taxonómicas supraespecíficas en las que se clasifica a los organismos; por ejemplo: phylum Chordata, incluye a todos los animales que presentan notocorda.

placa dental vomeriana. Conjunto de dientes que se localizan en la región del paladar de muchos animales, tales como peces, anfibios y algunos reptiles fósiles.

Pleistoceno. Periodo de la era Cenozoica que abarca desde 1.9 millones de años hasta hace 10 mil años.

pliegue. Estructura geológica producida en respuesta a un efecto de compresión horizontal en la corteza terrestre.

Plioceno. Periodo del Cenozoico que abarca desde 4.8 hasta hace 1.9 millones de años.

postura erecta. Postura que se adquiere cuando las extremidades del animal están dispuestas justo por debajo del cuerpo, como en los mamíferos, las aves y los dinosaurios.

premolar. Diente de mamífero que está situado entre los molares y los caninos (ver cráneo).

proboscidos. Mamíferos de gran tamaño que se caracterizan por tener una trompa prensil y los incisivos muy desarrollados, formando grandes defensas mal llamadas colmillos. A este orden pertenecen los elefantes, los mastodontes y los mamutes.

pubis. Hueso de la pelvis que se encuentra dirigido hacia delante.

Rancholabreano. Edad que se asigna a los fósiles que tienen una antigüedad de 650 mil a 10 mil años.

regresión marina. Retirada del mar de una gran zona de terreno, durante un periodo relativamente corto.

roca clástica. Roca formada por fragmentos de rocas preexistentes que por procesos de erosión son transportadas al sitio de depósito.

roca ígnea. Roca que se forma por solidificación del magma.

roca metamórfica. Roca que experimenta un cambio. Bajo la superficie terrestre, en su textura, minerales o composición química, debido a agentes físicos o geológicos tales como cuerpos intrusivos que contienen altas temperaturas (magma), alteración química o tensión por callamiento.

roca sedimentaria. Roca que se forma generalmente en la superficie terrestre, en estratos horizontales. Son de origen químico, como las calizas y el travertino, o de tipo clástico, formadas por fragmentos de tamaño variable resultado de la erosión de rocas preexistentes.

roedores. Orden de mamíferos en el que se encuentran los ratones, las ratas, las ardillas, las tuzas y los capibaras.

rumiantes. Artiodáctilos que poseen un estómago complejo, el cual puede tener tres o cuatro cavidades.

- Ejemplos de este tipo de animales son los camellos, los bóvidos y los venados.
- sacro. Hueso formado por la fusión de varias vértebras, que constituye parte de la pelvis.
- sedimentos fluviales. Sedimentos que se depositan en el cauce de un río.
- sedimentos lacustres. Sedimentos que se depositan en un lago o laguna.
- sinclinal. Relieve negativo resultado de plegamiento cortical, que se manifiesta como valle o cuenca alargada que se genera en contraparte a un anticlinal.
- sincrónico. Simultáneo, en el mismo tiempo. Coexistencia.
- sistemática. Rama de la biología que se encarga de la clasificación de los seres vivos.
- sp. Abreviatura de *especie*. Comúnmente se utiliza después de género para denotar que se desconoce la especie a la que pertenece el ejemplar.
- spp. Plural de especie.
- subducción. Proceso en el que una placa tectónica se mete debajo de otra.
- tafonomía. Rama de la paleontología que se encarga del estudio y análisis de las circunstancias y procesos que suceden a los restos orgánicos para conseguir fosilizarse. Comprende desde su muerte hasta su recolecta en el campo.
- taxón. Cada una de las categorías utilizadas en la sistemática, las cuales se ordenan de lo más general a lo más particular: reino, phylum, clase, orden, familia, género y especie.
- taxones. Plural de taxón.
- taxonomía. Sinónimo de sistemática.
- tectónica. Rama de la geología que estudia la dinámica en el comportamiento de las placas de la corteza terrestre.
- tectónico. Adjetivo aplicado a los procesos que ocurren en la corteza terrestre resultado del mecanismo de movimiento lateral de las placas litosféricas.
- Terciario. Una de las divisiones de la era Cenozoica, que comprende los periodos Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno.
- tibia. El hueso más grande de la porción distal de la extremidad posterior.
- tibio-fíbula. Hueso de la región distal de la extremidad posterior de los anfibios y que es resultado de la unión de la tibia con la fíbula.
- trasgresión marina. Invasión de una gran zona de tierra por el mar, en un espacio relativamente corto de tiempo.
- ulna. Uno de los huesos de la región distal del brazo. En el ser humano se conoce como cúbito.
- ungulados. Sinónimo de artiodáctilo.
- úrsidos. Familia de carnívoros en la que se agrupan todos los osos.
- vertebrado. Nombre con el que se designa a todos los animales que poseen columna vertebral y esqueleto interno; a saber: peces, anfibios reptiles, aves y mamíferos, que, en conjunto, forman el subphylum Vertebrata del phylum Chordata.
- volcanosedimentario. Sedimentos o rocas que se originan por la mezcla de material volcánico y terrígeno.
- vómer. Hueso que forma gran parte del paladar de los peces, anfibios y reptiles.

*Los fósiles del estado de Hidalgo*  
Katia Adriana González-Rodríguez  
Consuelo Cuevas-Cardona  
Jesús Martín Castillo-Cerón  
*editores*

Se termino de imprimir en el mes de noviembre de 2009,  
Bajo la coordinación, en su producción e impresión, de  
Alejandro Castillo de la Cruz,  
Norte 1-j, Núm. 4523, Col. Guadalupe Victoria CP 07790, México, DF  
El tiraje fue de 1000 ejemplares