

PALEONTOLOGÍA MEXICANA

Número especial 7: Rescate de Material Mexicano.



Yacimiento fosilífero con abundantes sistemas producidos por geómidos (una superfamilia de roedores), Oligoceno de Oaxaca.

Volumen **13** Número 2

Universidad Nacional Autónoma de México





PALEONTOLOGÍA MEXICANA

e-ISSN (versión electrónica): 2007-5189.

ISSN (revista impresa): 0185-478X.

ISSN-L: 0543-7652.

Número de reserva: 04-2022-072810185500-102.

Segunda Época (2012-actualidad).

Entidad de edición: Unidad Editorial del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
Revista incluida en: Periódica, Biblat, MIAR, Toda la UNAM en línea, Ulrich's Web, Geomex y Latindex catálogo.

EDITOR EN JEFE — EDITOR-IN-CHIEF

Josep Anton Moreno Bedmar
Instituto de Geología, México.

COMITÉ EDITORIAL — EDITORIAL ADVISORY BOARD

Miguel Company Sempere
Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, España.

Carles Martin Closas
Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, España.

Francisco Javier Vega Vera
Instituto de Geología, UNAM, México.

Angélica Oviedo García, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Gerardo F. Carbot Chanona
Museo de Paleontología Eliseo Palacios Aguilera, Instituto de Historia Natural, Chiapas, México.

Victor Adrian Pérez Crespo
Instituto de Geología, UNAM, México.

Roque Aguado Merlo
Departamento de Geología, Universidad de Jaen, España.

Beatriz Aguirre Urreta
Departamento de Paleontología, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Liseth Pérez Alvarado
Instituto de Geosistemas y Bioindicaciones, Universidad Técnica de Braunschweig, Alemania.

EDICIÓN TÉCNICA Y PÁGINA WEB — TECHNICAL EDITION AND WEBSITE

Coordinadora de edición técnica: Sandra Ramos Amézquita.

Edición técnica: José Roberto Ovando Figueroa, Lia Rodríguez Gómez y Sandra Ramos Amézquita.

Corrección de estilo: José Roberto Ovando Figueroa, Lia Rodríguez Gómez.

Formación y diseño: León Felipe Álvarez Sánchez, Oscar Monzón, Lia Rodríguez Gómez, José Roberto Ovando Figueroa.

Apoyo página web: Alejandro Silva.

NÚMERO ESPECIAL: RESCATE DE MATERIAL MEXICANO – SPECIAL ISSUE: RESCUE OF MEXICAN MATERIAL

Paleobotánica	
PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
i	Prefacio Castañeda-Posadas, Carlos.
93	Consideraciones al recolectar y transportar fósiles de plantas. Castañeda-Posadas, Carlos; Velasco de León, María Patricia; Lozano-Carmona, Diego Enrique.

Paleozoología	
PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
105	Técnicas de estudio de icnofósiles de vertebrados e invertebrados continentales en territorio mexicano. Guerrero-Arenas, Rosalía; Bravo-Cuevas, Victor Manuel; Jiménez-Hidalgo, Eduardo.
115	Métodos de recolecta, limpieza y montaje de microfósiles marinos (calcáreos y silíceos) en rocas semiconsolidadas y sedimentos. Gómez Espinosa, Catalina; Gómez Lizárraga, Laura Elena; Martínez Villa, Brenda Berenice.
123	Técnicas para el rescate y la colecta de distintos grupos de invertebrados marinos fósiles de México. Torres-Martínez, Miguel Angel; Campos-Méndez, Mirhan; Heredia-Jiménez, Daniela Paulina; Juárez-Aguilar, Edwin Aldrin; Rosas-García, Hugo; Alanis-Pavón, Alberto; Ruiz-Naranjo, Metzteri.
141	Importancia, técnicas de recolecta y procesos curatoriales de pequeños vertebrados e invertebrados continentales fósiles. Jiménez Hidalgo, Eduardo; Pacheco Castro, Adolfo; Cruz, J. Alberto; Guerrero Arenas, Rosalía.

NÚMERO REGULAR – REGULAR ISSUE

Paleozoología	
PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
157	Descripción taxonómica y estudio de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de <i>Mammut americanum</i> (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammutidae) del Blancano (Plio-Pleistoceno) de Santa Fe del Río, (Michoacán, México). Lystad Gray, Robert D.; Marín-Leyva, Alejandro H.; Arroyo-Cabral, Joaquín; García-Zepeda, M. Luisa.
167	Remains of a sea turtle from the Austin Formation (Upper Cretaceous, Campanian), Coahuila, Mexico. López-Conde, Oliver A.; Chavarría-Arellano, María L.; Porras-Múzquiz, Hector; Alvarado-Ortega, Jesús.
175	Roedores y lagomorfos blancanos (Plioceno tardío) del Lago de Chapala, Jalisco, México. Vasconcelos Ginzo, Ricardo; Montellano Ballesteros, Marisol.
191	<i>Pyrenicola</i> (Crustacea: Decapoda: Brachyura), new genus for <i>Litoricola macrodactyla</i> (Van Straelen, 1924) and <i>Litoricola macrodactyla pyrenaica</i> (Artal and Vía, 1989), and remarks on <i>Coeloma</i> (Milne-Edwards, 1865). Artal, Pedro; Ossó, Àlex.

Colecciones paleontológicas y museografía	
PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
205	¿Es posible valorar una colección científica? La colección paleontológica de la SEMAHN como caso de estudio. Carbot-Chanona, Gerardo; Villanueva-Rocha, Luis Armando.

DATOS DEL PRESENTE NÚMERO – DATA OF THIS NUMBER

Título: [Paleontología Mexicana](#)

ISSN-L: [0543-7652](#)

(revista electrónica): [2007-5189](#)

ISSN (revista impresa): [0185-478X](#)

Número de reserva: [04-2022-072810185500-102](#)

Tipo de publicación: [Periódica](#)

Periodicidad: [Semestral](#)

Número de publicación: [Volumen 13 Número 2](#)

Fecha de publicación: [Julio de 2024 \(finales\)](#)

Año de inicio de la publicación: [1954](#)

Materia de la publicación: [550 \(Ciencias de la Tierra\)](#)

Editada por: [Unidad Editorial del Instituto de Geología de la UNAM](#)

Domicilio: [Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, 04360, Coyoacán, CDMX. \(México\)](#)

Tiraje: No aplica

Tipo de impresión: No aplica

Gramaje: No aplica

Tipo de papel: No aplica

AGRADECIMIENTOS – ACKNOWLEDGEMENTS

El jefe editorial agradece a la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y al M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez por su trabajo editorial realizado en el volumen 13(2). También agradece al Mtro. Alejandro Silva por su apoyo como técnico-ingeniero en el ojs3.

DECLARATORIAS – STATEMENTS

Declaratoria de Acceso Abierto

Paleontología Mexicana (PM) provee acceso abierto a todos sus contenidos para la labor académica. Todo el contenido de la revista, desde el inicio de publicación de la revista (1954) hasta la actual fecha, se encuentra publicado en acceso abierto por PM. No existe cargo alguno a los autores y lectores por publicar o descargar el material publicado para fines académicos. De esta forma, PM está bajo el modelo acceso abierto dorado. El acceso a los contenidos de PM es libre en todo momento y sin restricciones. Paleontología Mexicana depende del apoyo financiero del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, del apoyo de la Unidad Editorial del Instituto de Geología, de su comité editorial y su padrón de revisores expertos.



Creative Commons License CC-BY-NC-ND

Paleontología Mexicana (PM) sigue las líneas de la organización Creative Commons. El usuario de PM está en libertad de:

- Copiar, compartir y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Bajo los siguientes términos:
- Atribución —Usted debe dar el crédito apropiado, proveer un vínculo a la licencia, e indicar si se hicieron cambios. Lo puede hacer en cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o a su uso.
- No comercial — No puede usted usar el material para propósitos comerciales.
- Sin restricciones adicionales—Usted no puede aplicar términos legales medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier otra cosa que la licencia permite.
- Sin Derivados —Si usted hace un remix, transforma, o reconstruye el material, entonces usted no puede distribuir el material modificado.

Avisos:

- No se dan garantías. Es posible que la licencia no le proporcione todos los permisos necesarios para su uso previsto. Por ejemplo, otros derechos como la publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar el uso del material.
- Usted no tiene que cumplir con la licencia para elementos del material de dominio público o donde su uso está permitido por una excepción o limitación aplicable.

Sobre derechos de autor (copyright) y de publicación

Paleontología Mexicana permite a los autores mantener los derechos de autor sobre el material incluido en sus contribuciones (a menos que existan demandas legítimas de terceros) y retener los derechos de publicación sin restricciones, con la condición de citar de forma precisa la fuente exacta de PM para así respetar los derechos de autor.



DORA: Declaración de San Francisco sobre la evaluación de la Investigación.

Paleontología Mexicana se adhiere como firmante a la Declaración de San Francisco sobre la Evaluación de la Investigación (San Francisco Declaration on Research Assessment, DORA). Ver la siguiente liga: <https://sfedora.org/read/es>

Open Access Statement

Paleontología Mexicana (PM) provides open access to all the articles that it publishes. All the content of the journal, from the beginning of publication of the journal (1954) to the current date, is published in open access. There is no charge to authors and readers for publishing or downloading the published material for academic purposes. In this way, PM is under the golden open access model. Access to PM content is free at all times and without restrictions. PM depends on the financial support of the Institute of Geology of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), on the editorial support of the Department of publications of the Institute of Geology, UNAM, on its editorial committee and its list of expert reviewers.



Creative Commons License CC-BY-NC-ND

Paleontología Mexicana follows the Creative Commons lines. You are free to:

- Share —copy and redistribute the material in any medium or format

Under the following terms:

- Attribution —You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.
- Non-Commercial —You may not use the material for commercial purposes.
- No additional restrictions —You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.
- No Derivatives —If you transform, remix or build upon the material, you may not distribute the modified material.

Notices:

- No warranties are given. The license may not give you all of the permissions necessary for your intended use. For example, other rights such as publicity, privacy, or moral rights may limit how you use the material.
- You do not have to comply with the license for elements of the material in the public domain or where your use is permitted by an applicable exception or limitation.

Concerning copyright and publishing rights

Paleontología Mexicana allows all authors to hold the copyright of the material included in their contributions (provided that no rightful claims can be raised by a third party) and to retain publishing rights, without restrictions. The authors are required to cite the original source of such material within Paleontología Mexicana.



DORA: San Francisco Declaration on Research Assessment.

Paleontología Mexicana adheres as a signatory to the San Francisco Declaration on Research Assessment (DORA). Please see the link: <https://sfedora.org/read/>

Prefacio

Preface

Este número especial es resultado del *Paleoworkshop: Rescate de Material Mexicano*, celebrado en Ecocampus-BUAP en septiembre de 2023. Fue un evento de suma importancia para la comunidad científica y académica dedicada al estudio del patrimonio paleontológico de México. Este taller reunió a expertos en paleontología, científicos, estudiantes y profesionales con el objetivo común de discutir, analizar y desarrollar estrategias para la conservación, uso y estudio del preciado material fósil de México. El evento se organizó en un ambiente de colaboración y aprendizaje, que fue un foro para el intercambio de información y experiencias entre los participantes. Los talleres incluyeron diversas actividades como presentaciones de investigaciones y mesas redondas. En el *Paleoworkshop* se discutieron temas de gran relevancia

relacionados con el rescate y preservación del patrimonio paleontológico. Asimismo, se discutieron las implicaciones legales y éticas de preservar el material paleontológico y se enfatizó la importancia de una gestión responsable y sostenible de estos recursos. Este evento no solo fue una oportunidad para fortalecer redes de colaboración entre profesionales de la paleontología, sino también para incrementar el interés y la conciencia sobre la importancia del patrimonio paleontológico entre el público en general. La participación activa y entusiasta de todos los participantes demostró un compromiso compartido con la preservación y el estudio de la riqueza paleontológica de México y por tal motivo se propuso compartir estos conocimientos y se formuló este número especial, que esperamos sea el primero de varios.

Carlos Castañeda-Posadas.

Consideraciones al recolectar y transportar fósiles de plantas

Considerations when collecting and transporting plant fossils

Castañeda-Posadas, Carlos^{1,*}; Velasco de León, María Patricia²;
Lozano-Carmona, Diego Enrique^{2,3}

¹Laboratorio de Paleobiología, Ecocampus-Valsequillo, Herbario y Jardín Botánico, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio Val 4, Blv. Ecocampus, San Pedro Zacachimalpa, CP. 72960. Puebla, México.

²Colección de Paleontología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla 5 de mayo s/n esq. Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa, 09230, Ciudad de México, México.

³Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Nacional Autónoma de México. Av. San Claudio, Ed. BIO 1 CU, Col. Jardines de San Manuel, 72570, Puebla, México.

* carlos.castaneda@correo.buap.mx

Resumen

La recolecta de los fósiles de plantas dependerá mucho del tipo de yacimiento o del tipo de fosilización en el que se preservaron. En México, el registro fósil de plantas tiene como principales tipos de fosilización a la impresión, la permineralización, el encapsulamiento en ámbar y la compresión carbonosa. En este trabajo se resalta la manera “ideal” de la recolecta de material paleobotánico, así como la manera apropiada de transporte para su siguiente proceso curatorial, registro y finalmente, llenado de cédulas de ejemplares y localidades ante el Consejo Nacional de Paleontología, organismo encargado de la protección del registro paleontológico en México. Concluyendo que cualquier trabajo de recolecta paleobotánica siempre debe de contar con un objetivo claro, metodología a emplear y un lugar de resguardo apropiado.

Palabras clave: colecciones paleontológicas, impresiones, fósiles de plantas, permineralizaciones, recolecta paleobotánica.

Abstract

The collection of plant fossils depends greatly on the type of deposit or the kind of fossilization they underwent. In Mexico, the plant fossil record mainly includes types like impressions, permineralization, amber encapsulation, and carbonaceous compression. This work highlights the “ideal” way to collect palaeobotanical material, as well as the appropriate transport method for its subsequent curatorial process, registration and finally, the completion of specimen and locality records for the National Council of Paleontology, the body responsible for the protection of the paleontological record in Mexico. It concludes that any palaeobotanical collection effort should always have a clear objective, a methodology to be used, and an appropriate place for storage.

Keywords: impressions, paleobotanical collection, paleontological collections, permineralizations, plant fossils.

Cómo citar / How to cite: Castañeda-Posadas, C., Velasco de León, M. P. & Lozano-Carmona, D. E. (2024). Consideraciones al recolectar y transportar fósiles de plantas. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 93–103.

Manuscrito recibido: Marzo 13, 2024.

Manuscrito corregido: Junio 22, 2024.

Manuscrito aceptado: Junio 22, 2024.



1. Introducción

El obtener información taxonómica, ambiental y evolutiva, sobre las plantas que vivieron en el pasado es tarea de los paleobotánicos. La paleobotánica es un área de la paleontología que estudia múltiples evidencias vegetales de tamaño macroscópico (hojas, tallos, flores, troncos) y microscópico (espora, polen y cutículas) en depósitos de roca de un origen no antrópico en tiempos muy pretéritos. El registro de sus partes puede ser escaso e incompleto, derivado de una conservación diferencial de sus órganos, ciclos de vida y, además, por los factores geológicos que propician su preservación (MacGinitie, 1953; Linder, 2005; Taylor *et al.*, 2009; Cleal y Thomas, 2019a, b). Porqué esta muerte es diferencial, es decir, las plantas por sus ciclos de vida y según el grupo taxonómico al que pertenezcan, pueden morir-se parcialmente y desprender sus órganos (vegetativos o reproductivos) en diferentes fases de su vida, época climática, enfermedad o perturbación ambiental, por citar algunos. Por ejemplo, algunas angiospermas y gimnospermas se desprenden de sus hojas en épocas de otoño e invierno, por cambios fisiológicos y para resistir las variaciones en las condiciones ambientales (Taylor *et al.*, 2009; Cleal y Thomas, 2019a, b). Por factores como los anteriormente mencionados, en la mayoría de los yacimientos paleobotánicos es común encontrar elementos aislados y mayoritariamente un solo tipo de estructura (hoja, madera, frutos, o semillas). También hay que tomar en cuenta que la fosilización es más sesgada en las plantas que en los animales; los restos de las plantas pueden ser reciclados inmediatamente por otros organismos o pueden ser reducidos en forma gradual (descomponerse), además, las hojas, frutos o maderas, pueden transportarse grandes distancias, debido a los procesos dinámicos del medio como el clima, erosión y otros organismos vivos que intervienen en su dispersión, así solo una pequeña fracción de las partes que componen una planta quedan atrapadas en un ambiente de depósito, propicio para la fosilización (MacGinitie, 1953; Linder, 2005; Taylor *et al.*, 2009; Cleal y Thomas, 2019 a, b).

En el registro fósil de plantas en México ocurrieron varios procesos de fosilización que no son exclusivos del tipo de órgano de la planta, pero sí hay preferencias de preservación, entre ellos están: 1) La compresión carbonosa, es un proceso que se da en sedimentos muy finos que no dejan escapar a la materia orgánica, sólo a los elementos volátiles, por lo que quedan aún restos del tejido original en una combustión incompleta derivada de la presión, este tipo de fosilización ocurre mayoritariamente en troncos, tallos y hojas, pero también hay flores y semillas (Figura 1a y 1b). 2) La impresión, proceso donde las estructuras quedan atrapadas en sedimentos finos y estos conservan un molde externo, en este tipo de fosilización encontramos principalmente hojas, pero también hay flores, frutos, tallos y semillas (Figura 1c). 3) La permineralización, proceso en el cual

existe una sustitución de la materia orgánica por minerales como el sílice y calcita, principalmente, es común en maderas, semillas y raíces (Figura 1e). 4) El encapsulado, proceso en el cual quedan atrapados los restos de plantas en una resina vegetal y quedan inmersos en ella, el ámbar es la sustancia donde ocurre la fosilización. Se encuentran hojas, flores, semillas y ramas que no se pueden estudiar anatómicamente, pero sí morfológicamente (Figura 1f). 5) La momificación, es el proceso donde queda la estructura original de los organismos, solo se deshidratan o se pierden los elementos volátiles, pero el tejido y su estructura es la original (MacGinitie, 1953; Linder, 2005; Taylor *et al.*, 2009; Cleal y Thomas, 2019 a, b). Con la descripción morfológica o anatómica de los ejemplares, se pueden identificar diferentes categorías taxonómicas, realizar listados florísticos, estimar abundancia y riqueza y probablemente reconstruir la planta completa original.

Por último, una gran parte de esta información debe ser conservada en las colecciones científicas, en donde se preserve el material y, además, se considera importante enviar esta información al Consejo de Paleontología del Instituto Nacional de antropología e Historia (CONPAL); con la finalidad de tener la información de las localidades fosilíferas, en general concentradas en el CONPAL, para conocer que taxones se han estudiado, o están en proceso de estudio, su estado o técnicas curatoriales aplicadas, las colecciones que existen en nuestro territorio, la prioridad de proteger alguna localidad, y finalmente poder generar una política entre los paleontólogos de lo que falta por estudiar (CONPAL, 2024).

2. Consideraciones para el transporte y resguardo de los fósiles de plantas a un laboratorio

Cuando se recolectan fósiles se debe de tener un objetivo definido del uso que se le va a dar a ese material, si la localidad seleccionada es nueva o es el seguimiento de estudios previos, en la medida de lo posible la recolecta debe reflejar la composición de las floras originales, por lo que es deseable recolectar numerosos especímenes, bien conservados, que representen las diferentes facies sedimentarias o las de un solo estrato o paleodeme (Anderson y Anderson, 1983). La toma de datos puede ser cualitativa o cuantitativa (p. ej., uso de cuadrantes para muestreo, control estratigráfico, estado de conservación del material, su orientación, número de ejemplares y en caso de conocer los géneros registrarlos o designar morfotipos). Con respecto al estado de conservación, la variación en el contenido orgánico es la influencia principal sobre los métodos de conservación a emplear (Collinson, 1987). En las compresiones, algunos ejemplares presentan problemas de conservación cuando la materia orgánica está poco adherida a la matriz de soporte, pues el secado diferencial de la matriz y el material orgánico provoca la exfoliación del fósil orgánico. Otra situación común

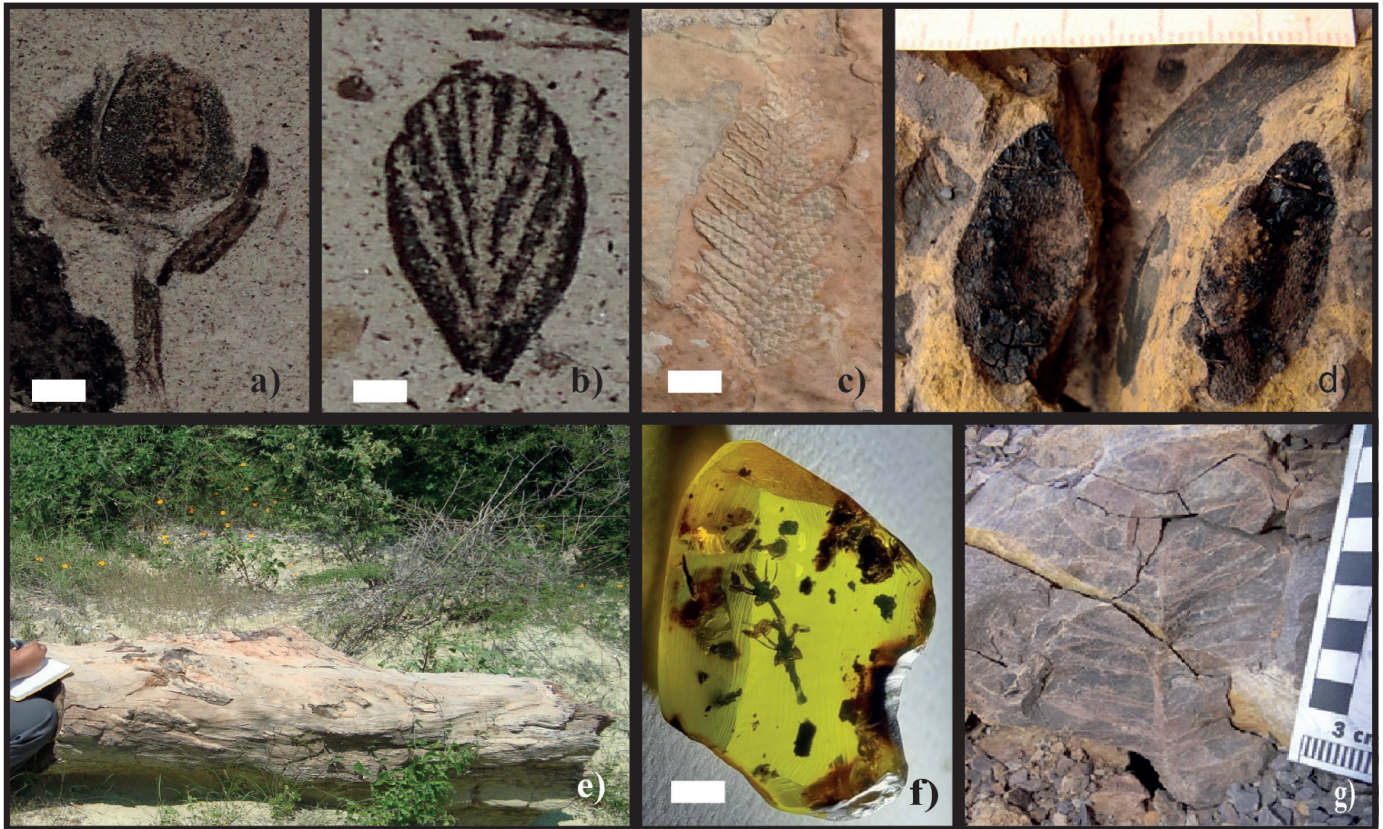


Figura 1. Tipo de fosilización en plantas. a y b) Compresiones carbonosas (flor y hoja respectivamente), localidad de los Ahuehuetes, Puebla. Barra de 2 cm. c) Impresión (fronda), localidad Tlayúa, Puebla; Barra 5 cm. d) Semillas carbonizadas, Localidad Cañada Alejandro, Oaxaca. e) Permineralización (madera), localidad San Mateo Mimipán, Puebla; f) Inclusión en ámbar, (flor), localidad Simojovel, Chiapas; Barra 3 cm; y g) Compresión carbonosa de Bennettitales, del Grupo Tecocoyunca de Guerrero.

es la poca consolidación de algunos estratos y el riesgo que esto representa al extraer el bloque que contiene los fósiles sin que estos se fracturen. Se recomienda limpiar los bordes del ejemplar (laja o muestra de mano), luego, para evitar su fragmentación, se colocan al menos cuatro capas de vendas de yeso humedecidas en los bordes perimetrales (Figura 2). Para transportarlo, se coloca el bloque sobre una lona de polietileno o se ubica el conjunto dentro de una caja de cartón, se rodea con plástico burbuja para amortiguar y proteger de las vibraciones durante el transporte. El buen registro de los datos en campo de estas colecciones ayudará al paleobotánico a determinar con mayor precisión los rangos de variación morfológica y a lograr identificaciones más fiables. Esto, a su vez, mejora la resolución de los estudios bioestratigráficos y perfecciona los paleoecológicos y paleoambientales (Shute y Cleal, 1986).

2.1. Recolecta de compresiones carbonosas

En este apartado se comenta acerca de las técnicas para recolectar y resguardar las compresiones carbonosas. Para ello, es importante considerar el tipo de roca, el tamaño del fósil y el ambiente de depósito. Iniciaremos por una definición breve del carbón, tipos que

existen y la información que podemos obtener para la taxonomía, reconstrucciones paleoambientales, etc. Si bien el período Carbonífero debe su nombre a sus abundantes yacimientos, también podemos encontrar esta roca de origen orgánico en diferentes edades geológicas (Cross y Phillips, 1990). De manera general su formación inicia con los depósitos de turba que se forman solo bajo ciertas condiciones geológicas. En todos los casos la acumulación de materia orgánica debe exceder al decaimiento. Los carbohidratos, lignina, proteínas, grasas, y ceras son atacadas o rotas por el metabolismo bacteriano e inicia la formación de los ácidos húmicos, por lo que el entorno se vuelve más ácido (Scott y Collinson, 1983). La composición del carbón generalmente se debe a diferentes árboles de pantano dominantes u, ocasionalmente, por arbustos o hierbas. También podemos encontrar compresiones carbonizadas, tejidos permineralizados o vitrinizados, y microfósiles (cutículas, esporas, polen, resinas), que contribuyen a la identificación de las plantas que formaron el carbón.

2.1.1 ¿Qué información deseo conservar al realizar una recolecta?

Se sabe que, en las plantas vivas, los tejidos esclerificados, como el xilema y la hipodermis, debido a su



Figura 2. Extracción de material paleobotánico con la técnica de vendas de yeso. a) Ejemplar fósil a proteger, b) Envoltura del bloque de roca que contiene el fósil de planta con vendas de yeso. c) Resultado de la envoltura del fósil para su protección y posible traslado.

composición altamente aromática tienen un potencial de conservación alto como fósiles (de Leeuw y Largeau, 1993; Van Bergen *et al.*, 1995; Boyce *et al.*, 2003). En la mayoría de los casos, el registro fósil vegetal es, por tanto, el resultado de la conservación selectiva de órganos y tejidos que contienen biomacromoléculas alifáticas resistentes a la descomposición (Nip *et al.*, 1986). Entre ellas se encuentran algas, cutículas foliares, polen y esporas, envolturas de semillas, frutos, la madera y las resinas (Van Bergen *et al.*, 1995). Las biomacromoléculas más abundantes en las plantas vasculares existentes son las ligninas que contribuyen a la formación del lignito, carbones cafés y carbón. De esta manera se puede conservar la morfología en las impresiones y su composición química en las compresiones.

En el caso de las impresiones deben de protegerse cuando se han obtenido por lajamiento y de ser posible conservar la parte negativa (-) y positiva (+) del ejemplar (el registro del ejemplar consiste en un solo número con la indicación de ambas partes +/-). Para estudios anatómicos si se sospecha que se conservó materia orgánica se puede intentar extraer material empleando la técnica de cutículas dispersas con diferentes ácidos (Figura 3), o con la técnica de Peel con acetatos adhesivos (Figura 4) (Kerp, 1990; Kouwenberg *et al.*, 2007; Ángeles-Favila *et al.*, 2008; Ángeles-Favila, 2009; Velasco-de León *et al.*, 2023). Para esta última técnica se coloca encima de la compresión carbonosa una porción de acetato de celulosa en hoja y se realiza una presión leve con ayuda de la goma de un lápiz. Posteriormente se desprende el acetato y se monta en un portaobjetos. Con la parte que contiene el material fósil hacia arriba, se le ponen un par de gotas de agua y se coloca un cubreobjetos para revisar al microscopio óptico (Figura 3d). En el caso de que se observen tejidos, se describe su morfología, se realizan mediciones de las células epidérmicas, tricomas,

papilas y estomas, y se procede a fotografiar para su posterior comparación con material ya identificado.

2.2. Recolección de compresiones

La fosilización segrega los tejidos resistentes (que pueden ser difíciles o imposibles de separar en el material moderno), haciéndolos así fácilmente accesibles para su estudio. Los fósiles, por ejemplo, se separan fácilmente del resto de la cubierta de la semilla y las hojas pueden consistir sólo en una envoltura cuticular. Por este motivo, los estudios de los fósiles están a la vanguardia de los trabajos sobre biomacromoléculas resistentes en las plantas. Aun así, la investigación de la composición química del material vegetal antiguo se encuentra aún en una fase relativamente preliminar. Los organismos contienen una serie de biopolímeros que pueden conservarse en el registro sedimentario: ácidos nucleicos (ADN, ARN), proteínas, polisacáridos y lípidos, así como las biomacromoléculas que forman parte de los tejidos estructurales de las plantas, por ejemplo, algaeano, lignina y esporopolenina (Briggs y Eglinton, 1994). El ADN es muy susceptible a la hidrólisis y a la oxidación (Lindahl, 1993) y esto se ve reflejado en la inexistencia de fósiles con más de 100,000 años de antigüedad que conserven ADN. Los polisacáridos, como la celulosa y la quitina, se biodegradan fácilmente cuando forman tejidos estructurales, sin embargo, a través de enlaces cruzados con otras moléculas, los rastros reconocibles pueden durar millones de años.

Estos restos orgánicos pueden ser estudiados mediante técnicas analíticas de las biomacromoléculas resistentes, pueden aplicarse (i) análisis elemental (relación carbono/hidrógeno/nitrógeno), (ii) pirólisis (descomposición de la biomacrolécula por medio de calor en una atmósfera inerte, (iii) espectroscopia de

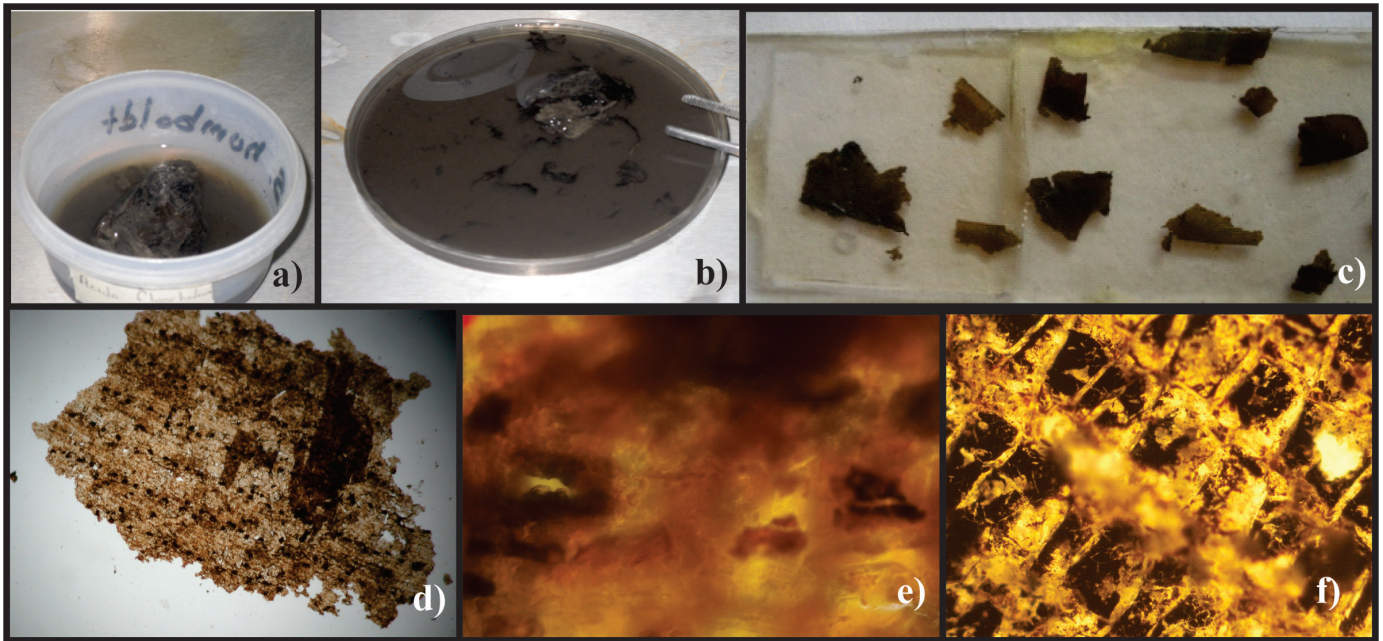


Figura 3. Se muestran los pasos generales de la técnica de cutícula dispersa que se emplea en el laboratorio para extraer cutículas; el material empleado corresponde a lutita del Jurásico, donde se identificaron especímenes de Bennettitales del Grupo Tecocoyunca de Guerrero. a) disolución de roca en ácido fluorhídrico, b) cutículas flotando después de un día, c) cutículas extraídas con pincel sobre un portaobjetos, las más oscuras aún con carbón d) cutícula extendida y seca donde se aprecia el arreglo de estomas en hilera, e) estomas abiertos microscopio óptico a 40X. f) arreglo de células epidérmicas de forma ligeramente rectangular microscopio óptico 40X. El material está depositado en la colección de cutículas de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

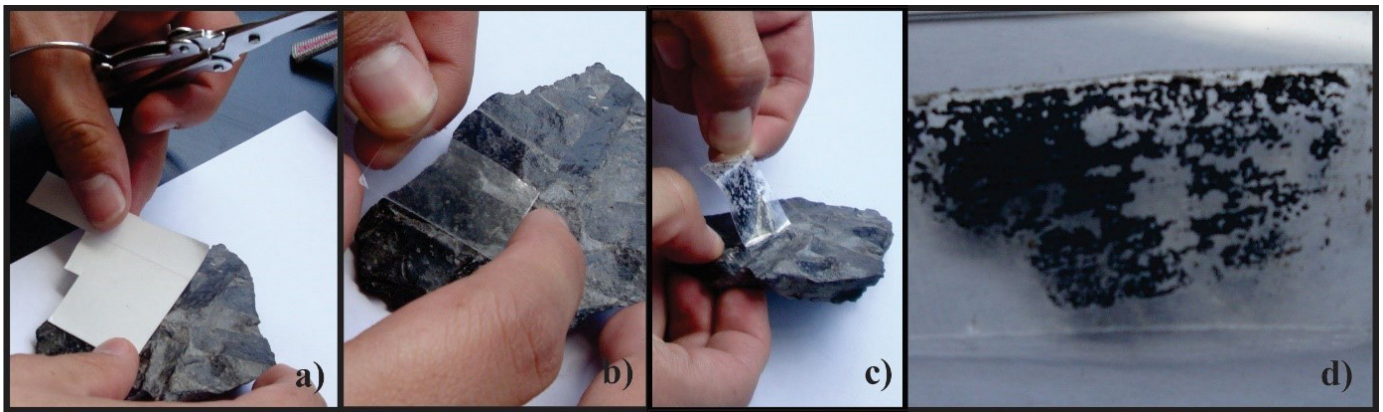


Figura 4. Se muestran los pasos generales de técnica de peel para extracción de cutícula a) Midiendo acetato de celulosa para cortar, b) aplicación del acetato de celulosa sobre el ejemplar fósil, c) obtención del peel (despellejamiento), nótese el color negro sobre el acetato, d) a este peel debe de agregarse solución Schultz para oxidar el carbón y poder observar al microscopio óptico.

infrarrojos por Transformada de Fourier para obtener datos químicos relativos, semicuantitativos que nos permitan obtener modelos quimiométricos 3D para estudios de fitotaxonomía, reconstrucciones por ejemplo en las frondas, etc. (D'Angelo y Zodrow, 2015, 2016).

2.3. Recolección de permineralizaciones.

Después de que una planta o sus partes son depositadas en un cuerpo de agua, éste puede ser infiltrado por una solución mineralizada que eventualmente precipita y endurece dentro de las cavidades celulares y

espacios intercelulares. En el material bien permineralizado, las paredes celulares están sólo ligeramente alteradas y como resultado la estructura interna de las plantas es realmente visible. Cuando la preservación es excepcionalmente buena es posible deshacer la matriz y embeber el tejido de la planta en algún plástico. Con cortadoras ordinarias, se puede preparar secciones de los tejidos (Mustoe, 2018, 2023).

Existen varios tipos de matrices en los especímenes permineralizados. El carbonato de calcio, el carbonato de magnesio o una combinación de los dos es una variedad de esas matrices. Los fósiles que comúnmente

los tienen, son las llamadas bolas de carbón (*coal balls*) que son aproximadamente “masas lenticulares” estos materiales se encuentran en vetas de carbón en Estados Unidos, Inglaterra y Europa continental. Por otro lado, el sílice es también una matriz bastante común, los órganos vegetales silicificados preservados, de manera por demás sorprendente, conservan detalles de su anatomía y morfología (Mustoe, 2018, 2023); por ejemplo, muchas de las maderas fósiles de México se encuentran bien preservadas con sílice.

La recolecta y traslado de este tipo de material es muy simple, ya que al encontrar las rocas y órganos silicificados, solo se deben depositar en una bolsa de papel estraza o plástico para marcar en ella los datos básicos de la recolecta. Ya en el laboratorio existen varias formas de tratar fósiles permineralizados para su estudio. Una forma es la realización de superficies pulidas y su observación en el microscopio con luz reflejada. Otra manera es realizar láminas delgadas del espécimen que puede ser entonces estudiado con microscopía de luz transmitida. Una manera de hacer estas secciones es cortando y puliendo un pedazo de espécimen, la superficie pulida se pega a un portaobjetos, la muestra se vuelve a cortar lo más delgado posible y la parte restante adherida al portaobjetos es desbastada hasta que la luz atraviesa sin dificultad al espécimen. Esta técnica requiere de mucho tiempo, sin embargo, en ocasiones es la única forma de conseguir resultados satisfactorios. Si se cuenta con pocos recursos económicos y material fósil disponible, una manera de estudiarlos es haciendo “*Peels*”, técnica en la cual se corta el material permineralizado, se pule, se disuelve con un ácido (dependiendo de la composición mineral que lo envuelve) para exponer las paredes celulares y con ayuda de una hoja de acetato se pueden desprender tejidos celulares. Estas preparaciones pueden ser aclaradas y montadas en portaobjetos para su observación con microscopía de luz transmitida. Si se cuenta con una muy buena conservación de los tejidos vegetales, estos pueden ser preparados y observados bajo un microscopio electrónico de barrido y/o transmisión (Darrah, 1936; Taylor *et al.*, 2011; Mustoe, 2018, 2023).

3. Conservación y preservación para su estudio

La conservación y preservación de los fósiles de plantas involucra una serie de actividades que van desde la adecuada técnica de recolecta (abordado en los apartados anteriores para cada tipo de fosilización), la toma de datos básicos en campo hasta la preparación y catalogación de los ejemplares, así como, tener un adecuado uso del material. Por lo tanto, el objetivo de esta sección es mostrar un panorama general sobre las actividades de conservación y preservación desde el campo hasta su estudio con base en experiencias y recomendaciones de la recolecta hasta el establecimiento de colecciones paleontológicas (Perrilliat *et al.*, 1986; Montero y Dieguez,

1991, 2001; Allmon, 2005; Cristin y Perrilliat, 2011; Popa, 2011; Tomelleri *et al.*, 2022, entre otros).

Una vez que se han definido los objetivos de la recolecta de material fósil, así como la adecuada planificación de las actividades de campo se procede a realizarla. Sin embargo, en ocasiones se tendrán hallazgos fortuitos o asociados no específicos, de los cuales también se deberá evaluar la posibilidad de realizar o no una recolecta. Cabe recordar que cada fósil es un archivo de la vida del pasado en la Tierra, que este es una evidencia única e irremplazable y nos permite conocer y comprender el registro sedimentario y es evidencia de los diferentes escenarios presentes a través de las eras geológicas (Cristin y Perrilliat, 2011; Popa, 2011). También es importante considerar que la recolecta de material será solo si este tendrá un espacio y condiciones adecuadas para su resguardo en una colección (Montero y Dieguez, 1991, 2001). Por lo tanto, la recolecta de material, en ocasiones, no es imprescindible, se sugiere un amplio registro fotográfico y tener un adecuado y completo registro de la documentación básica o los datos de campo.

Si la recolecta de material fósil se lleva a cabo será obligación registrar toda la documentación básica (Tabla 1). Esta se puede resumir en siete puntos generales con adecuaciones o especificaciones con base en las condiciones al momento de la recolecta. Los siguientes siete puntos conforman dicha documentación básica en una recolecta de material fósil: (1) Datos sobre el recolector(es), las fechas y horas dedicadas al trabajo, para tener control sobre la constancia en la recolección, así como estimar el esfuerzo de muestreo y graficar la acumulación de taxones por fecha de recolecta. (2) Número de ejemplar o lote de ejemplares. (3) Control geográfico con coordenadas que sean reconocibles en un mapa o carta Geológico-Minera (para México del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, siglas INEGI) con una escala 1:50,000. (4) Control estratigráfico y tiempo geológico, esto se refiere a identificar la unidad litoestratigráfica o formación geológica, si es que se ha definido. Una vez identificados dichos datos, ubicar en la columna estratigráfica la posición de los estratos o sitios fosilíferos. Si no se tiene una columna estratigráfica se tendrá que elaborar una. (5) Tener cuidado en la conservación de los caracteres que permitan la identificación taxonómica. Es decir, es indispensable conocer o tener referencia de los caracteres taxonómicos de los taxones para que durante la recolecta estos no se pierdan o destruyan. (6) Un registro fotográfico del material, en este caso será necesario el uso de una escala milimétrica en cada fotografía y la correlación entre el número de fotografía (metadato) con la localidad fosilífera, con los datos taxonómicos y estratigráficos. Por último, (7) fósiles y/o icnofósiles asociados. Esta documentación básica permitirá que cada ejemplar pueda ser estudiado bajo un enfoque adecuado, cualquiera que sea la investigación. A su vez podrá ser preparado, organizado y catalogado en la colección de su destino.

Tabla 1. Hoja de datos básicos para la recolecta de material paleontológico.

RECOLECTOR DE DATOS (nombre o nombres de los integrantes del equipo)		
HORA DE INICIO Y FIN DE LA ACTIVIDAD	FECHA (dd/mm/aa)	NÚMERO DE PARTICIPANTES
NÚMERO DE EJEMPLARES (total de ejemplares del mismo sitio de recolección)		
CONTROL GEOGRÁFICO Coordenadas geográficas (o UTM): Poblado(s) más próximo(s): Municipio y Estado: Nombre de la localidad y definir siglas de reconocimiento: Nombre y/o número de sitio fosilífero y sus siglas:		
CONTROL ESTRATIGRÁFICO Y TIEMPO GEOLÓGICO Formación geológica: Edad: Periodo y época: Era: Ubicación métrica en la columna estratigráfica:		DATOS TAXONÓMICOS (si es posible determinar un taxon <i>in situ</i>) Orden: Familia: Género: Especie:
REGISTRO FOTOGRÁFICO (usar escala milimétrica, correlación entre número de foto(s) con número de ejemplar, localidad (siglas), sitio fosilífero).		
FÓSILES ASOCIADOS (si se reconocieron fósil/fósiles de manera imprevista o de grupos diferentes a los esperados)		
OBSERVACIONES		

La preparación para el resguardo del material será en el orden consecutivo de los ejemplares, es decir siguiendo la numeración en las hojas de datos de campo. El material será desembalado de cualquiera que haya sido su material de protección desde el campo hasta el laboratorio. Una vez realizado esto, se evaluará la pertinencia de realizar una limpieza o retiro de matriz. Se podrá utilizar medios mecánicos o químicos (descritos en las secciones anteriores). Para ello hay que considerar la consolidación de la matriz y su composición mineralógica. Por un lado, si se emplean métodos mecánicos evitar la fragmentación o pérdida de partes del fósil, y si se emplean químicos hay que considerar usarlos diluidos. En general se emplean ácidos como el clorhídrico (HCl), el acético (CH_3COOH) y el fluorhídrico (HF) (Montero y Diéguez, 2001). Una vez limpio y listo el ejemplar se procede a etiquetarlo con código y número. Para ello se pueden emplear diversos medios, desde marcar con una navaja la matriz del ejemplar, o utilizar marcador indeleble, o aplicar una peca de 1 cm^2 aproximadamente, puede ser pintura a base de agua (p. ej., corrector líquido de textos), sobre la cual se escribirán los datos de código y número de catálogo. El código será definido con base en la institución que alberga la colección y la formación y/o localidad de recolecta. Dicho código y número deberán ser congruentes con la documentación básica. Es recomendable

incluir a los ejemplares en cajas individuales o bolsas plásticas cerradas para protección y evitar la pérdida de datos que sean adjuntados (Montero y Diéguez, 2001).

La conservación y mantenimiento de los ejemplares a largo plazo puede ser un reto y dependerá de varios factores. Estos factores pueden ser físicos, químicos, biológicos y ambientales. La conservación de los fósiles que puede depender de los factores físicos tiene que ver con el almacenaje, los tipos y el material de los contenedores o cajas. En este sentido lo recomendable es el uso de contenedores o cajas de plástico (polietileno o poliestireno rígido), ya que se podrá evitar la interacción con la humedad medioambiental. Considerando el tamaño de los ejemplares el equipo de almacenamiento podrá ser desde armarios metálicos tipo compacto hasta anaqueles metálicos. Esto dependerá de las disposiciones de espacio y presupuesto. El almacenaje de los materiales paleobotánicos deberá estar bajo una revisión periódica para poder identificar si se presentan daños por agentes biológicos, químicos o ambientales. Generalmente estos pueden estar asociados entre sí. Con una humedad y temperatura elevada puede condicionar a la proliferación de hongos, que son los más comunes. Pero también puede propiciar el desarrollo de reacciones químicas y principalmente la degradación de sulfuros. Esto puede causar fisuras

y hasta fragmentación de los ejemplares. Por último, la hidratación y desecación de los ejemplares puede propiciar la fragmentación por efecto de la contracción-expansión. En este caso solo si los materiales de la matriz rocosa son capaces de absorber la humedad medioambiental (Montero y Dieguez, 2001; Cristin y Perrilliat, 2011; Popa, 2011).

4. Principales instituciones donde se realiza el estudio de material paleobotánico

En México son pocas las instituciones en donde se practica e investiga la paleobotánica (incluyendo estudios palinológicos). La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) alberga a varios sitios de investigación, los cuales se desglosan a continuación: el Departamento de Paleontología, el Departamento de Dinámica Superficial y la Estación Regional Noroeste, todos ellos del Instituto de Geología. En el Departamento de Botánica, Herbario Nacional de México del Instituto de Biología y en la Colección de Paleontología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Otras instituciones son el Laboratorio de Paleobiología y la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). En el Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y en el Museo del Desierto de Coahuila (MUDEI). En la Tabla 2 se sintetizan los datos de los investigadores y docentes que realizan investigación y docencia en paleobotánica de México, así como las líneas de investigación y los lugares de trabajo (adscripciones oficiales) de cada uno de ellos (IG, 2024a, b; FESZ, 2024; FCB, 2024a, b; IPN, 2024). Actualmente el estudio de material paleobotánico en México abarca prácticamente todos los periodos geológicos en donde se han registrado fósiles de plantas. Por mencionar algunos, pero con especial atención a las aportaciones más recientes, tenemos estudios en el Carbonífero-Pérmico (Velasco-de León *et al.*, 2020; Villanueva-Amadoz *et al.*, 2020; Flores-Barragan *et al.*, 2021, 2023), en el Jurásico (Velasco-de León *et al.*, 2019; Lozano-Carmona *et al.*, 2021, 2024; Ortega-Chávez *et al.*, 2021; Morales-Toledo y Cevallos-Ferriz, 2023), en el Cretácico (Breña-Ochoa y Cevallos-Ferriz, 2022; Centeno-González *et al.*, 2021, 2023; Cevallos-Ferriz *et al.*, 2021), en el Paleógeno (Hernández-Sandoval *et al.*, 2023; Pérez-Lara *et al.*, 2021), en el Neógeno (Hernández-Hernández *et al.*, 2020; Castañeda-Posadas, 2023; Estrada-Ruiz, 2023; Hernández-Damián *et al.*, 2023; Castañeda-Posadas y Tomas-Mosso, 2024) y en el Cuaternario (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2019; Castañeda-Posadas *et al.*, 2022; Lozano-García *et al.*, 2022; Tomas-Mosso *et al.*, 2024).

5. Recomendaciones

Los autores consideramos que la colaboración académica y la participación de diferentes investigadores o instituciones en los proyectos de investigación en desarrollo, son prácticas comunes en la comunidad científica. Sin embargo, es crucial abordar los aspectos éticos asociados para garantizar la integridad y el respeto en el ámbito académico.

Para esto proponemos que las colaboraciones deben ser transparentes acerca de sus contribuciones y roles en el proyecto. La integridad académica implica reconocer adecuadamente el trabajo de todos los participantes y evitar cualquier forma de plagio o apropiación indebida de ideas. Antes de iniciar cualquier trabajo colaborativo, es esencial obtener el consentimiento de todas las partes involucradas y establecer acuerdos claros que definan los objetivos, responsabilidades y derechos de cada participante. Estos acuerdos deben ser documentados y revisados regularmente. Antes de iniciar un nuevo proyecto o unirse a uno existente, se debe realizar una revisión exhaustiva de la literatura para identificar trabajos previos y evitar la duplicación innecesaria. Esto incluye revisar tesis de licenciatura y posgrado, artículos, y proyectos en curso en la misma institución y en otras. Establecer una comunicación efectiva con otros investigadores y grupos de trabajo puede prevenir esfuerzos duplicados. La coordinación entre diferentes equipos de investigación fomenta la sinergia y el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles. Y por último mantener un registro actualizado de los proyectos en curso dentro de la institución y hacerlos accesibles para los miembros de la comunidad académica puede facilitar la identificación de oportunidades de colaboración, por eso consideramos importante el papel del CONPAL y que todos tratemos de nutrir su base de datos al registrar los proyectos paleobotánicos.

6. Conclusiones

El trabajo con los fósiles de plantas en México es aún incompleto y por lo tanto es importante conocer las instituciones donde se realizan investigaciones en esta área de la paleontología. Es indispensable revisar trabajos previos realizados en la región donde se va a recolectar, tener un objetivo bien definido, plan de trabajo y conocer técnicas de extracción, transporte, curatoriales y contar con un sitio de resguardo antes de realizar una recolecta en campo. Se recomienda a los académicos que inician alguna actividad paleontológica conocer y seguir los lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México, establecidos por el Consejo Nacional de

Tabla 2. Síntesis de los investigadores y docentes que realizan estudios sobre el registro fósil de plantas en México.

Investigador y/o docente	Institución (es) de adscripción	Líneas de Investigaciones
Dr. Sergio Rafael Silvestre Cevallos Ferriz	Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.	Sistemática y Evolución de plantas cretácicas y cenozoicas de México y sus nexos con América del Centro y del Sur, así como con el Caribe.
Dra. Ana Lilia Hernández Damián		Origen de la flora Neotropical a través del estudio de las angiospermas fósiles de México.
Dra. Elia Ramírez Arriaga		Palinoestratigrafía, palinoflora y palinotaxonomía de paleocuecas cenozoicas (Paleógeno y Neógeno) de México.
Dra. Socorro Lozano García	Departamento de Dinámica Superficial, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.	Cambio climático global con énfasis en variaciones en la vegetación del Cuaternario. Paleoeología y Palinología del Neógeno de México.
Dra. Uxue Villanueva Amadoz	Estación Regional del Noroeste (ERNO), Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.	Palinoestratigrafía y reconstrucciones paleoambientales del Paleozoico superior y Mesozoico de México.
Dra. Laura Calvillo Canadell	Departamento de Botánica, Herbario Nacional de México, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.	Taxonomía, sistemática filogenética y arquitectura foliar.
Dra. María Patricia Velasco de León	Colección de Paleontología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.	Taxonomía, distribución, paleoclima y paleoambientes con base en plantas del Paleozoico superior, Mesozoico y Cenozoico de México
Dra. Erika L. Ortiz Martínez		Paleoclima y taxonomía de plantas del Mesozoico y Cenozoico de México
M. en C. Pedro C. Martínez		Palinología del Jurásico del sur de México
Biól. Elizabeth Ortega Chávez		Paleoecología del Mesozoico del sur México
Biól. Diana S. Guzmán Madrid		Estudios cuticulares de plantas mesozoicas de México
Dr. Diego E. Lozano Carmona	Colección de Paleontología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.	Sistemática, fitogeografía y evolución de gimnospermas mesozoicas de México
	Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	
Dr. Carlos Castañeda Posadas	Laboratorio de Paleobiología, Ecocampus-Valsequillo, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Cambios en la paleodiversidad de México como consecuencia de la actividad tectónica del centro-sur del país.
Dr. Emilio Estrada Ruiz	Departamento de Zoología, Laboratorio de Ecología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional	Sistemática y distribución de plantas cretácicas y cenozoicas de México.
Dra. Martha Carolina Aguillón	Museo del Desierto de Coahuila (MUDEI)	Paleobotánica del Mesozoico de Coahuila, México.

Paleontología, órgano actualmente concentra la información nacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Posgrado VIEP-BUAP, por el apoyo para el desarrollo de sus investigaciones de CCP. También se agradece la Dirección General de Asuntos del Personal Académico por el apoyo al proyecto PAPIIT IN100721, desarrollado por MPVL. Por último, a la Facultad de Ciencias Biológicas FCB-BUAP por el apoyo a DELC en el desarrollo del proyecto P-001-2024.

Referencias

- Allmon, W. D. (2005). The importance of museum collections in paleobiology. *Paleobiology*, 31(1), 1–5. <https://www.jstor.org/stable/4096980>
- Anderson, J. M., & Anderson, H. M. (1983). *Palaeoflora of southern Africa. Molteno Formation (Triassic). Volume 1. Part. Introduction. Part 2. Dicrodium*. A. A. Balkema.
- Ángeles-Favila, R., Velasco de León P., Silva-Pineda, A., & Lozano-García, M. S. (2008). Análisis cuticular en fósiles mediante Microscopía Electrónica de Barrido. *Noveno Congreso Nacional de Microscopía*. Guanajuato, México.
- Ángeles-Favila, R. (2009). El género *Brachyphyllum* en el Mesozoico de México [Tesis de licenciatura no publicada]. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Boyce, C. K., Cody, G. D., Fogel, M. L., Hazen, R. M., Alexander, C. M. O. D., & Knoll, A. H. (2003). Chemical evidence for cell wall lignification and the evolution of tracheids in early Devonian

- plants. *International Journal Plant Science*, 164, 691–702. <http://dx.doi.org/10.1086/377113>
- Breña-Ochoa, A., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2022). Late Cretaceous Palm Leaves and an Inflorescence (Arecaceae or Palmae) from Olmos Formation, Northern Mexico. *International Journal of Plant Sciences*, 183(4). <https://doi.org/10.1086/718831>
- Briggs, D. E. G., & Eglinton, G. (1994). Chemical traces of ancient life. *Chemistry in Britain*, 31, 907–912.
- Castañeda-Posadas, C. (2023). *Podocarpus* (Podocarpaceae) Wood from miocene rocks in Panotla, Tlaxcala, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 121(2023), 104118.
- Castañeda-Posadas, C., Correa-Metrio, A., Escobar, J., Moreno, J. E., Curtis, J. H., Blaauw, M., & Jaramillo, C. (2022). Mid to late Holocene sea-level rise and precipitation variability recorded in the fringe mangroves of the Caribbean coast of Panama. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 592, 110918.
- Castañeda-Posadas, C., & Tomas-Mosso, A. (2024). Estudio palinológico de una sección portadora de ámbar de Totolapa, en Chiapas, México. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 1–16.
- Centeno-González, N. K., Martínez-Cabrera, H. I., Porras-Muzquiz, H., & Estrada-Ruiz, E. (2021). Late Campanian fossil of a legume fruit supports Mexico as a center of Fabaceae radiation. *Communications Biology*, 4, 41. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01533-9>
- Centeno-González, N. K., Porras-Muzquiz, H., & Estrada-Ruiz, E. (2023). Nuevo género de hojas ovadas de Rhamnaceae de la Formación Olmos (Cretácico Superior) de Coahuila, México. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 33–41.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., Rios Santos, C., & Lozano-García, S. (2019). *Abies cuitlahuacii* sp. nov., a mummified late Quaternary fossil wood from Chalco, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(1), 193–206.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., Santa-Catharina, A., & Kneller, B. (2021). Cretaceous Lauraceae Wood from El Rosario, Baja California, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 292, 104478. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104478>
- Cleal, C., & Thomas, B. (2019a). Angiosperms (pp. 188–212). *Introduction to Plant Fossils*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108650021.010>
- Cleal, C., & Thomas, B. (2019b). Highlights of Palaeobotanical Study (pp. 14–37). *Introduction to Plant Fossils*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108650021.002>
- Collinson, C. J. (1987). Special problems in the conservation of palaeobotanical material. In P. R. Crowther and C. J. Collins (eds.), *The conservation of geological material* (vol 4/7, 439–445). The geological curator.
- Consejo de Paleontología (CONPAL). (2024). Instituto Nacional de Antropología e Historia. <https://www.consejopaleontologia.inah.gob.mx/> Consultado en Junio 2024.
- Cristin, A., & Perrilliat, M. C. (2011). Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 421–427.
- Cross, A. T., & Phillips, T. L. (1990). Coal-forming plants through time in North America. In P. C. Lyons, T. G. Callcott and B. Alpern (Eds.), *Peat and Coal: Origin, Facies, and Coalification* (Volume 16, pp. 1–46). International Journal Coal Geology.
- D'Angelo, J. A., & Zodrow, E. L. (2015). Chemometric study of structural groups in medullosa lean foliage (Carboniferous, fossil Lagerstätte, Canada): Chemotaxonomic implications. *International Journal Coal Geology*, 138, 42–54.
- D'Angelo, J. A., & Zodrow, E. L., (2016). 3D chemical map and a theoretical life model for *Neuropteris ovata* var. *simonii* (index fossil, Asturian, Late Pennsylvanian, Canada). *International Journal Coal Geology*, 153, 12–27.
- Darrah, W. C. (1936). The peel method in paleobotany. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University*, 4(5), 69–83. <http://www.jstor.org/stable/41762635>
- de Leeuw, J. W., & Largeau, C. (1993). A Review of Macromolecular Organic Compounds That Comprise Living Organisms and Their Role in Kerogen, Coal, and Petroleum Formation. In Engel, M. H., Macko, S. A. (eds), *Organic Geochemistry. Topics in Geobiology* (Volume 11, pp. 23–68). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2890-6>
- Estrada-Ruiz, E. (2023). A new species of Winged fruits of *Podopterus* (Caryophyllales, Polygonaceae) from the Miocene amber, Chiapas, Mexico. *Paleoworld*, 32(1), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.06.005>
- Facultad de Ciencias Biológicas (FCB). (2024a). Académicos. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://csbiologicas.buap.mx/content/acad%C3%A9micos>, Consultado en Enero 2024.
- Facultad de Ciencias Biológicas (FCB). (2024b). Laboratorio de Paleobiología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://paleontologiapuebla.weebly.com/>, Consultado en Enero 2024.
- Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ). (2024). Línea de investigación en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.zaragoza.unam.mx/investigacion/lineas-investigacion/li-ciencias-tierra/>, Consultado en Enero 2024.
- Flores-Barragan, M. A., Velasco-de León, M. P., & Ortega-Chávez, E. (2021). New genus for megaphyllous leaves from the Upper Paleozoic of Mexico *Velascoa pueblensis* gen. nov. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103408. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103408>
- Flores-Barragan, M. A., Velasco-de León, M. P., & Moreno-Bedmar, J. A. (2023). Avances en el conocimiento de la macroflora de la Formación Tuzanco, Hidalgo, México, Pérmico Inferior. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 40(1), 1–15. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2023.1.1694>
- Hernández-Damián, A. L., Rubalcava-Knoth, M. A., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2023). *Aphananthe* Planch. (Cannabaceae) flower preserved in the Mexican amber. *Acta Palaeobotanica*, 63(1), 54–64. <https://doi.org/10.35535/acpa-2023-0004>
- Hernández-Hernández, M. J., Cruz, J. A., & Castañeda-Posadas, C. (2020). Paleoclimatic and vegetation reconstruction of the miocene southern Mexico using fossil flowers. *Journal of South American Earth Sciences*, 104, 102827.
- Hernández-Sandoval, L., Cevallos-Ferriz, S. R. S., & Hernández-Damián, A. L. (2023). *Nichima* gen. nov. (Alismataceae) based on reproductive structures from the Oligocene–Miocene of Mexico. *American Journal of Botany*, 110(10). <https://doi.org/10.1002/ajb2.16231>
- Instituto de Geología (IG). (2024a). Departamento de Paleontología. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.geologia.unam.mx/departamentos/departamento-paleontologia/comunidad-igl>, Consultado en Enero 2024.
- Instituto de Geología (IG). (2024b). Estacional Regional del Noroeste. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://erno.geologia.unam.mx/>, Consultado en Enero 2024.
- Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2024). El portal de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional. Elsevier B. V. <https://ipn.elsevierpure.com/es/persons/emilio-estrada-ruiz>, Consultado en Enero 2024.
- Kerp, H. (1990). The study of fossil gymnosperms by means of cuticular analysis. *Palaos*, 5(6), 548–569. <https://doi.org/10.2307/3514861>
- Kouwenberg, L. L. R., Hines, R. R., & McElwain, J. C. (2007). A new transfer technique to extract and process thin and fragmented fossil cuticle using polyester overlays. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.11.002>
- Lindahl, T. (1993). Instability and decay of the primary structure of DNA. *Nature*, 362, 709–715.
- Lindner, T. (2005). Leaf Assemblages, Taphonomy, Paleoclimatology and Paleogeography. In Koutsoukos E. (ed.), *Applied Stratigraphy* (pp. 179–202). Springer.
- Lozano-Carmona, D. E., & Velasco-de León, M. P. (2021). Bennettitales from the Middle Jurassic of northwestern Oaxaca, Mexico: Diversity, sedimentary environments, and phytogeography. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103404. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103404>

- Lozano-Carmona, D. E., Velasco-de León, M. P., & Jiménez-Rentería, J. (2024). Órganos reproductivos de Bennettitales del Jurásico Temprano de la colección del Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo "Ing. Jorge Jiménez Rentería", Oaxaca, México. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 17–33.
- Lozano-García, S., Torres-Rodríguez, E., Figueroa-Rangel, B., Caballero, M., Sosa-Najera, S., Ortega-Guerrero, B., & Acosta-Noriega, C. (2022). Vegetation history of a Mexican Neotropical basin from the late MIS 6 to early MIS 3: The pollen record of Lake Chalco. *Quaternary Science Reviews*, 297, 15.
- Macginitie, H. D. (1953). Fossil plants of the Florissant beds, Colorado. *Quarterly Review of Biology*, 30, 389 p.
- Montero, A., & Diéguez, C. (1991). Tipología, problemática y usos de la documentación asociada a las colecciones paleontológicas. *Boletín de la ANABAD*, 41(2), 153–163.
- Montero, A., & Diéguez, C. (2001). Colecta y Conservación de Fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 121–126.
- Morales-Toledo, J., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2023). Is biodiversity promoted in rift-associated basins? Evidence from Middle Jurassic conifers from the Otlaltepec Formation in Puebla, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 318, 104952. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104952>
- Mustoe, G. E. (2018). Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*, 8(3), 85p. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030085>
- Mustoe, G. E. (2023). Silicification of Wood: An Overview. *Minerals*, 13(2), 206p. <https://doi.org/10.3390/min13020206>
- Nip, M., Tegelaar, E. W., Brinkhuis, H., De Leeuw, J. W., Schenk, P. A., & Holloway, P. (1986). Analysis of modern and fossil plant cuticles by Curie point Py-GC and Curie point Py-GC-MS: recognition of a new, highly aliphatic and resistant biopolymer. In Leythausen, D., & Rullkotter, J. (eds), *Advances in organic geochemistry* (Volume 10, 769–778). Organic Geochemistry.
- Ortega-Chávez, E., Velasco-de León, M. P., & Estrada-Ruiz, E. (2021). Nuevo registro xilológico de los géneros fósiles *Agatoxylon* sp. y *Proophyllocladoxylon* sp. del Jurásico Medio de Oaxaca, México. *Paleontología Mexicana*, 10(1), 71–82.
- Pérez-Lara, D. K., Estrada Ruiz, E., & Castañeda-Posadas, C. (2021). *Kingiodendron* and *Enterobium* Eocene Woods from the EL Bosque Formation, Chiapas, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 111, 103477. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103477>
- Perrilliat, M. C., Applegate, S. P., & Espinosa-Arrubarrena, L. (1986). Organización y funcionamiento de las colecciones paleontológicas del Museo de Geología del Instituto de Geología de la UNAM. *Revista del Instituto de Geología*, 6(2), 272–274.
- Popa, M. E. (2011). Field and Laboratory techniques in plant compressions; an integrates approach. *Acta Paleontologica Romaniae*, 7, 279–283.
- Scott, A., & Collinson, M. (1983). Investigating fossil plants beds. The origin of fossil plants and their sediments. *Journal of the Association of Teachers of Geology*, 7, 114–122.
- Shute C. H., & Cleal, J. (1986). Cleal Palaeobotany in museums. The geological curator, 4(9), 548–569. <https://doi.org/10.2307/3514861>
- Taylor, T. N., Taylor, E. L., & Krings, M. (2009). *Paleobotany. The biology and evolution of fossil plants*. Elsevier.
- Taylor, T., Krings, M., Dotzler, N., & Galtier, J. (2011). The advantage of thin section preparations over acetate peels in the study of late Paleozoic fungi and other microorganisms. *Palaos*, 26, 239–244. <https://doi.org/10.2110/palo.2010.p10-131r>.
- Tomas-Mosso, A., Castañeda-Posadas, C., Cruz, J. A., & Alarcón-Durán, I. (2024). Pleistocene record of mammals and pollen from Mexico (Las Tazas, Valsequillo, Puebla) and their paleoenvironmental interpretation. *Paleontología Electrónica*, 27(1), a15. <https://doi.org/10.26879/1285>
- Tomelleri, I., Butzmann, R., Cleal, C., Forre, G., & Kustatscher, E. (2022). The plant fossils in the paleontological collection of Georg Grasser (1857–1931). *Géologie Alpine*, 19, 71–87.
- Van Bergen, P. F., Collinson, M. E., Scott, A. C., & De Leeuw, J. W. (1995). *Unusual resin chemistry from the Upper Carboniferous pteridosperm resinrodlets*. In ACS Symposium Series based on Amber, resinite and fossil resin, Washington, D.C., American Chemical Society, Anderson, K.B., & Crelling, J.C. (eds.), 149–169.
- Velasco-de León, M. P., Ortiz-Martínez, E. L., Lozano-Carmona, D. E., & Flores-Barragán, M. A. (2019). Paleofloristic Comparison of the Ayuquila and Otlaltepec basins, Middle Jurassic, Oaxaca, México. *Journal of South American Earth Sciences*, 93, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.008>
- Velasco-de León, M. P., Ortiz-Martínez, E. L., Lozano-Carmona, D. E., Flores-Barragan, M. A., Arellano-Gil, J., & Santillán-Piña, N. (2020). Paleofloristic diversity and paleoenvironmental interpretation of new Cisuralian localities in the south-central sector of the Anticlinorium of Huayacocotla, Hidalgo, Mexico. *Geobios*, 63, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2020.07.004>
- Velasco-de León, M. P., Guzmán-Madrid, D. S., Albarrán-Almaraz, E. E., & Montijo-González, A. (2023). *La colección de cutículas fósiles de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México*. En Convención Geológica Nacional, Ciudad de México, Sociedad Geológica Mexicana.
- Villanueva-Amadoz, U., Gerwet-Navarro, M., Juncal, M. A., & Diez, J. B. (2020). Paleobotanical and Palynological evidence for the age of the Matzitzi Formation, Mexico. *Comptes Rendus Géoscience – Sciences de la Planète*, 352(6-7), 515–538. <https://doi.org/10.5802/crgeos.33>

Técnicas de estudio de icnofósiles de vertebrados e invertebrados continentales en territorio mexicano

Techniques for studying ichnofossils of continental vertebrates and invertebrates in the Mexican territory

Guerrero-Arenas, Rosalía^{1,*}; Bravo-Cuevas, Victor Manuel²;
Jiménez-Hidalgo, Eduardo¹

¹Laboratorio de Paleobiología, Instituto de Recursos, Universidad del Mar. Km. 2.5 Carretera Puerto Escondido-Sola de Vega, 71980, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

²Museo de Paleontología, Área Académica de Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

* rosaliaga@zicatela.umar.mx

Resumen

Los icnofósiles son una fuente de información para la interpretación de los ambientes del pasado. Su estudio debe realizarse con prácticas adecuadas, de tal forma que se garantice la calidad de la información, así como su conservación a largo plazo y de sus localidades de procedencia. Con el fin de documentar las técnicas de campo que se practican en México, se refieren diversos casos de estudio de icnofósiles producidos por vertebrados e invertebrados continentales; asimismo, se describen las técnicas de rescate más usadas. Finalmente, se especifica la protección legal de los icnofósiles en México, así como algunos ejemplos exitosos de sitios protegidos.

Palabras clave: buenas prácticas, conservación, icnofósil continental, icnofósil terrestre, patrimonio icnológico, rescate.

Abstract

Ichnofossils represent a source of information for the interpretation of past environments. Their study must be executed with appropriate practices, attesting the quality of the information and the long-term conservation of the ichnofossils and their localities. Several Mexican case studies of ichnofossils produced by continental organisms are described to document the used field techniques, as well as the commonly used techniques of rescue are described. The legal protection of the ichnofossils in Mexico and some successful cases of protected sites are referred.

Keywords: conservation, continental trace fossil, good practices, ichnological heritage, rescue, terrestrial ichnofossil.

Cómo citar / How to cite: Guerrero-Arenas, R., Bravo-Cuevas, V. M., & Jiménez-Hidalgo, E. (2024). Técnicas de estudio de icnofósiles de vertebrados e invertebrados continentales en territorio mexicano. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 105–113.

Manuscrito recibido: Febrero 21, 2024.

Manuscrito corregido: Junio 16, 2024.

Manuscrito aceptado: Junio 17, 2024.



1. Introducción

Los icnofósiles registran la actividad de los organismos en o dentro del sustrato, con el fin de mantener sus funciones (Goldring, 1999). El término *ichnofossil* (inglés americano) o *trace fossil* (inglés británico) se conoce en español como icnofósil o fósil traza, respectivamente. Sin embargo, con fines de uniformar el uso de estos términos con base en el inglés de procedencia, se sugiere utilizar solamente uno (Jorge Genise, comunicación personal, 2024).

Aunque el término *icnofósil* pueda ser aparentemente simple de comprender, existen diversas discusiones en torno a lo que se considera como tal y las estructuras que no. De acuerdo con Bertling *et al.* (2022), las marcas de raíces, los coprolitos, los regurgitalitos, los cololitos, los gastrolitos y diversas estructuras generadas por mordidas y raspado se consideran como icnofósiles. Por otro lado, no se consideran icnofósiles a las raíces, los estromatolitos, los huevos o las agallas en tejidos vegetales, entre otras estructuras. Estos mismos autores (Bertling *et al.*, 2022) proponen referir como cecidiotaxones (*cecidotaxon*, en inglés) a aquellos tejidos de organismos hospederos que reaccionan ante organismos, como las agallas (también conocidas como cecidias) de las plantas, y no como un tipo de icnofósil.

Debido a que los icnofósiles generalmente se encuentran en el sitio en el que se formaron (*in situ*), es posible relacionarlos con ambientes de depósito y litología particulares. De manera simple, podemos referir a los icnofósiles de ambientes continentales, transicionales y marinos. De igual forma, también podemos referirnos informalmente a los icnofósiles producidos por vertebrados e invertebrados.

Las aplicaciones de la información derivada de icnofósiles puede ser de diferente índole: paleobiológica (como evolución del comportamiento, recolonización o información de animales con cuerpo blando), geoquímica (niveles de oxígeno o salinidad) y sedimentológica (distribución de porosidad, indicadores de corriente o naturaleza del sustrato) (Goldring, 1999). Los icnofósiles continentales ofrecen información sobre condiciones paleoambientales, paleoclimáticas y la historia de vida de sus productores.

Los objetivos de este artículo son: 1) Recopilar las técnicas habituales en el estudio de icnofósiles de vertebrados e invertebrados continentales, con base en estudios de caso en territorio mexicano; 2) Resumir las principales técnicas usadas en rescate de icnofósiles continentales en México y 3) Discutir el marco legal y las medidas de protección con que cuentan diversos afloramientos icnofosilíferos en el país.

2. Técnicas de estudio

Por su naturaleza, el estudio de los icnofósiles demanda técnicas específicas para obtener la mayor parte

de los datos en campo. En varios casos, es imposible recolectar el ejemplar o los ejemplares para su resguardo posterior en alguna colección, por lo que deben dejarse en la zona de origen. Por ello, es necesario considerar diversas medidas de registro y protección a largo plazo, incluso desde la planeación de la salida al campo.

Con el fin de ejemplificar diversas técnicas de estudio, a continuación se abordará una recopilación de estudios de caso con icnofósiles hallados en México, tanto de vertebrados como de invertebrados.

2.1. Vertebrados continentales

El registro de icnofósiles de vertebrados continentales de México consiste en huellas, coprolitos y madrigueras. La diversidad icnológica conocida tiene un alcance geocronológico del Jurásico Medio al Pleistoceno y se asocia a huellas de dinosaurios, pterosaurios, cocodrilos, tortugas, aves y mamíferos (Rodríguez de la Rosa *et al.*, 2004; Bravo-Cuevas y Rodríguez de la Rosa, 2014), coprolitos de dinosaurios y mamíferos (Rodríguez de la Rosa *et al.*, 1998; Bravo-Cuevas *et al.*, 2017), así como madrigueras producidas por mamíferos pequeños (Guerrero-Arenas *et al.*, 2020).

2.1.1. Huellas

Las huellas representan la evidencia más común y mejor documentada entre los icnofósiles de vertebrados continentales de México, con un número importante de localidades mesozoicas y en menor medida cenozoicas. El primer reporte de este tipo de evidencia es de finales del siglo XIX y corresponde al del naturalista Alfredo Dugès quien describió impresiones atribuidas a un felido y aves del Cenozoico tardío de Jalisco (Dugès, 1894). El estudio intensivo de huellas fósiles comenzó en la segunda mitad del siglo XX, incluyendo varios hallazgos y reportes de afloramientos con impresiones producidas por dinosaurios (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1995). En este siglo XXI se han descubierto nuevos yacimientos junto con el estudio y análisis de las huellas que preservan (*e.g.*, Rodríguez de la Rosa *et al.*, 2012; Jiménez-Hidalgo y Guerrero-Arenas, 2018), además, se han reevaluado algunos sitios previamente estudiados (*e.g.*, Meyer *et al.*, 2008; Cabral-Perdomo *et al.*, 2018).

En México, los métodos para documentar este tipo de evidencia han seguido las prácticas tradicionales utilizadas desde la segunda mitad del siglo XIX, las cuales incluyen la realización de dibujos y la captura de fotografías, tanto de huellas aisladas como de rastros (Falkingham *et al.*, 2017). Asimismo, la elaboración de duplicados de diferentes materiales, como yeso o resina es una técnica recurrente. En algunos casos, se ha utilizado una cubierta plástica transparente para registrar la distribución espacial y orientación de las huellas (*e.g.*, Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2007).

La calca del contorno de las huellas suele ser un método “impreciso” en el que se puede perder

información de los detalles morfológicos y posibles variaciones extramorfológicas, mientras que las fotografías proveen de un mayor detalle (Falkingham *et al.*, 2017). En muchos de los trabajos de huellas fósiles de México se presentan tanto los dibujos como las fotografías para complementar la información del registro y con ello obtener una mayor cantidad de datos (*e.g.*, Rodríguez de la Rosa y Guzmán-Gutiérrez, 2012).

La generación de modelos 3D de huellas fósiles es una estrategia que actualmente se utiliza para documentar el registro. Estos modelos muestran un alto grado de precisión de la morfología de las huellas y pueden replicarse con el mismo detalle. Las técnicas que se usan incluyen la fotogrametría y escáneres láser (Falkingham *et al.*, 2017). En México, estos métodos han sido poco explorados y, por lo tanto, representa un área de oportunidad para futuros estudios icnológicos y conservación del registro en bases de datos. Actualmente, la fotogrametría digital se ha aplicado en el registro de huellas de dinosaurio de diversas localidades del Cretácico tardío de Coahuila (Gaudiño-Maussán *et al.*, 2018).

2.1.2. Coprolitos

Los coprolitos son heces fecales fosilizadas que proveen de información paleobiológica y arqueológica relevante (Yang *et al.*, 2022; Blong *et al.*, 2023). Para la colecta de este tipo de icnofósiles se puede implementar alguna de las técnicas convencionales en paleontología de vertebrados (Montero y Diéguez, 2001; Melendi *et al.*, 2009). Sin embargo, es recomendable evitar la aplicación de adhesivos y consolidantes, dado que su composición química podría alterar el análisis mineralógico y/o bioquímico de los ejemplares.

Algunos análisis para el estudio de los coprolitos son destructivos, incluyendo el contenido mineralógico, así como la extracción de microfósiles (*e.g.*, polen, parásitos), macrofósiles (*e.g.*, huesos, plantas) y biomoléculas (*e.g.*, ácidos nucleicos, lípidos) (Shillito *et al.*, 2020). Previo a la realización de este tipo de análisis, es importante que se lleve a cabo la captura fotográfica de los ejemplares, documentar su color, morfología, dimensiones, peso y estado de preservación (Jouy-Avantín *et al.*, 2003), así como es deseable la elaboración de duplicados. Por su parte, la microtomografía computarizada (μ TC) mediante rayos X es una estrategia que permite caracterizar el contenido de los coprolitos sin dañar los ejemplares (Blong *et al.*, 2023) y, por lo tanto, preservar el registro.

En México, se conocen coprolitos de vertebrados del Cretácico Tardío de Coahuila, los cuales fueron analizados por detección de energía dispersiva con un microscopio electrónico de barrido y seccionados para conocer su contenido (Rodríguez de la Rosa *et al.*, 1998). También se cuenta con evidencia de coprolitos producidos por un cánido del Pleistoceno Tardío de

Hidalgo, cuyo estudio incluyó la caracterización mineralógica por difracción de rayos X, así como el análisis de su contenido por microtomografía computarizada (Bravo-Cuevas *et al.*, 2017).

2.1.3. Madrigueras

Las madrigueras fosilizadas producidas por vertebrados son relativamente comunes (Cardonatto y Melchor, 2018), aunque en México los icnofósiles de este tipo son poco conocidos. Guerrero-Arenas *et al.* (2020) describieron un sistema de madrigueras producido por geómidos del Oligoceno de Oaxaca (Figura 1). Con base en la naturaleza de este tipo de evidencia y dada la extensión que llegan a ocupar, es que su protección y mantenimiento debe realizarse *in situ* y, por lo tanto, alguna de las estrategias de conservación implementadas en yacimientos con huellas fosilizadas podría aplicarse de manera potencial en sitios con madrigueras fósiles. La extracción parcial o total de la superficie que aloja este tipo de evidencia resultaría costosa, y podría correrse el riesgo de que el registro se dañe si no se cuenta con la logística, equipo, maquinaria y recursos humanos idóneos para tal efecto.



Figura 1. Yacimiento fosilífero con abundantes sistemas producidos por geómidos. El icnotaxón fue nombrado *Yavii-chnus iniyoensis* (Guerrero-Arenas *et al.*, 2020). La localidad se encuentra en la población de Santiago Yolomécatl, Oaxaca. Los afloramientos pertenecen a la Formación Chilapa.

2.2. Invertebrados continentales

Los organismos invertebrados productores de icnofósiles de ambientes terrestres y lacustres incluyen una miríada de artrópodos, anélidos, crustáceos y organismos vermiformes (Hasiotis, 2002; Genise, 2017).

En México, son pocos los hallazgos de icnofósiles continentales producidos por invertebrados. En yacimientos del Oligoceno de la Formación Chilapa, en la Mixteca Alta de Oaxaca, se han registrado diversos sistemas producidos por abejas minadoras y coleópteros en paleosuelos (Jiménez-Hidalgo *et al.*, 2015; Guerrero-Arenas *et al.*, 2018). En la Formación Cerro del Pueblo (Cretácico Tardío) también se han documentado icnofósiles producidos por artrópodos en huesos de dinosaurios (Serrano-Brañas *et al.*, 2019; Venegas Gómez *et al.*, 2023). En ambos trabajos, las técnicas de estudio consistieron básicamente en la limpieza de los ejemplares y la toma de sus características merísticas usando vernieres.

En el caso de los icnofósiles en paleosuelos, generalmente suelen destacar las estructuras que se erosionan por el viento y el agua. En muchos casos, las cámaras son más visibles, ya que tienen mayor potencial de preservación que los túneles, por lo que tienden a conservarse mejor. Por ello, al ubicar una estructura en el sustrato, no debe de extraerse, ya que puede separarse del resto de un sistema. Se aconseja observar si hay celdas en solitario o agrupadas (aun cuando aparentemente no tengan ninguna conexión por túneles) y, una vez que se ubiquen, tratar de separar la laja con ellos. Si es posible, es mejor llevar los bloques al laboratorio e ir descubriendo los sistemas del resto del paleosuelo. En algunos casos, los sistemas se consolidan y pueden montarse con ayuda de monturas *ad hoc*. Sin embargo, si no es posible montarlas, es mejor mantenerlas sin separar el bloque de sedimento que las contiene, especialmente aquellos sistemas con túneles delgados y largos o estructuras que puedan romperse. También se aconseja no sacar del sedimento a aquellas celdillas que estén agrupadas, ya que se perdería la configuración y arreglo tridimensional del sistema (Figura 2). En algunos casos, con el fin de reinterpretar correctamente la posición de los sistemas, es mejor mantener los sistemas en el bloque de sedimento para tener una idea más aproximada de la posición original de los icnofósiles.

En el caso de las estructuras en hueso, debe removerse de ellas cualquier resto del sedimento circundante. Se debe tener especial cuidado al usar instrumentos afilados o punzocortantes para sacar el sedimento de las perforaciones, ya que la forma de éstas puede alterarse, lo que impacta la información potencial a partir de ésta.

3. Técnicas de rescate

Las técnicas de rescate refieren aquellas intervenciones que necesitan realizarse por emergencias y que



Figura 2. Las celdillas que se agrupan en clusters no deben separarse del sedimento, ya que se perdería el arreglo espacial del grupo. La escala es en milímetros. Ejemplares procedentes de la Formación Chilapa, en Santiago Yolomécatl, Oaxaca.

involucran la pérdida parcial o total del registro. En estos casos, puede existir la recuperación total o parcial de los icnofósiles, y en otros no, dependiendo de diversos factores. Entre éstos se considera el peso de la laja portadora, la posición de los estratos, la accesibilidad al sitio o la extensión del área icnofosilífera. Dependiendo de éstos y de los recursos disponibles, se seleccionará la técnica de rescate a ejecutar. En general, lo que debe asegurarse es la conservación de los ejemplares a largo plazo, tanto como sea posible en campo. De no ser posible, la información queda en registros digitales en repositorios académicos y colecciones.

Los rescates de material de icnofósiles de vertebrados son más frecuentes, debido a que varios de ellos son registros únicos. Hasta el momento, no se han ejecutado rescates de icnofósiles producidos por invertebrados continentales en territorio mexicano.

3.1. Digitalización

En la actualidad, la generación de modelos 3D es el protocolo utilizado para el registro y análisis de huellas y rastros. La digitalización mediante el escaneo láser y la fotogrametría se han convertido en las herramientas

fundamentales para tal efecto (Bates *et al.*, 2010; Falkingham *et al.*, 2017; Lallensack *et al.*, 2022).

El escaneo láser genera una nube de puntos que integra una réplica geométrica detallada de la superficie de un objeto. La combinación de imágenes fotográficas con la nube de puntos produce un modelo 3D fotorrealista (Bates *et al.*, 2010). Esta técnica crea modelos con una alta precisión; sin embargo, los escáneres digitales con cámara acoplada suelen ser costosos.

La fotogrametría es un método accesible que requiere de una cámara y una computadora (Falkingham *et al.*, 2017). En términos generales, consiste en la captura de una serie de imágenes fotográficas que se procesan en un software para generar un modelo 3D del objeto (Lallensack *et al.*, 2022). Cabe señalar que hay varias opciones de software de acceso libre que pueden utilizarse para un análisis fotogramétrico (*e.g.*, Meshroom, Polycam). Esta técnica puede complementarse con el uso de drones con cámara, lo cual permite cubrir un área mayor y obtener modelos digitales de un afloramiento, recuperando la orientación y distribución espacial del registro icnofosilífero (Cónsole-Gonella *et al.*, 2021).

El escaneo láser y la fotogrametría son técnicas no destructivas que proporcionan información icnotaxonómica importante. A partir de los modelos 3D que generan es posible realizar interpretaciones biomecánicas, tafonómicas y paleoambientales; asimismo, representan bases de datos de referencia y medios de preservación digital del registro icnofosilífero (Falkingham *et al.*, 2017; Mujal *et al.*, 2020). En México, la aplicación de estos métodos es aún incipiente y representa un área de oportunidad para futuros estudios sobre icnofósiles de vertebrados.

En relación con las técnicas empleadas en estudios de icnofósiles producidos por invertebrados en territorio mexicano, todavía no se han aplicado técnicas de rayos X, tomografía computarizada o escaneo láser.

3.2. Fotografías

Las fotografías son uno de los medios estándar para documentar icnofósiles, pues su uso también constituye un mecanismo de conservación a largo plazo (Lockley y Hunt, 1995). Debido a que los registros fotográficos se pueden conservar en archivos digitales o impresos en papel en las colecciones paleontológicas, estos archivos quedan al alcance de cualquier investigador que desee revisarlas.

Es recomendable guardar las fotografías digitales en formato TIFF y no JPG, ya que los archivos TIFF guardan una mayor cantidad de datos y no pierden definición cada vez que se abren, a diferencia de los archivos JPG, en los que hay pérdida de datos por el tipo de compresión que usan. Adicionalmente, en los archivos JPG pueden aparecer artefactos (la imagen se “píxelea”) con el tiempo (Adobe, 2023). Las fotografías también deben contar con una escala centimétrica o milimétrica, no objetos como un bolígrafo, por ejemplo. Si es necesario, se pueden realizar dos tomas, una con escala y otra sin escala.

3.3. Extracción

La extracción de un afloramiento icnofosilífero para su protección es un evento excepcional, ya que, de no realizarse correctamente, se corre el riesgo de perder el registro de los icnofósiles. Un caso exitoso es la localidad Paluxy River, Formación Glen Rose, del Cretácico Temprano de Texas, en Estados Unidos. Este es uno de los sitios más famosos con huellas de dinosaurios que aloja un importante número de impresiones producidas por saurópodos y terópodos. En 1970 fue considerado área natural protegida a la que se conoce como “*Dinosaur Valley State Park*” (Jasinski, 2009). Después de la Gran Depresión en los Estados Unidos, bloques de este afloramiento fueron extraídos y llevados al Museo Americano de Historia Natural en Nueva York y al *Texas Memorial Museum* en Austin, Texas, para su exhibición y resguardo (Farlow *et al.*, 2012).

En México no se ha documentado ningún caso en el que se extraigan las lajas de algún afloramiento, pero en casos excepcionales, podría considerarse siempre y cuando se cuenten con los recursos logísticos y humanos para asegurar la integridad de los ejemplares, así como su resguardo permanente en una colección científica.

4. Importancia de la colecta y rescate oportuno

Como mencionamos, los icnofósiles son una fuente de información valiosa (*e.g.*, taxonomía, biomecánica, ecología, tafonomía, paleoambiente). Asimismo, son parte del geopatrimonio de cualquier nación y, por lo tanto, tienen un valor científico, cultural, educativo y social. En consecuencia, es importante procurar el registro adecuado de este tipo de evidencias y promover su protección.

Previo al estudio y/o la intervención de una localidad con icnofósiles, es muy importante dar aviso y solicitar los permisos necesarios a las personas y autoridades competentes. Llevar a cabo y promover este tipo de prácticas entre los paleontólogos, autoridades y sociedad, conducirá a dar a conocer y sensibilizar a las personas del valor biogeocultural de los yacimientos icnofosilíferos. En el caso de los ejemplares que no pueden trasladarse a una colección, esta sensibilización debe realizarse, ya que las personas que viven cerca de los sitios fosilíferos son las que pueden garantizar, en buena medida, su conservación a largo plazo.

Realizar los procesos adecuados es importante, ya que garantiza que los icnofósiles no se alteren durante su estudio. El uso de diversas sustancias, como el yeso, pueden alterar o incluso destruir las huellas si no se emplea de manera correcta. Diversos afloramientos mexicanos accesibles al público, como Pie de Vaca, en Puebla, centro de México, han sido afectados por las malas prácticas de colecta (Aranguthy-García, 2023).

En otros casos, la ubicación de los afloramientos puede verse amenazada por la escorrentía, meteorización y la

erosión. Los yacimientos icnofosilíferos son bienes inmuebles que forman parte del patrimonio paleontológico, cuya protección y mantenimiento debe procurarse *in situ*. Para tal efecto, se ha implementado la construcción de muros de contención, cercas y/o el techado de la superficie del terreno en la que está preservado el registro. Esto con la finalidad de minimizar los efectos de la meteorización y erosión por escorrentía, así como la alteración antrópica accidental y/o intencional. Si se cuenta con suficientes recursos, en algunos casos es recomendable construir una edificación que cubra todo el afloramiento (Sheldon, 1994; Pérez-Lorente, 2015). La comunicación y trabajo conjunto entre los habitantes de la región, las autoridades y los paleontólogos son necesarios para establecer las estrategias adecuadas de protección y su mantenimiento posterior. Algunos de estos procedimientos de conservación se han implementado en la localidad de Esqueda que forma parte del Grupo Cabullona, Cretácico Tardío de Sonora y en la que están preservados rastros producidos por hadrosaurios y terópodos (González-León *et al.*, 2022).

5. Protección a los registros icnológicos

La “Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas” (1972, reformada en 2018) es el instrumento legal que resguarda la protección y conservación de los fósiles y sitios paleontológicos mexicanos. En ella, existe un equiparamiento de los restos fosilizados corporales y de los icnofósiles, ya que ambos tipos de evidencia son parte del patrimonio paleontológico. De igual manera, en los “Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México” (INAH, 2020), los restos fosilizados corporales e icnofósiles se equiparan y quedan sujetos a las mismas condiciones.

En el caso de localidades con registros paleoicnológicos, existen varios ejemplos de sitios que gozan de protección debido a su importancia. A continuación, mencionamos algunos de los casos más emblemáticos.

5.1. Ejemplo de casos en territorio mexicano

A lo largo del territorio nacional se conocen numerosos sitios icnofosilíferos cuyo estudio ha proporcionado información geobiológica importante. Algunos de estos han sido considerados patrimonio cultural debido al significativo acervo paleontológico que albergan, tal es el caso de Las Águilas y Pie de Vaca en las regiones norte y centro de México respectivamente.

En el 2011, la localidad Las Águilas en el Municipio de General Cepeda al sureste del estado de Coahuila, fue inscrita en el Registro Público de Zonas y Monumentos Arqueológicos Inmuebles del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), formando parte del patrimonio paleontológico mexicano que amerita ser protegido y conservado (Aguilar-Arellano, 2012). El yacimiento

icnofosilífero es parte de la Formación Cerro del Pueblo del Cretácico Tardío (Campaniano), con una extensión de aproximadamente 5,000 m² y en el que están preservadas unas 200 huellas. Este registro representa la asociación más grande de huellas de dinosaurios en México, con una diversidad icnológica que se asocia a hadrosaurios (grupo más abundante), así como ornitomíidos, dromeosáuridos y tiranosáuridos (Rodríguez de la Rosa *et al.*, 2003; Meyer *et al.*, 2008; Rivera-Sylva *et al.*, 2017).

La localidad Pie de Vaca se ubica en la región centro-meridional de Puebla, forma parte de la formación homónima y consiste en un afloramiento de unos 200 m² en el que están preservados numerosos rastros que se asocian a más de 200 huellas producidas por camélidos, félidos y pecaríes (Cabral-Perdomo *et al.*, 2018; Bravo-Cuevas *et al.*, 2019) (Figura 3). El yacimiento concentra, hasta ahora, la mayor diversidad y número de huellas de mamíferos del Cenozoico tardío de México. En 1998, Pie de Vaca, junto con la Cantera Tlayúa y el ahora Museo Regional Mixteco Tlayúa en el Municipio de Tepexi de Rodríguez, fueron declarados Patrimonio Cultural del Estado de Puebla (González-Rodríguez *et al.*, 2023).

Con relación a la protección de localidades paleontológicas con icnofósiles de invertebrados continentales,



Figura 3. La localidad Pie de Vaca, en el estado de Puebla, se caracteriza por diversos rastros producidos por mamíferos, como camélidos félidos y tayasúidos. La edad de este afloramiento es de Plioceno-Pleistoceno.

un único caso ha sido registrado en Santiago Yolomécatl, al noroeste de Oaxaca. Esta localidad se inscribió en el Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, y se caracteriza por una abundancia notable de sistemas producidos por abejas minadoras (*Celliformidae*) (Figuras 4a y 4b). Aunque la zona está dentro de la jurisdicción de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García de Santiago Yolomécatl, las autoridades de este recinto y la gente de la población permitieron su resguardo, lo cual garantiza en buena medida su conservación a mediano y largo plazo.

6. Conclusiones

Los icnofósiles son una fuente invaluable de información paleoambiental, etológica y evolutiva que debe ser conservada apropiadamente. Dependiendo del grupo icnotaxonómico, existen diversas técnicas para su estudio, como la recolecta, las fotografías, la calca del contorno de huellas en cubiertas plásticas o la fotogrametría.

Los yacimientos icnofosilíferos rara vez se pueden transportar a las colecciones paleontológicas, por lo que es necesario contar con estrategias adecuadas que permitan su conservación a largo plazo, como la edificación de muros, vallas o techos que disminuyan la erosión y meteorización de los sitios.

La “Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas” (1972) es la encargada de brindar la protección y conservación de los fósiles directos y de las huellas de actividad de especies extintas, así como de las localidades fosilíferas mexicanas donde se hallan. Por ello, es necesario ceñirse a los Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México, y con ello cumplir con la normatividad actual.

Agradecimientos

Al Dr. Carlos Castañeda Posadas por su invitación a participar en el “Paleoworkshop: rescate del material paleontológico mexicano”. Dicha participación



Figura 4. a) Panorámica de la localidad paleontológica de Santiago Yolomécatl, en Oaxaca. El área se encuentra dentro del perímetro delineado por postes y alambre. b) El sello que el área tiene en una de sus esquinas y que señala que el área está registrada en el Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas. La localidad paleontológica se caracteriza por su abundancia de icnofósiles producidos por abejas minadoras y pertenece a la Formación Chilapa.

permitió la publicación de este escrito. Agradecemos las sugerencias y comentarios de dos revisores anónimos.

Referencias

- Adobe (2023). *JPG vs TIFF*. <https://www.adobe.com/mx/creativecloud/file-types/image/comparison/jpeg-vs-tiff.html>, consultado en Febrero 2024.
- Aguilar-Arellano, F. (2012). ¿Cómo proteger yacimientos paleontológicos?, la experiencia del INAH en Coahuila. *El Tlacuache, Suplemento Cultural, La Jornada Morelos*, 529, 1–2.
- Aranguthy-García, K. (2023). Problemas y desafíos en la conservación de Pie de Vaca, Plio-Pleistoceno de Tepexi de Rodríguez, Puebla, centro de México. *Memorias del V Simposio Latinoamericano de Icnología SLIC 2023. Universidad del Mar, Puerto Escondido, Oaxaca, México*, 14.
- Bates, K. T., Falkingham, P. L., Rarity, F., Hodgetts, D., Purslow, A., & Manning, P. L. (2010). Application of high-resolution laser scanning and photogrammetric techniques to data acquisition, analysis and interpretation in palaeontology. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK, 68–73.
- Bertling, M., Buatois, L. A., Knaust, D., Laing, B., Mángano, M. G., Meyer, N., Mikuláš, R., Minter, N. J., Neumann, C., Rindsberg, A. K., Uchman, A., & Wisshak, M. (2022). Names for trace fossils 2.0: theory and practice in ichnotaxonomy. *Lethaia*, 55(3), 1–19. <https://doi.org/10.18261/let.55.3.3>
- Blong, J. C., Whelton, H. L., van Asperen, E. N., Bull, I. D., & Shillito, L. M. (2023). Sequential biomolecular, macrofossil, and microfossil extraction from coprolites for reconstructing past behavior and environments. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1131294. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1131294>
- Bravo-Cuevas, V. M., & Rodríguez de la Rosa, R. A. (2014). A summary of the Mesozoic vertebrate tracks of Mexico. In H. Rivera-Silva, K. Carpenter, & E. Frey (Eds.), *Dinosaurs and other reptiles from the Mesozoic of Mexico* (pp. 181–192). Indiana University Press.
- Bravo-Cuevas, V. M., Morales-García, N. M., Barrón-Ortiz, C. R., Theodor, J. M., & Cabral-Perdomo, M. A. (2017). Canid coprolites from the Late Pleistocene of Hidalgo, Central Mexico: Importance for the Carnivore Record of North America. *Ichnos*, 24(4), 239–249. <https://doi.org/10.1080/10420940.2016.1270209>
- Bravo-Cuevas, V. M., Jiménez-Hidalgo, E., Cabral-Perdomo, M. A., & Contreras-López, M. (2019). The first Mexican record of peccary footprints (Artiodactyla, Tayassuidae) from the late Cenozoic of Puebla: ichnotaxonomy and palaeobiological considerations. *Historical Biology*, 31(9), 1135–1144. <https://doi.org/10.1080/08912963.2018.1424844>
- Cabral-Perdomo, M. A., Bravo-Cuevas, V. M., Pérez-Pérez, A., & García-Cabrera, N. (2018). Descripción de las huellas de camélidos y félidos de la localidad Pie de Vaca, Cenozoico Tardío de Puebla, centro de México y algunas consideraciones paleobiológicas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(2), 397–416. <https://doi.org/10.18268/bsgm2018v70n2a9>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1972). Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos (DOF 16-02-2018). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf
- Cardonatto, M. C., & Melchor, R. N. (2018). Large mammal burrows in late Miocene calcic paleosols from central Argentina: paleoenvironment, taphonomy and producers. *PeerJ*, 6, e4787. <https://doi.org/10.7717/peerj.4787>
- Cónsole-Gonella, C., Díaz-Martínez, I., Citton, P., & Valais, S. (2021). New record of Late Cretaceous vertebrate tracks from the Yacoraite Formation (Juella, Quebrada de Humahuaca, north-western Argentina): aerial drone survey, preservation and sedimentary context. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, 103116 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103116>
- Dugès, A. (1894). Felis fósil de San Juan de los Lagos. *La Naturaleza: periódico científico del Museo Nacional de Historia Natural y de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 2ª serie, 2, 421–423.
- Falkingham, P. L., Bates, K. T., Avanzini, M., Bennett, M., Bordy, E. M., Breithaupt, B. H., Castanera D., Citton, P., Díaz-Martínez, I., Farlow, J. O., Fiorillo, A. R., Gatesy, S. M., Getty, P., Hatala, K. G., Hornung, J. J., Hyatt, J. A., Klein, H., Lallensack, J. N., Martin, A. J., Marty, D., Matthews, N. A., Meyer, C. A., Milán, J., Minter, N. J., Razzolini, N. L., Romilio A., Salisbury, S. W., Sciscio, L., Tanaka, I., Wiseman, A. L. A., Xing, L. D., & Belvedere, M. (2017). A standard protocol for documenting modern and fossil ichnological data. *Palaeontology*, 61(4), 469–480. <https://doi.org/10.1111/pala.12373>
- Farlow, J. O., O'Brien, M., Kuban, G. J., Dattilo, B. F., Bates, K. T., Falkingham, P. L., Pinuela, L., Rose, A., Freels, A., Kumagai, C., Libben, C., Smith, J., & Whitcraft, J. (2012). Dinosaur Tracksites of the Paluxy River Valley (Glen Rose Formation, Lower Cretaceous), Dinosaur Valley State Park, Somervell County, Texas. In *Actas de V Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno, Salas de los Infantes, Burgos*. 41–69.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Jiménez-Hidalgo, E., & Bravo-Cuevas, V. M. (1995). Jurassic and Cretaceous dinosaur footprints from Mexico: Additions and Revision. *Journal of Vertebrate Paleontology, Abstracts of papers*, 15(3), 28A.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Bravo-Cuevas, V. M., & Jiménez-Hidalgo, E. (2007). The Xochitlapilco dinosaur ichnofauna, Middle Jurassic of Oaxaca, southeastern Mexico: Description and paleontologic significance. *Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles County*, 515, 1–40.
- Gaudiño-Maussán, J. L., Aguilar, F. J., & Hernández-Rivera, R. (2018). Aplicación de fotogrametría digital para el registro de las huellas de dinosaurio de la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 7(2), 307–324. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2018v70n2a3>
- Genise, J. F. (2017). *Ichnoentomology. Insect Traces in Soils and Paleosols*. Elsevier.
- Goldring, R. (1999). *Field Palaeontology*. Taylor and Francis.
- González-León, C. M., Serrano-Brañas, C. I., Villanueva-Amadoz, U., Scott, R. W., & Duarte-Bigurra, R. (2022). Estratigrafía y paleontología del Grupo Cabullona (Campaniano- Maastrichtiano), noreste de Sonora. Síntesis para una excursión a la Cuenca Cabullona. *Paleontología Mexicana*, 11(2), 87–110.
- González-Rodríguez, K. A., Bravo-Cuevas, V. M., Cuevas-Cardona, C., Cabral-Perdomo, M. A., & Ortiz-Caballero, E. (2023). The Hidden Faces of Paleontology: Some Case Studies in Central Mexico. *Geoheritage*, 15, 134. <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00902-0>
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & Genise, J. F. (2018). The oldest beetle and bee ichnofossils from Mexico and their paleoenvironmental implications. *Ichnos*, 25(4), 269–273. <https://doi.org/10.1080/10420940.2017.1386184>
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & Genise, J. F. (2020). Burrow systems evince nonsolitary geomyid rodents from the Paleogene of southern Mexico. *PLoS ONE*, 15(3), e0230040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230040>
- Hasiotis, S. T. (2002) Continental Trace Fossils. SEPM Short Course Notes, n. 51. 132 pp. *SEPM Society for Sedimentary Geology*. <https://doi.org/10.2110/scn.06.51>
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). (2020). *Lineamientos para la investigación de vestigios fósiles de interés paleontológico en México*. <https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01612485398.PDF>, consultado en Febrero 2024.
- Jasinski, L. E. (2009). *Dinosaur Highway: A History of Dinosaur Valley State Park*. Texas Christian University Press.
- Jiménez-Hidalgo, E., Smith, K. T., Guerrero-Arenas, R., & Alvarado-Ortega, J. (2015). The first Late Eocene continental faunal assemblage from tropical North America. *Journal of South*

- American Earth Sciences*, 57, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.12.001>
- Jiménez-Hidalgo, E., & Guerrero-Arenas, R. (2018). The oldest camel footprints from Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(2), 351–359. <https://doi.org/10.18268/bsgm2018v70n2a5>
- Jouy-Avantin, F., Debenath, A., Moigne, A. M., & Mone, H. (2003). A Standardized Method for the Description and the Study of Coprolites. *Journal of Archaeological Science*, 30, 367–372. <https://doi.org/10.1006/jasc.2002.0848>
- Lallensack, J. N., Buchwitz, N., & Romillo, A. (2022). Photogrammetry in Ichnology: 3D model generation, visualisation, and data extraction. *Journal of Paleontological Techniques*, 22, 1–18. <https://doi.org/10.31223/X5J30D>
- Lockley, M., & Hunt, A. P. (1995). *Dinosaur tracks and other fossil footprints of the western United States*. Columbia University Press.
- Melendi, D. L., Scafati, L., Volkheimer, W., & Chávez, R. F. (2009). Técnicas extractivas y preparativas en Paleontología. Aspectos ambientales y de seguridad laboral. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales, nueva serie*, 11(1), 107–129.
- Meyer, C. A., Frey, E., & Thüring, B. (2008). The pitfalls of interpreting incomplete dinosaur trackways – an example of a dromeosaurid trackway from the Late Cretaceous of the Sierra Madre Oriental (Cerro del Pueblo Formation, Late Campanian; Parras Basin, Coahuila, NE Mexico). In Z. Krempaská (Ed.), *6th Meeting of the European Association of Vertebrate Paleontologists, Spišská Nová Ves, Slovak Republic* (Volume of Abstracts, pp. 69–73). Museum of Spiš, Spišská Nová Ves, Slovak Republic.
- Montero, A., & Diéguez, C. (2001). Colecta y conservación de fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 121–126.
- Mujal, E., Marchetti, L., Schoch, R. R., & Fortuny, J. (2020). Upper Paleozoic to Lower Mesozoic Tetrapod Ichnology Revisited: Photogrammetry and Relative Depth Pattern Inferences on Functional Prevalence of Autopodia. *Frontiers in Earth Science*, 8, 248. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00248>
- Pérez-Lorente, F. (2015). *Dinosaur footprints & trackways of La Rioja*. Indiana University Press.
- Rivera-Silva, H. E., Frey, E., Schulp, A. S., Meyer, C., Thuring, B., Stinnesbeck, W., & Vanhecke, V. A. A. (2017). Late Campanian theropod trackways from Porvenir de Jalpa, Coahuila, Mexico. *Palaeovertebrata*, 41(2), e1. <https://doi.org/10.18563/pv.41.2.e1>
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., & Guzmán-Gutiérrez, J. R. (2012). Huellas de aves y mamíferos del Neógeno de Jalisco, México. *Paleontología Mexicana*, 62, 147–158.
- Rodríguez de la Rosa, R. A., Cevallos-Ferriz, S. R. S., & Silva-Pineda, A. (1998). Paleobiological implications of Campanian coprolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 142(3–4), 231–254. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(98\)00052-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(98)00052-2)
- Rodríguez de la Rosa, R. A., Eberth, D. A., Brinkman, D. B., Sampson, S. D., & López Espinoza, J. (2003). Dinosaur tracks from the late Campanian Las Aguilas locality, southeastern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology, Abstracts of papers*, 23, 90A.
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., Aguillón-Martínez, M. C., López-Espinosa, J., & Eberth, D. A. (2004). The fossil record of vertebrate tracks in Mexico. *Ichnos*, 11, 27–34. <https://doi.org/10.1080/10420940490428841>
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., Bravo-Cuevas, V. M., Carrillo-Montiel, E., & Ortiz-Ubilla, A. (2012). Lower Cretaceous Dinosaur Tracks from Puebla, Mexico. *Journal of Geological Research*, Article ID 808729, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2012/808729>
- Serrano-Brañas, C. E., Espinosa-Chávez, B., & Maccracken, S. A. (2019). Insect damage in dinosaur bones from the Cerro del Pueblo Formation (Late Cretaceous, Campanian), Coahuila, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.07.002>
- Sheldon, S. (1994). Conservation of vertebrate paleontology collections. In: P. Leiggi & P. May (Eds.), *Vertebrate paleontological techniques* (Volume 1, pp. 3–33). Cambridge University Press.
- Shillito, L. M., Blonga, J. C., Green, E. J., Eline, N., & van Asperena, E. N. (2020). The what, how and why of archaeological coprolite analysis. *Earth Science Reviews*, 207, 103196. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103196>
- Venegas-Gómez, C., Estrada-Ruiz, E., Aguilar-Arellano, F. J., & Pérez-Crespo, V. A. (2023). Registro icnológico de derméstidos en huesos de dinosaurio en *Lala's Place* (Maastrichtiano), Ramos Arizpe, Coahuila, México y sus implicaciones tafonómicas. *Memorias del V Simposio Latinoamericano de Icnología SLIC 2023*. Universidad del Mar, Puerto Escondido, Oaxaca, México, 55.
- Yang, L., Zhang, X., Zhao, X., & Xiang, H. (2022). The Technological Advance and Application of Coprolite Analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 797370. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.797370>

Métodos de recolecta, limpieza y montaje de microfósiles marinos (calcáreos y silíceos) en rocas semiconsolidadas y sedimentos

Methods for collecting, cleaning and mounting marine microfossils (calcareous and siliceous) in semi-consolidated rocks and sediments

Gómez Espinosa, Catalina^{1,*}; Gómez Lizárraga, Laura Elena²
Martínez Villa, Brenda Berenice³

¹Escuela Superior de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero.

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

³Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

*17702@uagro.mx

Resumen

En este trabajo se realiza una descripción de la metodología que se utiliza en México para el estudio de los microfósiles, como parte de la iniciativa del primer *Workshop* sobre rescate de material micropaleontológico realizado por el Laboratorio de Paleobiología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), en donde se trató de formalizar las metodologías para la recuperación de material micropaleontológico en México considerando las adecuaciones particulares a las técnicas estándar. Este trabajo se centra en el estudio de microfósiles calcáreos (foraminíferos, ostrácodos y cocolitofóridos) y silíceos (diatomeas, radiolarios y silicoflagelados). Se inicia con la descripción de los métodos de recolecta para la extracción de microfósiles de material semiconsolidado y sedimentos tanto en ambiente marino (núcleos), como superficial (puntual y por canal). Posteriormente se describe el procesamiento de la muestra o submuestra considerando la limpieza por tamizado, la separación (“picking”), el cuarteado, la clasificación para material calcáreo y la digestión química para material silíceo; así como, el montaje para ambos casos, además de detallar el material que se utiliza en cada proceso.

Palabras clave: diatomeas, foraminíferos, ostrácodos, radiolarios, sedimentos marinos, silicoflagelados.

Abstract

In this work, it is performed a description about the methodology that is used in Mexico for the study of microfossils. This as part of the initiative of the first Workshop about the rescue of micropaleontological material carried out by the Paleobiology Laboratory of the Autonomous University of Puebla (BUAP), where was made an attempt to formalize the methodologies for the recovery of micropaleontological Mexican material considering the particular adaptations to the standard techniques. This work focuses on the study of calcareous microfossils (foraminifera, ostracods and coccolithophorids) and siliceous microfossils (diatoms, radiolarians and silicoflagellates). It begins with the description of the collection methods for the extraction of microfossils from semi-consolidated material and sediments in both the marine (cores) and the surface environments (punctually and by channel). Subsequently, the processing of the sample or subsample is described, considering cleaning by sieving, separation (“picking”), quartering, classification and assembly for calcareous material and chemical digestion for siliceous material, in addition to detailing the material used in each process.

Keywords: diatoms, foraminifera, marine sediments, ostracoda, radiolarians, silicoflagellata.

Cómo citar / How to cite: Gómez Espinosa, C., Gómez Lizárraga, L. E., & Martínez Villa, B. B. (2024). Métodos de recolecta, limpieza y montaje de microfósiles marinos (calcáreos y silíceos) en rocas semiconsolidadas y sedimentos. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 115–121.

Manuscrito recibido: Febrero 26, 2024.

Manuscrito corregido: Junio 16, 2024.

Manuscrito aceptado: Junio 17, 2024.



1. Introducción

Los microfósiles son un grupo muy diverso que tiene en común su pequeño tamaño y la particularidad de ser estudiados con un microscopio, estos pueden ser organismos completos o fragmentos de plantas o animales. El estudio de la micropaleontología abarca varios taxones dentro de los que se encuentran fragmentos de vertebrados (conodontos), invertebrados (ostrácodos, micromoluscos), protistas (foraminíferos, radiolarios) y algas del fitoplancton (diatomeas, silicoflagelados, cocolitofóridos) (Armstrong y Brassier, 2005; Lipps, 1996).

Cada grupo de microfósiles presenta una estructura y composición mineralógica distinta en sus exo- o endoesqueletos, que pueden estar formados por carbonatos, sílice, fosfatos o material orgánico (Tabla 1). Dada la naturaleza química, las técnicas para su extracción, preparación y estudio son variadas.

Además, hay que considerar que en la micropaleontología se avanzó en las últimas décadas dejando la etapa descriptiva como base para dar lugar a una etapa interpretativa, por lo que la recolecta y preparación de los microfósiles también debe de tomar en cuenta el objetivo para los que serán estudiados ya sean análisis químicos, caracterización isotópica o estudios en microscopia Raman por mencionar algunas.

En la mayoría de las publicaciones sobre micropaleontología no suelen detallarse los métodos de recolecta, ni las técnicas de limpieza y montaje que se utilizan para cada uno de los grupos y en ocasiones se obvian refiriéndose a ellas como métodos o técnicas estándar. Sin embargo, el tipo de técnica que debe usarse es particular dependiendo del tipo de microfósil a estudiar, el tipo de roca o sedimento dentro del que se encuentra contenido y el objetivo de su estudio, por lo que se considera necesario formalizar metodologías para la recuperación de este material considerando las adecuaciones particulares a las técnicas preestablecidas.

Tabla 1. Clasificación de los microfósiles basados en la composición química de la pared.

TIPOS DE MICROFÓSILES		
Pared orgánica	Pared mineral	
Polen	Calcárea	Foraminíferos
Esporas		Pterópodos
Dinoquistes		Ostrácodos
Acritarcas		Nanofósiles calcáreos (cocolitofóridos)
Foraminíferos aglutinantes		Algas calcáreas
	Silíceas	Radiolarios
		Diatomeas
		Silicoflagelados
	Fosfatada	Conodontos

Se debe destacar la importancia de la preparación previa de la salida a campo, que contemple los objetivos de investigación, y seleccionar adecuadamente la época, duración, estaciones o puntos de muestreo de interés, equipo, recursos materiales para la obtención, transporte y almacenamiento de muestras; así como, el presupuesto, en el caso de las campañas oceanográficas se trabaja en colaboración con diferentes grupos de investigación para aprovechar el costo diario a bordo de la embarcación.

En este trabajo se abarcará de manera general las técnicas que se utilizan en instituciones y dependencias mexicanas como son las facultades y escuelas con unidades de aprendizaje de micropaleontología (eg. Facultad de Ingeniería, UNAM; Escuela de Ciencias de la Tierra, UAGro) e institutos (eg. Instituto de Geología e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM) para la recolecta, extracción y montaje de los microfósiles marinos calcáreos y silíceos (Figura 1) considerando también su separación y montado semipermanente para obtener una colección micropaleontológica adecuada.

2. Métodos de colecta

2.1. Colecta de sedimentos marinos

La colecta u obtención de sedimentos marinos se realiza a través de buques oceanográficos y equipos de muestreo geológico. Para realizar un muestreo exitoso se debe tomar en consideración, el objetivo de estudio, la ubicación, las características del relieve o topografía marina, la profundidad, el tipo de sedimento, plataformas y equipos de muestreo (Mudroch y MacKnight, 1994; Márquez-García, 2000).

Para estudios geológicos horizontales donde se preserva sedimento superficial inalterado de gran calidad de hasta 50 cm de profundidad, se hace uso de muestreadores geológicos denominados nucleadores tipo caja y nucleadores múltiples (6 tubos colectores) que preservan la interfase agua sedimento para análisis químicos y (micro)biológicos. Para estudios micropaleontológicos donde se analiza el perfil vertical de columnas o secuencias sedimentarias subsuperficiales, se hace uso principalmente de nucleadores de gravedad y de pistón (Mudroch y MacKnight, 1994; Márquez-García, 2000).

Los nucleadores de gravedad recuperan sedimentos finos (limo arcillosos) de hasta 3 m de longitud, son equipos sencillos pero variables en diseño, consisten en a) un cabezal con pesas (máximo de 750 kg), aletas estabilizadoras y una válvula que se conecta en la parte superior del tubo colector, esta se abre durante el muestreo para permitir el escape de agua y se cierra durante el ascenso y recuperación para evitar el lavado del sedimento, b) un tubo colector metálico o de PVC, de longitud (0.5 a 3 m) y diámetro (5 a 20 cm) variable generalmente de área circular llamados de gran diámetro

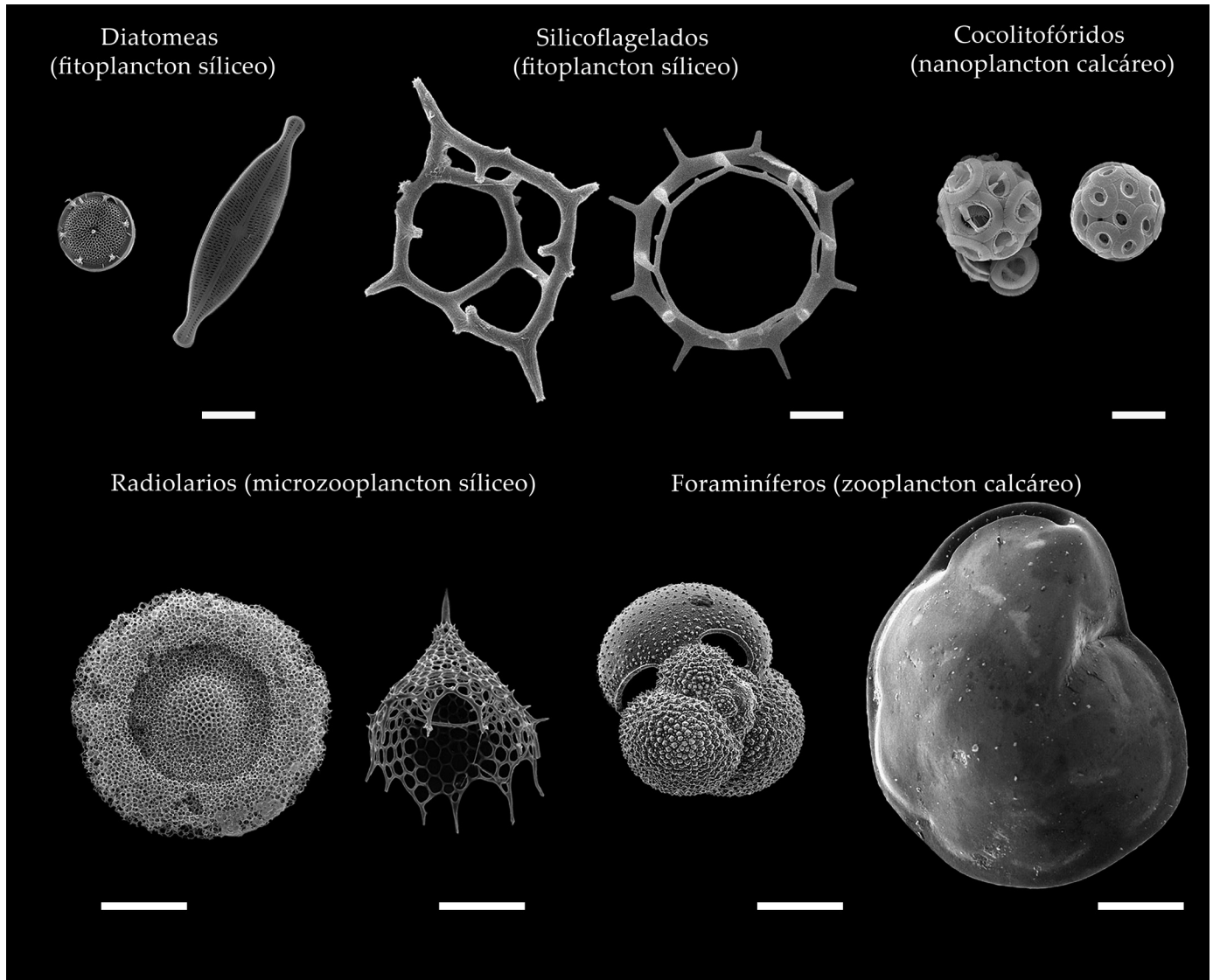


Figura 1. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de especímenes con diferente tipo de pared (silíceas y calcáreas) colectadas en diferentes campañas oceanográficas a bordo del B/O “El Puma” de la UNAM. Imágenes de diatomeas y cocolitofóridos cortesía del Dr. David Uriel Hernández Becerril del Laboratorio de Diversidad y Ecología del Fitoplancton Marino e imágenes de foraminíferos cortesía de la Dra. María Luisa Machain Castillo del Laboratorio de Micropaleontología y Paleooceanografía del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Escala de las imágenes superiores 5 μ m, escala de las imágenes inferiores 100 μ m.

o coloquialmente “*tepule*” o cuadrados metálicos tipo Kasten con camisas de acrílico internas que contienen el sedimento y c) un captador o nariz de acero en el extremo inferior del tubo cuyo diseño permite el paso del sedimento al tubo a través de unas láminas flexibles pequeñas que se abren al pasar el sedimento y se cierran para evitar la salida del mismo durante el ascenso, ideales para recolectar sedimentos lodosos (limo-arcillosos) (Kennett, 1982; Mudroch y MacKnight, 1994; Márquez-García, 2000).

Los nucleadores de pistón permiten la recuperación de una columna de sedimentos de hasta 20 m de longitud, mientras que el pistón gigante puede recuperar

secuencias de 30–40 m, sin embargo, en México no se cuenta con equipo de esta capacidad de nucleadores de gran pistón. Consiste en a) un cabezal, b) un tubo de acero y en su interior un tubo contenedor de plástico, c) un mecanismo disparador, d) un pistón y e) una nariz. El mecanismo disparador se activa cuando un peso toca la superficie del sedimento que libera el pistón, que se encuentra en la parte inferior del interior del tubo, este se desplaza hacia arriba del tubo a la par que este penetra el sedimento provocando vacío y un efecto de succión que facilita la recuperación del sedimento sin compactarlo (Kennett, 1982; Mudroch y MacKnight, 1994; Márquez-García, 2000). Ambos equipos requieren

de un sistema de grúa y cabestrante (*winche*) capaz de levantar el peso de los nucleadores con el sedimento en su interior.

En cubierta, los tubos con material colectado se fijan y se colocan de forma vertical, la nariz se protege con una cubeta metálica. La longitud entre la base superior del tubo colector y la superficie del sedimento recuperado, que se encuentra cubierto por agua de mar, se calcula al introducir en el tubo una plomada o un tornillo atado con hilo cáñamo, la longitud del hilo recuperado determina la longitud donde se encuentra el sedimento, se coloca una marca y unos pocos centímetros por arriba de esta, se perfora el tubo con un taladro para drenar el líquido excedente, esto se realiza cuando la fase agua-sedimento se estabilice (después de un par de horas de la recuperación de la secuencia sedimentaria). En ambos extremos se colocan tapones de unicel reforzados por varias capas de cinta gris, previamente se retira la nariz en el extremo inferior, se rotula sobre el tubo, la campaña, la estación, el *top* (cima) y *bottom* (base) de la secuencia sedimentaria y se almacena en el cuarto frío de la embarcación (4° C).

Cabe mencionar que se lleva una bitácora geológica donde se anotan los datos de colecta de las muestras como son la campaña, estación, fecha, hora, coordenadas, profundidad, nucleador utilizado y observaciones relevantes sobre las muestras o maniobra de muestreo.

2.2. Submuestreo de la secuencia sedimentaria

En sedimentos finos el contenido de agua es aproximadamente 80% los primeros 10 cm de profundidad, 70% alrededor de los 20 cm, 50–60% entre los 30–40 cm, y por debajo de los 50 cm de profundidad el sedimento está más compacto y hay poco cambio en el contenido de agua (Mudroch y MacKnight, 1994).

El tubo que contiene la secuencia de sedimentos se corta longitudinalmente con una sierra, obteniendo dos mitades sobre las cuales se pasa una espátula de plástico previamente humedecida en agua destilada y se desplaza de manera horizontal para eliminar restos de rebabas del tubo y hacer visibles las características texturales, composición y color del sedimento, la cual se limpia repetidamente para no contaminar la secuencia. Una de las mitades se utiliza como testigo y la otra para realizar la descripción litológica, fechado y diversos análisis, entre ellos el micropaleontológico. Los intervalos de muestreo se determinan de acuerdo con el objetivo de investigación, longitud de recuperación de la columna sedimentaria y la tasa de sedimentación del área de estudio.

El submuestreo de la secuencia sedimentaria se realiza de la siguiente manera. Sobre ambos márgenes de los costados del tubo seccionado longitudinalmente se coloca una cinta métrica para marcar los intervalos de muestro de la porción superficial a la más profunda (generalmente cada centímetro) siguiendo la referencia *top-bottom* rotulada durante la colecta. En el primer

intervalo de muestreo se introduce de manera alineada a las marcas de ambos lados del tubo una hoja de acetato recortada del tamaño del semicírculo interior del tubo, la cual esta previamente humedecida (para que no se adhiera sedimento) y obtener secciones a manera de rebanadas y evitar que se colapse la secuencia durante el muestreo, posteriormente con una espátula de plástico se colecta la muestra. En secuencias cortas de núcleos o muestras superficiales, los sedimentos se pueden submuestrear de manera vertical, sobre una base sólida tipo émbolo se coloca el tubo con la muestra y se desplaza hacia abajo la longitud del intervalo de muestreo, dejando expuesto el sedimento el cual se corta con ayuda de espátulas u hojas de acetato. En ambos casos, las muestras se colocan en bolsas de plástico previamente etiquetadas, entre cada submuestreo tanto el acetato como la espátula se deben de lavar. El testigo se cubre con plástico adherente (en el caso del muestreo longitudinal) y las muestras se almacenen en el cuarto frío (4°C) hasta su uso.

2.3. Colecta de sedimentos superficiales

El propósito de la colecta es obtener una muestra de sedimento representativa del área de estudio, sin perturbación que permita realizar estudios micropaleontológicos.

La muestra a recolectar debe de ser de material fresco y no intemperizado, por lo que se debe retirar el material superficial y excavar para tomar la muestra, esto para evitar la contaminación de niveles estratigráficos superiores por lavado. También se recomienda iniciar el muestreo desde los niveles estratigráficos inferiores (base) para evitar la contaminación con muestras de la parte superior. Se sugiere evitar tomar las muestras de niveles bioturbados debido a la mezcla que esta actividad ocasiona en los estratos (Horne y Siveter, 2016).

El intervalo de muestreo depende de los objetivos, si se lleva a cabo de manera puntual se puede muestrear cada 10 cm si se requiere alta resolución (Slipper, 2005), o cada metro o cambio de litología si se quiere llevar a cabo un estudio de reconocimiento. En muestras de canal el intervalo puede ser hasta de 3 m (Armstrong y Brassier, 2005).

La cantidad de muestra que se debe recolectar en campo generalmente es mayor a la que va a estudiarse, esto para tener muestra de reserva que pueda usarse como referencia o reemplazo (Slipper, 2005).

Para el análisis y separación de los microfósiles se utilizan entre 250 a 500 g de sedimento no consolidado (Slipper, 2005) o 30 g de sedimento semiconsolidado (Horne y Siveter, 2016).

Si el material está poco consolidado se tiene que disgregar usando métodos de fragmentación mecánica que no dañen el material fósil, la primera opción es el remojo con agua, el segundo es por temperatura diferencial que consiste en hervir la muestra y después ponerla a congelar hasta que el material se separe en

sedimentos. También puede aplicarse una separación por ataque químico con peróxido de oxígeno al 50-100% (H_2O_2), ácido acético (CH_3COOH) 4%-10%, ácido fórmico (CH_2O_2) al 10%, ácido clorhídrico (HCl) al 36%, o ácido hidrofúorico (HF) al 40%. Las soluciones se deben de cambiar periódicamente (entre 4 y 24 horas dependiendo de la reacción), y el material debe estar en constante revisión para evitar que los ácidos dañen a los microfósiles.

3. Procesamiento de la muestra de organismos calcáreos: foraminíferos y ostrácodos

3.2. Separación por lavado y tamizado

En micropaleontología se utiliza una variedad de técnicas de tamizado que pueden ser en húmedo o en seco, dependiendo de las características de la muestra. El tamizado permite clasificar y concentrar los microfósiles por tamaño, lo que facilita examinarlos bajo el microscopio. Con el tamizado en seco se tiene menos pérdida de muestra mientras que con el tamizado en húmedo pueden quedar residuos en los tamices (Slipper, 2005). Para el tamizado se recomienda usar un juego de tamices analíticos de malla metálica con diámetro de 10 cm y 3 cm de altura. En la Tabla 2 se muestra el número de juego de tamices comúnmente utilizado y la equivalencia estándar de abertura de malla.

Para identificar posibles ejemplares que hayan quedado en el tamiz y que no provengan de la muestra, sino que hayan sido transferidos como contaminantes, se usa una solución de azul de metileno, el cual coloreará el contaminante y permitirá su identificación y separación de la muestra a estudiar (Slipper, 2005).

Las muestras obtenidas en cada tamiz se separan y se dejan secar, el secado puede ser a temperatura ambiente o en estufas u hornos con una temperatura recomendada de 30-40 °C sin sobrepasar los 60°C para evita la fragmentación no deseada de los microfósiles (Denezine *et al.*, 2022). En caso de secado a temperatura ambiente se recomienda usar papel secante o filtro. Las muestras suelen guardarse en cajas de petri, crisoles o cápsulas de porcelana para su posterior separación. Debido al tamaño de los ostrácodos y foraminíferos, usualmente

estos quedan retenidos en los tamices número 40 y 60, mientras que los organismos juveniles se retienen en el tamiz número 80 (Figura 2).

3.2. Separación (“picking”), cuarteado, montaje y clasificación

La separación (“picking”) de los microfósiles se realiza bajo un microscopio estereoscópico con luz reflejada, se recomienda utilizar un pincel fino de pelo de camello humedecido en agua destilada, preferiblemente del número 00 o 000, esto debido a que las cerdas naturales son suaves pero firmes y no generan estática, a diferencia de los pinceles de materiales sintéticos que dificultan la extracción de los ejemplares (Figura 2). Los microfósiles se van separando y se colocan en una celda de porcelana o en una bandeja de metal (“picking tray”) que es la placa para conteo. Puede usarse otro tipo recipientes que sean de vidrio, ya que los recipientes plásticos generan estática y hace que las muestras queden pegadas a las paredes o “brinquen” al ser manipulados (Figura 2).

Si el material recuperado es mucho o hay una gran cantidad de organismos calcáreos, este se subdivide con un fraccionador Otto hasta obtener una fracción (1/2, 1/4, 1/8, etc.) de la muestra en la que se obtengan entre 300 a 500 ejemplares, debido a que este número es estadísticamente representativo (Figura 2).

Los microfósiles se extraen manualmente con un pincel humedecido y se colocan en placas micropaleontológicas que previamente se impregnan con pegamento semipermanente para evitar que los ejemplares se muevan, y posterior a su montaje, estos se puedan manipular al humedecerlos para poder observarlos desde diferentes vistas (Armstrong y Brassier, 2005).

Los pegamentos comúnmente utilizados son gomas orgánicas como el tragacanto, goma guar o goma arábiga, a la cual se agregan gotas de esencia de clavo para evitar el crecimiento de hongos. En climas muy cálidos y húmedos estas gomas orgánicas sufren la degradación fúngica en cuyo caso puede utilizarse el adhesivo sintético para encuadernar Jade R®.

Existe una gran diversidad de diseños de laminillas micropaleontológicas que, generalmente, son placas de cartón que presentan cavidades o celdas, las placas se cubren con un portaobjetos de vidrio el cual se ajusta con una camisa de aluminio para almacenar el material. La elección dependerá del tipo de material con que se esté trabajando, pueden ser con fondo blanco o negro, con cavidades circulares o rectangulares (celdas de Plummer y Franke), y con diversidad en el número de divisiones, una gran variedad de modelos comerciales se encuentra disponible en la página de kreativikas (<http://www.microslides.kreativika.sk/?q=offer>). Estas divisiones facilitan ordenar, cuantificar y determinar taxonómicamente los ejemplares. La ventaja de manipularlos con un pincel es que se pueden observar los especímenes en todas las vistas, lo que facilita su

Tabla 2. Medidas del juego de tamices micropaleontológicos más frecuentemente utilizados (modificado de Pettijhon *et al.*, 1972).

Número de tamiz	Phi (Ø)	Abertura de malla (µm)	Tamaño en la escala de Wentworth
20	0.25	850	Arena gruesa
40	1.25	425	Arena fina
60	2.0	250	Arena fina
80	2.5	180	Arena muy fina
100	2.75	150	Arena muy fina

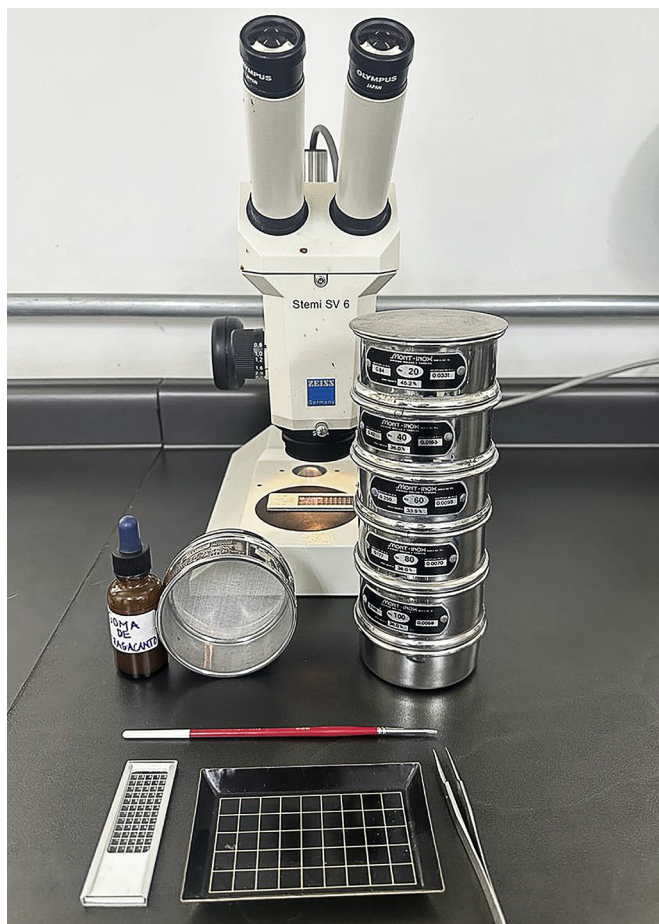


Figura 2. Materiales utilizados para la separación de microfósiles y montaje semipermanente en celdas de Plummer.

identificación. La clasificación puede ser según diferentes criterios de tamaño, morfología, por taxón entre otros (Horne y Siveter, 2016), (Figura 2). En la mayoría de los casos los microfósiles necesitan extraerse de estas preparaciones para montarse de manera individual en portaobjetos de aluminio para su fotografiado en microscopía electrónica de barrido (MEB).

3.3. Procesamiento de la muestra de organismos calcáreos: cocolitofóridos

Para la obtención de cocolitofóridos se utiliza un procedimiento de decantación. Se colocan 0.3–0.5 g de sedimento seco en 10–30 ml de agua destilada y se mezcla continuamente hasta disgregar el material por un par de horas; el agua destilada se puede sustituir por peróxido de hidrógeno si hay materia orgánica. Se toma una alícuota de 100–300 μ l de la porción media de la mezcla y se agrega a una caja Petri de 40–60 mm de diámetro, en su interior se coloca un portaobjetos de vidrio, la caja petri se llena con una solución de grenetina en polvo sin sabor “Gold gelatine” (para reducir la tensión superficial) y agua destilada (0.05 g/L), se deja a 20 °C entre 12–24 h, el líquido se retira colocando cuidadosamente tiras de

papel filtro en el borde de la caja Petri. Sobre el portaobjetos seco se coloca el cubreobjetos con bálsamo de Canadá como medio de montaje (índice de refracción de 1.53 adecuado para la refracción de la calcita), se realiza un conteo de entre 300–500 cocolitofóridos bajo un microscopio óptico con luz polarizada (Flores y Sierro, 1997; Langley et al., 2020).

4. Procesamiento de la muestra de organismos silíceos: diatomeas, radiolarios y silicoflagelados

Se toman 0.5 g de muestra de sedimento seco para procesar químicamente con ácido clorhídrico (10 ml de HCl al 10%) y peróxido de oxígeno (30 ml de H₂O₂ al 30%) para eliminar carbonatos y materia orgánica respectivamente en una parrilla a 80 °C, adicionalmente si hay una alta concentración de materia orgánica, se puede utilizar ácido nítrico (HNO₃ al 70%) o pirofosfato de sodio (Na₄P₂O₇ al 10%) (técnica modificada de Monjanel y Baldauf, 1989). Posteriormente al concluir la digestión química, se realizan lavados con agua destilada para neutralizar el pH del material recuperado y se coloca en frascos de 30 ml (es recomendable que además de la tapa se usen contratapas durante el almacenamiento para evitar pérdida de material por evaporación), de este concentrado se toma una alícuota de 200 μ l y se coloca sobre un cubreobjetos de vidrio redondo comúnmente de 18 mm de diámetro, se deja secar por 24 h al aire en un ambiente libre de polvo, si el material se encuentra muy concentrado y dificulta la observación se realizan diluciones hasta obtener aquella que permita una adecuada distribución y observación del material silíceo. Para preparar las laminillas permanentes se usa Naphrax como medio de montaje el cual es preferido por su índice de refracción (1.74), en la parrilla a 100°C en un portaobjetos de vidrio se coloca una gota de medio de montaje y sobre esta el cubreobjetos con la muestra seca presionando cuidadosamente con unas pinzas, cuando se eliminan las burbujas se retira de la parrilla y se dejan secar. Bajo el microscopio óptico se realiza la observación de las laminillas micropaleontológicas; así como, el conteo e identificación como mínimo de 300 organismos o valvas en el caso de las diatomeas para tener un análisis estadístico que sea representativo (Armstrong y Brassier, 2005).

5. Conclusiones y recomendaciones

Se realizó una síntesis de los principales métodos de recolecta que se aplican en México para la obtención, análisis y separación de los microfósiles marinos calcáreos y silíceos, destacando las modificaciones que se realizan para el estudio de estos organismos en nuestro país.

Estos métodos, aunque han sido establecidos desde hace al menos dos siglos, se han adaptado a las necesidades actuales, tanto por la disposición de materiales; así como, por el surgimiento de nuevas tecnologías que han permitido una caracterización más detallada de los microfósiles.

Aunado a esto, la mayoría de los métodos se han establecido en países que no comparten las mismas características de temperatura y humedad a la que las colecciones de microfósiles del país se encuentran expuestas.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Carlos Castañeda Posadas y a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por la invitación a participar en el Paleoworkshop “Rescate del material paleontológico mexicano”. Igualmente, se agradece al editor de la Revista Paleontología Mexicana, Dr. Josep Anton Moreno Bedmar, por la buena disposición para la publicación de un número especial dedicado al Paleoworkshop. Además, se agradece a dos revisores anónimos por sus constructivos comentarios que aportaron mejoras en el presente trabajo.

Referencias

Armstrong, H. A., & Brassier, M. D. (2005). *Microfossils*. Blackwell Publishing.

- Denezine, M., Rodrigues, R., Do Carmo, D. A., Guimarães, E. M., Gert Walde, D. F., Souza, C. J., Germs, G., Silveira, L., Valdivia, C. G., & Nunes, O. O. (2022). Methodological development of a combined preparation for micropaleontological and sedimentological studies of samples from the Proterozoic Record. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.810406>
- Flores, J. A., & Sierro, F. J. (1997). Revised technique for calculation of calcareous nannofossil accumulation rates. *Micropaleontology*, 43(3), 321–324.
- Horne, D. J., & Siveter, D. J. (2016) Collecting and processing fossil ostracods. *Journal of Crustacean Biology*, 36(6), 841–848. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002487>
- Kennett, J. P. (1982). *Marine Geology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Márquez-García, A. Z. (2000). Muestreo en Oceanografía Geológica. En A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss, & R. Bernal-Ramírez (Eds.), *Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica*. UNAM.
- Langley, B., Halloran, P. H., Power, A., Rickaby, R. E. M., Chana, P., Diver, P., Thornalley, D., Hacker, C., & Love, J. (2020). A new method for isolating and analysing coccospheres within sediment. *Scientific Reports*, 10, 20727. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77473-5>
- Lipps, J. H. (1996). Microfossils. *The Paleontological Society Papers*, 2, 217–226. <https://doi.org/10.1017/S1089332600003284>
- Monjanel, A. L., & Baldauf, J. G. (1989). Miocene to Holocene diatom biostratigraphy from Baffin Bay and Labrador Sea, Ocean Drilling Program Sites 645 and 646. In *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 105, 305–322. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.105.127.1989>
- Mudroch, A., & MacKnight, S. D. (1994). Bottom sediment sampling. In Mudroch, A. & MacKnight, S. D. (Eds.) *Handbook of techniques for aquatic sediments sampling* (2nd ed.), CRC Press.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1972). *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag.
- Slipper, I. J. (2005). Micropaleontological techniques. In Selley, R.C., Robin, L., Cocks, M. & Plimer, I.R. (Eds.) *Encyclopedia of Geology* (pp. 470–475). <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00105-2>

Técnicas para el rescate y la colecta de distintos grupos de invertebrados marinos fósiles de México

Techniques for the rescue and collection of different fossil marine invertebrate groups from Mexico

Torres-Martínez, Miguel Angel^{1,*}; Campos-Méndez, Mirhan²;
Heredia-Jiménez, Daniela Paulina³; Juárez-Aguilar, Edwin Aldrin⁴;
Rosas-García, Hugo²; Alanis-Pavón, Alberto⁴; Ruiz-Naranjo, Metzeri⁵

¹Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Av. Universidad 3000, Circuito de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

³Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

⁴Doctorado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

⁵Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

* miguelatm@geologia.unam.mx

Resumen

El estudio de los invertebrados marinos fósiles de México ha colaborado ampliamente al conocimiento de la historia geológica del país, al ser algunos de ellos importantes indicadores paleoambientales, paleogeográficos y geocronológicos (fósiles índice) para diferentes periodos geológicos. En este sentido, México cuenta con un registro fósil de invertebrados marinos muy diverso; sin embargo, persiste cierta escasez de conocimiento sobre las correctas prácticas y procedimientos para su extracción y colecta, lo cual ha contribuido a la destrucción total o parcial del material fósil y, por consiguiente, a la pérdida de información potencial que este material brinda. Al ser parte del patrimonio geológico del país, se debe procurar la protección, conservación y gestión de este registro fósil, por lo que compartir el conocimiento sobre su correcto manejo contribuirá a conservar de mejor manera este material y a evitar su extracción desmedida. En este trabajo se describen, por experiencias de trabajo de campo, los procedimientos a seguir para la extracción, colecta, etiquetado, almacenaje y transporte de diferentes grupos de invertebrados marinos fósiles de México, incluyendo moluscos (p.e. bivalvos, rudistas, gasterópodos, ammonoideos, nautiloideos), braquiópodos, artrópodos (p.e. decápodos, ostrácodos) y equinodermos (p.e. crinoideos, equinoideos). Estos procedimientos pueden variar en función de factores como el grupo fósil, su grado y tipo de preservación, la roca portadora y la estructura anatómica preservada, entre otros. De acuerdo al grupo fósil que se estudie será la información que se pueda obtener, de tal manera que los bivalvos, rudistas, gasterópodos, ammonoideos, braquiópodos y equinoideos son considerados importantes fósiles índice en intervalos de tiempo particulares. Por otro lado, los organismos bentónicos como bivalvos, gasterópodos, rudistas, braquiópodos, crustáceos, crinoideos y equinoideos resultan adecuados para obtener información relacionada con los paleoambientes de depósito y su paleoecología. Finalmente, en cuanto a la información paleobiogeográfica, cada grupo tendrá una relevancia particular, pues tienen diferentes alcances a nivel local, regional o global.

Palabras clave: colecta, invertebrados, México, registro fósil, rescate.

Cómo citar / How to cite: Torres-Martínez, M. A., Campos-Méndez, M., Heredia-Jiménez, D. P., Juárez-Aguilar, E. A., Rosas-García, H., Alanis-Pavón, A., & Ruiz-Naranjo, M. (2024). Técnicas para el rescate y la colecta de distintos grupos de invertebrados marinos fósiles de México. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 123–139.

Manuscript received: Marzo 6, 2024.

Manuscript corrected: Mayo 31, 2024.

Manuscript accepted: Junio 1, 2024.



Abstract

The study of fossil marine invertebrates from Mexico has widely collaborated to the knowledge of the country's geological history, since many of them are important paleoenvironmental, paleogeographic and geochronological proxies (index fossils) for different geological periods. Thus, Mexico has a very diverse fossil record of marine invertebrates. However, a certain lack of knowledge about the correct practices and procedures for extracting and collecting these samples remains. This has contributed to the total or partial destruction of fossil material and, consequently, to the loss of potential information that this material provides. Being part of the country's geological heritage, the protection, conservation, and management of this fossil record must be sought; so, sharing knowledge about its correct management will contribute to better conserving this material and avoiding its excessive extraction. Therefore, this work describes, based on fieldwork experiences, the procedures for the extraction, collection, labeling, storage, and transportation of different fossil marine invertebrate groups from Mexico, including mollusks (p.e. bivalves, rudists, gastropods, ammonoids, nautiloids), brachiopods, arthropods (p.e. decapods, ostracods) and echinoderms (p.e. crinoids, echinoids). These procedures may vary depending on factors such as the fossil group, the degree and type of preservation, the bearing rock, and the anatomical structure preserved, among others. The information that can be obtained will depend on the taxonomical group, for example bivalves, rudists, gastropods, ammonoids, brachiopods, and echinoids are considered important index fossils at particular time intervals. On the other hand, different benthic organisms such as bivalves, gastropods, rudists, brachiopods, crustaceans, crinoids, and echinoids are suitable for obtaining information related to depositional paleoenvironments and their paleoecology. Finally, regarding paleobiogeographic information, each group will have a particular relevance, displaying different scopes, whether local, regional, or global.

Keywords: fossil record, invertebrates, Mexico, recollection, rescue.

1. Introducción

El estudio de las unidades litoestratigráficas de México es de suma importancia, debido a que ha ampliado el conocimiento de la historia geológica de diferentes regiones del país. Una de las herramientas clave para el entendimiento de la estratigrafía del territorio mexicano ha sido el estudio de los invertebrados marinos, los cuales son considerados uno de los proxies más importantes, no solo porque algunos son fósiles índice y ayudan a establecer edades relativas fehacientes, sino también porque pueden brindar información relevante de los paleoambientes deposicionales y de la paleogeografía de diferentes periodos geológicos. Generalmente, estos fósiles se van a encontrar depositados junto a otros invertebrados similares, debido al tipo de asociaciones que formaban en vida, permitiendo estudiarlos con mayor precisión. No obstante, en algunas ocasiones, los invertebrados fósiles van a estar asociados a otros grupos taxonómicos diferentes, tales como vertebrados, plantas, microfósiles o icnofósiles; y aunque los invertebrados no sean el objetivo de la investigación, también terminan siendo colectados por la información que pueden aportar.

Sin embargo, antes de rescatar y coleccionar estos especímenes, hay que considerar diferentes puntos:

1) Grupo fósil depositado y utilidad: no todos los invertebrados son índice o de relevancia paleogeográfica, por lo que se debe plantear la relevancia de coleccionarlos si no es para resolver un cuestionamiento concreto; de lo contrario los fósiles serían extraídos de manera desmedida y sin un motivo aparente.

2) Preservación: establecer cómo se conservaron las muestras de acuerdo con los diferentes procesos de fosilización, ya sea permineralizados o como moldes autígenicos (moldes internos, externos o compuestos).

3) Roca portadora: dependiendo de esta, será el procedimiento a seguir para obtener las muestras con la mayor eficiencia.

4) Estructura preservada: esto hace referencia a no extraer todos los fósiles encontrados, ya que pueden ser solo fragmentos o especímenes mal preservados sin rasgos taxonómicos distintivos. Así se evitaría coleccionar material innecesario, incluyendo aquellas muestras que generalmente no dan mayor información.

5) Extracción y datos de colecta: contempla el procedimiento particular para extraer cada grupo de invertebrados fósiles. Además, todo material debe de incluir sus datos precisos de colecta, tales como la fecha, localidad, unidad litoestratigráfica, estrato, coordenadas geográficas, entre otros.

6) Transporte: incluye la forma de cómo embalar o embolsar las muestras para su transporte y estudio posterior, tomando en cuenta las características señaladas anteriormente.

Cuando se estudia una asociación de invertebrados, lo que se busca obtener son diferentes muestras de mano de los ejemplares para realizar comparaciones detalladas, dado que no todos van a conservar las características diagnósticas necesarias para identificarlos de manera precisa. Además, no es posible observar directamente en campo las variaciones anatómicas, convergencias morfológicas, rasgos novedosos o características internas de los organismos. Dichas particularidades únicamente se pueden determinar al utilizar las herramientas y procedimientos correctos, llevando a cabo, cuando es necesario, la elaboración de moldes de caucho-silicón, *peels*, secciones delgadas o cortes anatómicos precisos de las muestras, los cuales se podrán observar en algún microscopio, ya sea estereoscópico, petrográfico o electrónico de barrido. Asimismo, es necesaria la obtención de fotografías bajo la técnica de

blanqueado con cloruro de amonio, permitiendo resaltar los rasgos morfológicos más importantes de cada grupo. Con esto se podrán obtener imágenes detalladas de los especímenes, permitiendo revisarlos y compararlos adecuadamente.

No obstante, a pesar de que los invertebrados marinos presentan uno de los registros fósiles más diversos e importantes de todo México, aún prevalece cierto desconocimiento sobre cómo llevar a cabo la extracción y colecta de diferentes grupos taxonómicos. Esto termina contribuyendo a la fragmentación o destrucción parcial o total de los fósiles colectados, así como a la pérdida de la información de colecta, con lo cual estos materiales pierden toda su identidad y veracidad.

Cabe resaltar que el rescate, la colecta y el estudio de los fósiles de México, única y exclusivamente se debe llevar a cabo por personal capacitado de centros e instituciones académicas mexicanas, quienes podrán trabajar correctamente con estos especímenes. Hay que considerar que los bienes paleontológicos son un tipo de patrimonio geológico de México, debiendo procurarse su protección, conservación y gestión (Morales-Ortega *et al.*, 2021).

Dado el cierto grado de desconocimiento que prevalece sobre como rescatar, coleccionar y/o transportar el material de invertebrados marinos fósiles, aunado a la gran diversidad de este registro en diferentes unidades litoestratigráficas (Paleozoico–Cenozoico) a lo largo del territorio mexicano, es que se plantea el presente trabajo. Se prevé que compartir este conocimiento con gente del gremio, no solo permitirá conservar lo mejor posible a los especímenes potenciales, sino también evitará la extracción desmedida de estas muestras al momento de ser encontradas.

2. Rescate y colecta

Los invertebrados marinos representan un registro amplio e importante alrededor del mundo. No obstante, hay que considerar que, dependiendo del grupo, pueden ser calificados como excelentes fósiles índice, buenos indicadores paleoambientales o importantes proxies paleogeográficos; aunque existen algunos grupos que pueden incluir estos tres aspectos. En esta sección se describen algunos de los procedimientos a seguir, basados en experiencias de trabajo de campo, para la extracción, colecta y transporte de diferentes invertebrados marinos fósiles de México, como bivalvos (incluyendo rudistas), gasterópodos, ammonioideos, nautiloideos, braquiópodos, decápodos, ostrácodos, crinoideos y equinoideos. El enfoque en estos grupos es debido a que son de los que presentan un mejor registro fósil en México. Dado que los invertebrados comprenden alrededor de 33 phyla (sin considerar los de posición incierta), es imposible incluir todos los grupos taxonómicos en este artículo; además, el registro fósil de algunos phyla en México es muy escaso o nulo. Esto

abre la posibilidad de que se planteen otros trabajos similares al presente que incluyan grupos no tratados aquí.

2.1. Phylum Mollusca

2.1.1. Clases Bivalvia y Gastropoda

Dentro del phylum Mollusca, destaca el registro fósil de dos grupos en particular, los bivalvos y los gasterópodos. Los bivalvos son organismos que exhiben una simetría y compresión lateral, por lo general, presentando una elongación en dirección anteroposterior. Se distinguen por tener dos valvas calcificadas, típicamente convexas, que se conectan dorsalmente por músculos aductores, un ligamento y una charnela o bisagra. La concha presenta ornamentación diversa y se compone de diferentes variedades mineralógicas, cristalinas y estructurales (Cox, 1969). Aunque este grupo surgió a inicios del Paleozoico, su relevancia bioestratigráfica, paleoambiental y paleobiogeográfica se observa de manera más clara hasta el Mesozoico y, principalmente, el Cenozoico. Estos especímenes brindan valiosos datos cuando se preservan claramente la charnela y la ornamentación de las valvas, dado que, si solo se encuentran vaciados internos o fragmentos de la concha, no se puede obtener mayor información.

Por otro lado, los gasterópodos se caracterizan por tener una asimetría interna de sus órganos, y pueden o no presentar una concha (Martinell *et al.*, 2009). La concha puede ser enrollada o aplanada, presentar ornamentación, con una apertura que puede disponer de un opérculo y un ápice en dirección posterior (Camacho y del Río, 2008). Estos moluscos son ampliamente utilizados para estudios paleoecológicos, paleobiológicos y bioestratigráficos (Martinell *et al.*, 2009), sobre todo los especímenes del Mesozoico y Cenozoico. En este caso, los ejemplares que proporcionarán información significativa sobre las especies encontradas son los que se muestran más completos (para el número y forma de espiras), y que presenten una buena preservación de la apertura y ornamentación. Los vaciados internos y fragmentos no dan datos de gran relevancia.

El registro fósil de ambos grupos se compone principalmente de sus conchas, las cuales están compuestas principalmente de aragonita, una forma de carbonato de calcio termodinámicamente inestable. A diferencia de la aragonita, la calcita, una variante mineral con la misma composición química, se presenta como la forma más estable del carbonato de calcio. Por esta razón, durante el proceso de fosilización, las conchas tienden a experimentar un reemplazo mineral, siendo la aragonita sustituida por calcita, cuarzo, pirita, y otros minerales de fosfato de calcio (Campbell, 2006).

Si los bivalvos y gasterópodos están depositados en rocas siliciclásticas, se pueden preservar como conchas permineralizadas o moldes autigénicos (vaciados, moldes internos, moldes externos, etc.) (Figura 1). Cabe

resaltar que en las rocas con un tamaño de grano fino (lutitas, limolitas o areniscas de grano fino) se observa una mejor conservación de los moldes. Las conchas permineralizadas pueden conservar rasgos de la charnela y estructuras externas de la concha, aunque algunas veces se presentan como materiales fragmentarios. Estos se pueden extraer al golpear la roca con la pica de geólogo alrededor de los especímenes, hasta que sean prácticamente expulsados; al estar permineralizados resistirán mejor la fuerza mecánica. En el caso de los moldes autigénicos, están los internos, en los cuales es posible observar rasgos propios del interior, los moldes externos, que incluyen la ornamentación y forma externa de la concha (lo cual se puede observar detalladamente en moldes sintéticos de caucho-silicón), y los moldes compuestos, en los cuales se pueden observar tanto características internas como externas del fósil. Por lo general, las extracciones más exitosas de moldes

autigénicos se logran al obtener una pieza grande de roca, tomando una parte significativa de la matriz que rodea al espécimen. Hay que picar alrededor de la muestra, a una circunferencia de dos o tres veces el tamaño del fósil, ya que se corre el riesgo de que los ejemplares se fragmenten si la vibración llegase a alcanzar a los fósiles. Si hay diferentes especímenes en una roca se debe extraer toda la muestra completa, con lo cual serán separados posteriormente en el laboratorio. En caso de que los ejemplares se encuentren dentro de concreciones (Figura 1B), hay que volver a unir ambas partes con mucho cuidado, envolviéndolas con *masking tape*, con lo cual podrán ser abiertas y estudiadas posteriormente en laboratorio.

En el caso de rocas carbonatadas la preservación generalmente es mediante permineralización. Para obtener a los especímenes hay que golpear moderadamente a la roca para abrirla en dos partes, con lo cual quedará



Figura 1. A) Bivalvo permineralizado en calcarenita del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); B) Moldes de bivalvos en concreción del Pérmico de Guerrero; C) Gasterópodo permineralizado del Pérmico de Chiapas; D y E) Gasterópodos permineralizados en caliza masiva del Pérmico de Chiapas; F) Gasterópodo permineralizado del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); G) Gasterópodo permineralizado en caliza masiva del Pérmico de Chiapas; H) Gasterópodos permineralizados *in situ* en caliza masiva del Pérmico de Chiapas. Escala gráfica 1 cm.

expuesto el fósil. En calizas masivas la sustracción se vuelve más complicada (Figura 1H). En este caso, solo se puede extraer la parte del fósil que alcanza a sobresalir de la roca. Con un cincel y martillo se tiene que hacer una canaleta alrededor del fósil a obtener y golpear con fuerza moderada sobre esa canaleta, inclinando ligeramente el cincel en dirección al fósil. Al ir golpeando constantemente sobre el mismo rastro, llegará un momento en que el ejemplar saldrá expulsado de la roca portadora. Es importante destacar que el uso de ácido no se recomienda, ya que las conchas de los moluscos se disuelven junto con la matriz de la roca (Campbell, 2006). También es recomendable tomar muestras de la matriz original, en caso de que se quieran hacer estudios posteriores de paleoambientes deposicionales. Estas muestras se pueden obtener con un mazo, y deben ser guardadas en bolsas etiquetadas adecuadamente.

Una vez extraídos los ejemplares, habrá que guardarlos para su transporte. En el caso de especímenes pequeños, se aconseja envolverlos en papel o tela y almacenarlos en recipientes o pequeñas cajas de plástico con separaciones para limitar su movimiento. Las muestras grandes se envuelven en toallas de papel o papel periódico para evitar el roce directo entre los ejemplares. Todas estas se introducen en una bolsa (dejando las muestras más pesadas al fondo), la cual se cierra con cinchos o *masking tape*. Cada muestra debe contener los datos de colecta, ya sea escritos con plumón indeleble sobre la bolsa y/o por duplicado en el interior o exterior de la bolsa (si hay varias bolsas, por la fricción de una con otra, el marcaje externo en ocasiones puede borrarse total o parcialmente durante el transporte). En el caso de la caja de plástico, conviene el uso de fragmentos de papel que irán en cada división.

2.1.2. Clase *Bivalvia*, Subclase *Heterodonta*, Orden *Hippuritida*

Los rudistas son un grupo de bivalvos extintos del orden Hippuritida, que surgieron en el Jurásico Tardío y se extinguieron a finales del Cretácico. Este grupo habitó los mares someros de los márgenes del Tetis, adaptándose exitosamente gracias a las diversas formas de crecimiento de sus conchas (Skelton y Gili, 2002).

Estos bivalvos no son fácilmente reconocibles porque no presentan valvas simétricas, ni del mismo tamaño, salvo algunas excepciones. En la mayoría de estos, la valva inferior (generalmente fija al sustrato) es la de mayor tamaño; en cambio, la valva superior (libre) puede variar de tamaño desde cilíndrica, cónica, convexa, plana o reducida en forma de opérculo (Pons y Vicens, 2012). La concha está formada por dos capas, una externa de calcita baja en magnesio, la cual es más propensa a conservar su mineralogía original a pesar de las alteraciones diagenéticas, y una capa interna de aragonita, que muy frecuentemente es reemplazada por calcita secundaria (Skelton y Smith, 2000). Ambas valvas se unen en la charnela, la cual está conformada

por proyecciones denominadas dientes, que encajan en fosetas de la valva opuesta (Alencáster, 1971; Skelton, 1974); dos dientes en la valva inferior y uno en la superior. Estas estructuras, junto con las impresiones de fijación de los músculos aductores (mioforos) y las cavidades accesorias, son de las características morfológicas más utilizadas en la determinación taxonómica de las diversas familias de rudistas (Pons y Vicens, 2012).

Los rudistas tenían una marcada inclinación por los hábitats de aguas poco profundas en las plataformas carbonatadas (Kauffman y Sohl, 1979). Esto explica la razón de que estos fósiles se encuentren principalmente en litologías que consisten en rocas calizas (ocasionalmente dolomitizadas) y calizas intercaladas con capas siliciclásticas. Debido a esto es que el extraer rudistas de calizas es complicado, dado que la densidad y cohesión de estas hacen que los fósiles estén unidos a la matriz rocosa y su separación puede ocasionar daños a las estructuras de interés. En cambio, la extracción de rudistas de capas de calizas intercaladas con siliciclásticos se simplifica gracias a que estas capas suelen tener una textura más suelta y una menor cohesión que las calizas compactas. De esta manera, es posible separar los fósiles de la matriz rocosa. La extracción de rudistas generalmente involucra el uso de herramientas para microfósiles, como por ejemplo el martillo geológico y cinceles. Además, se utilizan pinceles y brochas para limpiar el excedente de material terrígeno que pudiera presentar el ejemplar de estudio.

Conseguir una alta resolución en el muestreo de rudistas bien preservados es una tarea desafiante, ya que las conchas tienden a estar fragmentadas, desarticuladas, erosionadas e incluso alteradas diagenéticamente (Figura 2). En parte, las descripciones de este grupo se han llevado a cabo mediante la evaluación de fotografías de campo en las que se muestran algunos de los caracteres más sobresalientes. Aunque las descripciones que más enriquecen la información de estos fósiles son aquellas basadas en materiales que se encuentran *in situ*. El estudiar a los rudistas en su posición original brinda información valiosa, ya que facilita la identificación de detalles morfológicos y la observación de caracteres internos y/o externos que podrían perderse durante la extracción de los fósiles. Lo más común es hallar registros de rudistas con una sola valva, siendo la valva inferior la que generalmente se preserva mejor debido a su mayor grosor y tamaño.

Para la identificación de la familia se recurre a algunas de las técnicas más comunes, como la elaboración de láminas delgadas o de *peels* de acetato. Es indispensable para la observación de las estructuras internas de los rudistas realizar secciones orientadas de forma transversal, longitudinal, tangencial y/o radial. El proceso de corte puede realizarse directamente del fósil aislado o de la roca en que está incrustado, siempre y cuando se hayan reconocido las características básicas, como las valvas inferior y superior y el plano de comisura, por ejemplo.

Los rudistas son reconocidos como buenos indicadores paleobiogeográficos debido a su amplia distribución geográfica, rápida tasa de evolución y diversidad ecológica considerable (e.g. Ross y Skelton, 1993). En función de las capacidades de alimentación y de estabilización, los rudistas comprenden tres morfotipos paleoecológicos: elevado o erecto, incrustante y recostado o recumbente (para ahondar en el tema consúltese Skelton y Gili, 2002). Partiendo del hecho de que la capa externa de calcita se conserva más comúnmente y con pocos cambios en su mineralogía original, esta ha sido ampliamente utilizada en estudios geoquímicos que tienen la finalidad de obtener información relevante sobre los paleoambientes (e.g. de Winter et al., 2020; Schmitt et al., 2022).

2.1.3. Clase Cephalopoda, subclases Ammonoidea y Nautiloidea

Los cefalópodos son los moluscos que muestran una complejidad estructural mayor a la de otros invertebrados, habitan ambientes típicamente marinos y se encuentran en un amplio rango de latitudes y profundidades (Martinell et al., 2009), siendo de gran interés para

todo el público dadas las habilidades cognitivas que poseen, las adaptaciones al medio en el que viven y la competencia ecológica con otros organismos acuáticos (Hildenbrand et al., 2021). Estos tienen una amplia historia de vida en la Tierra, originándose en el Cámbrico tardío, probablemente a partir de un molusco similar a un monoplacóforo (Landing et al., 2023). Este ancestro es relevante en la historia de los cefalópodos ya que, gracias a su concha externa de forma cónica, pudo regular su flotabilidad, favoreciendo que el grupo evolucionara rápidamente hasta diversificarse durante el Ordovícico (Kröger et al., 2011; López-Córdova et al., 2022). Dentro de esta gran radiación se encuentran los nautiloideos, los cuales tuvieron una gran diversidad durante el Paleozoico, aunque su diversidad decreció de forma importante durante el Cenozoico, perdurando al presente solo el género *Nautilus* (Guerra, 2006). En tanto que, se ha propuesto que los cefalópodos actuales (Cenozoico: pulpos, calamares y sepias) y los extintos ammonoideos derivan de los bacríidos (Kröger et al., 2011).

La información referente a la evolución del grupo se puede conocer gracias al registro fósil que los cefalópodos han dejado como vestigios de vida en las rocas sedimentarias marinas (Figura 3). De los tres grupos



Figura 2. Fotografías de campo y ediciones con ampliación de rudistas del Cretácico Superior de localidades de San Luis Potosí (A-C) y Chiapas (D-E). Las flechas blancas señalan los fósiles de rudistas y las flechas rojas la valva libre. Abreviaturas anatómicas: CA, cavidad accesoria; CC, cavidad central; DC, diente central; MA, mioforo anterior; MP, mioforo posterior; PC, plano de comisura; VI, valva inferior. Escalas en orden de las fotos: 10, 33, 16, 20 y 35 cm.

principales de cefalópodos: nautiloideos, ammonoideos y coloideos; los dos primeros tienen una concha externa mineralizada de carbonato de calcio, la cual se puede llegar a preservar en el registro fósil, mientras que los coloideos han interiorizado o perdido completamente dicha concha, lo cual ha influido en la escasez de registro fósil de este grupo. Sin embargo, ha habido descubrimientos excepcionales donde se han encontrado rasgos de partes blandas de estos organismos,

por ejemplo de los pulpos (Fuchs *et al.*, 2009; Kröger *et al.*, 2011). Por esta razón, los cefalópodos con concha externa representan más de 1000 géneros de taxones extintos, siendo la mayoría de ellos utilizados como fósiles índice. En particular, las conchas de los ammonoideos y nautiloideos, que están constituidas de aragonita, y en las cuales es observable algún tipo de ornamentación (e.g., costillas, liras, tubérculos, espinas), además de la línea de sutura que en los ammonoideos

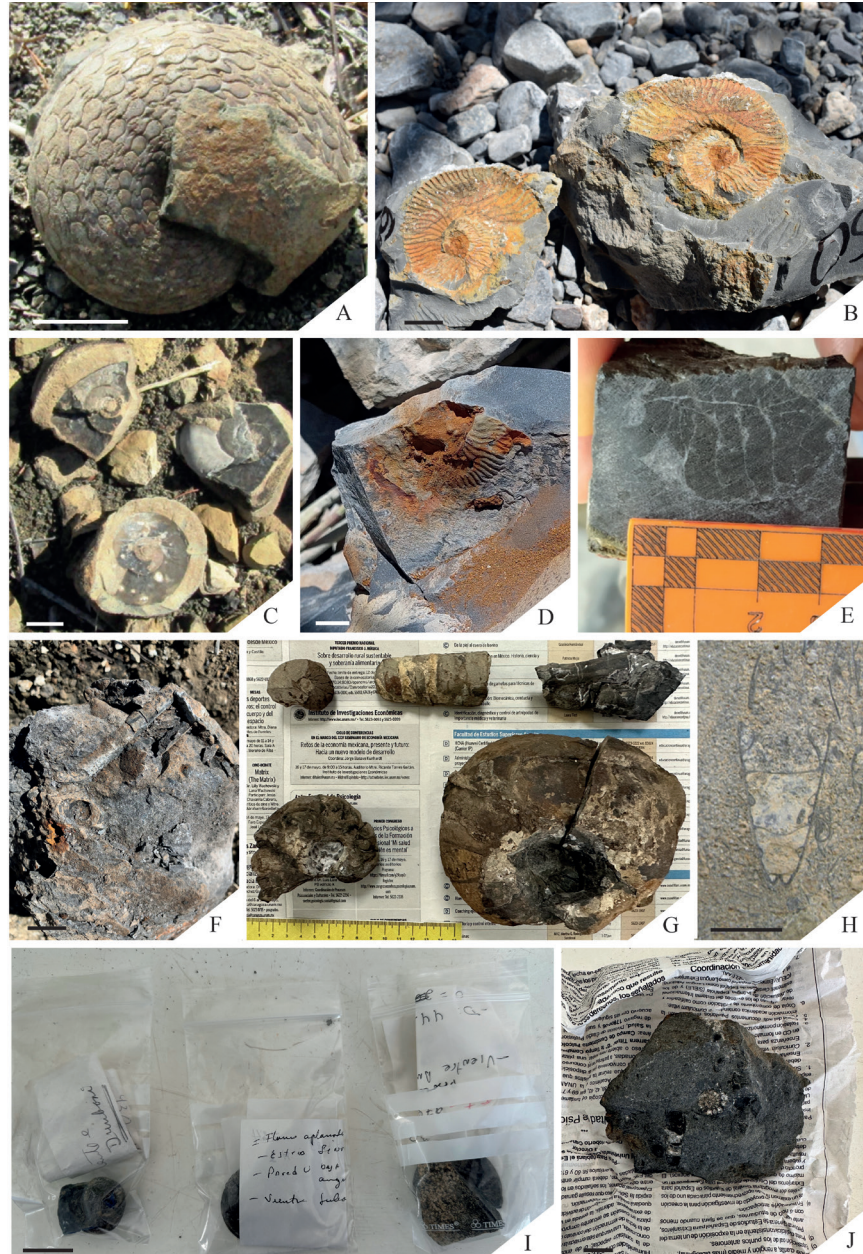


Figura 3. A) Ammonoideo permineralizado en calcarenita del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); B) Ammonoideos permineralizados en calizas pelágicas del Cretácico de Coahuila (Fotografía de José Roberto Ovando Figueroa); C) Ammonoideos permineralizados en concreciones del Pérmico de Coahuila; D) Fragmento de ammonoideo permineralizado en calizas pelágicas del Cretácico de Coahuila (Fotografía de José Roberto Ovando Figueroa); E) Corte de ammonoideo en caliza masiva del Pérmico de Chiapas (Fotografía Norma Betania Palacios García); F) Nautiloideo permineralizado del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); G) Nautiloideos permineralizados del Pérmico de Coahuila; H) Corte de nautiloideo del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); I) Ammonoideos en bolsas individuales con datos de campo; J) Ammonoideo permineralizado en caliza del Pérmico de Coahuila, previo a ser envuelto en periódico para su transporte. Escala gráfica 1 cm.

paleozoicos es fundamental para su identificación taxonómica (Aguirre-Urreta y Cichowolski, 2008; Alanis-Pavón et al., 2023). Cabe resaltar que, a diferencia de los nautiloideos, los ammonoideos del Paleozoico y Mesozoico, debido a su rápida evolución y amplia distribución geográfica, tienen una función clave en la bioestratigrafía del Fanerozoico. Dada la relevancia bioestratigráfica de estos cefalópodos, es necesario tener un control estratigráfico muy estricto de las muestras recolectadas durante el trabajo de campo. Esto se traduce en llevar a cabo una metodología detallada, comenzando con delimitar la zona a estudiar y obtener las coordenadas geográficas del área donde es posible encontrar las conchas de ammonoideos y/o nautiloideos. El siguiente paso es medir una sección estratigráfica, reconociendo y midiendo los estratos a analizar. Es importante asignar una nomenclatura en forma de seriación, comenzando con el primer estrato de abajo hacia arriba, por ejemplo, si el nombre de la sección estratigráfica es Las Margaritas, la nomenclatura será Mt con su número ascendente correspondiente a cada estrato: Mt-1, Mt-2, Mt-3, y así sucesivamente hasta incluir todos los estratos de la sección estratigráfica estudiada. Se recomienda marcar con pintura con base de aceite la nomenclatura en cada estrato, lo cual servirá en caso de que sea necesario regresar por más datos o material, teniendo un buen control estratigráfico para los diferentes trabajos realizados en el lugar.

En el caso de los ammonoideos paleozoicos, es importante que se preserve la forma de la concha y las suturas (Figura 3A), mientras que en los mesozoicos la forma y ornamentaciones serán clave para poder establecer con precisión las especies encontradas (Figura 3B). Los ejemplares del Paleozoico que se han encontrado mejor preservados ocurren en calcarenitas (permineralizados) y concreciones lutíticas (moldes autigénicos), en tanto que estos cefalópodos del Mesozoico están mejor conservados como permineralizaciones en margocalizas, calizas pelágicas o concreciones carbonatadas. Cuando están dentro de concreciones (Figura 3C), es necesario unir con mucho cuidado ambas partes de la concreción y cerrarla con *masking tape* para poder llevarlos al laboratorio y estudiarlos posteriormente. Algunas veces, cuando forman moldes autigénicos dentro de la concreción pueden oxidarse al entrar en contacto con el ambiente aéreo, siendo indispensable evitar exponer el fósil al medio externo. Con respecto a los nautiloideos, para identificar a los taxones es necesario que se preserve la forma de la concha, la sutura, el sifunculo y las ornamentaciones. Estos cefalópodos presentan conservaciones semejantes a los ammonoideos, y es necesario seguir los mismos procedimientos para su extracción, aunque es más común encontrarlos en rocas sedimentarias siliciclásticas. Cuando ambos se llegan a preservar en calizas masivas (Figura 3E), no es posible observarlos o trabajarlos de manera eficiente, dado que no se pueden notar sus rasgos morfológicos a detalle.

Para su transporte, es recomendable envolver en papel y sujetar con cinta adhesiva tipo *masking tape* el material, esto con el fin de asegurar y proteger al fósil de fracturarse o perder detalles diagnósticos externos presentes. A su vez, el material deberá ser guardado en una bolsa con la nomenclatura correspondiente al estrato del que fue colectado (Montero y Diéguez, 2001). Cuando los ejemplares son pequeños se pueden guardar en cajas de plástico con separaciones o en bolsas individuales (Figura 3I y 3J), con sus datos respectivos. Otro detalle es documentar mediante material fotográfico todo el proceso de trabajo de campo.

2.2. Phylum Brachiopoda

Los braquiópodos son un grupo de invertebrados marinos que muestran un plano corporal compuesto de partes blandas (incluyendo lofóforo, pedúnculo, músculos laterales, ajustores, aductores y/o diductores) y un exoesqueleto conformado por una concha bivalva (valva ventral y dorsal) mineralizada por fosfato de calcio (Linguliformea) o por carbonato de calcio (Craniiformea y Rhynchonelliformea) (Álvarez y Martínez-Chacón, 2009). Al morir estos organismos, las partes blandas se van desintegrando con el paso del tiempo, mientras que el exoesqueleto se puede llegar a preservar. En cuanto a su utilidad geológica, los braquiópodos del Paleozoico son muy buenos proxies estratigráficos; además, son valiosos indicadores paleoambientales debido a que sus morfologías varían conforme las características del ambiente de depósito; e incluso, debido a sus cambios de distribución y regionalizaciones taxonómicas son excelentes indicadores paleobiogeográficos. En el caso de los braquiópodos mesozoicos y cenozoicos, su utilidad radica principalmente en los paleoambientes deposicionales y cambios en su distribución paleobiogeográfica.

Con respecto al registro fósil, las diferentes estructuras morfológicas conservadas de los braquiópodos son útiles para establecer taxones, y dependiendo de las muestras que se tengan será posible llegar a un nivel taxonómico particular (Figura 4) (con excepción del material fragmentario de la región anterior, así como los cortes longitudinales simples de los especímenes, lo cual brinda muy poca información de los grupos) (Figuras 4A y 4B). No obstante, lo más importante sería encontrar especímenes donde se puedan observar rasgos externos importantes (forma externa, charnela, umbos, ornamentaciones) o internos (proceso cardinal, crestas, braquidio, impresiones musculares, etc.). Cuando se presenten moldes externos se pueden realizar modelos de caucho-silicón en laboratorio para observar al espécimen en tres dimensiones.

En el trabajo de campo, que consiste, entre otras actividades, en realizar la extracción y colecta de los ejemplares de braquiópodos, se ha observado que no existe una distinción litológica que defina el tipo de preservación en que se pueden hallar estos fósiles (con excepción de las calizas, donde se conservan

permineralizados), encontrándose en calcarenitas, areniscas, limolitas y lutitas. Este grupo de metazoos están representados en México por muestras con diferentes tipos de preservación: una es la autigénica, formándose por el endurecimiento o cementación rápida de los sedimentos adyacentes a los restos orgánicos, así como por la incorporación o llenado de sedimentos en algunas cavidades. Por otro lado, está la permineralización, formándose por la precipitación de minerales en la

estructura porosa de las conchas o valvas, siendo el mineral infiltrado, generalmente de composición química distinta a la composición original de las partes duras (García-Barrera, 1997). Si los especímenes se conservan como moldes, las partes duras conservadas pueden ser moldes internos (impresiones de estructuras internas) ya sea de la valva ventral, la valva dorsal o ambas valvas, moldes externos (estructuras externas de cualquiera de las valvas) o moldes compuestos (donde se observan

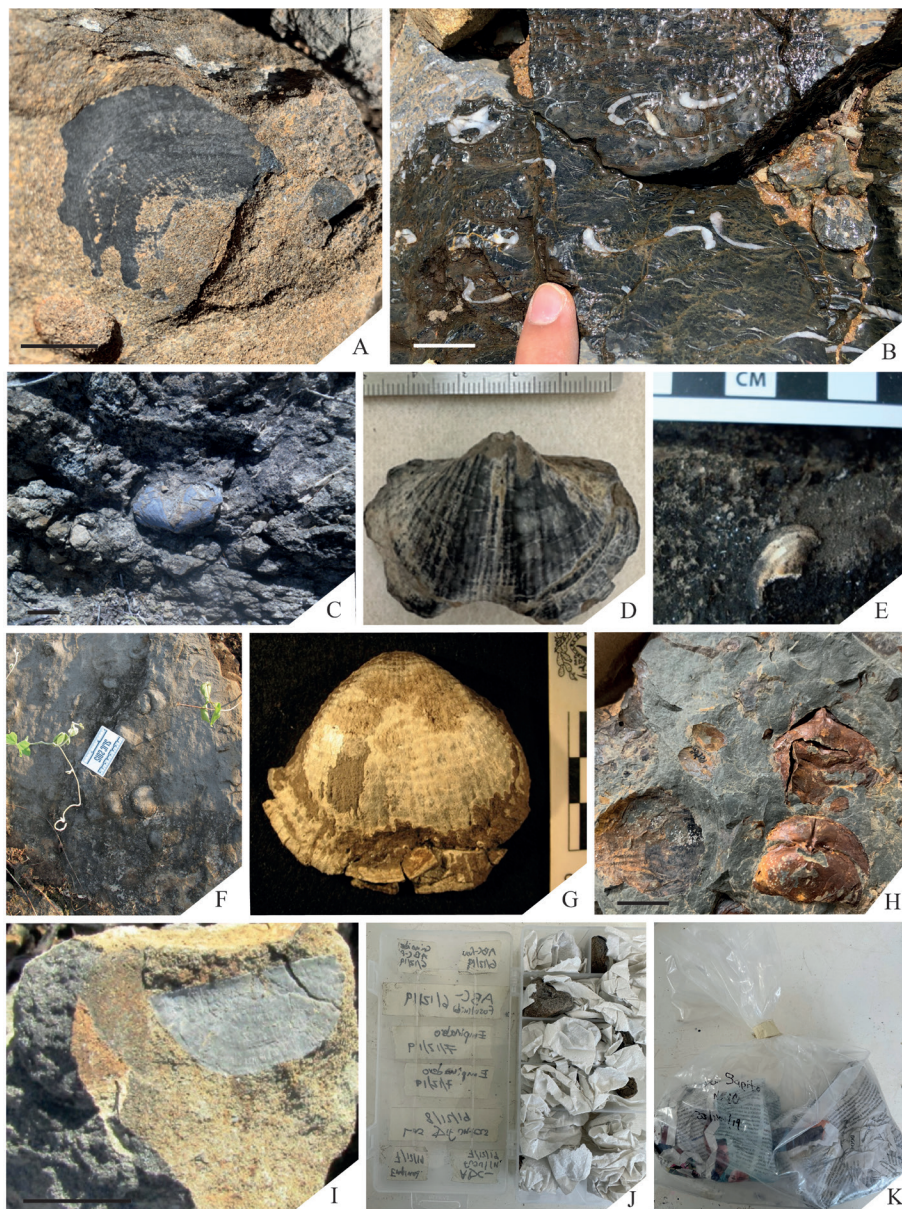


Figura 4. A) Valva permineralizada en calcarenita del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); B) Cortes de valvas de braquiópodos permineralizados en calizas del Carbonífero de Oaxaca (Fotografía de Sandra Guerrero Moreno); C) Braquiópodo permineralizado depositado en lutitas del Pérmico de Coahuila; D) Braquiópodo extraído de la matriz siliciclástica del Pérmico de Coahuila; E) Braquiópodo embebido en caliza masiva del Pérmico de Chiapas; F) Braquiópodos permineralizados depositados en calizas masivas del Pérmico de Chiapas; G) Braquiópodo permineralizado extraído directamente de una caliza masiva del Pérmico de Chiapas; H) Moldes internos de braquiópodos en lutitas del Carbonífero de Oaxaca; I) Valva de braquiópodo permineralizada en calcarenita del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); J) Caja pequeña de plástico con divisiones para transportar fósiles pequeños, incluyendo sus datos de campo; K) Muestras envueltas en periódico y guardadas en bolsa de plástico para ser transportados. Escala gráfica 1 cm.

tanto estructuras internas como estructuras externas) igualmente de ambas valvas. Si la preservación es por permineralización, los fósiles pueden estar representados por conchas completas (ambas valvas articuladas) o valvas ventrales (internas o externas), dorsales (internas o externas) o sólo fragmentos de las mismas (Benedetto, 2020; Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2023). Cabe mencionar que se tiene un registro sobre lo que podría ser la preservación de tejidos blandos (lofóforo) en ejemplares de braquiópodos del Silúrico; no obstante, es muy difícil que se pueda llegar a dar la preservación de partes blandas en este grupo de invertebrados fósiles (Sutton *et al.*, 2005).

Dependiendo de la composición de la matriz portadora es que se realiza el proceso de colecta, ya sea en rocas sedimentarias clásticas de grano fino (limolitas, areniscas de grano fino, lutitas e incluso calcarenitas) o en rocas carbonatadas. Para extraerlos se puede seguir el mismo procedimiento señalado en la sección de bivalvos y gasterópodos (Figuras 4C a 4G). Cuando exista una alta diversidad de especímenes en estas rocas carbonatadas se recuperarán los bloques completos que contengan los fósiles. En este caso, también es importante coleccionar y etiquetar correctamente diferentes muestras de las rocas carbonatadas asociadas, por si se requieren estudios paleoambientales posteriores.

Es importante mencionar que se debe levantar una columna estratigráfica de la sección donde se obtengan los braquiópodos fósiles, identificando sistemáticamente cada estrato donde se encuentren los especímenes, ya que de esta manera se tendrá un verdadero control estratigráfico de los mismos; así como de otros grupos que se encuentren asociados.

Posteriormente, una vez obtenidos los ejemplares se llevará a cabo el proceso de embalaje, envolviéndose en papel periódico o toallas de papel cuando se trata de muestras de tamaño moderado o grandes y más resistentes, introduciéndose en bolsas de plástico grueso. Estas se cierran con cinta *masking tape* y se etiquetan adecuadamente (con plumón permanente), incluyendo el número de estrato, nombre de la sección o localidad, formación y fecha de colecta (en algunos casos se agrega alguna nota adicional si así se requiere). Cuando los ejemplares son más frágiles o muy pequeños se envuelven en papel higiénico y se guardan en cajas de plástico con divisiones, para que no sufran ningún tipo de daño; y de igual manera se etiquetan con los mismos datos para tener un control estratigráfico fidedigno (Figuras 4J y 4K). Finalmente, las bolsas, cajas o bloques de roca son resguardados en cajas grandes de plástico para que de esta manera se transporten de manera segura al lugar donde posteriormente serán analizados y estudiados (Montero y Diéguez, 2001).

2.3. Phylum Arthropoda

Los artrópodos constituyen un grupo de animales con una historia evolutiva extensa, diversa y exitosa.

Además, son objeto de estudios paleobiogeográficos y paleoecológicos (Sánchez de Posada *et al.*, 2009). Una característica distintiva de este grupo es su exoesqueleto, una cubierta externa que recubre todo su cuerpo. Este exoesqueleto, compuesto principalmente de quitina, puede presentar impregnaciones de sales minerales, carbonato cálcico y fosfato cálcico, proporcionándoles flexibilidad y protección. Existen variaciones de esta estructura dentro de los diferentes grupos de artrópodos, las cuales, influenciadas por los diversos hábitats que ocupan, se reflejan en un registro fósil heterogéneo entre sus integrantes (Sánchez de Posada *et al.*, 2009). De los artrópodos, los crustáceos constituyen un grupo notablemente polimórfico, el cual ha sido muy exitoso a lo largo del Fanerozoico, principalmente en ambientes marinos (Sánchez de Posada *et al.*, 2009).

2.3.1. Clase Malacostraca, Orden Decapoda

Dentro de los principales representantes de los crustáceos se encuentran los decápodos, caracterizados por poseer un exoesqueleto débilmente calcificado, lo que limita su potencial de preservación (Buatois *et al.*, 2016). A pesar de ello, son frecuentes en el registro fósil, especialmente en rocas sedimentarias de origen marino, asociadas a ambientes someros (González-León *et al.*, 2018). Además, han sido encontrados en estratos relacionados con depósitos de tormentas y periodos de crecimiento poblacional de tipo oportunista (Hernández-Monzón, 2009).

El registro fósil de los decápodos incluye la preservación de cuerpos completos en tres dimensiones o comprimidos, elementos estructurales como sus exuvias (mudas del exoesqueleto que dejan durante su crecimiento), cutículas y otros restos parciales (Figuras 5A a 5D). De acuerdo con Feldmann y Schweitzer (2017), los especímenes que se preservan con abdomen, apéndices articulados y en posición de vida se consideran cuerpos. Por otro lado, aquellos que conservan el abdomen y apéndices asociados al caparazón, pero con el caparazón separado de otros elementos del exoesqueleto, son considerados exuvias. En lo que respecta a la cutícula, algunos decápodos fósiles presentan una cutícula que parece ser original, mientras que en otros casos se observa una alteración con la adición de material calcítico o fosfático, lo que les confiere una apariencia negra. En casos excepcionales, la cutícula es reemplazada por sílice, óxidos de hierro, hematita o limolita (Feldmann *et al.*, 2007).

La técnica de colecta de los decápodos fósiles depende del tipo de roca en el que se encuentren. Idealmente un fósil se puede extraer de manera directa de la roca dentro de la secuencia estratigráfica, de este modo se asegura el conocimiento de la posición exacta de los fósiles dentro de la sección. De esta manera se puede determinar la orientación del espécimen, así como su relación con la superficie y con otros fósiles. Sin embargo, pocas veces se dan las condiciones ideales para realizar

este tipo de extracción (Figura 5E). Por ello, también se llevan a cabo extracciones de bloques desprendidos, lo que requiere establecer correctamente la capa original a la que pertenece la muestra (Feldmann y Schweitzer, 2017).

En las rocas siliciclásticas de grano fino y grueso, los fósiles se encuentran como concreciones o libres en la matriz, con posibles efectos de descalcificación a causa de ambientes ácidos. Al buscar estos fósiles, es crucial la minuciosidad, ya que los colores pueden confundirse con la matriz circundante. En algunos afloramientos se pueden separar las capas de rocas con cincel y martillo, o se pueden utilizar estas herramientas para trabajar alrededor del espécimen, preservando la mayor cantidad posible de roca que rodea al ejemplar. En rocas no cementadas se requiere precaución al excavar debido a la fragilidad de estas, ya que los apéndices, especialmente los pereiópodos y la superficie ventral, pueden desarticularse del caparazón dorsal. Al final de la extracción, la muestra se debe envolver meticulosamente en papel, asegurando la preservación de todas las piezas que puedan contener elementos de apéndice. Las concreciones suelen tener decápodos excepcionalmente

bien conservados. La recolección de decápodos dentro de las concreciones es relativamente sencilla, basta con golpearlas con un martillo a lo largo del eje mayor y perpendicular al eje más corto de la concreción, preferiblemente apoyándola sobre otra roca. Es esencial tener precaución y equilibrar la concreción correctamente durante este proceso, evitando sostenerla con las manos. Las concreciones se dividen generalmente a lo largo de una zona débil, ya sea en el caparazón dorsal o la superficie ventral del decápodo. Posteriormente, las concreciones se envuelven en papel, con una toalla de papel entre las dos mitades para proteger el fósil. Es crucial recolectar tanto la parte como la contraparte de los especímenes conservados en concreciones, uniendo ambas con cinta *masking tape* para garantizar la integridad de la pieza y su contraparte (Feldmann y Schweitzer, 2017).

En las rocas carbonatadas de grano fino y grueso, que son químicamente menos estables que las siliciclásticas, se conservan caparazones o moldes, incluso cuando están poco cementadas. Para la recolección de fósiles en este tipo de roca, se recomienda iniciar con la identificación de estos en la matriz, utilizando un

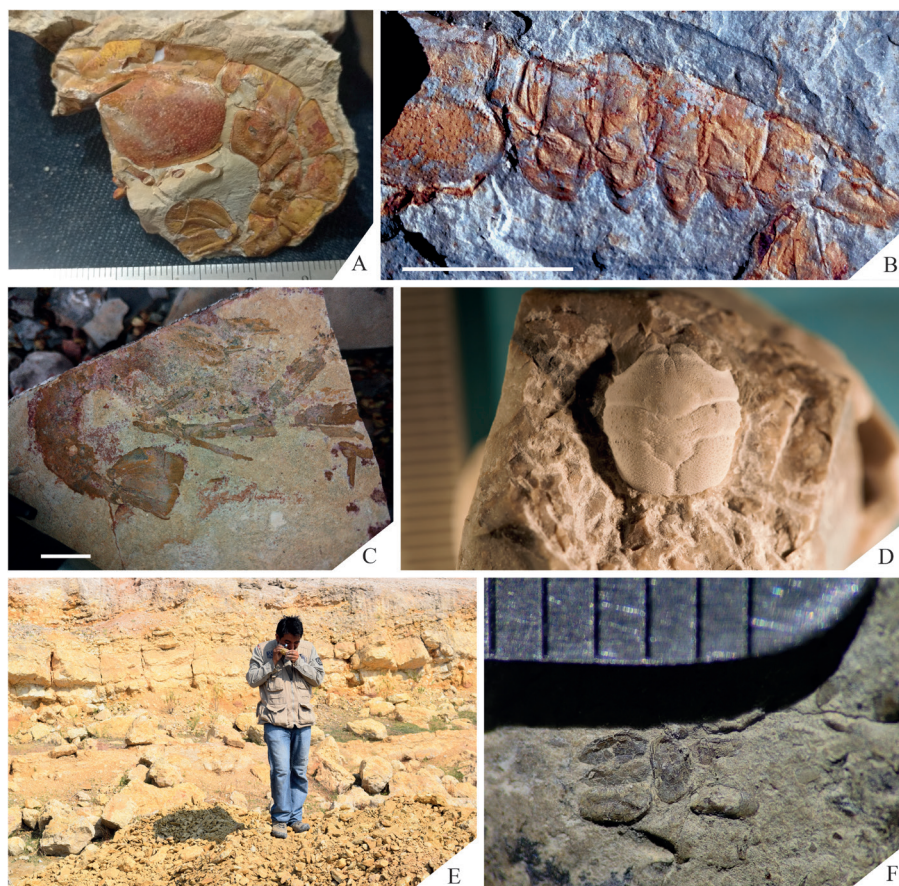


Figura 5. A) Decápodo permineralizado en margita del Cretácico de Puebla; B) Decápodo permineralizado en caliza del Cretácico de Puebla; C) Decápodo permineralizado en lutita del Cretácico de Chihuahua; D) Decápodo permineralizado en caliza del Cretácico de Puebla; E) Trabajo de campo para búsqueda de decápodos (Fotografías de Oscar González León); F) Ostrácodos permineralizados en limolitas del Cretácico de Sonora. Escala gráfica 1 cm.

marcador para visualizarlos fácilmente, así como una lupa para examinar detalladamente las superficies. Una vez identificados, se fragmenta la roca en trozos pequeños, los cuales deben de ser examinados individualmente. Al finalizar, cada uno debe envolverse cuidadosamente en papel para conservar su integridad (Feldmann y Schweitzer, 2017).

Por último, en sedimentos no consolidados se puede realizar un tamizado. Este proceso implica colocar sedimento en un recipiente con una malla en la parte inferior, agitar suavemente o sumergir repetidamente el recipiente de agua para eliminar todo el material más pequeño que el tamaño de la malla. El material restante sobre la malla puede identificarse posteriormente bajo un microscopio (Feldmann y Schweitzer, 2017).

2.3.2. Clase Ostracoda

Los ostrácodos son crustáceos microscópicos que constituyen otro grupo importante dentro de los artrópodos, los cuales son considerados de los microfósiles más abundantes. Se distinguen por poseer un caparazón carbonatado que cubre todo su cuerpo; además, viven en casi todo tipo de medios acuáticos, desde zonas someras hasta abisales y desde lagos o ríos superficiales hasta aguas continentales subterráneas (Sánchez de Posada *et al.*, 2009). Estas cualidades los hacen excelentes indicadores paleoambientales, ya que se ha observado que el medio donde se encuentran y los factores relacionados a él, moldean morfológicamente su exoesqueleto, la ornamentación de su caparazón y su distribución local y regional (Sánchez de Posada *et al.*, 2009). Aunque se han realizado trabajos bioestratigráficos con ostrácodos, estos son regionales, específicamente del Mesozoico-Cenozoico (*e.g.* Poropat y Colin, 2012; Evangelista-Nogueira y Rodrigues-Nogueira, 2017). Además, es por su caparazón bivalvo calcificado que este grupo tiene un amplio registro fósil. La preservación de las partes blandas del organismo es extremadamente rara, sin embargo, hay registros de sus apéndices articulados (Horne y Siveter, 2016).

En el trabajo de campo es importante detectar dónde se encuentran los especímenes a lo largo de una sección estratigráfica, ya que su presencia ayudará a realizar interpretaciones paleoambientales fidedignas. Al ser microscópicos, solo se pueden coleccionar muestras de mano que incluyan diversos especímenes, los cuales podrán ser observados más adelante en los microscopios del laboratorio (Figura 5F). Los ostrácodos fósiles se encuentran predominantemente en lutitas y areniscas calcáreas, especialmente en horizontes de lutitas pertenecientes a sucesiones sedimentarias de calizas (Sohn, 1961). Así, las muestras extraídas se envuelven en toallas de papel o periódico, para después ser embolsadas. La bolsa se cierra con *masking tape* y se incluyen sus datos respectivos.

Existe una técnica estándar para la extracción de los caparazones de ostrácodos, principalmente aplicada

en rocas con sedimentos finos como arcillas, limos y margas. Este método implica la recolección de muestras de sedimentos o rocas siliciclásticas, seguido de un proceso de disgregación y tamizaje. Los residuos retenidos en el tamiz son examinados bajo un microscopio y montados en un portaobjetos. Esta técnica no es recomendada para sedimentos gruesos por su susceptibilidad a la pérdida de ejemplares por lixiviación (Horne y Siveter, 2016). Se han propuesto alternativas para la recuperación de ostrácodos que presenten una conservación no calcárea o que se encuentren en rocas que no permitan la extracción mediante la técnica de lavado. Entre estas técnicas se incluye el método de extracción de especímenes calcáreos preservados en calizas, que consiste en el calentamiento repetitivo de la roca caliza seguido de un enfriamiento rápido en agua. También, se emplea la técnica de acetólisis caliente, donde las muestras se sumergen previamente secas en ácido acético caliente durante un periodo de días o semanas (Lethiers y Crasquin-Soleau, 1988). Para la recuperación de ostrácodos silicificados de calizas se puede utilizar ácido clorhídrico en baja concentración, teniendo un tiempo de procesamiento que conlleva desde una semana hasta meses, dependiendo de la temperatura, la concentración de la solución ácida y la resistencia de las muestras de caliza (Horne y Siveter, 2016). Es común que se conserven moldes de la morfología externa e interna de los ostrácodos, principalmente en lutitas, areniscas y limolitas, e incluso se pueden obtener moldes de caucho-silicón para el análisis morfológico de los especímenes (Horne y Siveter, 2016).

En casos excepcionales de preservación, donde se conservan detalles tridimensionales que son imposibles de extraer por métodos físicos o químicos, los fósiles son fragmentados y capturados digitalmente mediante tomas en serie y fotografía digital. Posteriormente se reconstruyen en 3D utilizando técnicas informáticas, dando lugar a lo que se denomina como 'fósiles virtuales' (Sutton *et al.*, 2001).

2.4. Phylum Echinodermata

Los equinodermos son invertebrados marinos que se caracterizan generalmente por tres rasgos anatómicos: esqueleto, sistema ambulacral y simetría secundaria pentarradial. La gran mayoría son bentónicos y se encuentran en todos los océanos y profundidades, aunque son más comunes en ambientes costeros (Domínguez *et al.*, 2009). Su registro fósil es diverso, el cual data de al menos el Cámbrico (Brusca *et al.*, 2016).

2.4.1. Clase Crinoidea

Los crinoideos son los equinodermos más antiguos que viven en la actualidad. El endoesqueleto se compone de diversas placas de calcita magnesiana unidas por suturas, ya sea flexibles o rígidas (Domínguez *et al.*, 2009), presentando una forma corporal de copa o cáliz,

con la superficie oral dispuesta hacia arriba (Brusca *et al.*, 2016). El cuerpo está dividido en tres partes principales: tallo, teca o cáliz y aparato branquial, donde se ubican los brazos (Domínguez *et al.*, 2009). El registro fósil del grupo se remonta al Ordovícico Temprano, y aunque los crinoideos paleozoicos fueron muy diversos, en la actualidad únicamente sobrevive una subclase, la cual surgió en el Triásico. Estos equinodermos han sido un proxy muy utilizado en un contexto paleobiológico y paleoambiental, siendo muy útiles para establecer ambientes deposicionales (Baumiller, 2008). Con respecto a la relevancia bioestratigráfica, esta es limitada, ya que debido a su conservación solo ciertos taxones son considerados importantes, en tanto que los osículos columnares disociados poseen alcances temporales muy

amplios y poco precisos (Domínguez *et al.*, 2009; Huitrón-Vargas y Torres-Martínez, 2023).

En el caso de México, el registro fósil está principalmente representado por osículos columnares desarticulados (morfotipos) (e.g. Buitrón-Sánchez *et al.*, 2023; Huitrón-Vargas y Torres-Martínez, 2023), siendo los ejemplares con cálices completos sumamente escasos (e.g. Villanueva-Olea y Sour-Tovar, 2014) (Figuras 6A a 6E). La preservación de los especímenes completos o fragmentados va a ser variable, encontrándose principalmente moldes autigénicos internos o externos (cálices y osículos columnares) y permineralizaciones (osículos columnares). Cabe resaltar que la mejor conservación de este grupo se observa en rocas siliciclásticas, ya que el material preservado en calizas suele estar



Figura 6. A) Osículo columnar de crinoideo permineralizado en calcarenita del Pérmico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); B) Moldes internos y externos de osículos y columnares de crinoideos en areniscas del Pérmico de Chiapas; C) Moldes de caucho-silicón de osículos columnares del Pérmico de Chiapas; D) Bloque de caliza del Pérmico de Sonora, con numerosos osículos columnares de crinoideos permineralizados bien preservados; E) Bloque de caliza del Pérmico de Chiapas, con osículos columnares de crinoideos permineralizados recrystalizados; F) Erizos regulares permineralizados del Jurásico de Durango (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán); G) Erizos irregulares permineralizados del Cretácico de Coahuila (Fotografía de Jesús Quiroz Barragán). Escala gráfica a 1 cm.

recristalizado e intemperizado (generalmente formando encrinitas), lo cual en la mayoría de los casos hace difícil llevar a cabo determinaciones taxonómicas confiables (Figura 6E).

Con respecto a la extracción, se utiliza una pica geológica, considerando el tipo de estructura y preservación de los especímenes. En el caso de los moldes autigénicos, si el espécimen conserva el cáliz, se tiene que extraer el bloque o la laja que conserva al organismo, procurando no golpear de manera cercana al ejemplar. Al obtenerlo, hay que envolverlo en toalla de papel o papel higiénico y meterlo en una bolsa con sus datos de colecta respectivos, evitando en absoluto poner algún otro material o ejemplar sobre el fósil en cuestión. Para los moldes de osículos columnares (Figura 6B), estos se pueden obtener de manera más sencilla, extrayendo los bloques que contengan estos especímenes (generalmente cada muestra va a contener numerosos ejemplares). Lo colectado se tiene que envolver en periódico o toallas de papel, después hay que guardarlas en una bolsa cerrada con *masking tape*, escribiendo sobre la bolsa los datos de colecta. Incluso, se pueden introducir (sin llegar a meter demasiadas y apretar mucho las rocas entre ellas) diferentes muestras en una misma bolsa. En ambos casos, para estudiar a los especímenes será imprescindible realizar moldes de caucho-silicón en el laboratorio (Figura 6C).

Cuando los ejemplares están permineralizados en areniscas o calcarenitas, solo es necesario golpear la matriz que está embebiendo a los especímenes, con lo cual será posible obtener osículos columnares u osículos disociados de los tallos de crinoideos. Estos especímenes suelen ser pequeños, por lo que se corre el riesgo de que se pierdan o se rompan al ser liberados de la matriz, siendo necesario envolverlos en papel higiénico o toallas de papel para guardarlos en cajas de plástico con separaciones, procurando etiquetar correctamente las muestras con sus datos de campo. Si la matriz está muy solidificada, se tendrá que extraer la muestra con el fósil dentro, para posteriormente ser limpiada en laboratorio con un lápiz percutor. Para transportar, se pueden envolver las muestras en periódico, para guardarse después en una bolsa de plástico con sus datos respectivos (Figura 6D).

Cuando los osículos están depositados en calizas, y presentan buena preservación, lo más recomendable será extraer el bloque completo. Este se envuelve en periódico y se guarda en bolsas etiquetadas para su manejo posterior. Con esto se podrá llevar a cabo el análisis de los fósiles directamente en laboratorio.

2.4.2. Clase Echinoidea

Los equinoideos o erizos de mar son organismos bentónicos que habitan todos los mares a diferentes profundidades, incluso en zonas abisales (Domínguez et al., 2009). En general, su cuerpo está constituido por placas esqueléticas calcíticas unidas por una matriz

de colágeno, espinas móviles y surcos ambulacrales cerrados. Además, de acuerdo con algunas características morfológicas particulares, van a estar divididos tradicionalmente en dos grupos principales: regulares e irregulares (Brusca et al., 2016). Los regulares están caracterizados por un endoesqueleto globoso, espinas alargadas sólidas o huecas, ano aboral con placas ambulacrales y un aparato mandibular interno, formado por una linterna de Aristóteles de tamaño considerable. Mientras que los irregulares (comúnmente llamados bollos y galletas de mar) presentan un cuerpo globular o discoidal con tendencia a la simetría bilateral secundaria, ano variable (en posición oral o posterior), espinas usualmente pequeñas y una linterna de Aristóteles reducida (presente solo en galletas de mar) (Brusca et al., 2016). El reporte más antiguo de estos equinodermos es del Ordovícico, observándose en el registro fósil que hubo una fuerte diversificación del grupo durante el Triásico Tardío–Jurásico Temprano, e incluso surgieron los erizos irregulares a finales de este intervalo de tiempo (Domínguez et al., 2009). Este grupo es reconocido como un proxy paleoecológico importante, principalmente desde mediados del Mesozoico hasta finales del Cenozoico, sobre todo porque los erizos regulares e irregulares habitan ambientes deposicionales distintos (Domínguez et al., 2009). En cuanto a la bioestratigrafía, solo los representantes del Cretácico–Paleógeno son considerados fósiles índice.

La preservación de macrofósiles en México se da generalmente como permineralizaciones del Mesozoico–Cenozoico (Figuras 6F y 6G), siendo los moldes autigénicos muy escasos. En el caso de los equinoideos es necesario encontrar especímenes donde se observen las suturas, así como el número y forma de las placas del endoesqueleto, ya que son necesarios para realizar una asignación específica fehaciente. Aunque el material de este grupo es diverso en el país, el registro fósil está mayormente representado por los erizos irregulares. Esto se ha atribuido al estilo de vida infaunal que presentan estos organismos (Domínguez et al., 2009). Así, la mejor preservación se ha observado en las rocas siliciclásticas (margas, limolitas, areniscas y calcarenitas), de donde se pueden extraer testas permineralizadas completas o incluso espinas enteras. Para esto, es necesario golpear moderadamente con una pica la matriz donde se encuentra el fósil, extrayendo la muestra al liberarse de la roca portadora. Si la matriz está muy solidificada, se guarda la muestra completa para después extraer al espécimen en el laboratorio, utilizando un lápiz percutor.

Cuando se extraen ejemplares pequeños, se tienen que envolver en periódico o toallas de papel, para después guardarse en cajas de plástico con separaciones (y su respectiva información de colecta). Pero cuando son especímenes de tamaño moderado o grande se pueden envolver en periódico, guardando varias muestras (sin apretarlas demasiado) en la misma bolsa, la cual estará cerrada con *masking tape* y etiquetada adecuadamente.

3. Discusión y conclusiones

Los invertebrados marinos son una valiosa herramienta cuando se está trabajando la paleontología o geología de una región en particular, sobre todo de México, en donde se pueden localizar taxones de distintas eras y periodos del Fanerozoico. La información que se pueda obtener dependerá del grupo con el que se trabaje, por lo que será necesario considerar qué datos pueden proporcionar determinados fósiles antes de ser extraídos para estudiarlos. De los grupos que se trataron en este trabajo, los bivalvos (Mesozoico–Cenozoico), rudistas (Jurásico Tardío–Cretácico), gasterópodos (Mesozoico medio–Cenozoico), ammonoideos (Devónico–Cretácico), braquiópodos (Ordovícico–Jurásico) y equinoideos (Cretácico–Paleógeno) son considerados importantes fósiles índice en intervalos de tiempo particulares.

Con respecto a los paleoambientes de depósito, la información que nos pueden brindar los diferentes grupos de organismos bentónicos es significativa, dado que estos tendrán mayor posibilidad de fosilizarse en sus ambientes originales. Así, en bivalvos o gasterópodos se pueden observar morfologías funcionales relacionadas con sus hábitos de vida, variando de acuerdo con el tipo de sustrato y forma de alimentación (Martinell *et al.*, 2009; Quiroz-Barroso, 2017), e incluso se pueden inferir condiciones paleoambientales al realizar estudios geoquímicos en conchas de bivalvos fósiles (Camacho *et al.*, 2008). Esto incluye a los rudistas (bivalvos modificados), que presentan morfologías que les permitieron vivir en plataformas calcáreas someras de los márgenes del Tethys (Pons y Vicens, 2012). En cuanto a los braquiópodos, se observa una amplia diversidad de morfologías en la concha, reflejando diferentes soluciones adaptativas para habitar distintos sustratos, con un modo de vida fijo o libre, ya sea de manera epifaunal, seminafaunal o infaunal (Manceñido y Damborenea, 2007). En el caso de los crustáceos, su registro fósil brinda datos sobre su respuesta a cambios ambientales a corto y largo plazo, e incluso algunos tipos de estrategias de recuperación a eventos catastróficos (Vega, 2017). Dado el tipo de preservación de los crustáceos decápodos, también se puede recurrir al análisis de sus microcoprolitos para hacer estudios paleoecológicos (*e.g.*, Torres-Martínez *et al.*, 2020), cuyo campo de conocimiento está apenas en desarrollo. Respecto a los crinoideos, al presentar una clara estabilidad entre su modo de vida y ambientes deposicionales, tanto en los representantes actuales como fósiles, son considerados un grupo clave en el conocimiento sobre la estructura de las comunidades marinas del pasado (Ausich y Simms, 2002). Y finalmente los equinoideos, que al ser habitantes epifaunales (formas regulares) e infaunales (formas irregulares) de diferentes sustratos, permiten identificar como eran las condiciones sedimentarias del ambiente donde se depositaron (Domínguez *et al.*, 2009), tomando en cuenta que incluso se ha detectado, en organismos actuales, una correspondencia entre diferentes estadios de crecimiento

con el tipo de sustrato que habitan (Torres-Martínez *et al.*, 2016).

En un contexto paleobiogeográfico, cada grupo va a tener su propia relevancia, ya que pueden proporcionar datos a nivel local, regional o global. Además, la presencia de barreras geográficas formadas a lo largo de la historia geológica de la Tierra ha influenciado en la distribución y surgimiento de nuevos taxones, produciéndose diferentes regionalizaciones taxonómicas. Así, en diferentes periodos de tiempo se ha visto que algunos organismos bentónicos pueden formar distintas provincias bióticas a nivel global, por ejemplo, los braquiópodos y gasterópodos (*e.g.* Yancey, 1975), mientras que en los neotónicos se ha observado la formación de diferentes reinos, cuya asociación ocupa una mayor extensión territorial, por ejemplo, los ammonoideos (*e.g.* Ruiz-Naranjo y Torres-Martínez, 2022 y Alanis-Pavón *et al.*, 2023).

Finalmente, hay que recalcar que el rescate y colecta de los ejemplares fósiles solo se puede hacer bajo un estricto control de un protocolo de investigación. Además, hay que considerar que el registro fósil es un valioso referente de la biodiversidad que habitó nuestro país en el pasado geológico, y nos puede brindar gran cantidad de información sobre la historia geológica del territorio mexicano.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Carlos Castañeda-Posadas y a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por la invitación a participar en el presente trabajo. Del mismo modo, un reconocimiento para: Dr. Jesús Quiroz-Barragán, Dr. Oscar González-León, M. en C. José Roberto Ovando-Figueroa, M. en C. Sandra Guerrero-Moreno y M. en C. Norma Betania Palacios-García por el material fotográfico que contribuyó a ilustrar el presente trabajo. MATM agradece el apoyo proporcionado a través del proyecto PAPIIT-DGAPA-UNAM IN114623, el cual financió parcialmente este manuscrito.

Referencias

- Aguirre-Urreta, B., & Cichowolski, M. (2008). Cephalopoda. En H. H. Camacho, & M. I. Longobucco (Eds.), *Los invertebrados fósiles: Tomo II* (pp. 441–476). Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Vazquez Mazzini editores.
- Alanis-Pavón, A., Moreno-Bedmar, J. A., Torres-Martínez, M. A., & Guerrero-Suastegui, M. (2023). Los ammonoideos pérmicos de Guerrero: importancia bioestratigráfica y paleobiogeográfica. *Paleópolis*, 4(2), 16–21.
- Alencáster, G. (1971). Rudistas del Cretácico Superior de Chiapas. *Paleontología Mexicana*, 34, 1–91.
- Álvarez, F., & Martínez-Chacón, M. L. (2009). Braquiópodos. En M. L. Martínez-Chacón, & P. Rivas (Eds.), *Paleontología de Invertebrados* (pp. 377–418). Sociedad Española de Paleontología. Instituto Geológico y Minero de España. Universidad de Oviedo y Universidad de Granada.

- Ausich, W. I., & Simms, M. J. (2002). Ecology and ecological interactions. In H. Hess, W. I. Ausich, C. E. Brett, & M. J. Simms (Eds.), *Fossil crinoids* (pp. 55–59). Cambridge University Press.
- Baumiller, T. K. (2008). Crinoid ecological morphology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36(1), 221–249. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124116>
- Benedetto, J. L. (2020). Braquiópodos del Caradociano Temprano de la Formación La Pola, sierra de Villicum, Precordilera de San Juan (Argentina). *Ameghiniana*, 40(1), 33–52.
- Brusca, R. C., Moore, W., & Shuster, S. M. (2016). *Invertebrates*. Sinauer Associates.
- Buatois, L. A., Carmona, N. B., Curran, H. A., Netto, R. G., Mángano, M. G., & Wetzel, A. (2016). The Mesozoic marine revolution. In M. G. Mángano, & L. A. Buatois (Eds.), *The Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events: Volume 2: Mesozoic and Cenozoic* (pp. 19–134). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9597-5_2
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuadros-Mendoza, I. M., Cuen-Romero, F. J., & Torres Martínez, M. A. (2023). Crinoideos (Echinodermata: Crinoidea) del Misisípico-Pensilvánico de la sierra Santa Teresa, región central del estado de Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, 1–14. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.5134>
- Camacho, H. H., & del Río, C. J. (2008). Gastropoda. En H. H. Camacho, & M. I. Longobucco (Eds.), *Los invertebrados fósiles: Tomo I* (pp. 323–376). Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Vazquez Mazzini editores.
- Camacho, H. H., Damborenea, S. E., & del Río, C. J. (2008). Bivalvia. En H. H. Camacho, & M. I. Longobucco (Eds.), *Los invertebrados fósiles: Tomo I* (pp. 387–440). Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Vazquez Mazzini editores.
- Campbell, D. (2006). Fossil mollusks. In C. F. Sturm, T. A. Pearce, & A. Valdés (Eds.), *The Mollusks: A Guide to Their Study, Collection, and Preservation* (pp. 197–205). American Malacological Society.
- Cox, L. R. (1969). General features of Bivalvia. In R. C. Moore (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology: Part N, Mollusca 6: Bivalvia* (vol. 1, pp. 2–129). Geological Society of America and University of Kansas Press.
- de Winter, N. J., Goderis, S., Van Malderen, S. J. M., Sinnesael, M., Vansteenberge, S., Snoeck, C., Belza, J., Vanhaecke, F., & Claeys, P. (2020). Subdaily-scale chemical variability in a *Torreites sanchezi* rudist shell: implications for rudist paleobiology and the Cretaceous day-night cycle. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 35(2), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2019PA003723>
- Domínguez, P., Menn, J. L., Martí-Mus, M., & Paz-Villalba, M. (2009). Equinodermos. En M. I. Martínez-Chacón, & P. Rivas (Eds.), *Paleontología de Invertebrados* (pp. 447–496). Sociedad Española de Paleontología. Instituto Geológico y Minero de España. Universidad de Oviedo y Universidad de Granada.
- Evangelista-Nogueira, A. A., & Rodrigues-Nogueira, A. C. (2017). Ostracods biostratigraphy of the Oligocene–Miocene carbonate platform in the Northeastern Amazonia coast and its correlation with the Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences*, 80(178), 389–403. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.10.006>
- Feldmann, R. M., & Schweitzer, C. E. (2017). Collecting fossil decapods and other large crustaceans. *Journal of Crustacean Biology*, 37(2), 220–227. <https://doi.org/10.1093/jcbl/rux013>
- Feldmann, R. M., Schweitzer, C. E., Redman, C. M., Morris, N. J., & Ward, D. J. (2007). New Late Cretaceous lobsters from the Kyzylkum desert of Uzbekistan. *Journal of Paleontology*, 81(4), 701–713. [https://doi.org/10.1666/pleo0022-3360\(2007\)081\[0701:NLCLFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/pleo0022-3360(2007)081[0701:NLCLFT]2.0.CO;2)
- Fuchs, D., Bracchi, G., & Weis, R. (2009). New octopods (Cephalopoda: Coleoidea) from the Late Cretaceous (Upper Cenomanian) of Hâkel and Hâdjoula, Lebanon. *Palaeontology*, 52(1), 65–81. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2008.00828.x>
- García-Barrera, P. (1997). Fosilización. En P. García-Barrera, F. Sour, & M. Montellano (Eds.), *Paleontología* (1ª ed., pp. 75–90). Editorial Prensas de Ciencias.
- González-León, O., Vega, F. J., Ferratges, F. A., & Moreno-Bedmar, J. A. (2018). La presencia del crustáceo fósil *Atherfieldastacus magnus* en México. *Nuestra Tierra*, 30, 11–15.
- Guerra, A. (2006). Estrategias evolutivas de los cefalópodos. *Investigación y ciencia*, 355, 50–59.
- Hernández-Monzón, O. F. (2009). *Una revisión de lophoranina cristaspina (Crustáceo, decapodo) del Eoceno medio de Chiapas, México e implicaciones paleobiológicas y evolutivas* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000643126>
- Hildenbrand, A., Austermann, G., Fuchs, D., Bengtson, P., & Stinnesbeck, W. (2021). A potential cephalopod from the early Cambrian of eastern Newfoundland, Canada. *Communications Biology*, 4(388), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01885-w>
- Horne, D. J., & Siveter, D. J. (2016). Collecting and processing fossil ostracods. *Journal of Crustacean Biology*, 36(6), 841–848. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002487>
- Huitrón-Vargas, G., & Torres-Martínez, M. A. (2023). Nuevos registros de osículos columnares de crinoideos del Pérmico (Cisuraliano temprano) de Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 75(2), 1–14. <http://dx.doi.org/10.18268/BSG-M2023v75n2a120423>
- Kauffman, E. G., & Sohl, N. F. (1979). Rudists. In R. W. Fairbridge (Ed.), *Encyclopedia of Paleontology* (pp. 723–737). Springer Berlin, Heidelberg.
- Kröger, B., Vinther, J., & Fuchs, D. (2011). Cephalopod origin and evolution: a congruent picture emerging from fossils, development and molecules: extant cephalopods are younger than previously realised and were under major selection to become agile, shell-less predators. *Bioessays*, 33(8), 602–613. <https://doi.org/10.1002/bies.201100001>
- Landing, E., Kröger, B., Westrop, S. R., & Geyer, G. (2023). Proposed Early Cambrian cephalopods are chimaeras, the oldest known cephalopods are 30 my younger. *Communications Biology*, 6(32), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-04383-9>
- Lethiers, F., & Crasquin-Soleau, S. (1988). Comment extraire les microfossiles à tests calcitiques des roches calcaires dures. *Revue de micropaléontologie*, 31(1), 56–61.
- López-Córdova, D. A., Avaria-Llatureo, J., Ulloa, P. M., Braid, H. E., Revell, L. J., Fuchs, D., & Ibáñez, C. M. (2022). Mesozoic origin of coleoid cephalopods and their abrupt shifts of diversification patterns. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 166, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107331>
- Manceñido, M. O., & Damborenea, S. E. (2007). Brachiopoda. En H. H. Camacho, & M. I. Longobucco (Eds.), *Los invertebrados fósiles: Tomo I* (pp. 243–292). Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Vazquez Mazzini editores.
- Martinell, J., Checa, A., Domenech, R., Gili, C., Olóriz, F., & Rodríguez-Tovar, F. J. (2009). Moluscos. En M. I. Martínez-Chacón, & P. Rivas (Eds.), *Paleontología de Invertebrados* (pp. 227–376). Sociedad Española de Paleontología. Instituto Geológico y Minero de España. Universidad de Oviedo y Universidad de Granada.
- Montero, A., & Diéguez, C. (2001). Colecta y conservación de fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 121–126.
- Morales-Ortega, P., Aguilar, F. J., & Nava-Sánchez, E. H. (2021). ¿Qué sabemos sobre la legislación de los fósiles en México?, un análisis preliminar. *Paleontología Mexicana*, 10(1), 1–23.
- Pons, J. M., & Vicens, E. (2012). Los rudistas, objeto del interés paleontológico de la Dra. Alencáster. Morfología constructiva de la concha de los rudistas. *Paleontología Mexicana*, 62, 37–51.
- Poropat, S. F., & Colin, J. P. (2012). Early Cretaceous ostracod biostratigraphy of eastern Brazil and western Africa: An overview. *Gondwana Research*, 22(3–4), 772–798. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.06.002>
- Quiroz-Barroso, S. A. (2017). El orden Pectinida (Mollusca: Bivalvia) a través del tiempo y del espacio. En S. Cevallos-Ferriz, & A. R. Huerta-Vergara (Eds.), *Paleobiología, interpretando procesos de la vida pasada* (vol. 2, pp. 189–231). Publicaciones y Fomento Editorial UNAM.

- Ross, D. J., & Skelton P. W. (1993). Rudist formations of the Cretaceous: A paleoecological, sedimentological and stratigraphical review. In V. P. Wright (Ed.), *Sedimentology Review 1* (pp. 73–91). Blackwell Scientific Publications.
- Ruiz-Naranjo, M., & Torres-Martínez, M. A. (2022). El registro fósil de los ammonoideos del Carbonífero–Pérmico de México y sus aportes bioestratigráficos, paleobiogeográficos y paleoambientales: una revisión. *Paleontología Mexicana*, 11(2), 59–76.
- Sánchez de Posada, L. C., Arbizu, M., Delclós, X., Gozalo, R., Liñán, E., Peñalver, E., Rábano, I., & Rodríguez-Lázaro, J. (2009). Artrópodos. En M. L. Martínez-Chacón, & P. Rivas (Eds.), *Paleontología de Invertebrados* (pp. 111–226). Sociedad Española de Paleontología. Instituto Geológico y Minero de España. Universidad de Oviedo y Universidad de Granada.
- Schmitt, K. E., Huck, S., Krummacker, M., de Winter, N. J., Godet, A., Claey, P., & Heimhofer, U. (2022). Radiolitic rudists: an underestimated archive for Cretaceous climate reconstruction?. *Leithaia*, 55(4), 1–21. <https://doi.org/10.18261/let.55.4.4>
- Skelton, P. W. (1974). Aragonitic shell structures in the rudist *Biradiolites*, and some paleobiological inferences. *Géologie méditerranéenne*, 1(2), 63–74. <https://doi.org/10.3406/geolm.1974.928>
- Skelton, P. W. (1979). Preserved ligament in a radiolitic rudist bivalve and its implication of mantle marginal feeding in the group. *Paleobiology*, 5(2), 90–106.
- Skelton, P. W., & Smith, A. B. (2000). A preliminary phylogeny for rudist bivalves: Sifting clades from grades. In E. M. Harper, J. D. Taylor, & J. A. Crame (Eds.), *The Evolutionary Biology of the Bivalvia* (vol. 177, pp. 97–127). Geological Society.
- Skelton, P. W., & Gili, E. (2002). Paleocological classification of rudist morphotypes. In *Proceedings First International Conference on Rudists*, Beograd, 1988, ed. Mileva Sladić-Trifunović, “Rudists”, Union of Geological Societies of Yugoslavia, Memoir Publication, 265–285.
- Sohn, I. G. (1961). Techniques for preparation and study of fossil ostracodes. In R. C. Moore (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology: Part Q, Arthropoda 3: Crustacea, Ostracoda* (pp. 64–69). Geological Society of America and University of Kansas Press.
- Sutton, M. D., Briggs, D. E., Siveter, D. J., & Siveter, D. J. (2001). Methodologies for the visualization and reconstruction of three-dimensional fossils from the Silurian Herefordshire Lagerstätte. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–17.
- Sutton, M. D., Briggs, D. E., Siveter, D. J., & Siveter, D. J. (2005). Silurian brachiopods with soft-tissue preservation. *Nature*, 436(7053), 1013–1015. <https://doi.org/10.1038/nature03846>
- Torres-Martínez, M. A., Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A., & Sour-Tovar, F. (2016). Influencia de las variables físicoquímicas en la estructura de tallas y distribución de *Meoma ventricosa grandis* (Echinodermata: Brissidae) dentro del canal Boca Chica, Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(2), 373–383. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572016000200014>
- Torres-Martínez, M. A., Núñez-Useche, F., & Barragán, R. (2020). Ich-nologic note first occurrence of the microcoprolite *Palaxius salataensis* in the Aptian (Lower Cretaceous) of northeast Mexico and its paleocological implications. *Ichnos*, 27(4), 361–368. <https://doi.org/10.1080/10420940.2020.1747060>
- Torres-Martínez, M. A., & Sour-Tovar, F. (2023). New rhynchonellid and spire-bearing brachiopods from the Carboniferous of Mexico. Paleogeographical significance of the Oaxacan brachiopod fauna through the Serpukhovian–Moscovian. *Journal of Paleontology*, 97(1), 90–111. <https://doi.org/10.1017/jpa.2022.70>
- Vega, F. J. (2017). El registro fósil de crustáceos en México. En S. Cevallos-Ferriz, & A. R. Huerta-Vergara (Eds.), *Paleobiología, interpretando procesos de la vida pasada: Volumen II* (pp. 211–231). Publicaciones y Fomento Editorial UNAM.
- Villanueva-Olea, R., & Sour-Tovar, F. (2014). A new genus and four new species of cladid crinoids from the Carboniferous of Oaxaca State, Mexico. *Journal of Systematic Palaeontology*, 13(7), 527–542. <https://doi.org/10.1080/14772019.2014.913719>
- Yancey, T. E. (1975). Permian marine biotic provinces in North America. *Journal of Paleontology*, 49(4), 758–766.

Importancia, técnicas de recolecta y procesos curatoriales de pequeños vertebrados e invertebrados continentales fósiles

Importance, collection techniques and curatorial processes of small fossil continental vertebrates and invertebrates

Jiménez Hidalgo, Eduardo^{1*}; Pacheco Castro, Adolfo^{2,3*}; Cruz, J. Alberto^{4,5*}; Guerrero Arenas, Rosalía^{1*}

¹Laboratorio de Paleobiología, Instituto de Recursos, campus Puerto Escondido, Universidad del Mar, km 2.5 Carretera Puerto Escondido-Sola de Vega, C.P. 71985, Puerto Escondido, Oaxaca.

²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias s/n; Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, Querétaro.

³Department of Vertebrate Paleontology, Natural History Museum of Los Angeles, 900 Exposition Blvd., Los Angeles, CA, 90007.

⁴Centro de Investigación Paleontológica Quinametzin, Coordinación Nacional de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Córdoba 45, Ciudad de México, C.P. 06700.

⁵La Brea Tar Pits and Museum, Los Angeles, California, 5801 Wilshire Blvd., Los Angeles, CA, 90036.

* eduardojh@zicatela.umar.mx; apacheco@nhm.org; cruzsilvajac@yahoo.com.mx; rosaliaga@zicatela.umar.mx

Resumen

Los pequeños vertebrados e invertebrados continentales generalmente no se toman en cuenta en los estudios paleontológicos de México, a pesar de que tienen una gran importancia en la reconstrucción paleoambiental, en los estudios evolutivos, biogeográficos y bioestratigráficos. Su estudio en el país es un área de oportunidad, dado que hasta el momento se han realizado muy pocas investigaciones con ellos. En este artículo ejemplificamos su importancia con base en el registro fósil mexicano y, adicionalmente, describimos algunas técnicas de recolecta y resguardo que hemos utilizado en nuestras investigaciones.

Palabras clave: microvertebrados, microinvertebrados, recolecta, resguardo, tamizado en húmedo, tamizado en seco.

Abstract

Usually, the continental small vertebrates and invertebrates are not considered in the Mexican paleontological research, despite their great importance in paleoenvironmental reconstruction, evolutionary, biogeographic and biostratigraphy studies. Their study in this country is an area of opportunity, given that very few investigations have been carried out with them. In this paper, we exemplify their importance based on the Mexican fossil record and additionally, we describe some collecting and safeguarding techniques that we have used in our research.

Keywords: dry sieving, collecting, microvertebrates, microinvertebrates, screenwashing, safeguarding.

Cómo citar / How to cite: Jiménez Hidalgo, E., Pacheco Castro, A., Cruz, J. A., & Guerrero Arenas, R. (2024). Importancia, técnicas de recolecta y procesos curatoriales de pequeños vertebrados e invertebrados continentales fósiles. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 141–155.

Manuscrito recibido: Febrero 20, 2024.

Manuscrito corregido: Junio 20, 2024.

Manuscrito aceptado: Junio 21, 2024.



1. Introducción

En la paleontología, el estudio de animales de gran tamaño siempre ha sido una tendencia debido a que generan mayor interés y que, por sus dimensiones, es más fácil observarlos en el campo. Por ejemplo, los grandes ammonites de hasta 2.5 m de la especie *Parapuzosia seppenradensis* (Vermeij, 2016), los cuales vivieron durante el Mesozoico junto con los dinosaurios; otros organismos muy llamativos por su gran tamaño son el saurópodo *Argentinosaurus huinculensis* de aproximadamente 40 m, o el famoso *Tyrannosaurus rex* con sus 7700 kg de masa corporal (Vermeij, 2016). Después de la extinción de los dinosaurios tenemos a los mamíferos grandes, considerados megafauna, como los mamutes (*Mammuthus*), perezosos gigantes (*Eremotherium*), los dientes de sable (*Smilodon*), o los rinocerontes sin cuernos (*Paraceratherium*) (Stuart, 2021), así como los reptiles gigantes, tales como titanoboa (*Titanoboa*) (Head et al., 2009), el varano gigante (*Megalania*) (Molnar, 2004) o aves con una envergadura entre 6–7 m del género *Pelagornis* (Ksepka, 2014).

La falta de registros de fauna más pequeña es producto de técnicas de muestreo en campo inadecuadas en sedimentos con restos de megafauna o, a que los objetivos de investigación generalmente no involucran su estudio (Ritcher et al., 2024). Sin embargo, el estudio de los organismos pequeños (que generalmente acompañan a los hallazgos de grandes fósiles), ha demostrado ser muy importante, pues la mayor parte de la diversidad de vertebrados e invertebrados actuales son de talla pequeña, por lo que su estudio ayuda a entender cómo se estructuran las comunidades faunísticas, y con ello, permiten tener un mejor entendimiento de los ecosistemas, el clima, y las peculiaridades en el ambiente. Además, el estudio de microfósiles puede ayudarnos a entender patrones biogeográficos debido a que presentan una movilidad reducida, y no hacían grandes travesías como la megafauna, la cual podía viajar más de 150 km (Hoppe y Koch, 2007), como los mamutes, con registros de hasta 250 km (Bonhof y Pryor, 2022).

De manera tradicional, se han considerado microfósiles a todos aquellos restos de organismos de tamaño pequeño, los cuales se estudian con ayuda de lupas o microscopios (Molina, 2017). En el caso de los microinvertebrados continentales, los más comunes incluyen, ostrácodos, gasterópodos y bivalvos. Los anfibios como ranas, salamandras y cecilias; reptiles como lagartijas, tortugas y serpientes; mamíferos como roedores, conejos, murciélagos, musarañas, y la mayoría de las aves se consideran microvertebrados. En los mamíferos existen dos propuestas: por un lado, se consideran todos los que tienen una masa corporal igual o menor a 150 g, ya que originalmente se consideró que el búho *Tyto alba* fue el responsable de las acumulaciones de pequeños mamíferos estudiados en el Cuaternario de Sudáfrica y en estos estudios se propuso ese límite de masa de 150 g (Avery, 2007). Por otro lado, se toma como límite

superior una masa corporal de 500 g de los miembros de los órdenes Rodentia, Lagomorpha, Chiroptera y Eulipotyphla (“insectívoros”) (Sánchez-López et al., 2023).

Los pequeños vertebrados e invertebrados fósiles son buenos indicadores paleoambientales dado que generalmente son estenotópicos (organismos con un intervalo pequeño de tolerancia a distintas variables ambientales) y están adaptados a los ambientes locales (Faith y Lyman, 2019). También son fundamentales en estudios evolutivos y bioestratigráficos, dada la corta duración cronológica de sus especies.

Este trabajo está especialmente dirigido a los estudiantes que se inician en la ciencia de la paleontología. Los objetivos son resaltar el uso de microfósiles en estudios paleoambientales y paleobiológicos, así como la descripción de algunos métodos que hemos utilizado y modificado de las técnicas originales para la colecta y procesamiento de sedimentos en sitios paleontológicos de nuestro país.

2. La importancia de los microfósiles continentales

El uso de pequeños mamíferos, anfibios, reptiles y aves ha permitido inferir el paleoambiente de sitios paleontológicos con presencia de megafauna. Reptiles y mamíferos medianos y pequeños permitieron conocer cómo ha cambiado el clima en la región Pampeana en Argentina, con condiciones más frías y secas durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano y el Holoceno Medio, que posteriormente cambiaron a más cálidas y húmedas como en la actualidad (Cruz et al., 2021). También, el uso de anfibios y reptiles ayudaron a inferir las condiciones climáticas y ambientales donde habitó uno de nuestros antepasados, el *Homo antecesor* en España (Blain et al., 2009). En México, ambos grupos se utilizaron para determinar que durante el Pleistoceno, en los alrededores de gruta de Loltún, existió un mosaico de vegetación no análogo al presente y se infirió una temperatura media anual de 25.33° C y una precipitación media anual de 1183.7 mm (Cruz et al., 2016).

De igual forma, se sabe que los mamíferos tienen ciertas características morfológicas que varían dependiendo del ambiente donde habitan, y por ello, la cuantificación de estos rasgos y su comparación con sus contrapartes de las faunas actuales permite determinar parámetros cuantitativos de variables ambientales como, por ejemplo, la temperatura media anual, a partir del valor de hipsodoncia (altura de la corona) de un conjunto de roedores fósiles (Schap et al., 2021).

Entre los taxones más comunes de encontrar en depósitos continentales están los moluscos (bivalvos y gasterópodos) y los crustáceos (ostrácodos; en menor medida, cladóceros). Ambos grupos constituyen una fuente invaluable de información para la reconstrucción de ambientes del pasado.

Debido a que los moluscos prácticamente se encuentran en todo tipo de ambientes (Neubauer, 2023), sus

fósiles se encuentran en diversos depósitos continentales, marinos y transicionales. Su ubicuidad y la facilidad de su preservación permiten usarlos también como indicadores ambientales. Otro aspecto es su tamaño: los moluscos dulceacuícolas y terrestres (bivalvos y gasterópodos) suelen ser de tamaño medio a pequeño; los de menor tamaño se consideran proxies para ciertas condiciones ambientales, ya que los organismos pequeños tienen tolerancias ambientales menores y por ello, se adaptan a condiciones ambientales locales (Quiroz-Barroso *et al.*, 2024). Además, los organismos pequeños no tienen altas tasas de dispersión si el medio no es favorable (Lowe y Walker, 2014).

Si bien ambos grupos se usan como indicadores ambientales, las condiciones que refieren no son las mismas. Por un lado, los gasterópodos terrestres pueden ofrecer información sobre tipo de vegetación y condiciones de los suelos (Quiroz-Barroso *et al.*, 2024). Los bivalvos y caracoles dulceacuícolas, por otro lado, permiten reconstruir las condiciones hidrodinámicas de cuerpos de agua (De Francesco y Hassan, 2009).

Los ostrácodos (Crustacea) se han empleado tradicionalmente en estudios paleoclimáticos, ya que la temperatura es uno de los factores que controlan la distribución geográfica de estos organismos (Horne *et al.*, 2012). En particular, en los ostrácodos dulceacuícolas puede usarse la información derivada de los taxones identificados, así como los parámetros geoquímicos de su caparazón (Horne *et al.*, 2012).

En el ámbito biogeográfico, los vertebrados pequeños no voladores han mostrado cambios en su distribución en el pasado. Actualmente, la distribución más sureña de las tortugas de desierto del género *Gopherus* está en la parte este de San Luis Potosí y el norte de Veracruz (Vogt y Legler, 2013). Sin embargo, durante el Pleistoceno el registro fósil indica la presencia de estas tortugas más hacia el sur de México en los estados de Hidalgo, Puebla y Oaxaca (Tovar y Montellano, 2006; Cruz *et al.*, 2009; Medina-Castañeda *et al.*, 2022), hasta aproximadamente 470 km más al sur de su distribución actual.

Con respecto a los microinvertebrados, el estudio de las localidades del Pleistoceno Tardío de la Mixteca Alta de Oaxaca, permitió identificar a los gasterópodos *Paralaoma vitreum* y *Euconulus fulvus*, cuya distribución actual en el primer taxón se restringe a la zona montañosa de Veracruz, así como al oeste de Nuevo León y Tamaulipas, y en el caso del segundo, actualmente se distribuye en Baja California Norte, Chihuahua y Sonora, a más de 1300 km al norte del registro pleistocénico de Oaxaca (Guerrero-Arenas *et al.*, 2013). También como parte de las investigaciones en el Pleistoceno de la Mixteca, se identificó material del roedor de los volcanes *Neotomodon alstoni*, el cual actualmente se distribuye a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana, a más de 220 km al norte del registro fósil oaxaqueño (Guerrero Arenas, 2013).

La importancia biogeográfica de los pequeños vertebrados ha llevado a que las aves (Weir *et al.*, 2009), la

herpetofauna (Vanzolini y Heyer, 1985) y los pequeños mamíferos formen parte importante en los estudios del Gran Intercambio Biótico Americano (GABI, *Great American Biotic Interchange*). Este es el proceso biogeográfico más importante del Cenozoico tardío en América, en el que los continentes norteamericano y sudamericano (los cuales estuvieron aislados durante 100 millones de años) se conectaron a través del puente terrestre panameño hace aproximadamente cinco millones de años. Aunado a esto, eventos climáticos regidos por periodos glaciares e interglaciares motivaron una movilización de la biota terrestre desde América del Sur hacia Norteamérica y viceversa (Woodburne, 2010; Pelegrin *et al.*, 2018).

Durante el GABI, organismos que se originaron y/o diversificaron en México terminaron siendo integrantes fundamentales de las faunas sudamericanas. Ejemplo de esto son los camélidos de la tribu Lamini (Jiménez-Hidalgo y Carranza-Castañeda, 2010), pecaríes, tapires, y una importante diversidad de carnívoros (*Felis*, *Puma*, *Panthera*, *Smilodon*, *Arctotherium*, *Canis*, *Lontra*), los cuales ocuparon eficientemente las redes tróficas de prácticamente todos los ecosistemas terrestres en Sudamérica (Pelegrin *et al.*, 2018; Domingo *et al.*, 2020). Sin embargo, la mayoría de los registros de fauna que establecen los eventos faunísticos del GABI son animales de talla media o megafauna, y en menor medida se conoce el registro fósil de mamíferos pequeños (menores a los 5 kg). Pocos son los registros de migrantes de talla pequeña, pero éstos son muy relevantes. Tal es el caso de *Conepatus sanmiguelensis*, un zorrillo recolectado en San Miguel de Allende, Guanajuato, en sedimentos del Henfiliano tardío (~5 Ma) que corresponde al *Conepatus* más antiguo conocido de Norteamérica, el cual está relacionado con el origen de los zorritos sudamericanos (Wang y Carranza-Castañeda, 2008).

En este sentido, el linaje norteamericano más exitoso durante el GABI es el de los roedores cricétidos sigmodontinos, que por sí mismos corresponden al 20 % de la diversidad actual de mamíferos en toda Sudamérica, con aproximadamente 80 géneros y 400 especies (Pardiñas *et al.*, 2002). Se sabe, con base en modelos de sistemática filogenética de especies actuales, que esta impresionante diversidad inició durante las primeras etapas del GABI (Parada *et al.*, 2013), pero se conocen pocas evidencias de este origen temprano en el registro fósil de Sudamérica, el cual es muy escaso durante el Mioceno tardío (5 a 4 Ma). Apenas se han colectado un par de roedores fósiles (*Kraglievichimys* y *Reithrodon*), contrastando dramáticamente con la riqueza del registro de finales del Pleistoceno-Holoceno (Pardiñas *et al.*, 2002; Barbière *et al.*, 2019). Por ello, el descubrimiento de cualquier roedor cricétido del Mioceno tardío-Plioceno es relevante (Verzi y Montalvo, 2008; Prevosti y Pardiñas, 2009).

En nuestro país, el registro de roedores cricétidos sigmodontinos es común durante el Mioceno tardío-Plioceno temprano. Esto lo sabemos gracias a los trabajos

de prospección y colecta de microvertebrados utilizando técnicas de tamizado, comúnmente conocidas como *screenwashing*. Estas investigaciones comenzaron en nuestro país como una extensión del trabajo de prospección y recolecta realizado en localidades de Estados Unidos de América (E.U.A.), donde los proyectos enfocados en la recolecta de pequeños vertebrados han tenido una continuidad por más de un lustro (Whistler *et al.*, 2009; Martin *et al.*, 2022). Así, las primeras investigaciones enfocadas en microvertebrados se realizaron en el norte del país y han continuado en el centro y sur del mismo.

En el norte de México destacan las localidades de Yepómera y La Concha en Chihuahua, en las cuales el *University of Arizona Laboratory of Paleontology* extrajo 4.5 toneladas de sedimentos para su tamizado en húmedo, colectando una importantísima diversidad de roedores (Cricetidae, Sciuridae, Geomyidae), murciélagos (Vespertilionidae) y musarañas (Soricidae). Entre éstos, destacan los roedores cricétidos del género *Copemys* y *Prosigmodon*, los cuales están relacionados con los linajes de roedores del oeste de E.U.A., del centro de México y de los sigmodontinos sudamericanos (Jacobs y Lindsay, 1981; Lindsay y Jacobs, 1985).

En Sonora se encuentra otro importante sitio de interés paleontológico de micromamíferos que corresponde a El Golfo de Santa Clara (El Golfo Badlands). Esta área paleontológica es conocida desde 1938, y en las últimas décadas ha sido prospectada de forma sistemática por el *Arizona Western College*, el *George C. Page Museum* y personal de la Reserva de la Biósfera. En esta vasta área existen varios micrositios en los que se recolecta por tamizado en húmedo, en los cuales se ha extraído una microfauna muy diversa con presencia de lagomorfos (Leporidae), roedores (Sciuridae, Geomyidae, Heteromyidae, Castoridae y Cricetidae), musarañas (Soricidae), así como aves (Ciconiiformes, Anseriformes, Accipitriformes, Galliformes, Gruiformes, Strigiformes), reptiles (Chelonia y Squamata), anfibios (Bufonidae y Ranidae) y bivalvos (Unionidae). Además, es la única localidad en México donde se reporta la presencia de puercoespines (*Coendou*, Erethizontidae), los cuales representan la migración de pequeños roedores sudamericanos que llegaron a México durante el Irvingtoniano (Croten *et al.*, 2007; Sussman *et al.*, 2016).

En el centro de México, el trabajo paleontológico de microvertebrados en las cuencas de San Miguel de Allende, Guanajuato, y la cuenca de Tecolotlán, Jalisco, ha sido realizado principalmente por el Laboratorio de Paleontología del Centro de Geociencias, UNAM, donde se han desarrollado proyectos de prospección y recolección de material usando métodos de tamizado en seco y tamizado en húmedo. Se ha reportado una importante diversidad de pequeños mamíferos, reptiles, anfibios, peces y aves del Mioceno tardío–Plioceno. En estos registros destaca la diversidad de roedores, tales como Sciuridae (*Spermophilus*, *Cynomys*, *Ammospermophilus* y *Paenemarmota*), Geomyidae (*Cratogeomys*, *Geomys* y

Prodipodomys) y Cricetidae, donde está la mayor riqueza de especies tanto de neotominos (*Baiomys*, *Bensonomys*, *Postcopemys* y *Neotoma*), como de sigmodontinos (*Prosigmodon* y *Sigmodon*) (Carranza-Castañeda y Walton, 1992; Carranza-Castañeda, 2006; Pacheco-Castro *et al.*, 2019).

Estos esfuerzos han resultado en el desarrollo de una de las mejores colecciones de pequeños mamíferos del Mioceno tardío–Plioceno en México hasta el momento.

Los pequeños mamíferos, y especialmente los roedores, son muy útiles en la correlación bioestratigráfica de localidades ubicadas en distintos puntos geográficos, ya que sus taxones están ampliamente distribuidos, evolucionan rápidamente y pueden recuperarse muestras grandes (Martin, 1979). En el Mioceno–Plioceno de México, los pequeños mamíferos han permitido establecer correlaciones bioestratigráficas con faunas de localidades en Estados Unidos y Sudamérica (Carranza-Castañeda y Walton 1992; Carranza-Castañeda, 2006; Pacheco-Castro *et al.*, 2019). Este trabajo no solo contribuye a la comprensión de las comunidades faunísticas de pequeños vertebrados, sino que plantea importantes hipótesis sobre el reemplazo faunístico durante cambios climáticos y biológicos, tales como el GABI, los cuales son, en gran parte, responsables de nuestra diversidad actual.

Desde un punto de vista evolutivo, se creería que sólo los fósiles increíblemente preservados, es decir, material casi completo como el encontrado en la cantera Tlayúa, Puebla, México (Applegate *et al.*, 2006), la biota de Jehol, China (Zhou, 2014) o Solnhofen, Alemania, con su característico *Archaeopteryx*, clave en la evolución de las aves (Etter, 2002), son los únicos registros fósiles que los paleontólogos utilizan para entender la evolución de pequeños vertebrados. Sin embargo, se sabe que en reptiles escamosos (lagartijas y serpientes), el material aislado de dentarios, vértebras o huesos del cráneo aislados, retienen caracteres con una buena señal filogenética que nos permite entender la evolución de estos organismos a través del tiempo (Woolley *et al.*, 2022). Algo semejante sucede con los roedores y otros grupos de pequeños mamíferos, donde los rasgos diagnósticos de las especies se encuentran en los dientes aislados, y a partir del estudio de muestras dentales de distintos tiempos es posible determinar patrones evolutivos de largo plazo y eventos de especiación (Korth, 1994; Kimura *et al.*, 2021).

En México, los estratos portadores de varias localidades fosilíferas continentales presentan intercalaciones de cenizas volcánicas, lavas o tobas, por lo que son lugares ideales para llevar a cabo estudios detallados de modelos bioestratigráficos, los cuales incluyen tanto megafauna como microfauna. Esto nos ayuda a establecer con más precisión los límites propuestos en otras latitudes para las edades de mamíferos terrestres de Norteamérica (NALMA, *North American Land Mammal Ages*) o sus subdivisiones (Woodburne, 2004), y por ende, ser aplicables en nuestro país. Además, la precisión cronoestratigráfica permite proponer hipótesis más

robustas sobre la temporalidad de procesos evolutivos, migraciones y extinciones, así como la temporalidad de procesos ambientales, con un impacto en los ecosistemas actuales, tanto a nivel regional como continental.

3. Técnicas de recolecta

Los métodos de colecta de microfósiles más apropiados dependen de las características del estrato de extracción, en los que se busca recolectar material fósil de una buena calidad (Cifelli *et al.*, 1996). En esta sección abordamos las técnicas más comunes y mencionamos algunas otras que puedan ser relevantes en el futuro. En el caso particular del trabajo realizado en México existe una combinación de técnicas que van desde el *pick up* (recolecta en campo o en superficie), el tamizado en seco y el tamizado en húmedo. Entre estas técnicas existen diferencias en la preservación del material fósil. Los fósiles recolectados directamente de la superficie (*pick up*) generalmente son elementos mejor conservados que aquellos que son sometidos a un proceso de tamizado, en el cual un tamizado en seco es menos agresivo que un tamizado en húmedo.

3.1. Localización de estratos portadores

En campo, la manera más práctica de identificar estratos que contengan microfósiles de invertebrados o vertebrados continentales es observar si existen fragmentos de concha o de hueso en los sedimentos (Eaton, 2004; Person, 2015).

Por otro lado, los restos de animales grandes, como la megafauna, son los más fáciles de observar, y al analizar los sedimentos adyacentes donde se encuentran los restos de megafauna es muy probable encontrar microvertebrados y, dependiendo el tipo de ambiente de depósito, también microinvertebrados como gasterópodos (Brattstrom, 1953; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2004; Tovar y Montellano, 2006; Cruz *et al.*, 2021; Arroyo-Cabrales y Manzanilla-López, 2022).

La abundancia de la megafauna está relacionada con la capacidad de ser descubierta al momento de realizar una prospección en campo. Las localidades de pequeños vertebrados tienden a contar con una concentración muy elevada de fósiles, por lo que, aunque son una minoría, son sumamente relevantes y con frecuencia son consideradas para el trabajo de recolecta.

Las cuevas o cenotes son buenos sitios para la fosilización de microvertebrados, ya que su presencia se puede deber a la acumulación por ingesta de depredadores como las lechuzas (*Tyto alba*) u otros tipos de depredadores que dejan sus heces. También, al morir en las cuevas, sus contenidos estomacales pueden contener restos de microfauna susceptible a fosilizarse (Maas, 1985; Andrews, 1990; Czaplewski, 2011). La acumulación de microvertebrados se puede deber también a que diversos organismos (murciélagos, peces, algunos

anfibios y reptiles, y varios tipos de aves) viven en las cuevas o las usan como refugio. Finalmente, la acumulación de restos se puede dar por el arrastre debido a las altas precipitaciones (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2021).

En el centro y sur de México, los sedimentos que tienen potencial para recolectar pequeños vertebrados corresponden a secuencias sedimentarias que afloran en los márgenes de arroyos y en superficies erosionadas (*badlands*). Éstas se formaron en antiguos ambientes fluviales o lacustres, por lo que es posible encontrar todo tipo de evidencias fósiles, desde icnofósiles hasta esqueletos permineralizados de vertebrados, tales como mamíferos de gran talla.

En estos estratos productores, es común que el material fósil se deposite en la parte inferior, justo después del contacto o superficie de erosión entre los estratos. Se observa una disminución vertical tanto en la densidad como en el tamaño de los fósiles. En algunas localidades, se trata de pequeños sistemas de paleocanales, donde, además de notarse una gradación normal en el tamaño de grano, se observa que los fragmentos de microfósiles más grandes fueron depositados en la parte más profunda del canal (Figura 1). En cambio, otras localidades parecen estar vinculadas a la actividad de un antiguo depredador, posiblemente aves que pudieron acumular un significativo número de egagrópilas. Esta suposición se basa en la alta concentración de fósiles de aves, junto con restos de roedores, peces y anfibios, los cuales pueden llegar a tener una ligera articulación, sin que se observe una contribución considerable de astillas de megafauna. Además, en este material fósil se pueden identificar señales tafonómicas como marcas de digestión, indicativas de la depredación y la muerte previa a la fosilización (Moore, 2012; Lev *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2021).

De la misma forma, la prospección puede tener intermediarios no humanos, ya que algunas localidades están relacionadas con la actividad de hormigas arrieras (*Atta mexicana*), las cuales separan y clasifican minuciosamente partículas mayores a un milímetro para dar estructura a su hormiguero en superficie, entre las cuales incluyen dientes, vértebras y elementos postcraneales de pequeños vertebrados (Shipman y Walker, 1980; Casillas-Ramírez *et al.*, 2023) (Figura 2). Cabe señalar que en esta técnica no hay un control estratigráfico, por lo que debe considerarse con cautela para reconstrucciones ambientales.

3.2. Recolecta en superficie (*Pick up*)

En una recolecta directa de los microfósiles en campo (*pick up*) se debe observar el suelo a la menor distancia posible, y usar herramientas con puntas finas (agujas, palillos) para la remoción del sedimento, así como brochas, pinceles o perillas para soplado, además de algún aglutinante o pegamento que pueda ayudar en la preservación de los fósiles antes de su extracción. En esta técnica, después de ubicar al microfósil, se puede

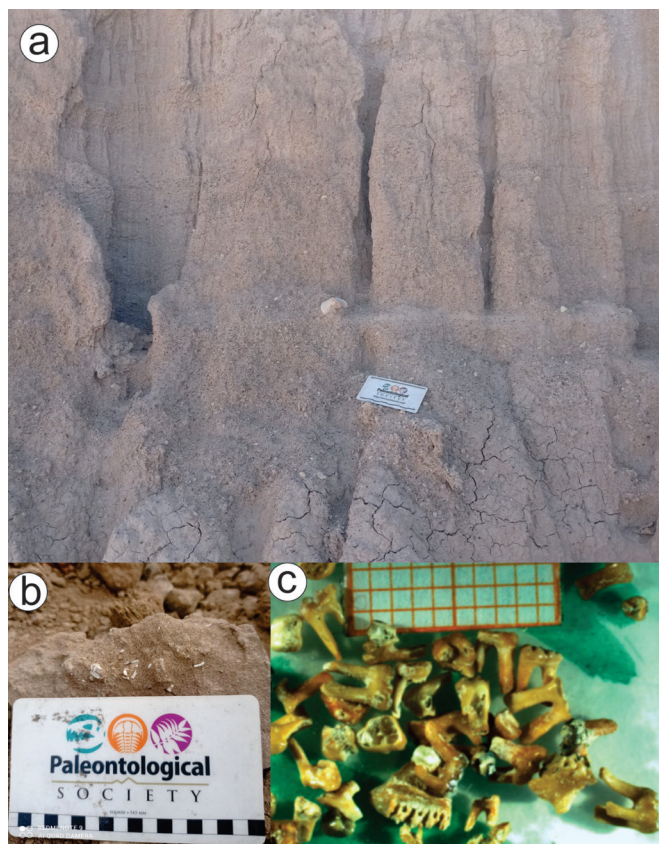


Figura 1. Ejemplo de sedimentos portadores de microfósiles: a) Sedimentos fluviales en la cuenca de Juchipila, Zacatecas. Los microfósiles están en el límite entre el sedimento arenoso y el arcilloso. b) Bloque de arenisca pliocénica de Baja California. Se observan embebidos varios fósiles de un pequeño mamífero. c) Molares de roedores y reptiles del Plioceno de Jalisco que han sido extraídos después del tamizado y triado. Los cuadros tienen un milímetro.

soplar un poco sobre éste para quitar la capa de polvo que pudiera recubrirlo. Posteriormente, se puede utilizar el pegamento, entre los cuales se recomienda el uso de algún polímero diluido en acetona, como el *Paraloid* o *Glyptal*. En casos excepcionales, como ejemplares articulados, es posible considerar la elaboración de una férula de yeso o *jacket* para su extracción y traslado al laboratorio (Figura 3).

Es importante señalar que antes de recoger los ejemplares es necesario observar si tienen características que apoyen su interpretación tafonómica, tales como su distribución en el estrato, si se encuentran asociados otros taxones (*fossil assemblages*) y su diversidad, así como sus características diagenéticas (Tucker, 2003).

Aunque en algunos casos es deseable que los invertebrados y vertebrados se consoliden antes de transportarlos, no siempre es adecuado. Ello porque al momento de verter el consolidante, también se afecta el sedimento que está al interior del ejemplar. Éste tiende a expandirse y puede llegar a romper a las conchas desde el interior, así como los elementos óseos frágiles.



Figura 2. Hormiguero de *Atta mexicana*. a) Vista del hormiguero en campo, cuenca de San Miguel de Allende, Guanajuato. b) Acercamiento del hormiguero donde se observan algunos fragmentos de microfósiles.

Es preferible, si se cuenta con tiempo suficiente, extraer a los ejemplares y dejarlos secar. La limpieza y separación del sedimento debe realizarse en el laboratorio, muchas veces bajo el microscopio estereoscópico o con lupa.

La recolección en superficie permite obtener elementos muy completos que de otro modo podrían deteriorarse o destruirse durante el tamizado. La cantidad de material que se puede obtener mediante esta técnica es pequeña en comparación con la cantidad de elementos fósiles que se pueden recolectar a través de las técnicas de tamizado.

3.3. Tamizado en seco

La recolecta por tamizado en seco consiste en pasar el sedimento por una o varias mallas sin la utilización de agua. Esto solo es posible con sedimentos que no tienen algún grado de cementación o litificación. Generalmente es posible realizarlo en algunos tipos de sedimentos arenosos, incluidas superficies que tengan algún grado de erosión y también es posible realizarlo con material colectado en hormigueros. Esta técnica es recomendable para obtener elementos mejor conservados que aquellos que pueden ser colectados por un tamizado en agua, ya a que algunos microfósiles pueden ser muy sensibles a su absorción y los compromete estructuralmente, volviéndolos muy vulnerables a que se desintegren. Además, es una técnica ventajosa si la recolección del material fósil se realiza en entornos áridos o con escasez de agua. También es útil si se quiere reducir la cantidad de sedimento a transportar para un posterior tamizado en agua.

Como se mencionó arriba, en algunas ocasiones las hormigas arrieras acumulan microvertebrados en sus hormigueros. Este tipo de depósito es ideal para el tamizado en seco, pues el trabajo de separación de limos y arcillas lo realizan casi en su totalidad las hormigas. Cabe mencionar que la colecta de este sedimento se



Figura 3. Férula de yeso antes de ser extraída del sedimento.

realiza de forma preferencial durante los días más calurosos del verano, cuando las hormigas no se encuentran activas en la superficie y se les procura dejar algún pago azucarado por los desastres ocasionados. Se debe mantener la integridad del hormiguero, separando solo el sedimento a analizar, de tal forma que este proceso de selección de clastos por parte de las hormigas pueda continuar año con año.

3.4. Tamizado en húmedo

Esta técnica implica el lavado del sedimento que contiene microfósiles con agua a través de mallas para separar las partículas más pequeñas, como limos o arcillas. Esta acción puede llevarse a cabo tanto en campo abierto, en cuevas o grutas, si se dispone de una fuente de agua cercana, así como en el laboratorio. Sin embargo, la capacidad de disgregar el sedimento en partículas más pequeñas puede variar según su nivel de cementación o litificación. En algunos casos, esto puede requerir estrategias más complejas, como el uso de ácidos o disolventes (Cifelli *et al.*, 1996).

Uno de los primeros trabajos donde se utilizó tamizado en húmedo para recuperar pequeños vertebrados fue el de Theodore Plieninger en rocas del Mesozoico de Europa en 1847, mientras que, en E.U.A., Wortman fue el primero en tamizar en húmedo en 1891 para el Museo Americano de Historia Natural (Mckenna *et al.*, 1994). El tamizado en húmedo para recuperar microvertebrados se popularizó después de la publicación del método usado por Hibbard (1949) para recolectar mamíferos del Cenozoico tardío en E.U.A.

Durante los últimos 80 años, se han utilizado barriles con una malla en un extremo en el que se vierte agua a presión por mangueras, así como tamices de metal y de madera con diferentes configuraciones y aberturas de malla para procesar grandes cantidades de sedimento. Las fuentes de agua utilizada son principalmente ríos, riachuelos, represas y lagos cercanos

a las localidades fósiles, aunque también se usa agua bombeada a través de mangueras (Ward, 1984; Mckenna *et al.*, 1994; Cifelli *et al.*, 1996; Araújo *et al.*, 2011; Bhat, 2017).

Asimismo, existen estaciones portátiles de tamices, los cuales son cajones con un piso de malla, el cual va disminuyendo en diámetro para clasificar distintos tamaños de partículas. En algunas instalaciones profesionales, como el Laboratorio de Paleontología del Centro de Geociencias, UNAM, se cuenta con una de estas estaciones portátiles, la cual se ensambla con tres cajones que tienen una malla de 1.5 cm, 0.5 cm y 1 mm. La estación se monta sobre un trípode al que se le aplica un movimiento pendular (sube y baja) para permitir que el sedimento caiga por gravedad (Figura 4). Otras estaciones como la mesa de Daams y Freudenthal (1988) (en Minwer-Barakat, 2005) o el tamiz de aluminio de Li y Ni (2021) también son bastante útiles (Figura 4). Actualmente pueden encontrarse incluso piscinas de lavado y cribado (Li y Ni, 2021), las cuales pueden procesar varias toneladas de sedimento al mismo tiempo.

A pesar de su utilidad, no siempre es posible contar con tamices para el campo, ya que se necesitan recursos para construirlos y en general las fuentes de financiamiento no contemplan estos gastos. También, los tamices se necesitan transportar a las cercanías de las localidades fosilíferas, lo que requiere el uso de vehículos grandes (con espacio suficiente), los cuales no siempre están disponibles; y finalmente, se requiere personal para usar los tamices, lo que implica un mayor gasto en las campañas de campo.

Por lo anterior, en nuestro trabajo de campo con microinvertebrados y microvertebrados continentales hemos usado utensilios distintos para tamizar en húmedo. En un estudio reciente, Haiar (2022) utilizó distintos materiales (bolsas de malla de nylon y tamices para pintura) para tamizar en húmedo y evaluó su eficacia para reducir la matriz.

En el caso del Laboratorio de Paleobiología de la Universidad del Mar, usamos las tradicionales bolsas de mandado con una abertura de malla de 1.0 mm (Figura 5) porque son fáciles de conseguir, son baratas, resistentes, ligeras, fáciles de transportar, una sola persona puede manipular varias y casi no ocupan espacio. Para recuperar microfósiles mediante tamizado en húmedo, primero revisamos cuidadosamente los estratos portadores para recolectar manualmente los ejemplares que estén sueltos (*pick up*); de esta forma hemos recuperado hemimandíbulas de roedores y lacertilios, dientes aislados, oogonios y moluscos. Posteriormente se utilizan palas para colocar el sedimento en una carretilla y así transportarlo a las cercanías del riachuelo donde se tamizará. Para ello, se coloca $\frac{1}{4}$ parte de la capacidad de la bolsa de mandado con sedimento, así se evita que la malla se deforme por el exceso de peso. La bolsa se introduce al agua (Figura 5) y el sedimento se puede dejar remojando si es que

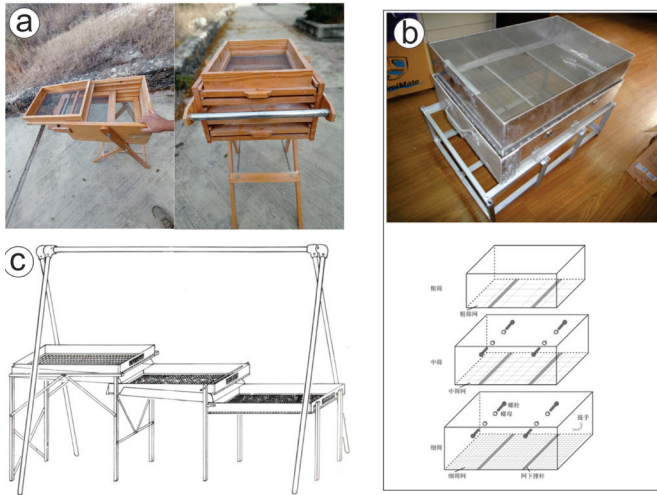


Figura 4. Tipos de tamices empleados en la colecta de microfósiles. a) Tamiz de tres cajones con movimiento vertical desarrollado en el Centro de Geociencias, UNAM. Los tamaños de malla son de 1 cm, 0.5 cm y 1 mm. b) Tamiz de aluminio con tres cajones acoplables (Tomado de Li y Ni, 2021). c) Mesa de Freudentall (tomado de Minwer-Barakat, 2005).

está muy compactado, agitando suavemente la bolsa para que se moje de manera más efectiva y sin golpear la bolsa contra las rocas para no dañar a los ejemplares y a la bolsa (para evitar roturas y que siga siendo útil). Cuando el sedimento se comienza a disgregar, se puede introducir la mano a la bolsa para agitar el sedimento y que el agua se lleve las partículas más finas de manera más efectiva; cuando el agua ya no está turbia, el sedimento está listo para secarse.

En nuestra experiencia, con los sedimentos procedentes de las localidades del Pleistoceno y el Oligoceno de Oaxaca, el uso de las bolsas de mandado permite reducir la matriz entre un 70 – 75 %, un porcentaje similar a lo reportado por Haiar (2022), por lo que son recomendables como opción de tamizado en húmedo. Generalmente, es necesario realizar un segundo tamizado en húmedo para reducir aún más la cantidad de limos y arcillas de los concentrados que se lavaron inicialmente en campo. En nuestra experiencia, en el segundo lavado el volumen de los concentrados se reduce hasta un 60 – 70 %, dependiendo de la cantidad de sedimentos finos que contenga. Antes de realizar el segundo tamizado es necesario que los concentrados estén completamente secos.

Por su parte, en las investigaciones realizadas en el Cenozoico tardío del centro de México, la recolecta de microfósiles se realiza en estratos que se disgregan fácilmente, para lo cual también se ha adaptado el uso de las bolsas de mandado, las cuales pueden limpiarse fácilmente, ya que la malla es relativamente flexible, impidiendo que los poros se atasquen con las partículas (en relación con las mallas profesionales cuya malla es de acero inoxidable y requiere de un cepillo metálico



Figura 5. Tamizado en húmedo. a) bolsas de mandado con apertura de 1 mm y secado de los concentrados en campo. b) Tamizado de sedimentos en un riachuelo. c) y d) Secado de concentrados en campo con bolsas negras. También se observan las cubetas de plástico con tapa para transportar los concentrados al laboratorio.

después de su uso), tampoco posee aditamentos complejos o sensibles a una reparación. El principal aspecto a considerar es el tamaño de abertura de la malla, el cual es difícil de controlar, aunque en general las mejores bolsas están compuestas por una sola malla (doble malla puede traer problemas en el tamizado) con una abertura de malla de cerca de un milímetro.

El tamaño de la abertura de malla de las bolsas de mandado puede ser una limitante, ya que los ejemplares muy pequeños (como algas carófitas y ostrácodos) se pueden perder porque pasarían a través de las aberturas. Por ello es importante revisar cuidadosamente los sedimentos fosilíferos y evaluar si es necesario utilizar tamaños de malla más pequeños antes de utilizarlas.

3.5. Lavado con keroseno, ácidos y propiedades flocculantes

En ocasiones, las rocas que contienen fósiles pueden estar más o menos litificadas, lo que afecta la facilidad con la que pueden disgregarse sólo con agua. Para resolver este inconveniente se pueden intentar varios ciclos de tamizado con agua, a veces con la adición de algún detergente comercial (Cifelli *et al.*, 1996). Sin embargo, esto aumenta el riesgo de dañar el material fósil más frágil y que no se disgreguen los clastos de limos y arcillas, que a veces se acumulan alrededor de núcleos de acreción fósiles. Por esta razón, se han desarrollado técnicas de tamizado que emplean disolventes o ácidos para descomponer el cemento que une las partículas y los fósiles (Ward, 1984; Cifelli *et al.*, 1996). Una de

estas técnicas es el lavado del sedimento con keroseno (u otros destilados del petróleo como el diesel). Para esto, se remoja el sedimento en keroseno durante un tiempo variable, dependiendo de la muestra, generalmente entre unos 30 segundos hasta dos horas para sedimentos continentales (Cifelli *et al.*, 1996) y hasta 24 horas para sedimentos marinos (Behringer, 1966). Posteriormente el sedimento se pasa a través de las mallas y luego se pone a secar a la intemperie. Después, si se prefiere, se puede realizar un lavado suave con agua y un tamizado en seco para separar las partículas por tamaño de grano.

Algunos tipos de rocas productoras de microfósiles pueden estar muy consolidadas por los carbonatos cementantes que rellenan los espacios entre sus partículas. Esto es muy común en ambientes marinos o lacustres (calcita y dolomita). En este caso se puede poner a remojar la muestra en ácido acético al 10% o 15 %, cambiando el ácido cada dos o tres días y observando que no exista una degradación de nuestro material. Es preferible que esto se realice en un entorno controlado, al aire libre y en la sombra (Cifelli *et al.*, 1996). Una vez que el ácido comienza a reaccionar, se formarán sales solubles y dióxido de carbono, y observaremos como el material se va disgregando para poder ser pasado por un tamizaje (con un lavado previo en agua).

Las rocas más difíciles de tamizar son aquellas que tienen un tamaño pequeño de partícula, limo-arcilla (aunque hay excepciones como las ilitas), debido a sus propiedades electroestáticas y de intercambio iónico, las cuales pueden resultar en un comportamiento flocular muy fuerte e impermeabilidad. Ello dificulta bastante el trabajo de los paleontólogos al momento de intentar su tamizado (Cifelli *et al.*, 1996).

Esta floculación natural de la arcilla puede verse influenciada por tres factores principales: la salinidad, la temperatura y el pH. Afortunadamente, existen trabajos paleontológicos que han abordado esta problemática y aquí se resumen las observaciones realizadas por Cifelli *et al.*, (1996). Según estos autores, un ligero aumento en la temperatura del agua utilizada para lavar una matriz de arcillas montmorillonitas puede reducir a la mitad el tiempo requerido para su tamizado, pasando de cinco días a 24°C a dos días y medio cuando se lava a 30°C. Además, han observado que el tipo de agua empleado es fundamental para un buen tamizado; el agua marina con altas concentraciones de sales (2000 ppm), no sólo dificulta la desintegración de la matriz, sino que la fortalece, por lo que lo ideal es trabajar con charcos o estanques de agua dulce. Por último, la adición de una base fuerte y alcalina al agua, como el hidróxido de calcio o el hidróxido de potasio, puede alterar la carga superficial y estructural de las arcillas, facilitando su desintegración durante el tamizado.

4. Secado de los concentrados en campo y su transporte al laboratorio

Los concentrados de sedimento resultantes del tamizado en húmedo se secan al sol extendiéndolos en bolsas negras de plástico (Figura 5). Por su color, las bolsas negras absorben el calor del sol y ayudan a que el concentrado se seque más rápido; adicionalmente, las bolsas se lavan y pueden utilizarse múltiples veces.

Una vez que los concentrados están secos o casi secos es posible revisarlos para retirar manualmente los fósiles que se observen. De esta forma se evitará romperlos al vaciar los concentrados en los contenedores para su transporte al laboratorio. Una manera sencilla de transportarlo es usar sacos (costales) de rafia en los que se pueden escribir los datos de campo por fuera e introducir una etiqueta también con los datos, envuelta en una bolsa de plástico para evitar que se moje. También es posible transportar los concentrados y sedimentos en estructuras resistentes como cubetas con tapa (Figura 5). Las cubetas pequeñas de cuatro litros con tapa son muy eficientes, ya que permiten conocer el volumen de sedimento colectado por estrato o sitio paleontológico, no se rompen durante el traslado de los sedimentos (como sucede con las bolsas de plástico) y son reutilizables.

Por otra parte, las cápsulas de gelatina son una opción para la recolecta y transporte de ejemplares aislados, como bivalvos articulados o fragmentos de mandíbulas, dientes y poscraneales aislados. Sin embargo, los ejemplares deben estar completamente secos, sin restos de humedad; de lo contrario, se pueden pegar a la cápsula y es difícil separarlos, ya que pueden romperse o fracturarse. Otro material que puede utilizarse son tubos de microcentrífuga de 1.5 ml o 2 ml con tapa a presión (Figura 6). Por su tamaño, estos contenedores son ideales para los moluscos y vertebrados de tamaño mediano y pequeño.

Cuando los ejemplares estén en los contenedores, es posible rellenar el espacio de la cápsula con algodón o papel de baño, de tal forma que el ejemplar no se mueva y se rompa. Como ya se mencionó, los ejemplares deben estar secos ya que son menos frágiles.

5. Etiquetado de materiales colectados en campo

Los documentos en los que se vierte la información sobre las condiciones en que los fósiles fueron hallados es crucial en paleontología. Por un lado, permite la correcta interpretación de los descubrimientos fósiles. Por otro, estos medios constituyen un registro histórico asociado a colecciones y museos.

El etiquetado en campo es un elemento crucial para cualquier tipo de investigación, incluyendo la colecta y análisis de microvertebrados e invertebrados fósiles.



Figura 6. Elementos útiles para transportar y resguardar microfósiles en el laboratorio. a) Placa para montar microfósiles, cápsula de gelatina y tubo de microcentrifuga. b) Cubetas donde se observa el etiquetado en la tapa, en la parte externa y una etiqueta cubierta por una bolsa transparente que se coloca con el sedimento que se transporta.

Generalmente, se le presta poca atención a pesar de que es la que dará más información sobre los materiales en el futuro. Por ello, etiquetar los sedimentos colectados y los materiales recuperados de dichos sedimentos es muy importante. Es recomendable contar con varias etiquetas para los concentrados que se trasladarán al laboratorio, de esta forma es más difícil que se pierda la información. Recomendamos etiquetar el exterior de la cubeta, bolsa o saco, y etiquetar el interior del recipiente con una etiqueta guardada en una bolsa para evitar que se dañe, y si usamos cubetas para transportar el sedimento, también hay que etiquetar la tapa del recipiente (Figura 6).

Aunque parezca que el etiquetado en campo es un paso simple y lógico, hay que considerar ciertos aspectos para que la información no se pierda con el tiempo, especialmente en aquellos materiales (ejemplares y sedimentos) que no van a limpiarse e integrarse en una colección a corto plazo. También es importante considerar que se requiere una mínima inversión de dinero para contar con materiales idóneos y de calidad.

Para las etiquetas deben usarse hojas blancas libres de ácido; hay que evitar las hojas de reúso o de colores,

propaganda u otro tipo de impresión. Con el tiempo, la tinta se pierde y puede afectar los datos. Si los materiales fósiles se almacenan, es común, al cabo de los años e incluso de meses, que las etiquetas se rompan, se deterioran y con ello, la información escrita. Las etiquetas conservadas al interior de muestras de sedimento pueden guardarse dentro de bolsas de plástico, evitando así su deterioro. Los datos deben escribirse a lápiz, nunca con pluma o plumón, ya que si las etiquetas se mojan, la tinta puede correrse y la información será ilegible. Los datos esenciales incluyen la información de la localidad, del(a) colector(a), la fecha de colecta (escribiendo completo el nombre del mes: septiembre, no "sept.", no "09"), y de ser el caso la formación geológica y el nivel estratigráfico. En la libreta de campo deben registrarse las colectas que se llevaron a cabo por día, así como la información de las características de los ejemplares y las localidades (Figura 7).

Dado que el espacio de una etiqueta es limitado, también se debe tener una relación de las colectas con la información que, por espacio, no se incluya en la etiqueta. Una sugerencia es el uso de boletos (tickets) foliados para llevar un control más específico. A cada contenedor o lote de contenedores (si es que se encontraron en un mismo nivel estratigráfico), además de la etiqueta, se le agrega un boleto foliado. La relación de los números, y por ende, de las muestras, se registra en listados, en donde se incluyen los datos taxonómicos del ejemplar, los datos del colector, la localidad y su nivel estratigráfico; si es un lote, se incluye el número de ejemplares (Figura 7), así como otros datos que sean pertinentes.

6. Selección de ejemplares bajo el microscopio

El equipo mínimo para la revisión de concentrados de sedimento bajo el microscopio estereoscópico son pinceles delgados del número 00 (preferentemente de pelo natural para evitar la estática), agujas delgadas y pinzas de disección o pinzas de punta fina. Dependiendo del tamaño y del espacio para almacenaje, se necesitarán recipientes apropiados (tubos de plástico o cápsulas de gelatina) o placas para microfósiles (Figura 6).

Para revisar el sedimento seco para la separación de los micromoluscos y microvertebrados, el sedimento se vacía en placas de Petri. Es preferible revisar una cantidad mínima, con el fin de observarlo detalladamente.

Es importante no sacar el sedimento que rellena el interior de las conchas hasta su traslado en el laboratorio. De esta forma, no se rompen durante el traslado. Cuando se retire el sedimento, tiene que realizarse bajo el microscopio. Si el sedimento no se retira, hay riesgo de que los ejemplares se contaminen por la presencia de esporas, semillas o huevecillos de insectos en el sedimento. Dependiendo del ejemplar, hay casos en los que, si se retira completamente el sedimento, las conchas colapsan y el ejemplar se pierde.



Figura 7. Registro de la información en campo y resguardo de pequeños vertebrados e invertebrados. a) Registro de datos en la libreta de campo. b) Resguardo de ejemplares recolectados y su registro en formatos *ad hoc*. c) Ejemplo de formato para registrar los datos de campo durante las colectas. d) Materiales útiles en la recolecta de microfósiles. Cápsula de gelatina, tubo para química clínica y boleto para registro de colectas. e) Ejemplo de resguardo de microvertebrados en cápsulas de gelatina dentro de viales con tapa de corcho en una colección paleontológica.

En el caso de los pequeños vertebrados, también es aconsejable retirar el sedimento y las “costras” de minerales que a veces se presentan, y así poder observar los rasgos morfológicos que auxiliarán en la identificación taxonómica. Para ello hemos usado agujas finas de costura y lancetas, las cuales se pueden afilar múltiples ocasiones. Ambas son muy efectivas para retirar el sedimento de molares de roedor sin dañar los ejemplares. Hay que resaltar que es preferible dejar sedimento sobre los ejemplares fósiles de pequeños vertebrados, si el removerlo implica la posible fractura o destrucción del fósil.

7. Resguardo de los ejemplares fósiles en la colección

Tradicionalmente, los ejemplares de microvertebrados se montan en la cabeza de un alfiler, el cual se encuentra atravesando un corcho y es protegido por un pequeño vial o frasco de cristal. Esto asegura que su manipulación sea a través del corcho sin que exista contacto con el microfósil, ya que por su tamaño se corre el riesgo de que este brinque fuera de la mesa de observación y caiga al piso. Los viales con los ejemplares se almacenan en rejillas de madera (Madsen, 1996).

En el Laboratorio de Paleobiología de la UAM los pequeños vertebrados y moluscos los resguardamos

de manera semejante a la técnica de Smith (2007): los ejemplares se colocan en cápsulas de gelatina (en vez de rectángulos de polietileno perforados) y cada cápsula o conjuntos de cápsulas con ejemplares contienen una pequeña etiqueta con el número de catálogo por ejemplar; adicionalmente, las cápsulas se guardan en tubos de centrífuga con tapa de rosca o tubos para química clínica y dentro de cada tubo se colocan las etiquetas con los datos de la colección de cada ejemplar (Figura 7). Los tubos se colocan en rejillas de polietileno o se guardan en cajas de manera horizontal. En caso de tener ejemplares más grandes, es posible guardarlos directamente en los tubos, o directamente en cajas, como en el caso de los restos de tortugas fósiles.

En el caso de las placas para montar a los ejemplares de invertebrados, es común usar goma de tragacanto para formar una película que permita pegar y separar a los ejemplares (McLure, 1992; Saraswati y Srinivasan, 2016). Sin embargo, en lugares cálidos, la goma promueve el crecimiento de hongos, hifas y esporas, aun cuando se le agrega un agente antifúngico. Un sustituto barato es usar pegamento blanco diluido con agua (30 – 70%) y adicionar gotas de algún agente antifúngico, como esencia de clavo.

Es aconsejable tener la relación de las placas y los ejemplares montados en cada una en bitácoras. Las placas se enumeran o se les asigna un código, el cual se registra en la bitácora. Además de que la información pueda registrarse de manera escrita, también es deseable que se capture en una base de datos electrónica.

8. Identificación taxonómica

Dependiendo del grupo taxonómico, las herramientas para la identificación de microfósiles continentales varían. En el caso de los pequeños mamíferos, anfibios y reptiles del Plioceno y Pleistoceno, hemos comparado los ejemplares fósiles con los de la literatura especializada para una identificación preliminar y posteriormente se han comparado directamente con los ejemplares resguardados en osteotecas con ejemplares recientes, como la Colección de Referencia del Laboratorio de Aqueozoología “Ticúl Álvarez”, del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), la Colección Nacional de Mamíferos, del Instituto de Biología (IB), UNAM, o la Colección Nacional de Nacional de Anfibios y Reptiles del IB, UNAM. En el caso de ejemplares más antiguos (Oligoceno), además de la literatura especializada, se ha comparado material de pequeños mamíferos con los resguardados en las colecciones paleontológicas del Museo Americano de Historia Natural y del Museo de Historia Natural de la Universidad de Florida, ya que en México las colecciones paleontológicas no cuentan con ejemplares de esta edad; en ambos casos la comparación directa permitió corroborar las identificaciones a nivel genérico.

En relación con algunas familias de gasterópodos, las características de la concha pueden no ser suficientes para identificar a nivel de especie (e incluso de género). En el caso de ciertas familias, como Lymnaeidae o Succineidae, la identificación taxonómica se basa en las características del aparato reproductor, por lo que en el caso de microfósiles de moluscos gran parte del material queda sin identificar. En el caso de los bivalvos, la concha presenta una plasticidad considerable, por lo que es mejor contar con el mayor número posible de ejemplares adultos. Ello permite una identificación de los rasgos diagnósticos de las especies.

Uno de los textos básicos para la identificación de gasterópodos continentales a nivel familia y género es la serie de 28 volúmenes del *Manual of Conchology, structural and systematic: with illustrations of the species; second series: Pulmonata*, de Henry Augustus Pilsbry y George W. Tyron, eminentes naturalistas de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Esta obra está compuesta por tratados en los que se detallan la anatomía, taxonomía y características de las diferentes familias de gasterópodos continentales. Para el lector interesado, estos tratados están disponibles de manera libre en las bases del *Biodiversity Heritage Library* (www.biodiversitylibrary.org). Otros que permiten la identificación de moluscos, al menos a nivel de familia también se encuentran disponibles en internet (e.g., Fahy, 2003; Perez y Cordeiro, 2008; Brown y Lydeard, 2010; Graf y Cummings, 2009).

9. Recomendaciones finales

Antes de realizar cualquier trabajo de campo es necesario cumplir con los “Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México”, emitidos por el Consejo de Paleontología del INAH (INAH, 2020). Ello para cumplir cabalmente con la normativa actual.

Una recolecta exitosa depende en gran medida de llevar a campo los materiales y equipos adecuados

y suficientes para realizar el registro y recolecta de los grupos de nuestro interés. Estos incluyen tanto el equipo personal, como el equipo de campo (Tabla 1).

10. Perspectivas

El estudio de pequeños vertebrados e invertebrados continentales es un área de oportunidad en el país. Hasta ahora se han realizado muy pocas investigaciones con estos interesantes grupos.

En los estudios que hemos realizado se han podido ubicar y trabajar en localidades muy productivas, con concentraciones elevadas de moluscos continentales y donde se han recuperado de entre 3 a 5 molares de microvertebrados por kilogramo de sedimento. Ello muestra que el trabajo de prospección y recolecta de pequeños invertebrados, mamíferos reptiles, anfibios y aves es importante, ya que tiene relevancia para estudiar patrones de biogeografía histórica, la reconstrucción paleoambiental y la evolución de las comunidades a través del tiempo geológico, con implicaciones a nivel regional y continental. La relevancia de estos registros contribuye al conocimiento de los patrones de reemplazo faunístico y la dinámica evolutiva de los ecosistemas en nuestro país, la cual se caracteriza por su elevada biodiversidad.

Agradecimientos

Al Dr. Carlos Castañeda Posadas por invitarnos a participar en el “Paleoworkshop: Rescate de material paleontológico mexicano” y en este volumen especial. Al Dr. Jorge Genise por enseñarnos hace tiempo sus propuestas para un control de colectas en campo. Al Dr. Oscar Carranza Castañeda por su trabajo con microvertebrados en el centro de México. Gracias todos los estudiantes y colegas que han participado en las campañas de campo del Laboratorio de Paleobiología de la

Tabla 1. Equipo y materiales recomendados para realizar trabajo de campo de índole paleontológica.

Equipo personal	Equipo de campo	
	Para recolecta de superficie	Para tamizado de sedimento
Sombrero, camisa de manga larga, botas de campo, pantalón, guantes, botiquín de primeros auxilios, mochila resistente, libreta de campo con pasta dura, lápices, sacapuntas, gomas.	Brochas de distintos tamaños, puntas diversas para excavar el sedimento (agujas, palillos, picahielos), lupas para observar los fósiles pequeños, contenedores de diversos tamaños para colocar los fósiles, cápsulas de gelatina para los ejemplares pequeños, etiquetas blancas para el control en campo, bolsas plásticas, papel higiénico para envolver los ejemplares más grandes y para la elaboración de férulas de yeso, yeso de artesano o cerámico para el mismo fin, picas geológicas, consolidante.	Tamices con distintas aperturas de malla, bolsas de mandado, palas, picos, contenedores para guardar los fósiles, sacos, carretilla (si hay espacio suficiente), bolsas negras para el secado, plumón indeleble para etiquetar las bolsas y sacos.

UMAR. A las autoridades académicas y administrativas de la Universidad del Mar por su apoyo logístico en los diversos proyectos. A los estudiantes de la Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo en campo. Agradecemos las sugerencias y correcciones de dos árbitros anónimos, las cuales mejoraron este trabajo.

Este artículo forma parte de los productos del proyecto UMAR 2IR2304, el cual fue autorizado por el Consejo de Paleontología del INAH a través del oficio no. 401.IS.3-2023/308. Se agradece el financiamiento de *National Science Foundation* (EAR 843 1949742) y DGAPA PAPPIT (IN 102817), a la Universidad Nacional Autónoma de México, a los proyectos del Cenoicoico tardío del centro de México. También se agradece el financiamiento al Ministerio de Ciencia e Innovación de España PID2021-122533NB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE).

Referencias

- Andrews, P. (1990). *Owls, Caves, and Fossils*. University of Chicago Press.
- Applegate, S. P., Espinosa-Arrubarrena, L., Alvarado-Ortega, J., & Benammi, M. (2006). Revision of recent investigations in the Tlayúa Quarry. In F. J. Vega, T. C. Nyborg, M. del C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S. R. S. Cevallos-Ferri, S. A. Quiroz-Barroso (eds.), *Studies on Mexican Paleontology* (pp. 275–304). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Araújo, R., Natário, C., & Pound, M. (2011). How to mount an inexpensive sieving lab. *Journal of Paleontological Techniques*, 9, 1–8.
- Arroyo-Cabrales, J., Corona-M, E., Polaco, O. J., Cruz-Silva, J. A., Córdova, M., Canto, G., & Basante, O. (2004). Recent Excavations in the Cueva Encantada, Chimalacatlán, Morelos, México. *Current Research in the Pleistocene*, 21, 9–11.
- Arroyo-Cabrales, J., Johnson, E., & Cruz, J. A. (2021). San Josecito Cave and Its Paleoenvironmental Contributions for Quaternary Studies in Mexico. *Quaternary*, 4, 34. <https://doi.org/10.3390/quat4040034>
- Arroyo-Cabrales, J., & Manzanilla López, R. (2022). Giants & airplanes: Mammoths at the airport in Mexico City. *Cranium*, 39(1), 30–39.
- Avery, D. M. (2007). Micromammals as palaeoenvironmental indicators of the southern African Quaternary. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 62(1), 17–23. <https://doi.org/10.1080/00359190709519193>
- Barbieri, F., Ortiz, P. E., & Pardiñas, U. F. J. (2019). The oldest sigmodontine rodent revisited and the age of the first South American cricetids. *Journal of Paleontology*, 93, 368–384. <https://doi.org/10.1017/jpa.2018.74>
- Behringer, M. P. (1966). A study of Microfossils. *The American Biology Teacher*, 28(4), 282–289.
- Bhat, M. (2017). Techniques for systematic collection and processing of vertebrate microfossils from their host mudrocks: a case study from the Upper Triassic Tiki Formation of India. *Journal of the Geological Society of India*, 89, 369–374. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0617-8>
- Blain, H. A., Bailon, S., Cuenca-Bescos, G., Arsuaga, J. L., de Castro, J. M. B., & Carbonell, E. (2009). Long-term climate record inferred from early-middle Pleistocene amphibian and squamate reptile assemblages at the Gran Dolina Cave, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution*, 56(1), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2008.08.020>
- Bonhof, W. J., & Pryor, A. J. (2022). Proboscideans on parade: A review of the migratory behaviour of elephants, mammoths, and mastodons. *Quaternary Science Reviews*, 277, 107304. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107304>
- Brattstrom, B. H. (1953). The amphibians and reptiles from Rancho La Brea. *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 11, 365–392. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.28861>
- Brown, K. M., & Lydeard, C. (2010). Chapter 10 - Mollusca: Gastropoda. En J. H. Thorp, A. P. Covich (eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (Third Edition, pp. 277–306). Academic Press.
- Carranza-Castañeda, O. (2006). Late Tertiary fossil localities in central Mexico, Between 19°–23°N. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Centro de Geociencias, Publicación Especial*, 4, 45–60.
- Carranza-Castañeda, O., & Walton, A. H. (1992). Cricetid Rodents from The Rancho el Ocote fauna, Late Hemphillian (Pliocene), state of Guanajuato. *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 10, 71–93.
- Casillas-Ramírez, Y. G., Uribe-Mú, C. A., Mora-Núñez, M., & Vásquez-Bolaños, M. (2023). Microvertebrados fósiles asociados a montículos de hormigueros de *Pogonomyrmex barbatus* (Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) en Jalisco, México. *Dugesiana*, 30, 75–83. <http://dx.doi.org/10.32870/dugesiana.v30i2.7287>
- Cifelli, R. L., Madsen, S. K., & Larson, E. M. (1996). Screenwashing and associated techniques for the recovery of microvertebrate fossils. In R. L. Cifelli (Ed.), *Techniques for recovery and preparation of microvertebrate fossils* (94–4, 1–24). Oklahoma Geological Survey Special Publication.
- Croxen, F. W., Shaw, C. A., & Sussman, D. R. (2007). Pleistocene Geology and Paleontology of the Colorado River Delta at Golfo de Santa Clara, Sonora, Mexico. En *The 2007 Desert Symposium field guide and abstracts, San Diego, California*, R. E. Reynolds (ed.), 84–89
- Cruz, J. A., Arroyo-Cabrales, J., & Viñas-Vallverdú, R. (2009). Late Pleistocene fossil tortoises of Santiago Chazumba, Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(2), 225–232.
- Cruz, J. A., Arroyo-Cabrales, J., & Reynoso, V. H., (2016). Reconstructing the paleoenvironment of Loltún Cave, Yucatán, Mexico, with Pleistocene amphibians and reptiles and their paleobiogeographic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3), 342–354.
- Cruz, J. A., Prado, J. L., & Arroyo-Cabrales, J. (2021). The mutual ecological range and paleoclimatic reconstruction during the Late Pleistocene-Holocene in the Pampas (Argentina) using meso and microvertebrate fossils. *The Holocene*, 31(6), 983–992. <https://doi.org/10.1177/095968362199465>
- Czaplewski, N. J. (2011). An owl-pellet accumulation of small Pliocene vertebrates from the Verde Formation, Arizona, USA. *Palaeontologia Electronica*, 14, 30A.
- De Francesco, C. G., & Hassan, G. S. (2009). The significance of molluscs as paleoecological indicators of freshwater systems in central-western Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 274(1–2), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.01.003>
- Domingo, L., Tomassini, R. L., Montalvo, C. I., Sanz-Pérez, D., & Alberdi, M. T. (2020). The Great American Biotic Interchange revisited: a new perspective from the stable isotope record of Argentine Pampas fossil mammals. *Science Reports*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58575-6>
- Eaton, J. G. (2004). New screen-washing approaches to biostratigraphy and paleoecology of nonmarine rocks, Cretaceous of Utah. *Bulletin of Carnegie Museum of Natural History*, 36, 21–30.
- Etter, W. (2002). *Exceptional Fossil Preservation. A Unique View on the Evolution of Marine Life*. Columbia University Press.

- Fahy, N. E. (2003). Clave de los géneros de moluscos terrestres mexicanos usando caracteres conculológicos. *Revista de Biología Tropical, Suplemento*, 3, 473–482.
- Faith, J. T., & Lyman, R. L. (2019). *Paleozoology and paleoenvironments: fundamentals, assumptions, techniques*. Cambridge University Press.
- Graf, D. L., & Cummings, K. S. (2009). Actual and alleged freshwater mussels (Mollusca: Bivalvia: Unionoida) from Madagascar and the Mascarenes, with description of a new genus, *Germainia*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 158, 221–238.
- Guerrero-Arenas, R. (2013). *Paleobiología de la microfauna pleistocénica en la zona Tamazulapan-Concepción Buenavista, Oaxaca*. [Tesis doctoral no publicada]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & García-Barrera, P., (2013). New records of temperate mollusks in two Late Pleistocene terrestrial localities from northeastern Oaxaca, Southern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 47, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.07.008>
- Haiar, B. K. (2022). Examination of nontraditional materials for microvertebrate fossil screenwashing. *Acta Palaeontologica Polonica*, 67(1), 21–25. <https://doi.org/10.4202/app.00952.2021>
- Head, J., Bloch, J., Hastings, A. K., Bourque, J. R., Cadena, E. A., Herrera, F. A., Polly, P. D., & Jaramillo, C. A. (2009). Giant boid snake from the Palaeocene neotropics reveals hotter past equatorial temperatures. *Nature*, 457, 715–717. <https://doi.org/10.1038/nature07671>
- Hibbard, C. W. (1949). Techniques of collecting microvertebrate fossils. *Contributions from the Museum of Paleontology, University of Michigan*, 8(2), 7–19.
- Hoppe, K. A., & Koch, P. L. (2007). Reconstructing the migration patterns of late Pleistocene mammals from northern Florida, USA. *Quaternary Research*, 68(3), 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2007.08.001>
- Horne, D. J., Holmes, J. A., Rodríguez-Lazaro, J., & Viehberg, F. A. (2012). Ostracoda as proxies for Quaternary climate change: overview and future prospects. *Developments in Quaternary Sciences*, 17(2), 305–315. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53636-5.00018-4>
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). (2020). Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México. Disponible en: <https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01612485398.PDF>
- Jacobs, L. L., & Lindsay, E. H. (1981). Prosigmodon oroscoi, a New Sigmodont Rodent from the Late Tertiary of Mexico. *Journal of Paleontology*, 55, 425–430.
- Jiménez-Hidalgo, E., & Carranza-Castañeda, O. (2010). Blancan camelids from San Miguel de Allende, Guanajuato, central México. *Journal of Paleontology*, 84, 51–65. <https://doi.org/10.1666/08-154.1>
- Kimura, Y., Flynn, L. J., & Jacobs, L. L. (2021). Tempo and Mode: Evidence on a protracted split From a dense fossil record. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 642814. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.642814>
- Korth, W. W. (1994). *The Tertiary record of rodents in North America*. Springer.
- Ksepka, D. T. (2014). Flight performance of the largest volant bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(29), 10624–10629. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320297111>
- Lev, M. A., Weinstein-Evron, M., & Yeshurun, R. (2020). Squamate bone taphonomy: A new experimental framework and its application to the Natufian zooarchaeological record. *Scientific Reports*, 10, 9373. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66301-5>
- Li, Q., & Ni, X. J. (2021). Wet Sieving Technique for Collecting Microfossils. *Bio-101*, e1010613. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.1010613>
- Lindsay, E. H., & Jacobs, L. L. (1985). Pliocene small mammal fossils from Chihuahua, Mexico. *Paleontología Mexicana*, 51, 1–53.
- Lowe, J., & Walker, M. (2014). *Reconstructing Quaternary Environments*. Routledge.
- Maas, M. C. (1985). Taphonomy of a late Eocene microvertebrate locality, Wind River basin, Wyoming (U.S.A.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 52, 123–142. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(85\)90034-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(85)90034-3)
- Madsen S. K. (1996). Some techniques and procedures for microvertebrate preparation. In R. L. Cifelli (ed.), *Techniques for recovery and preparation of microvertebrate fossils* (94–4, 25–36). Oklahoma Geological Survey Special Publication.
- Martin, L. D. (1979). The biostratigraphy of arvicoline rodents in North America. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences and Affiliated Societies*, 313, 91–100.
- Martin, R. A., Fox, D. L., Urevig, A., Dean, M. R. P., Rountrey, A. N., & Peláez-Campomanes, P. (2022). Fluctuation of body mass in cotton rats and pocket gophers during the late Cenozoic in the Meade basin of Kansas: possible influence of the Huckleberry Ridge Ash-fall. *Historical Biology*, 34, 983–994. <https://doi.org/10.1080/08912963.2021.1959576>
- McKenna, M. C., Bleefeld, A. R. & Mellet, J. S. (1994). Microvertebrate collecting: Large-scale wet sieving for fossil microvertebrates in the field. In P. Leiggi, & P. May (Eds), *Vertebrate paleontological techniques*, 1. (pp. 93–111). Cambridge University Press.
- McLure, J. W. (1992). Investigations in Micropaleontology, *Science Activities*, 29(2), 26–29. <https://doi.org/10.1080/00368121.1992.10113023>
- Medina-Castañeda, C. I., Bravo-Cuevas, V. M., & Cruz, J. A. (2022). Turtles from the Late Pleistocene of Hidalgo and Puebla and their paleobiogeographic and paleoclimatic significance. *Quaternary International*, 634, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.07.008>
- Minwer-Barakat, R. (2005). *Roedores e insectívoros del Turoliense Superior y el Plioceno del sector central de la cuenca de Guadix* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad de Granada.
- Molina, E. 2017. *Micropaleontología*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Molnar, R. E. (2004). *Dragons in the dust: the paleobiology of the giant monitor lizard Megalania*. Indiana University Press.
- Moore, J. R. (2012). Do terrestrial vertebrate fossil assemblages show consistent taphonomic patterns? *Palaios*, 27, 220–234. <https://doi.org/10.2110/palo.2011.p11-096r>
- Neubauer, T. A. (2023). The fossil record of freshwater Gastropoda—a global review. *Biological Reviews*, 99(1), 177–179. <https://doi.org/10.1111/brv.13016>
- Pacheco-Castro, A., Carranza-Castañeda, O., & Jiménez-Hidalgo, E. (2019). A new species of Sigmodontinae (Rodentia) from the late Hemphillian of central Mexico, and comments on the possible radiation of this group. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36, 321–333. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2019.3.1162>
- Parada, A., Pardiñas, U. F. J., Salazar-Bravo, J., D'Elía, G., & Palma, R. E. (2013). Dating an impressive Neotropical radiation: Molecular time estimates for the Sigmodontinae (Rodentia) provide insights into its historical biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66, 968. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.12.001>
- Pardiñas, U. F. J., D'Elía, G., & Ortiz, P. E. (2002). Sigmodontinos fósiles (Rodentia, Muroidea, Sigmodontinae) de América del Sur: Estado actual de su conocimiento y prospectiva. *Mastozoología Neotropical*, 9, 209–252.
- Pelegrin, J. S., Gamboa, S., Menéndez, I., & Hernández-Fernández, M. (2018). paleoambiental de evidencias aportadas por mamíferos y aves neotropicales. *Ecosistemas*, 27(1), 5–17. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1455>
- Perez, K. E., & Cordeiro, J. R. (2008). *A guide for terrestrial gastropod identification*. http://northamericanlandsnails.org/publications/AMS_Workbook_KEP_FINAL.pdf. Consultado en Febrero de 2024.
- Person, J. J. (2015). Microfossils. *Geo News*, 42(2), 6–9.

- Prevosti, F. J., & Pardiñas, U. F. J. (2009). Comment on "The oldest South American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange" by D.H. Verzi and C.I. Montalvo. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeontology*, 280, 543547. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.05.021>
- Quiroz-Barroso, S. A., Guerrero-Arenas, R., García-Barrera, P., & Sánchez-Beristain, F. (2024). Mollusca: Bivalvia and Gastropoda. In R. Guerrero-Arenas, & E. Jiménez-Hidalgo (Eds.), *Past Environments of Mexico*, Springer Geology. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51034-2_4
- Richter, A. J., Pickles, B. J., & Barton, B. R. (2024). First reported fossil occurrences of *Phrynosoma* sp. from the Columbia Plateau (Washington State, USA) dated to the Late Pleistocene. *Journal of Quaternary Science*, 2024, 1–11. <https://doi.org/10.1002/jqs.3595>
- Sánchez López, L., Fagoaga, A., & Ruíz-Sánchez, F. J. (2023). Inferencias paleoclimáticas con micromamíferos fósiles: el Plioceno del barranco del gormaget y el Pleistoceno de El Salt (Alcoy). *Isurus*, 15, 4–14.
- Saraswati, P. K., & Srinivasan, M. S. (2016). *Micropaleontology: Principles and applications*. Springer.
- Schap, J. A., Samuels, J. X., & Joyner, T. A. (2021). Ecometric estimation of present and past climate of North America using crown heights of rodents and lagomorphs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 562, 110144. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.110144>
- Shipman, P., & Walker, A. (1980). Bone-collecting by harvesting ants. *Paleobiology*, 6, 496–502.
- Stuart, A. J. (2021). *Vanished giants: the lost world of the Ice Age*. University of Chicago Press.
- Smith, M. (2007). *Vertebrate microfossil storage, the basics, and a new technique*. <https://vertpaleo.org/preparators-pdfs/#collecting-and-field-techniques>. Consultado en Febrero de 2024.
- Smith, K. T., Comay, O., Maul, L., Wegmüller, F., Le Tensorer, J. M., & Dayan, T. (2021). A model of digestive tooth corrosion in lizards: experimental tests and taphonomic implications. *Scientific Reports*, 11, 12877. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92326-5>
- Sussman, D. R., Croxen, F. W., McDonald, H. G., & Shaw, C. A. (2016). Fossil porcupine (Mammalia, Rodentia, Erethizontidae) from El Golfo de Santa Clara, Sonora, Mexico, with a review of the taxonomy of the North American erethizontids. *Contributions in science*, 524, 1–29. <https://doi.org/10.5962/p.241300>
- Tovar, R. E., & Montellano, M. (2006). Pleistocene microvertebrates from Santa Cruz Nuevo, Puebla, Mexico. *Current Research in the Pleistocene*, 23, 72–74.
- Tucker, M. E. (2003). *Sedimentary rocks in the field*. John Wiley & Sons.
- Vanzolini, P. E., & Heyer, W. R. (1985). The American herpetofauna and the interchange. In F. G. Stehli, & S. D. Webb (Eds.), *The Great American Biotic Interchange* (pp. 475–487). Plenum Press.
- Vermeij, G. J. (2016) Gigantism and Its Implications for the History of Life. *PLoS ONE*, 11(1), e0146092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146092>
- Verzi, D. H., & Montalvo, C. I. (2008). The oldest South American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 267, 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.07.003>
- Vogt, R. C., & Legler, J. M. (2013). *Turtles of Mexico: Land and Freshwater Forms*. University of California Press.
- Wang, X., & Carranza-Castañeda, O. (2008). Earliest hog-nosed skunk, *Conepatus* (Mephitidae, Carnivora), from the early Pliocene of Guanajuato, Mexico and origin of South American skunks. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 154, 386–407. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2008.00411.x>
- Ward, D. J. (1984). Collecting isolated microvertebrate fossils. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 82(1–2), 245–259.
- Weir, J. T., Bermingham, E., & Schluter, D. (2009). The great American biotic interchange in birds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(51), 21737–21742. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903811106>
- Whistler, D. P., Tedford, R. H., Takeuchi, G. T., Wang, X., Tseng, Z. G., & Perkins, M. E. (2009). Revised Miocene biostratigraphy and biochronology of the Dove Spring Formation, Mojave Desert, California. *Papers on Geology, Vertebrate Paleontology, and Biostratigraphy in honor of Michael O. Woodburne*, 331–362.
- Woodburne, M. O. (2004). *Late Cretaceous and Cenozoic mammals of North America*. Columbia University Press.
- Woodburne, M. O. (2010). The Great American Biotic Interchange: Dispersals, Tectonics, Climate, Sea Level and Holding Pens. *Journal of Mammalian Evolution*, 17, 245–264. <https://doi.org/10.1007%2Fs10914-010-9144-8>
- Woolley, C. H., Thompson, J. R., Wu, Y. H., Bottjer, D. J., & Smith, N. D. (2022). A biased fossil record can preserve reliable phylogenetic signal. *Paleobiology*, 48(3), 480–495. DOI: <https://doi.org/10.1017/pab.2021.45>
- Zhou, Z. (2014). The Jehol Biota, an Early Cretaceous terrestrial Lagerstätte: new discoveries and implications. *National Science Review*, 1(4), 543–559. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwu055>

Descripción taxonómica y estudio de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de *Mammut americanum* (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammutidae) del Blancano (Plio-Pleistoceno) de Santa Fe del Río, (Michoacán, México)

*Taxonomic description and stable isotope study ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) of *Mammut americanum* (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammutidae) from the Blancan (Plio-Pleistocene) of Santa Fe del Río, (Michoacán, México)*

Lystad Gray, Robert D.^{1,*}; Marín-Leyva, Alejandro H.^{1^{}}; Arroyo-Cabrales, Joaquín^{2^{}}; García-Zepeda, M. Luisa^{1^{}}

¹Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edif. R 2° Piso, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

²Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, Subdirección de laboratorio y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda #16, Col. Centro, 06060, Ciudad de México, México.

*robert.lystad@umich.mx

Resumen

Se registra la presencia de *Mammut americanum* para la localidad de Santa Fe del Río de temporalidad Blancano. Este es el registro más viejo para México y el primero para Michoacán. Se realizó un estudio de isótopos estables de carbono y oxígeno a un molar inferior (m1) para conocer las preferencias de alimentación y hábitat. El ejemplar muestra una dieta mixta, aunque en general sus hábitos paleoecológicos indican que su dieta era preferentemente ramoneadora. Llegaban a ser migratorios nómadas y se trasladaban grandes distancias, lo que puede justificar el cambio del hábitat y la dieta que llegaban a presentar durante su vida. Con base a los resultados se puede inferir que Santa Fe del Río (Michoacán) presentaba ambientes de praderas mixtas de plantas C_3 y C_4 con una temperatura promedio anual aproximada de 19.9°C .

Palabras clave: mastodonte americano, dieta mixta, Michoacán, molar.

Abstract

The presence of *Mammut americanum* is recorded for the Blancan site of Santa Fe del Río. This would be the oldest confirmed record for Mexico and the first for Michoacan. A stable isotope study of carbon and oxygen was done to an inferior molar (m1) to know the eating and habitat preferences. The specimen shows it had a mixed diet, even if in general the paleoecological habits indicate that the diet of the species was predominantly a browsing one. They were sometimes migratory nomads and traveled great distances, which could justify the change in habits and diet that they presented during their lifetime. Based on the results it is possible to infer that Santa Fe del Río (Michoacán) presented a habitat with mixed grasslands with C_3 and C_4 plants and it had an annual average temperature of approximately 19.9°C .

Keywords: American mastodon, mixed diet, Michoacan, molar.

Cómo citar / How to cite: Lystad Gray R. D.; Marín-Leyva, A. H.; Arroyo-Cabrales J.; García-Zepeda M. L. (2024). Descripción taxonómica y estudio de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de *Mammut americanum* (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammutidae) del Blancano (Plio-Pleistoceno) de Santa Fe del Río, (Michoacán, México). *Paleontología Mexicana*, 13(2), 157–165.

Manuscrito recibido: Julio 20, 2023.

Manuscrito corregido: Marzo 20, 2024.

Manuscrito aceptado: Marzo 22, 2024.



1. Introducción

En América del Norte se conocen tres familias de proboscídeos extintos que son: Elephantidae (mamuts), Gomphotheriidae (gonfoterios) y Mammutidae (mastodontes) (Bravo-Cuevas *et al.*, 2015). La menos conocida es la familia Mammutidae; la especie *Mammut americanum* (Kerr, 1792) se encuentra dentro de esta familia, sus registros son escasos para México y en general para América del Norte. A pesar de que sus restos no sean abundantes, geográficamente su registro es extenso. Se encuentran en Alaska, Canadá, Estados Unidos, México y Honduras (Kurtén y Anderson, 1980; Lucas y Alvarado, 1991; Saunders, 1996; Graham, 2001; Lange, 2002). Recientemente se realizó un estudio exhaustivo sobre la anatomía de los especímenes del género *Mammut* en América del Norte. Se registró una nueva especie para Estados Unidos llamada *Mammut pacificus* para el Pleistoceno, con presencia principalmente en el estado de California y dos localidades de Idaho; se caracteriza por tener diferencias en los molares, vértebras, fémur y defensas (Dooley Jr. *et al.*, 2019). En Estados Unidos se conocen ejemplares de *M. americanum* desde el Plioceno y se tiene registro en los estados de California (Jefferson, 1991), Florida (Webb y Wilkins, 1984), Nevada (Kelly, 1994), Washington (Gustafson, 1978) y Kansas (Hibbard, 1944; Hibbard y Riggs, 1949). El registro más antiguo del mastodonte en América es de 3.75 Ma del estado de Washington y en Florida se conocen 3 especies de mastodontes *Zygodolophodon tapiroides* (Cuvier, 1817) del Mioceno (12 Ma~), *Mammut sellardsi* (Simpson, 1930) del Plioceno temprano (5 Ma~) y *Mammut americanum* del Plioceno tardío (2.5 Ma~) y Pleistoceno (Green, 2002).

Para México se conocen 26 registros en 17 localidades, todas se encuentran sobre los 1500 m.s.n.m., los registros son del Pleistoceno principalmente del Rancholabreano y en menor cantidad del Irvingtoniano (Polaco *et al.*, 2001; Corona, 2013; Morales García y Bravo-Cuevas, 2014; Pérez-Crespo *et al.*, 2019). Los estados con registro de *M. americanum* son: Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León, Zacatecas, Aguascalientes, Hidalgo, Puebla, Estado de México, Morelos y Sonora (Polaco *et al.*, 2001; Corona, 2013; Morales García y Bravo-Cuevas, 2014). Sin embargo, no se conocen registros para el Blancano. Existe un registro de *M. americanum* para lo que parece ser el Plio-Pleistoceno (Blancano) de Hidalgo, el problema es que tiene un contexto estratigráfico incierto (Morales García y Bravo-Cuevas, 2014).

En este trabajo se analiza la morfología, morfometría y composición de isótopos estables de carbono y oxígeno de un ejemplar dental asignado a *M. americanum* de Santa Fe del Río encontrado en un estrato fosilífero de sedimentos lacustres en el que se identificaron taxones índice pertenecientes al Blancano (*Nannippus peninsulatus*, *Equus* sp. cf. *Equus simplicidens* y *Sigmodon minor*), esto con la finalidad de realizar una revisión

taxonómica e inferencias paleobiológicas acerca del comportamiento alimenticio y de hábitat de este espécimen.

1.1 Paleoecología de *Mammut americanum* en México

M. americanum posee molares con coronas altas por lo que se ha inferido que su dieta es de tipo ramoneadora (Green *et al.*, 2005). La mayoría de los marcadores biogeoquímicos de carbono y oxígeno corroboran esta teoría. Sin embargo, un estudio de isótopos estables en especímenes fósiles de Ontario, Canadá, en huesos y molares de mamuts (*Mammuthus*) y mastodontes (*Mammut*) muestra que esto no es necesariamente cierto para todas las poblaciones de *Mammut* (Metcalf *et al.*, 2013).

Se han realizado estudios de isótopos estables en *M. americanum* previamente. Los resultados obtenidos por Bravo-Cuevas *et al.* (2015) en dos molares de *M. americanum* del Pleistoceno del estado de Hidalgo, muestra que el ejemplar consumía 16% de plantas C₄ y el resto del porcentaje corresponde al consumo de plantas C₃, lo que indica que tenía una dieta preferentemente ramoneadora. Los resultados de *M. americanum* de Florida obtenidos por Koch *et al.* (1998) también son consistentes con una dieta ramoneadora. Otro estudio se realizó por Pérez-Crespo *et al.* (2019) en ejemplares de este mastodonte provenientes de La Amapola (San Luis Potosí) y El Fin del Mundo (Sonora), los resultados provenientes de La Amapola muestran la dieta de tres ejemplares, dos con dieta C₃/C₄ (mixta) y uno con dieta de plantas C₃ (ramoneadora), los resultados de El Fin del Mundo muestran la dieta de cinco ejemplares, todos ellos con dieta C₃.

2. Área de estudio

El ejemplar se colectó en el estado de Michoacán, municipio de Penjamillo, la localidad se conoce con el nombre del pueblo en el que se encontró Santa Fe del Río. La altitud es de 1771 m s. n. m., con coordenadas 20°11'27", Latitud Norte y 101°50'20", Longitud Oeste. El yacimiento se encuentra en la cuenca del Bajo Lerma, dentro de la provincia fisiográfica del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), en el campo volcánico de Michoacán-Guanajuato, ubicada en un banco de materiales donde se levantó una sección estratigráfica (Figuras 1 y 2).

3. Material y métodos

3.1. Colecta e identificación del material fósil

Se llevaron a cabo salidas de campo para la extracción de restos fósiles en la localidad referida. El ejemplar fósil colectado (UM 2025), fue extraído del

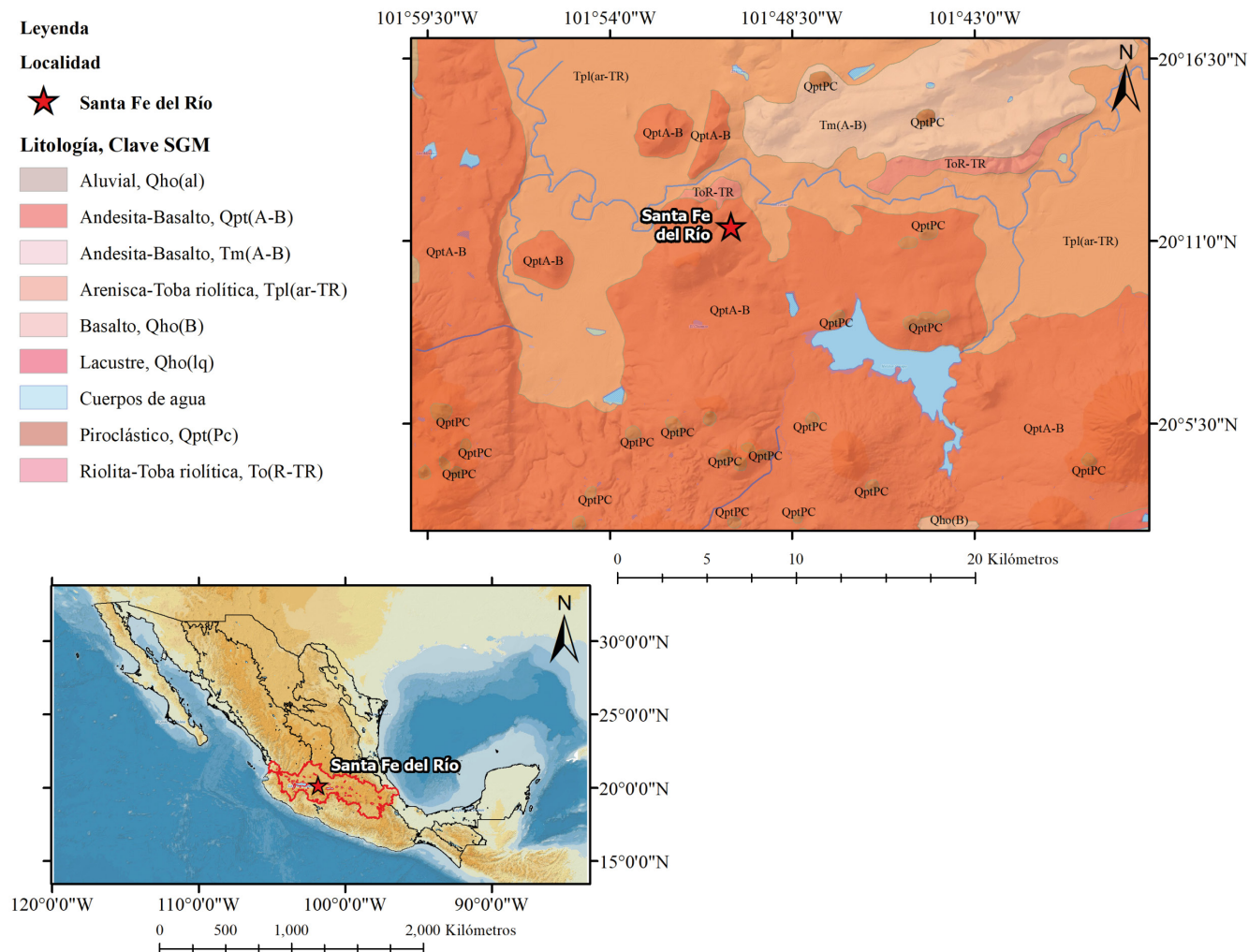


Figura 1. Mapa de Santa Fe del Río. Abreviaturas: QHo(al) Cuaternario Holoceno (Aluvial) Qpt(A-B) Cuaternario Pleistoceno (Andesita-Basalto) Tm(A-B) Neógeno Mioceno (Andesita-Basalto) Tpl(ar-TR) Neógeno Plioceno (Arenisca-Toba riolítica) Qho(B) Cuaternario Holoceno (Basalto) Qho(lq) Cuaternario Holoceno (Lacustre) Qpt(PC) Cuaternario Pleistoceno (Piroclástico) To(R-TR) Paleógeno Oligoceno (Riolita-Toba riolítica).

paredón para transportarse al laboratorio junto con diversos restos fósiles. Los restos obtenidos se concentraron para su posterior identificación y estudio en el laboratorio de Paleontología de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). El material se comparó con especímenes de *M. americanum* reportados en Osborn (1942), Green (2002), Bravo-Cuevas *et al.* (2015) y Dooley Jr. *et al.* (2019).

3.2. Análisis de isótopos estables

Se realizó un estudio de marcadores biogeoquímicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en un molar m1 inferior izquierdo siguiendo la metodología propuesta por Koch *et al.* (1998) y Pérez-Crespo *et al.* (2009, 2012). La extracción del esmalte se realizó siguiendo a Marín-Leyva *et al.* (2021). Se usó un motor dental de bajas revoluciones con una fresa de punta de diamante. La muestra fue tomada de

la cúspide distolingual derecha entre los 20 y 40 mm de altura y 5 mm de ancho sobre la figura oclusal en dirección hacia la raíz (Koch *et al.*, 1998; Hoppe *et al.*, 2004). Se colectaron entre 5 y 10 miligramos de polvo de esmalte y fue depositado en viales de microcentrífuga de 2 ml.

La preparación carbonatada del esmalte dental se hizo siguiendo la propuesta del “Stable Isotopes Laboratory Earth and Planetary Sciences” de la Universidad de California Santa Cruz que se menciona a continuación: entre 5 y 10 mg de esmalte dental fueron tratados con 30% de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) por 24 horas. Las muestras se lavaron 5 veces en H_2O (Milli-Q) y se sumergieron por 24 horas en una solución buffer de 1 M de ácido acético (CH_3COOH) y acetato de calcio $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ con un pH de 5. Posteriormente se lavó con agua (Milli-Q) 5 veces, el sólido resultante fue liofilizado a -40°C y presurizado a 25×10^{-3} Mbar por 24 h.

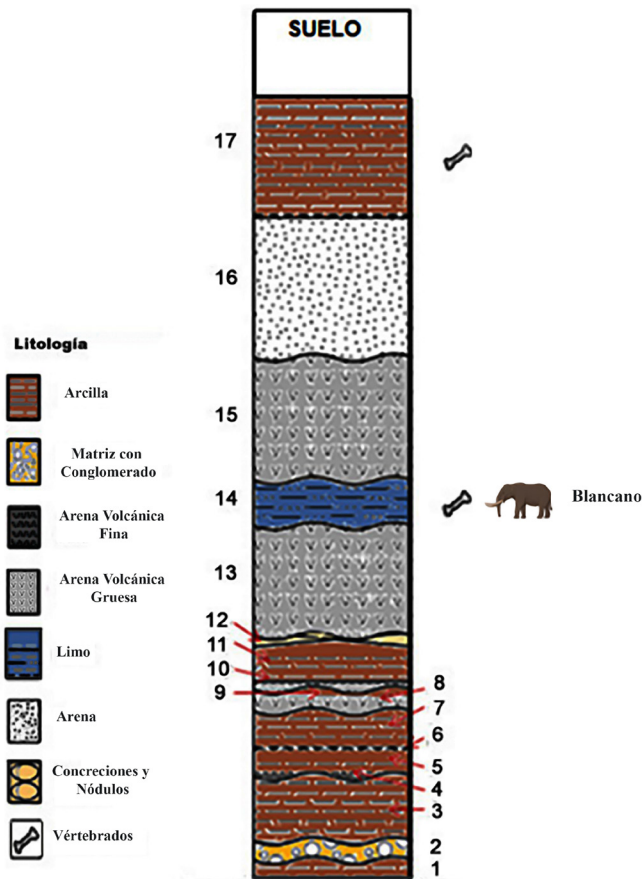


Figura 2. Columna estratigráfica de Santa Fe del Río. Estrato fosilífero del Blancano indicado por *M. americanum*.

La muestra fue analizada para conocer la proporción de isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ por medio de un biodigestor, usando un vial individual Thermo Scientific Kiel IV interfaseado con un espectrómetro de masas de relación isotópica (IRMS) Thermo Scientific MAT-253 de entrada dual. Durante la secuencia de ejecución, se utiliza un estándar de calibrado interno Carrera Marble (CM, $\delta^{13}\text{C} = 2.05 \text{ ‰}$ y $\delta^{18}\text{O} = -1.91 \text{ ‰}$) para corregir los datos de la escala interna. Después, se utilizan los estándares NBS-18 ($\delta^{13}\text{C} = -5.02 \text{ ‰}$ y $\delta^{18}\text{O} = -23.19 \text{ ‰}$), Carrera Marble (CM, $\delta^{13}\text{C} = 2.05 \text{ ‰}$ y $\delta^{18}\text{O} = -1.91 \text{ ‰}$), y Atlantis II ($\delta^{13}\text{C} = 1.02 \text{ ‰}$ y $\delta^{18}\text{O} = -3.35 \text{ ‰}$) para corregir el efecto de estiramiento y escala de la fuente. Los valores de delta corregidos se expresan en relación con los estándares internacionales VPDB (Vienna PeeDee Belenmite) para el $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{18}\text{O}$. La precisión a largo plazo del estándar interno es normalmente mejor que 0.03 permil $\delta^{13}\text{C}$ y 0.06 permil $\delta^{13}\text{C}$ (1s).

Los valores de isótopos de carbono se utilizaron para inferir la dieta, uso de hábitat y el ambiente de la muestra de *M. americanum* considerando la categorización propuesta por Domingo et al. (2013) (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de dieta y tipo de hábitat propuestas por Domingo et al., 2013 para el Pleistoceno.

Dieta	Hábitat	Valores $\delta^{13}\text{C}$
C_3	Bosque de dosel cerrado	< -14.5
C_3	Bosque méxico (humedad moderada)	$-14.5 \text{ a } -9.5$
C_3	Bosque xérico (humedad baja)	$-9.5 \text{ a } -6.5$
C_3/C_4	Pradera C_3/C_4	$-6.5 \text{ a } -1.5$
C_4	Pradera C_4	> -1.5

Para estimar el equivalente moderno (Equ.mod) de su composición dietética se siguió a Kohn y McKay (2010) y Domingo et al. (2013) usando la siguiente ecuación:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta; Equ.mod}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{hojas}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{atm.modCO}_2} - \delta^{13}\text{C}_{\text{atm.antCO}_2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En el que: $\delta^{13}\text{C}_{\text{hojas}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{diente}} - 14.1 \text{ ‰}$ (enriquecimiento de dieta de bioapatita Cerling y Harris 1999), $\delta^{13}\text{C}_{\text{atm.modCO}_2} = -8 \text{ ‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{atm.antCO}_2} = -6.5 \text{ ‰}$ (Tippie et al., 2010).

Para calcular la temperatura media anual en grados Celsius los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ VPDB fueron convertidos a VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) usando la fórmula de Faure (1977):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3} \text{ VSMOW} = 1.030901 * \delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3} \text{ VPDB} + 30.91 \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Posteriormente los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ (VSMOW) se convirtieron a valores equivalentes de $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (VSMOW) siguiendo a Iacumin et al. (1996):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3} \text{ VSMOW} - 33.63/0.998 \quad (\text{Ecuación 3}).$$

Finalmente, de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ VSMOW se obtuvo la temperatura media anual (TMA) en grados Celsius. Se usó la ecuación de Rozanski et al. (1993):

$$\text{TMA } (^{\circ}\text{C}) = \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ VSMOW} + 12.68/0.36 \quad (\text{R}^2 = 0.72) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Los valores de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ del ejemplar en estudio se compararon con individuos de *M. americanum* de América del Norte (Tabla 2) usando un gráfico bivariante.

4. Resultados

4.1. Paleontología sistemática

Clase: Mammalia (Linnaeus, 1758)
Orden: Proboscidea (Illiger, 1811)

Tabla 2. Valores de isótopos estables de *M. americanum* de Santa Fe del Río comparados con distintas localidades de América del Norte.

País	Número de Catálogo	Valores de $\delta^{13}\text{C}$	Valores de $\delta^{18}\text{O}$	Localidad	Edad	NALMA	Referencia
Sta. Fe del Río	UM 2025	-6.11 ‰	-2.67 ‰	Santa Fe del Río	Plioceno	Blancano	En este estudio
México	UAHMP-311	-11.87 ‰	-4.44 ‰	Hidalgo	Pleistoceno	Rancholabreano	Bravo-Cuevas <i>et al.</i> (2015).
	UAHMP-311	-8.25 ‰	-4.18 ‰	Hidalgo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.5 ‰	-4.5 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	Pérez-Crespo <i>et al.</i> (2019).
	Indet.	-8.7 ‰	-3.9 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-7.2 ‰	-4.7 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.2 ‰	-4.6 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9 ‰	-4.9 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9 ‰	-4.9 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.5 ‰	-4.6 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.5 ‰	-5.6 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
Canadá	ON3	-9.8 ‰	-5.4 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	Metcalfe <i>et al.</i> (2013).
	ON4	-11.3 ‰	-10.6 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON7	-11.2 ‰	-12.2 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON9	-10.1 ‰	-9.5 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON16a	-11.3 ‰	-15.4 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON5a	-10.5 ‰	-11.1 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON3	-10.9 ‰	-9.3 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
EUA	NY3	-11.8 ‰	-10.6 ‰	Nueva York	Pleistoceno	Rancholabreano	
	NY4	-11.3 ‰	-10.0 ‰	Nueva York	Pleistoceno	Rancholabreano	
	* N=44	-11.2 ‰	-1.03 ‰	Florida	Pleistoceno	Rancholabreano	Pérez-Crespo <i>et al.</i> (2016).

N= número de muestra.

*Nota: Los valores de isótopos estables pertenecen a 44 ejemplares de distintas localidades de Florida en Estados Unidos de América mencionados en Pérez-Crespo *et al.*, 2016.

Familia: Mammutidae (Hay, 1922)
 Género: *Mammut* (Blumenbach, 1799)

Mammut americanum (Kerr, 1792)
 Figura 3

Sinonimias:

Mastodon americanus (Kerr, 1792) en Osborn 1942 p. 168 lám. 113, p. 169 lám. 114.
Elephas americanus (Kerr, 1792) en Osborn 1942 p. 168 (sin figura).
Mammut ohioticum (Blumenbach, 1799) en Osborn 1942 p. 168 lám. 113, p. 169 lám. 114.
Mastodon giganteum (Cuvier, 1817) p. 232-234 (sin figura).
Tetracaulodon mastodontoideum (Godman, 1830) p. 478-475, lám. 17, lám 18
Trilophodon ohioticus (Leidy, 1868) p. 174-176 (sin figura).
Mammut progenium (Hay, 1914) en Osborn 1942 p. 172. lám 118.

Diagnosis: los molares de *M. americanum* Dp4, dp4, M1, m1, M2 y m2 son trilofodontos. Las crestas son progresivamente elevadas y lofodontas. El cóngulo es ligeramente más fuerte en la parte interna que en la externa. Cada lofo es bilobulado. Presenta un surco medial marcado que divide a lo largo los tres lofos (Osborn, 1942). Los molares superiores son generalmente más anchos buco-lingualmente y el cóngulo es más marcado que en los molares inferiores (Hillson, 2005). El dibujo oclusal de los lóbulos internos superiores y los lóbulos externos inferiores poseen una figura muy rudimentaria en forma de trébol en los molares (Osborn, 1942).

Descripción: molar inferior izquierdo m1 con un patrón oclusal simple, tiene un surco medial que va a lo largo de la muela. El molar es trilofodonto con crestas alineadas y elevadas, con un cóngulo marcado, cada lofo es bilobulado. El ancho es de 65.5 mm y el largo de 103.4 mm. Con parte de la raíz presente. El molar presenta un grado alto de desgaste.

Material examinado: UM 2025 (molar inferior izquierdo m1) (Figura 3).

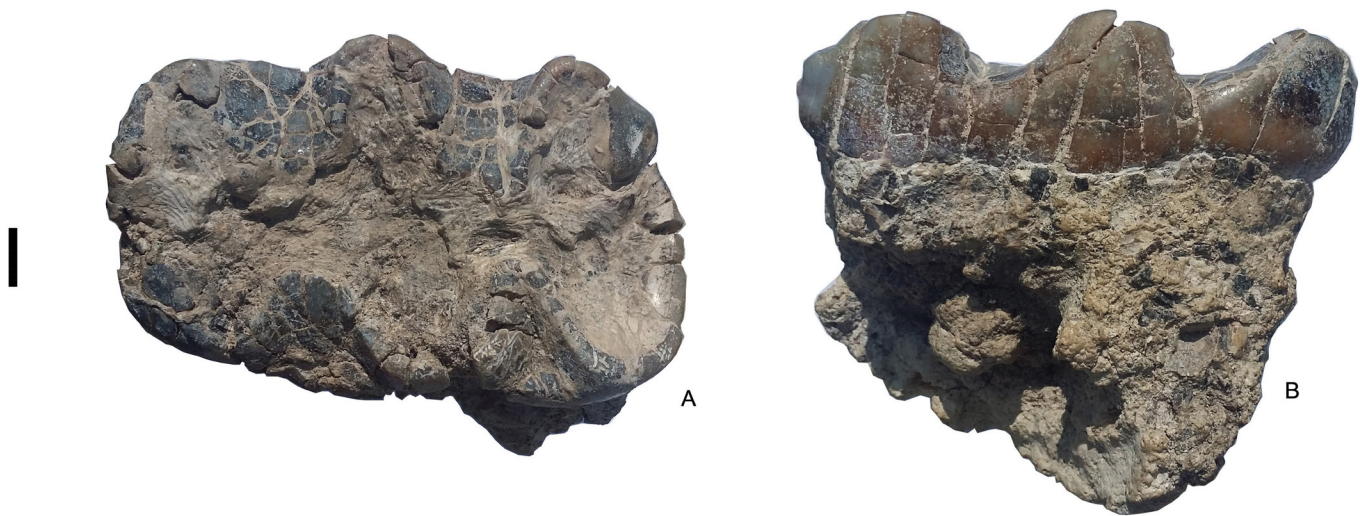


Figura 3. Molar m1 del ejemplar (UM 2025) de *Mammut americanum*. A) Vista oclusal. B) Vista labial. La escala representa 1 cm.

Distribución: Se conocen localidades desde Alaska hasta el centro de México (Green, 2002). En Estados Unidos se conocen seis localidades del Blancano en los estados de California (Jefferson, 1991), Florida (Webb y Wilkins, 1984), Nevada (Kelly, 1994), Washington (Gustafson, 1978) y dos para Kansas (Hibbard, 1944; Hibbard y Riggs, 1949). Para México se conocen 26 especímenes en 17 localidades sobre los 1500 m s. n. m., la mayoría se encuentran al este del país, los registros son del Rancholabreano e Irvingtoniano (Polaco *et al.*, 2001; Corona, 2013; Morales García y Bravo-Cuevas, 2014; Pérez-Crespo *et al.*, 2019).

Discusión: Es posible diferenciar los molares de un mastodonte de los de un mamut fácilmente, ya que los primeros poseen lofos muy marcados y *Mammuthus* tiene molares laminares y aplanados (Green, 2002). Aunque los gonfoterios también poseen lofos, estos son más numerosos y tienden a ser más redondeados con forma de crestas (Green, 2002), el cíngulo sobresale más allá de los lofos en los molares de gonfoterios, sobre todo los M2-m2 con los que pudiera llegar a confundirse cuando el desgaste es alto (Green, 2002). Los molares del mastodonte *Zygodon* son un poco más delgados y las coronas son más bajas, además poseen pequeñas cúspides accesorias que *M. americanum* no posee, la figura oclusal de los mastodontes tendió a hacerse más simple a lo largo de su trayecto evolutivo (Green, 2002).

Las medidas de *M. americanum* comparadas en el trabajo de Dooley Jr. *et al.* (2019) son consistentes con las del molar m1 inferior izquierdo de Santa Fe del Río.

4.2. Isótopos estables (Carbono y Oxígeno)

Los resultados obtenidos de isótopos estables en el ejemplar (UM 2025) de *Mammut americanum* son los siguientes: $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_3}$ VPDB (-6.11 ‰), $\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$ (-20.21 ‰) y $\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}$ (EQU.mod (-21.71 ‰) y para el $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ VPDB (-2.67

‰), $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ VSMOW (28.16 ‰), $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ VSMOW (-5.48 ‰) y TMA (19.99 °C).

Se observa también en la Figura 4 que los individuos de *M. americanum* del Rancholabreano muestran una dieta con un mayor consumo de plantas C_3 , habitando preferentemente bosques mésicos y xéricos, en relación con el individuo de Santa Fe del Río del Blancano que tiene una dieta mixta en un ambiente de pradera.

En el caso de los valores de oxígeno los individuos de Estados Unidos y Canadá muestran valores similares (Tabla 2), mientras que el ejemplar de Santa Fe del Río exhibe valores parecidos a los de otros *M. americanum* de México (Figura 4).

5. Discusión

5.1. Taxonomía

En el pasado se llegaron a considerar hasta 20 especies dentro del género *Mammut* debido a sutiles diferencias anatómicas en molares y defensas. Hoy se interpretan estas diferencias como variación normal dentro de la especie, ya sea entre machos y hembras o entre poblaciones viviendo en diversos hábitats y climas durante el Pleistoceno y Plioceno. Es por esto que las sinonimias pasaron a formar parte de la especie *Mammut americanum* y el género se volvió monoespecífico (Green, 2002, 2006). Sin embargo, se registró una especie nueva para Estados Unidos llamada *Mammut pacificus*, de molares más delgados que los de la especie *M. americanum*, siendo esta la segunda especie dentro del género, la cual se encuentra restringida para el Pleistoceno (Irvingtoniano y Rancholabreano). Los ejemplares pertenecientes al Blancano permanecieron dentro de la especie *M. americanum*, ya que se cree que la especie *M. pacificus* evolucionó después de esta NALMA (Dooley Jr. *et al.*, 2019). El ejemplar (UM

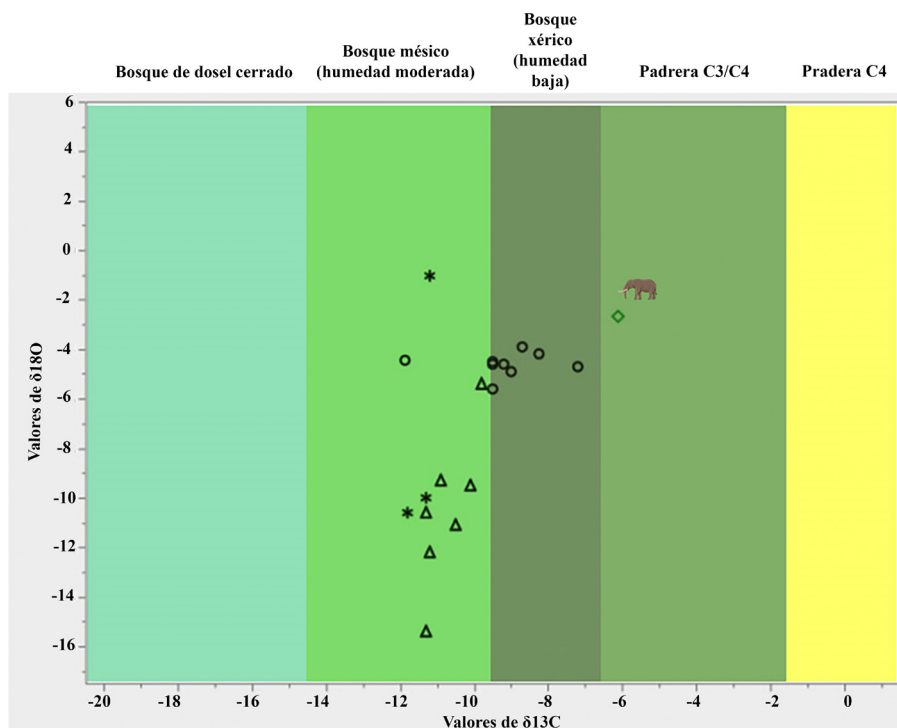


Figura 4. Valores de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en ejemplares de *M. americanum* de América del Norte. Los valores representados por triángulos negros pertenecen a muestras tomadas en Ontario, Canadá (Metcalf *et al.*, 2013). Los valores representados con asteriscos negros pertenecen a muestras tomadas de Nueva York, EUA (Metcalf *et al.*, 2013). Los valores representados con círculos negros pertenecen a muestras tomadas en México (Bravo-Cuevas *et al.*, 2015 y Pérez-Crespo *et al.*, 2019). El rombo verde representa el valor de Santa Fe del Río.

2025) tiene caracteres diagnósticos que corresponde con la descripción de un molar m1 izquierdo de la especie *Mammut americanum*, las medidas coinciden con las comparadas en Dooley Jr. *et al.* (2019).

5.2. Dieta y hábitat de *Mammut americanum*

Aunque aún no se sabe mucho sobre la paleoecología de *M. americanum*, este indica que era un animal que prefería hábitats boscosos y cerrados y tenía una dieta ramoneadora, sus preferencias ecológicas en cuanto a vegetación y disponibilidad de agua parecen ser estrictas. Se cree que su registro es escaso debido a los hábitos de vida que tenía, por eso no era muy frecuente que llegara a los sitios de depósito donde podría propiciarse su fosilización. Debido a que las poblaciones de *M. americanum* llegaban a permanecer aisladas, no es raro observar que divergieran morfológicamente en distintas ubicaciones geográficas, especialmente en su dentición. Estudios previos de isótopos estables, microdesgaste, contenido estomacal y asociados de polen y vegetación fósil han contribuido a corroborar que *M. americanum* tenía una dieta principalmente ramoneadora, sin embargo, también se ha evidenciado que, como en otros grupos de proboscidos, estos eran capaces de adaptarse a una dieta variable de ser necesario. Al parecer los mastodontes eran capaces de subsistir entre vegetación de bosque o de tundra, de acuerdo con

las condiciones que se le presentaran (Metcalf *et al.*, 2013; Smith y DeSantis, 2018, 2020).

Asimismo, existe evidencia de que algunas poblaciones de *M. americanum*, eran migratorias nómadas y se trasladaban grandes distancias en busca de recursos, incluso llegaban a consumir pequeñas cantidades de pastos, lo que puede justificar el cambio de hábitat y la dieta que llegaban a presentar durante su vida (Green, 2002; Green *et al.*, 2005; Hoppe y Koch, 2007 y Dooley Jr. *et al.*, 2019).

Los resultados de isótopos estables provenientes del ejemplar (UM 2025) corresponden a los de una dieta mixta y no ramoneadora, esto puede deberse a que el ejemplar posiblemente era migratorio y, al trasladarse de un sitio a otro, tuvo que adaptarse a un tipo de dieta pacedora en busca de alimento, como ha sido documentado en otros mastodontes de Norte América (Hoppe y Koch, 2007; Karpinski *et al.*, 2020 y Miller *et al.*, 2022). Los valores del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ también muestran que este mastodonte, durante la mineralización del diente analizado, habitaba en una pradera compuesta por plantas C_3 y C_4 (Domingo *et al.*, 2013) con una temperatura media anual de 19.9°C , lo cual podría corresponder a un tipo de clima seco semicálido en un ambiente actual en México, de acuerdo con García (2004). Cabe mencionar que durante el Blancano los ambientes de bosques cerrados empezaban a cambiar por ambientes de zonas abiertas, lo que pudo haber significado que los lugares

donde *M. americanum* se alimentaba cada vez estuvieran más alejados, obligándolo así a trasladarse.

Comparado con trabajos previos, es posible que las diferencias encontradas en el tipo de dieta y preferencia de hábitat en los mastodontes se deba a variaciones en las condiciones ambientales, posiblemente ligadas a múltiples factores como: geográficos (variación latitudinal y altitudinal), climático (periodo glacial o interglacial) y estacionales (vegetación), pero también a diferencias en la temporalidad (Rancholabreano, Irvingtoniano y Blancano), aunque estas hipótesis son difíciles de corroborar debido a que el tamaño de muestra es pequeño.

Sin embargo, es importante resaltar que los registros de esta especie son escasos para el Blancano en América del Norte, específicamente en México. Este sería el primer estudio en esta NALMA que se realiza para *M. americanum* de isótopos estables en el país. Todavía queda mucho por conocer acerca de su distribución y hábitos de vida para esta temporalidad, por lo cual, en un futuro se planea hacer análisis de isótopos estables y radiogénicos en muestras seriadas en este ejemplar para conocer la alimentación, selección de hábitat y patrones de movilidad en un periodo corto de tiempo de la vida del ejemplar (Metcalf y Longstaffe, 2014; Miller et al., 2022).

6. Conclusiones

Se registra la presencia de *M. americanum* para la localidad de Santa Fe del Río de temporalidad Blancano (Plio-Pleistoceno). Este es el registro más antiguo confirmado para esta especie en el país y es el primer registro de la especie que se tiene para el estado de Michoacán.

De acuerdo con los datos obtenidos de las muestras de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ (-6.11 ‰) y el $\delta_{18}\text{O}$ (-2.67 ‰), se concluye que el ejemplar de *M. americanum* de Santa Fe del Río tenía en el momento de la mineralización una dieta mixta en la que predominaban ambientes de pradera de plantas C_3 y C_4 y que la temperatura promedio anual era de 19.9°C aproximadamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Francisco Olivares Torres, dueño del terreno, por permitirnos ingresar al mismo. A Dulce Ríos y Samuel Ríos por su apoyo y hospitalidad en Santa Fe del Río cada vez que fuimos. A todos los alumnos, compañeros y amigos que nos apoyaron en las colectas de campo, sin ustedes no habría sido posible. Agradecemos también a la CIC de la UMSNH por apoyar al proyecto “Paleontología y geoquímica del yacimiento Santa Fe del Río Penjamillo Michoacán México implicaciones tafonómicas y paleoambientales”, así como a la Facultad de Biología por el uso de sus instalaciones y materiales. Al laboratorio de la Arqueozoología “M.

en C. Ticul Álvarez Solórzano” INAH. Finalmente agradecemos a dos revisores anónimos que nos ayudaron a mejorar la calidad del artículo.

Referencias

- Blumenbach, J. F. (1799). *Handbuch der Naturgeschichte* (6th ed.). Dietrich, Göttingen.
- Bravo-Cuevas, V. M., Morales-García, N. M., & Cabral-Perdomo, M. A. (2015). Description of mastodons (*Mammuth americanum*) from the late Pleistocene of southeastern Hidalgo, central Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 337–347. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222015000200015&lng=es&tlng=en.
- Corona, E. (2013). Localidades del Pleistoceno final en Morelos (México) y su importancia paleoambiental para el poblamiento temprano. *Archaeobios*, 7, 3–10.
- Cuvier, G. (1817). Le règne animal distribué d'après son organisation, pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux et d'introduction à l'anatomie comparée (No. QL45 C94). <https://doi.org/10.5962/bhl.title.41460>
- Dooley Jr., A. C., Scott, E., Green, J., Springer, K. B., Dooley, B. S., & Smith, G. J. (2019). *Mammuth pacificus* sp. nov., a newly recognized species of mastodon from the Pleistocene of western North America. *PeerJ*, 7, e6614. <https://doi.org/10.7717/peerj.6614>
- Domingo, L., Koch, P. L., Hernández Fernández, M., Fox, D. L., Domingo, M. S., & Alberdi, M. T. (2013). Late Neogene and early Quaternary paleoenvironmental and paleoclimatic conditions in Southwestern Europe: Isotopic Analyses on Mammalian Taxa. *PLoS One*, 8(5), e63739. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063739>
- Faure, G. (1977). Principles of isotope geology. United States: N. p.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* (5ª ed.). México: Instituto de Geografía, UNAM (cd con el programa Modifica).
- Graham, R. W. (2001). Late Quaternary biogeography and extinction of proboscideans in North America. In *The World of Elephants- International Congress*. 707–709.
- Green, L. J. (2002). Fossil species of Florida. *Florida Museum of Natural History*, 1.
- Green, J. L. (2006). Chronocline variation and sexual dimorphism in *Mammuth americanum* (American mastodon) from the Pleistocene of Florida. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, 46(2), 29–59.
- Green, J. L., Sempere, G. M., & Solounias, N. (2005). Reconstructing the palaeodiet of Florida *Mammuth americanum* via low-magnification stereomicroscopy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 223(1–2), 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.03.026>
- Godman, J. D. (1830). Description of a new genus and new species of extinct mammiferous quadruped. *Transactions of the American Philosophical Society*, 3, 478–485.
- Gustafson, E. P. (1978). The Vertebrate Faunas of the Pliocene Ringold Formation, South-Central Washington. *Bulletin of the Museum of Natural History, University of Oregon*, 23, 1–62
- Hay, O. P. (1914). New genus; *Rhabdobunua*. New Species: *Mammuth prognium*. *The Pleistocene Mammals of Iowa*. Iowa Geological Survey, 662 pp. <https://doi.org/10.17077/2160-5270.1139>
- Hay, O. P. (1922). Further observations on some extinct elephants. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 35, 97–102.
- Hibbard, C. (1944). Two New Mammals from the Middle Pliocene of Seward County, Kansas. *University of Kansas Science Bulletin*, 30(10), p. 107.
- Hibbard, C., & Riggs, E. S. (1949). Upper Pliocene Vertebrates from Keefe Canyon, Meade County, Kansas. *Geological Society America Bulletin*, 60(5), 829–860.

- Hillson, S. (2005). *Teeth* (2nd ed.). Institute of Archeology. Cambridge university press. 118 pp.
- Hoppe, K. A., & Koch, P. L. (2007). Reconstructing the Migration Patterns of Late Pleistocene Mammals from Northern Florida, USA. *Quaternary Research*, 68, 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2007.08.001>
- Hoppe, K. A., Amundson, R., Vavra, M., McClaran, M. P., & Anderson, D. L. (2004). Isotopic analysis of tooth enamel carbonate from modern North American feral horses: implications for paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203(3-4), 299–311. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00688-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00688-6)
- Iacumin, P., Bocherens, H., Mariotti, A., & Longinelli, A. (1996). An isotopic palaeoenvironmental study of human skeletal remains from the Nile Valley. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126(1-2), 15–30. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00067-3)
- Illiger, J. K. W. (1811). *Prodromus Systematis Mammalium et Avium: additis terminis zoographicis utriusque classis, eorumque versione germanica: Berlin, Berolini*. Sumptibus C. Salfeld, 301 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.106965>
- Jefferson, G. T. (1991). A catalogue of late Quaternary vertebrates from California. Part two, mammals. *Natural History Museum of Los Angeles County Technical Report*, 7, 1–129.
- Karpinski, E., Hackenberger, D., Zazula, G., Widga, C., Duggan, A. T., Golding, G. B., Kuch, M., Klunk, J., Jass, C. N., Groves, P., Druckenmiller, P., Schubert, B. W., Arroyo-Cabrales, J., Simpson, W. F., Hoganson, J. W., Fisher, D. C., Ho, S. Y. W., MacPhee, R. D. E., & Poinar, H. N. (2020). American Mastodon Mitochondrial Genomes Suggest Multiple Dispersal Events in Response to Pleistocene Climate Oscillations. *Nature communications*, 11, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17893-z>
- Kelly, T. S. (1994). *Two Pliocene (Blancan) vertebrate faunas from Douglas County, Nevada*. Museum of Paleontology, University of California.
- Kerr, R. (1792). *The animal kingdom or zoological system, of the celebrated Sir Charles Linnaeus, London*. Complete citation together with C. Linnaeus and J. F. Gmelin, in Osborn 1936, p. 782.
- Koch, P. L., Hoppe, K. A., & Webb, S. D. (1998). The isotopic ecology of late Pleistocene mammals in North America Part 1. Florida: *Chemical Geology*, 152, 119–138. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00101-6)
- Kohn, M. J., & McKay, M. (2010). Stable isotopes of fossil teeth corroborate key general circulation model predictions for the Last Glacial Maximum in North America. *Geophysical research letters*, 37(22), L22702. <https://doi.org/10.1029/2010GL045404>
- Kurtén, B., & Anderson, E. (1980). *The Pleistocene mammals of North America*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.2307/1380422>
- Lange, I. M. (2002). *Ice Age mammals of North America: Missoula, Montana*. Mountain Press Publishing Company.
- Leidy, J. (1868). Notice of some vertebrate remains from Harden Co., Texas. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 174–176.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per Regna Tria Naturae. Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, cum Characteribus Differentiis Synonymiis Locis*. Editio Decima, Reformata. Laurentii, Stockholm, Salvi, 1.
- Lucas, S. G., & Alvarado, G. E. (1991). El hallazgo más austral de un *Mammuth americanum*: el caso del mastodonte de San Pedro Sula, Honduras. *Revista Geológica de América Central*, 13, 85–89. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i13.13078>
- Marín-Leyva, A. H., Schaaf, P., Solís-Pichardo, G., Hernández-Treviño, T., García-Zepeda, M. L., Ponce-Saavedra, J., & Alberdi, M. T. (2021). Tracking origin, home range, and mobility of Late Pleistocene fossil horses from west-central Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 105, 102926. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102926>
- Metcalfe, J. Z., Longstaffe, F. J., & Hodgins, G. (2013). Proboscideans and paleoenvironments of the Pleistocene Great Lakes: landscape, vegetation, and stable isotopes. *Quaternary Science Reviews*, 76, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.07.004>
- Metcalfe, J. Z., & Longstaffe, F. J. (2014). Environmental change and seasonal behavior of mastodons in the Great Lakes region inferred from stable isotope analysis. *Quaternary Research*, 82(2), 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.07.002>
- Miller, J. H., Fisher, D. C., Crowley, B. E., Secord, R., & Konomi, B. A. (2022). Male Mastodon Landscape Use Changed with Maturation (Late Pleistocene, North America). *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 119, 1–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2118329119>
- Morales García, N., & Bravo Cuevas, V. (2014). Descripción de un *Mammuth americanum* (Proboscidea, Mammutidae) del Plioceno-Pleistoceno de Santiago de Anaya, Hidalgo, México. *II Simposio de Paleontología en el Sureste de México*.
- Osborn, H. F. (1942). Proboscidea. Vol. 1. *American Museum Press*, 165–189.
- Pérez-Crespo, V. A., Sánchez-Chillón, B., Arroyo-Cabrales, J., Alberdi, M. T., Polaco O. J., Santos-Moreno, A., Benammi M., Morales-Puente, P., & Cienfuegos-Alvarado, E. (2009). La dieta y el hábitat del mamut y los caballos del Pleistoceno tardío de El Cedral con base en isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(2), 347–355.
- Pérez-Crespo, V. A., Arroyo-Cabrales, J., Alva-Valdivia, L. M., Morales-Puente, P., & Cienfuegos-Alvarado, E. (2012). Datos isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de la fauna pleistocénica de la Laguna de las Cruces, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(2), 299–307. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742012000200001&lng=es&tlng=es
- Pérez-Crespo, V. A., Prado, J. L., Alberdi, M. T., Arroyo-Cabrales, J., & Johnson, E. (2016). Diet and habitat for six American Pleistocene proboscidean species using carbon and oxygen stable isotopes. *Ameghiniana*, 53(1), 39–51. <https://doi.org/10.5710/AMGH.02.06.2015.2842>
- Pérez-Crespo, V. A., Morales-Puente, P., Arroyo-Cabrales, J., & Ochoa-Castillo, P. (2019). Paleambiente en cuatro sitios mexicanos del Pleistoceno tardío con actividad humana inferidos a partir de la fauna. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(2), 343–358. <https://doi.org/10.18268/bsgm2019v71n2a7>
- Polaco, O. J., Arroyo-Cabrales, J., Corona-M, E., & López-Oliva, J. G. (2001). Octubre. The American Mastodon *Mammuth americanum* in Mexico. In *The World of Elephants-International Congress*, 237–242.
- Rozanski, K., Araguás-Araguás, L., & Gonfiantini, R. (1993). Isotopic patterns in modern global precipitation. *Climate change in continental isotopic records*, 78, 1–36. <https://doi.org/10.1029/GM078p0001>
- Saunders, J. J. (1996). North American Mammutidae. In Shoshani, J., Tassy, P. (eds.), *The Proboscidea: Evolution and Palaeoecology of Elephants and their Relatives*, Great Britain, Oxford University Press, 271–279.
- Simpson, G. G. (1930). Tertiary land mammals of Florida. *Bulletin of the AMNH*, 59(3), 149–211.
- Smith, G. J., & DeSantis, L. R. G. (2018). Dietary Ecology of Pleistocene Mammoths and Mastodons as Inferred from Dental Microwear Textures. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 492, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.11.024>
- Smith, G. J., & Desantis, L. R. G. (2020). Extinction of North American Cuvieronius (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) Driven by Dietary Resource Competition with Sympatric Mammoths and Mastodons. *Paleobiology*, 46, 41–57. <https://doi.org/10.1017/pab.2020.7>
- Tipple, B. J., Meyers, S. R., & Pagani, M. (2010). Carbon isotope ratio of Cenozoic CO_2 : A comparative evaluation of available geochemical proxies. *Paleoceanography*, 25(3). <https://doi.org/10.1029/2009PA001851>
- Webb, S. D., & Wilkins K. T. (1984). Historical biogeography of Florida Pleistocene mammals. In Genoways, H. H., & Dawson, M. R. (eds.), *Contributions in Quaternary Vertebrate Paleontology: a Volume in Memorial to John E. Guilday*. Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, Special Publication 8, 370–383.

Remains of a sea turtle from the Austin Formation (Upper Cretaceous, Campanian), Coahuila, Mexico

Restos de una tortuga marina de la Formación Austin (Cretácico Superior, Campaniano) Coahuila, México

López-Conde, Oliver A.^{1,2,*}; Chavarría-Arellano, María L.¹; Porras-Múzquiz, Hector³; Alvarado-Ortega, Jesús⁴

¹ Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Ciudad de México, México.

² Universidad del Valle de México, Campus Lomas Verdes, Paseo de las Aves 1, San Mateo Nopala, 53220, Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.

³ Museo Paleontológico de Múzquiz, Adolfo E. Romo 1701, La Cascada, 26343, Santa Rosa de Múzquiz, Melchor Múzquiz, Coahuila, México.

⁴ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, 04510, México.

* oliver_hockey@hotmail.com

Abstract

New remains of a sea turtle from the San Carlos quarry (Upper Cretaceous, Campanian), Austin Formation in the north of Coahuila state, Mexico, are reported. San Carlos quarry is composed of limestones and its Campanian age is based on the presence of the ammonites *Scaphites hippocrepis* and *Delawarella delawarensis*. In addition to the presence of turtles, this quarry also contained ammonites, bivalves, crabs, sea urchins, bony fish remains, and shark teeth. The study material is housed at Museo Paleontológico de Múzquiz. The preserved fossil elements correspond to postcranial elements, which present morphological characteristics that allowed them to be identified as belonging to a small-sized turtle related to Protostegidae. These new sea turtle remains expand the knowledge and distribution of Protostegidae along the Western Interior Seaway, where large and medium-sized sea turtles were distributed.

Keywords: Campanian, Jiménez, Protostegidae, San Carlos quarry, Upper Cretaceous, Western Interior Seaway.

Resumen

Nuevos restos de una tortuga marina de la cantera San Carlos (Cretácico Superior, Campaniano), Formación Austin en el norte del estado de Coahuila, México, son reportados. La cantera San Carlos está compuesta por calizas y su edad Campaniano se basa en la presencia de los ammonites *Scaphites hippocrepis* y *Delawarella delawarensis*. Además de la presencia de tortugas, en esta cantera se han recolectado ammonites, bivalvos, cangrejos, erizos, peces y dientes de tiburón. El material de estudio se encuentra resguardado en el Museo Paleontológico de Múzquiz. Los elementos fósiles conservados corresponden a elementos poscraneales, los cuales presentan características morfológicas que permitieron identificarlos como pertenecientes a una tortuga de tamaño pequeño relacionada a la familia Protostegidae. Estos nuevos restos de una tortuga marina permiten ampliar el conocimiento y la distribución de la familia Protostegidae a lo largo del mar interior de América del Norte, donde se distribuyeron tortugas marinas de tamaño grande y mediano.

Palabras clave: Campaniano, Jiménez, Protostegidae, Cantera San Carlos, Cretácico Superior, mar interior de América del Norte.

Cómo citar / How to cite: López-Conde, O. A., Chavarría-Arellano, M. L., Porras-Múzquiz, H. & Alvarado-Ortega J. (2024). Remains of a sea turtle from the Austin Formation (Upper Cretaceous, Campanian), Coahuila, Mexico. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 167–174.

Manuscript received: September 20, 2023.

Manuscript corrected: January 24, 2024.

Manuscript accepted: January 26, 2024.



1. Introduction

Protostegidae is a family of extinct of sea turtles, and its main representatives were distributed along the Western Interior Seaway (North America) during the Upper Cretaceous, their distribution is also known in Asia, Europe, Oceania, and South America; according to the fossil record its distribution could be cosmopolitan. This family of sea turtles is known from the Barremian to Maastrichtian (Zangerl, 1953; Collins, 1970; Hirayama, 1998; Kear and Lee, 2006; Sato *et al.*, 2012; Cadena and Parham, 2015; López-Conde *et al.*, 2019; Danilov *et al.*, 2022).

The Protostegidae turtles described so far and distributed along the Western Interior Seaway include: *Protostega gigas* (Cope, 1872), *Archelon ischyros* (Wieland, 1896), *Desmatochelys lowii* (Williston, 1894; Zangerl and Sloan, 1960; Nicholls, 1992; Elliott *et al.*, 1997; López-Conde *et al.*, 2019), *Chelosphargis advena* (Hay, 1908), *Calcarichelys gemma* (Zangerl, 1953), and *Terlinguachelys fischbecki* (Lehman and Tomlinson, 2004). Aside from these are the two records of *Atlantochelys mortoni* (Agassiz, 1849; Parris *et al.*, 2012) and *Neptunochelys tuberosa* (Wieland, 1900) which have traditionally been placed within Protostegidae.

Research focused on sea turtles from Mexico has been historically scarce (López-Conde and Alvarado-Ortega, 2017; López-Conde *et al.*, 2022). Until recently, the fossil record of Pan-Chelonioidea turtles in Mexico was limited to members of Cheloniidae. However, the recent description of the first turtle belonging to Protostegidae (*Desmatochelys* cf. *D. lowii*, López-Conde *et al.*, 2019) and the record of sea turtles from different Mexican localities (Carbot-Chanona *et al.*, 2020), indicate that the

richness of Pan-Chelonioidea turtles in the Mexican fossil record is still underestimated, because indeterminate specimens from other Cretaceous formations have not been studied in detail (*e.g.* Agua Nueva and Eagle Ford formations; Ifrim *et al.*, 2007; López-Conde *et al.*, 2018; 2020).

The specimens described here were collected in the San Carlos quarry, Austin Formation (Upper Cretaceous, Campanian), Coahuila State, Mexico (Figure 1), the same locality where *Desmatochelys* cf. *D. lowii* was previously collected, which is the first sea turtle formally described for Mexico.

The San Carlos quarry is important because it continues to provide new fossil material waiting to be formally described and with this information obtained, expand the knowledge of the fossil record for one of the southernmost localities in the Western Interior Seaway, giving a broader picture in the biogeographic knowledge of the different marine organisms of the Upper Cretaceous of North America.

2. Geological setting

The name Austin limestone was first applied by Shumard (1860) to describe a calcareous-clay rock unit that crops out in the surroundings area of Austin, Texas, United States of North America (Young, 1963). This unit was divided into four sub-units (Taff, 1892), from the bottom to the top: Lower Austin, Sandy layer, Aucella layer, and the last one, a calcareous marl limestone. In northwest Mexico, this unit has been informally divided into diverse members (Carrasco, 1963; Stinnesbeck *et al.*, 2005). In a stratigraphic study at Jimenez, Coahuila,

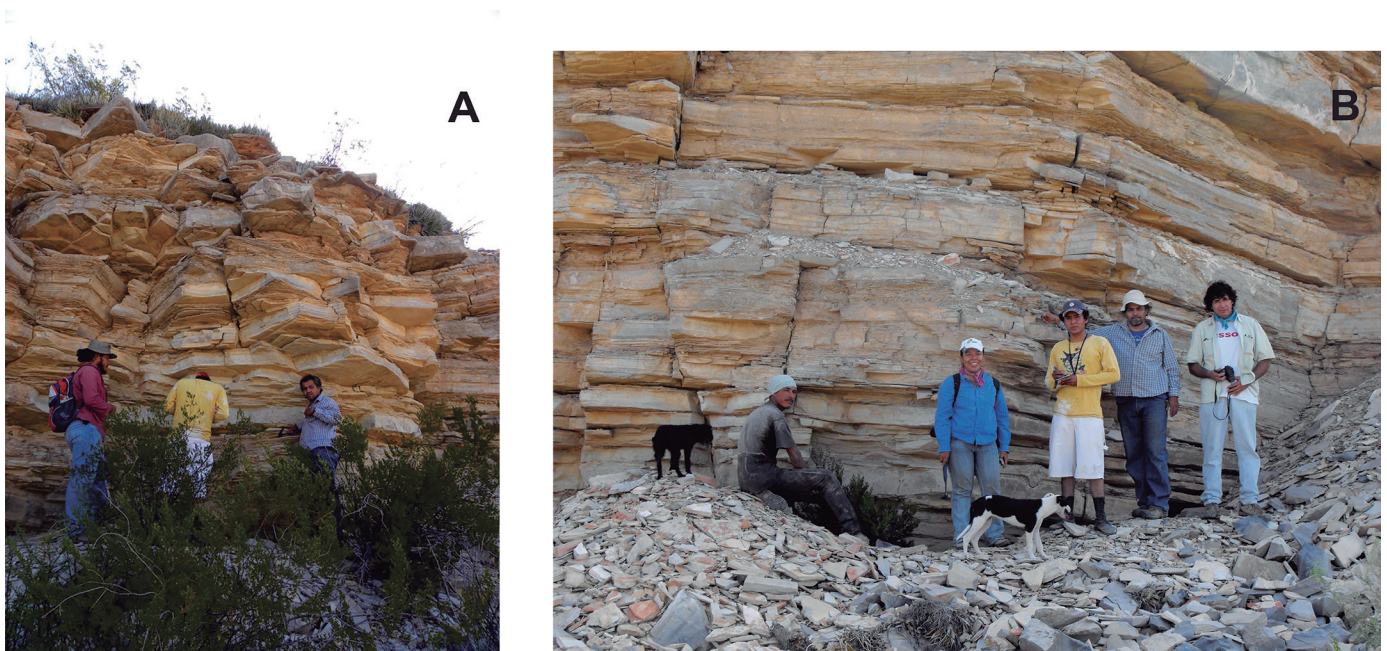


Figure 1: San Carlos quarry, Austin Formation (Upper Cretaceous, Campanian).

the Austin Formation was divided into two members: La Dessau, (yellowish-white chalk and marl) and La Tecolotes (limestone and marl), both belonging to the lower Campanian (Carrasco, 1969). The fossils (mainly ammonites, bivalves and crabs) were obtained from the Tecolotes member. Until now, there have only been a few studies on this unit, and there is not a consensus for these divisions in both Mexico and Texas. Most of the studies that have been conducted in northwest Mexico have referred this unit as undifferentiated and have also been cited as the Austin Formation.

The San Carlos quarry, near Jiménez town, Coahuila State, Mexico (Figure 2), is composed of calcareous marls and yellowish-white chalks, and the upper part is composed of gray limestone and yellowish-brown marls. These lithologies are disposed in decimeter layers. The thickness of limestone varies between 40 and 60 cm, chalks, and marls vary between 20 and 100 cm, while the thickness of lutites varies from a few centimeters to 40 cm. Studies by Reeside (1927) and Carrasco (1969) in Jiménez, Coahuila provide a Campanian age for this unit. The

age is determined based on the presence of ammonites *Scaphites hippocrepis* and *Delawarella delawarensis*. In addition to ammonites, the fossil record from the San Carlos Formation comprises many bony fish remains, shark teeth, bivalves, crabs, and sea urchins, among others (Silva-Martínez *et al.*, 2014).

3. Material and methods

The specimens described in this study are housed at Museo Paleontológico de Múzquiz, in Melchor Múzquiz, Coahuila, Mexico, under the catalog number MUZ-3916 and MUZ-3917. MUZ-3916 corresponds to several post-cranial elements (*e.g.*, humerus, ilium, and plastron) and MUZ-3917 corresponds to an isolated scapula. The rock was removed using pneumatic tools and dental needles and hardened by applying a layer of plexyglum dissolved in cyanoacrylate. The specimens were observed and measured directly, and photographs were obtained under different light conditions.

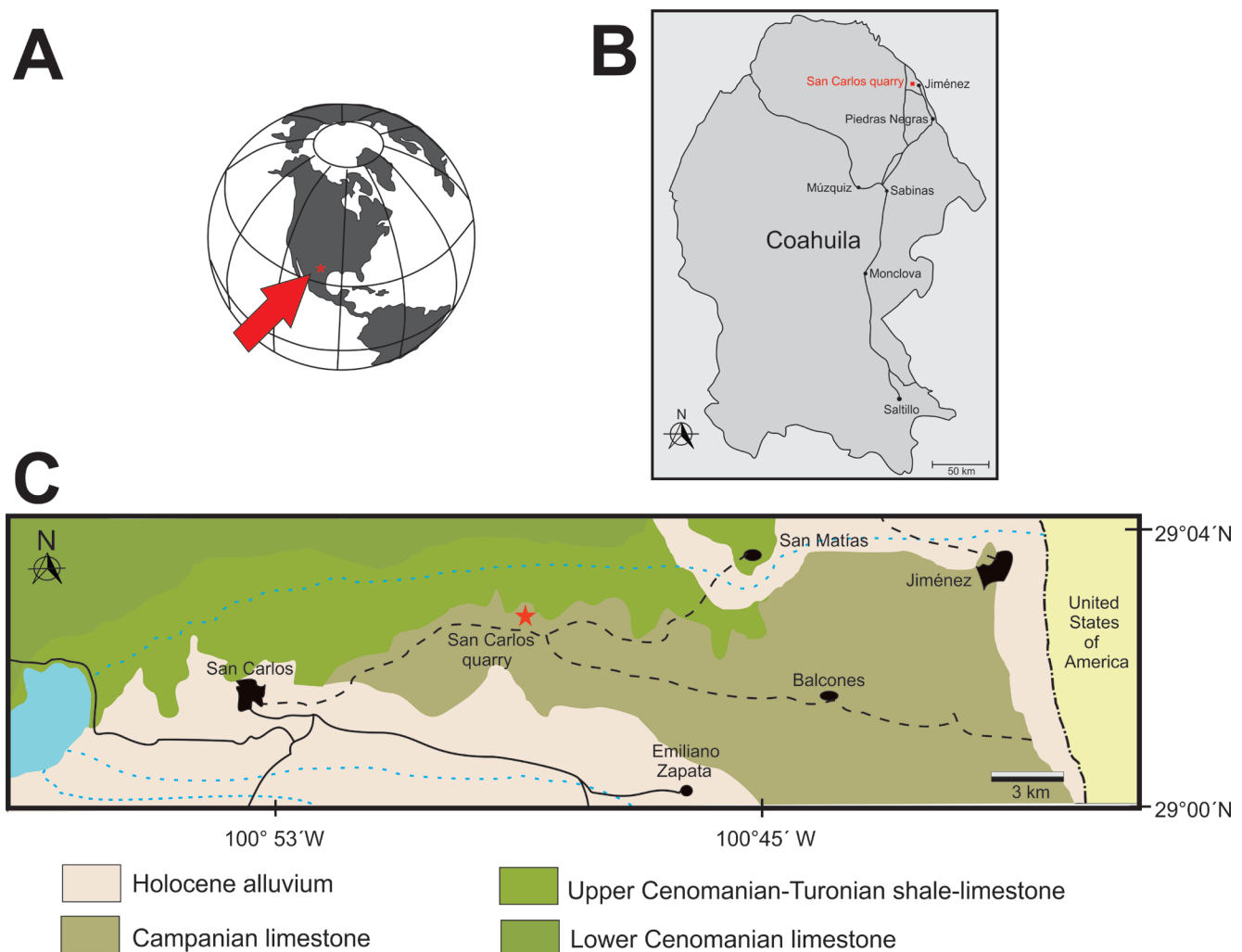


Figure 2: Map of the locality. A, general map of Mexico showing the state of Coahuila; B, close up of the state of Coahuila and location of Jiménez municipality and San Carlos quarry; C, Geological map of the north of Coahuila, indicating San Carlos quarry (modified from Servicio Geológico Mexicano, 2008).

Institutional abbreviations: MUZ, Museo Paleontológico de Múzquiz, Melchor Múzquiz, Coahuila, México.

Anatomical nomenclatures: We based our comparisons on the descriptions published by Nicholls *et al.* (1990); Hirayama (1998); Hooks (1998); Parham *et al.* (2003); Tong *et al.* (2006); López-Conde *et al.* (2019).

4. Systematic paleontology

Testudines Batsch, 1788

Cryptodira Cope, 1868

Pan-Chelonioidea Joyce, Parham & Gauthier, 2004

Protostegidae Cope, 1872

Protostegidae indet.

Referred specimens: MUZ-3916 (Figure 3), is a disarticulated specimen represented only by postcranial elements (*e.g.*, costal, humerus, ilium, ischium, peripheral, plastron, and scapula), and MUZ-3917 (Figure 4) corresponds to an isolated scapula.

Occurrence: San Carlos quarry, Jiménez town, Coahuila State, Mexico. Upper Cretaceous (Campanian), Austin Formation.

Description: MUZ-3916 is a specimen of a sea turtle composed of several postcranial elements. This specimen is disarticulated, with some bones displaced from their original positions. A detailed comparative study was carried out, which included the postcranial elements that have been identified for their description (Figure 3). On the other hand, MUZ-3917 corresponds to

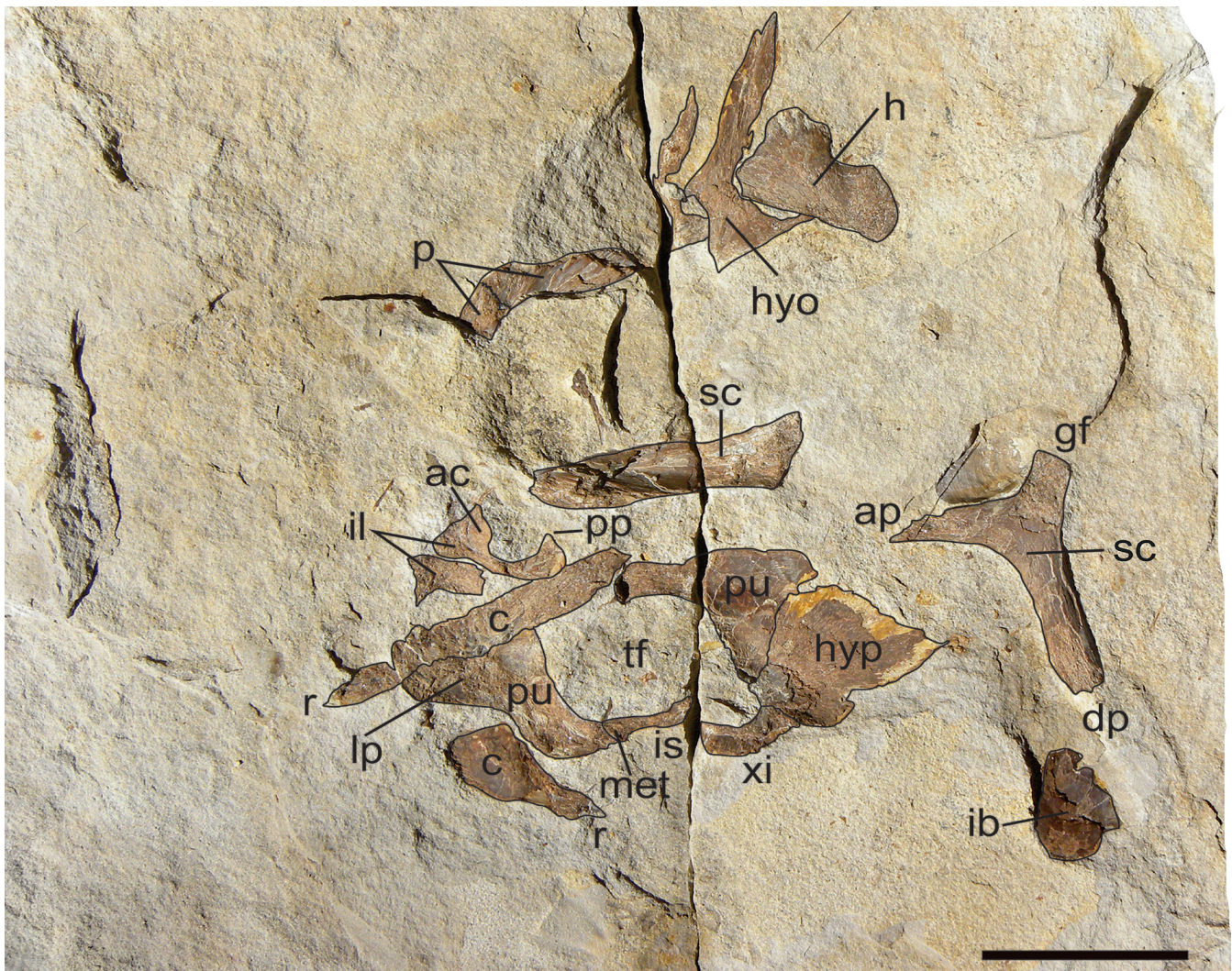


Figure 3: MUZ-3916 corresponding to postcranial elements of Protostegidae indeterminate from the Upper Cretaceous (Campanian), San Carlos quarry, Austin Formation, Coahuila, Mexico. ac, acetabulum; ap, acromion process; c, costal; dp, dorsal process; gf, glenoid fossa; h, humerus; hyo, hyoplastron; hyp, hypoplastron; ib, indeterminate bone; il, ilium; is, ischium; lp, lateral process; met, metischial process; p, peripheral; pp, posterior process; pu, pubis; r, rib; sc, scapula; tf, thyroid fenestra; xi, xiphiplastron. Scale bar equals 5 cm.

an isolated scapula (Figure 4). The following bones were identified from MUZ-3916 and MUZ-3917 (humerus, scapula, ilium, ischium, pubis, costals, peripherals, hyoplastron, hypoplastron, and xiphiplastron).

Humerus: This is a partial humerus with a maximum preserved length of 39 mm and its diaphysis is short and robust similar to other Protostegidae previously described (Figure 3). The sigmoid shape of the humerus was deformed due to the compaction of the bone during diagenesis. Due to its poor conservation and position, the humerus is not informative, preventing further description of this element.

Scapula: In MUZ-3916, both scapulae were preserved but the dorsal process was preserved in only one of them. The best-preserved scapula had a length of 58 mm. The acromion and the dorsal processes form an angle slightly greater than 90°. The distal part of the dorsal process is damaged (Figure 3). MUZ-3917 has a length of 65 mm. The acromion and the dorsal processes are distally damaged (Figure 4). The glenoid fossa was preserved in both scapulae.

The pelvic girdle is partially preserved and semi-articulated and is composed of the following pairs of bones:

Ilium: Both ilia are preserved, but one is in poor condition. The ilium is a slender and flat bone with a maximum preserved length of 31 mm. The articular section is expanded and includes flat surfaces to join the pubis and ischium. The posterior process is damaged (Figure 3).

Ischium: One ischium is poorly preserved; this bone looks thin. The ischium is nearly vertically oriented, preventing further description of this element (Figure 3).

Pubis: Two fragments from both pubes were preserved (Figure 3). On the left pubis, the lateral pubic process is flattened and shows a rounded profile that is also expanded. Between the two fragments of the pubis the thyroid fenestra is observed (Figure 3).

Costals: Two costals were preserved and both are associated with their respective ribs. The costals are irregular and fragmented and the body of the rib extends along the ventral surface. The ribs are wide and flat, and it is possible to observe the distal area of the rib that would be insert with the peripherals (Figure 3).

Peripherals: Two incomplete peripherals were preserved, articulated with sinuous sutures, and would be rectangular in shape as in other Protostegidae (Figure 3).

Hyoplastron: Two poorly preserved fragments are part of this specimen, despite its poor conservation, its characteristic shape is observed (Figure 3).

Hypoplastron: This bone is poorly preserved but is possible to observe its moderately digitate structure (Figure 3).

Xiphiplastron: It is articulated to the hypoplastron and is a bowed bone (Figure 3).

Remarks: The Family Protostegidae is an enigmatic group of Lower Cretaceous-Upper Cretaceous sea turtles with worldwide distribution and several representatives from different localities. This group had spectacular-sized sea turtles, such as *A. ischyros*, and *P. gigas*,

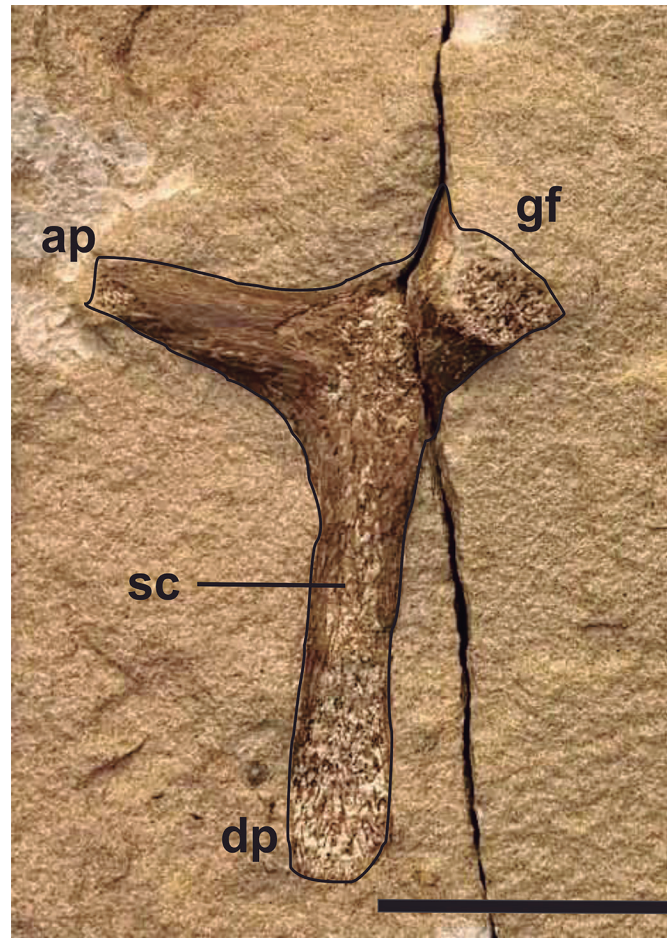


Figure 4: MUZ-3917 corresponds to a scapula of Protostegidae indeterminate from the Upper Cretaceous (Campanian), San Carlos quarry, Austin Formation, Coahuila, Mexico. ap, acromion process; dp, dorsal process; gf, glenoid fossa; sc, scapula. Scale bar equals 2.5 cm.

medium-sized turtles such as *D. lowii* and small-sized turtles such as *S. gaffneyi*. The greatest richness of Protostegidae turtles occurred along the Western Interior Seaway, in contrast to the possible origin of this group of sea reptiles in South America, with the record of *D. padillai* from the Paja Formation, Lower Cretaceous, Barrerian-Aptian (Cadena and Parham, 2015), and *S. gaffneyi*, from the Santana Formation, Lower Cretaceous, Aptian (Hirayama, 1998) (Figure 5).

Until now, the fossil record of sea turtles in Mexico is limited, especially that of Protostegidae, even with the recent reports of turtle findings in different localities in Mexico (e.g., Agua Nueva and Eagle Ford formations). These new reports have remained without any formal description, which has limited our knowledge of this group of sea turtles. Therefore, the formal reports that have been made in recent years are essential, such as the case of *Desmatochelys* cf. *D. lowii* (López-Conde *et al.*, 2019), which is currently considered the first record of a sea turtle (Protostegidae) for Mexico.

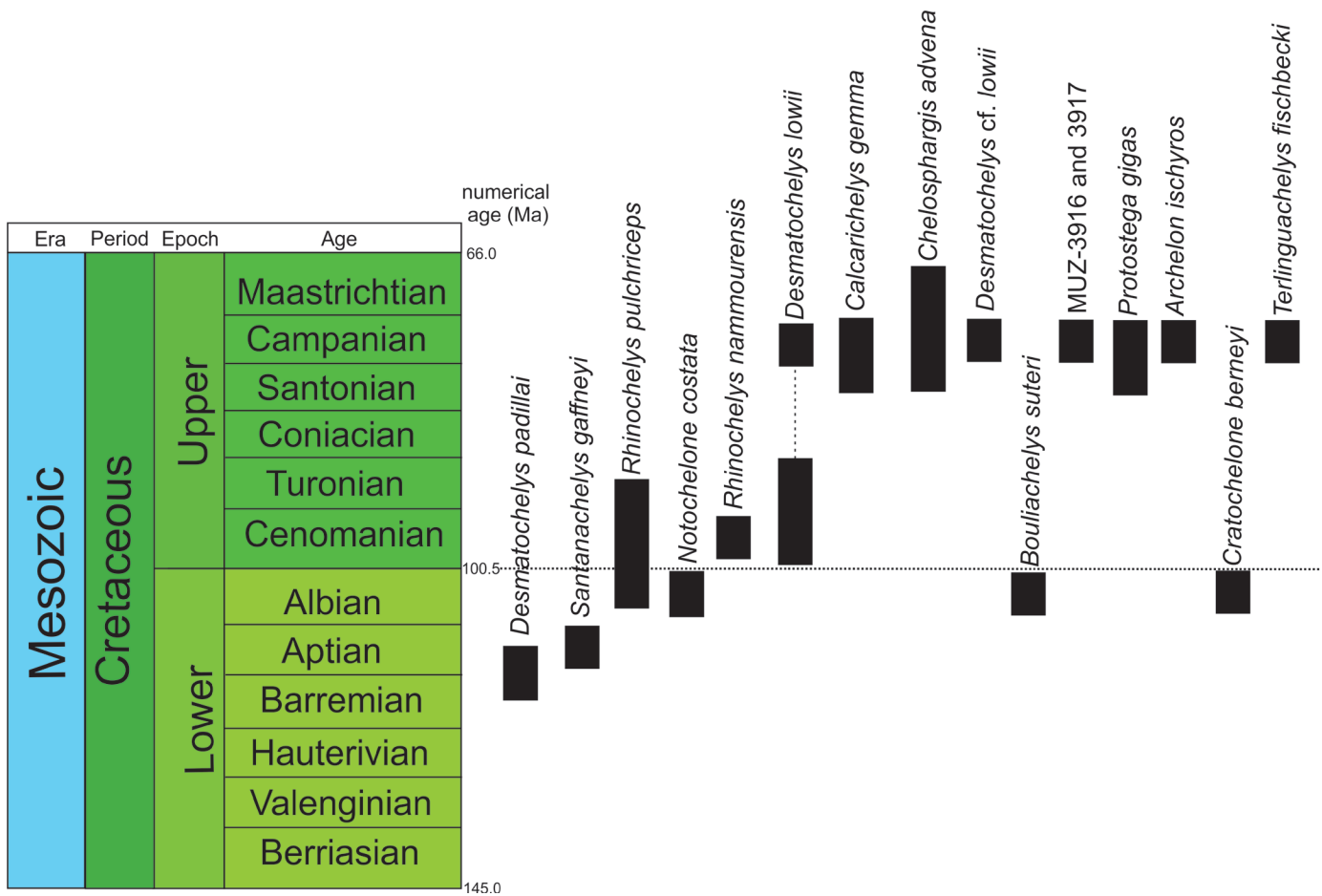


Figure 5: Geochronological range of members of the family Protostegidae present in the fossil record. Taxa are illustrated according to their time-range occurrence.

5. Discussion

Specimens MUZ-3916 and MUZ-3917 were collected near the occurrence of *Desmatochelys* cf. *D. lowii*. The morphological characteristics of the postcranial elements suggest that these specimens represent an indeterminate Protostegidae. This taxonomic assignment is supported by:

Peripherals serrate to strongly digitate on their interior borders (Wieland, 1909), the hyoplastron-hyoplastron moderately digitate to strongly digitate (Wieland, 1909), and the xiphiplastron is a bowed bone (Wieland, 1909). Therefore, the isolated fragments that have been collected should not be underestimated, as they provide important information that helps to understand the different taxonomic groups, in this case those of the sea turtles Protostegidae.

Although these specimens were collected in the Austin Formation where *Desmatochelys* cf. *D. lowii* was previously described it is not possible for us to assign it to this same taxon due to the absence of fully preserved specimens, and for now, the fossils should be considered as Protostegidae indeterminate, due to morphological characteristics of the postcranial elements.

6. Conclusions

The Family Protostegidae were sea turtles and are known from the Barremian to Maastrichtian. Its main representatives were distributed along the Western Interior Seaway and their distribution, according to the fossil record, could be cosmopolitan.

The paleobiogeographical importance of these new remains, along with *Desmatochelys* cf. *D. lowii*, is that they correspond to the southernmost records of Protostegidae along the Western Interior Seaway. Protostegidae have an important stratigraphic range from the Lower Cretaceous (Barremian) to the Upper Cretaceous (Maastrichtian) and their fossil remains have been collected from localities on most continents (Figure 5).

New turtles collected from the Eagle Ford Formation in the Venustiano Carranza quarry were preliminarily assigned to new Protostegidae turtle specimens. With the future description of these new specimens, new knowledge will be added about the anatomy, paleogeography, and the phylogenetic relationships of this enigmatic group of sea turtles.

Acknowledgements

We are grateful to the Museo Paleontológico de Múzquiz for the support in this research and for allowing us to study the specimen described in this work. In addition, the extraordinary work done by María Luisa in taking and editing photographs is appreciated. The first author thanks María Guadalupe Conde Gutierrez for their support. We would like to thank anonymous reviewers whose comments have greatly improved the manuscript. We are also thankful to MSc. Katherine Bramble for reviewing the English grammar of the original manuscript.

References

- Agassiz, L. (1849). Remarks on crocodiles of the green sand of New Jersey and on *Atlantochelys*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 4, 169.
- Batsch, A. J. (1788). *Versuch einer Anleitung, zur Kenntniss und Geschichte der Thiere und Mineralien*. Akademische Buchhandlung.
- Cadena, E. A., & Parham, J. F. (2015). Oldest known marine turtle? A new protostegid from the Lower Cretaceous of Colombia. *PaleoBios*, 32, 1–42. <https://doi.org/10.5070/P9321028615>
- Carbot-Chanona, G., Rivera-Velázquez, G., Jiménez-Hidalgo, E., & Reynoso, V. H. (2020). The fossil record of turtles and tortoises (Testudines) of Mexico, Central America and the Caribbean Islands, with comments on its taxonomy and paleobiogeography: a bibliographic review. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 37(3), 269–283. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2020.3.1581>
- Carrasco, B. V. (1963). Estratigrafía de la parte Superior del Grupo Austin en Jiménez Coahuila (México). *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 1(2), 18–25.
- Carrasco, B. V. (1969). Amonitas del Campaniano inferior del Norte de Coahuila. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 30(2), 144–151.
- Collins, J. I. (1970). The chelonian *Rhinochelys seeley* from the upper cretaceous of England and France. *Palaeontology*, 13, 355–378.
- Cope, E. D. (1868). On the origin of genera. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 20, 242–300.
- Cope, E. D. (1872). A description of the genus *Protostega*, a form of extinct Testudinata. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 12, 422–433.
- Danilov, I. G., Obratsova, E. M., Arkhangelsky, M. S., Ivanov, A. V., & Averianov, A. O. (2022). *Protostega gigas* and other sea turtles from the Campanian of Eastern Europe, Russia. *Cretaceous Research*, 135, 105196. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2022.105196>
- Elliott, D. K., Irby, G. V., & Hutchinson, J. H. (1997). *Desmatochelys lowi*, a marine turtle from the Upper Cretaceous. In J.M. Callaway, & E.M. Nicholls (Eds.), *Ancient Marine Reptiles* (243–258). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012155210-7/50014-4>
- Hay, O. (1908). *The fossil turtles of North America* (vol. 75). Carnegie Institution of Washington Publication.
- Hirayama, R. (1998). Oldest known sea turtle. *Nature*, 392(6677), 705–708. <https://doi.org/10.1038/33669>
- Hooks, G. E. (1998). Systematic revision of the Protostegidae, with a redescription of *Calcarichelys gemma* Zangerl, 1953. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18(1), 85–98. <https://doi.org/10.1080/02724634.1998.10011036>
- Ifrim, C., Stinnesbeck, W., & Frey, E. (2007). Upper Cretaceous (Cenomanian-Turonian and Turonian-Coniacian) open marine plattenkalk deposits in NE Mexico. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 245(1), 71–81. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2007/0245-0071>
- Joyce, W. G., Parham, J. F., & Gauthier, J. A. (2004). Developing a protocol for the conversion of rank-based taxon names to phylogenetically defined clades names, as exemplified by turtles. *Journal of Paleontology*, 78(5), 989–1013.
- Kear, B. P., & Lee, M. S. Y. (2006). A primitive protostegid from Australia and early sea turtle evolution. *Biology Letters*, 2(1), 116–119. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0406>
- Lehman, T. M., & Tomlinson, S. L. (2004). *Terlinguachelys fischbecki*, a new genus and species of sea turtle (Chelonioidea: Protostegidae) from the Upper Cretaceous of Texas. *Journal of Paleontology*, 78(6), 1163–1178. <http://www.jstor.org/stable/4094943>
- López-Conde, O. A., & Alvarado-Ortega, J. (2017). Estudio sobre la diversidad de tortugas del Mesozoico de México [Summary]. In *Libro de Resúmenes del XV Congreso Nacional de Paleontología de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, ed. J. A. Moreno Bedmar, 80.
- López-Conde, O. A., Sterli, J., Chavarría-Arellano, M. L., Alvarado-Ortega, J., & Porras-Múzquiz, H. (2018). The first records of Protostegidae in Mexico (Late Cretaceous) [Poster presentation]. In *78th Annual Meeting of Society of Vertebrate Paleontology*. Albuquerque, NM, USA.
- López-Conde, O. A., Sterli, J., Alvarado-Ortega, J., Chavarría-Arellano, M. L., & Porras-Múzquiz, H. (2019). The first record of *Desmatochelys* cf. *D. lowi* from the Late Cretaceous (Campanian) of Coahuila, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 94, 102204. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.020>
- López-Conde, O. A., Chavarría-Arellano, M. L., Porras-Múzquiz, H., & Alvarado-Ortega, J. (2020). Una nueva tortuga Protostegidae del Cretácico Tardío de Coahuila, México [Summary]. In *1er Congreso Colombiano de Paleontología*, 45.
- López-Conde, O. A., Chavarría-Arellano, M. L., Porras-Múzquiz, H., & Alvarado-Ortega, J. (2022). Restos de una tortuga marina provenientes de la Formación Austin (Cretácico Superior), Coahuila, México [Summary]. In *Memorias del XVII Congreso Nacional de Paleontología de la Sociedad Mexicana de Paleontología*. Hermosillo, Sonora, ed. J. A. Moreno Bedmar, 61.
- Nicholls, E. L., Tokaryk, T. T., & Hills, L. V. (1990). Cretaceous marine turtles from the Western Interior Seaway of Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 27(10), 1288–1298. <https://doi.org/10.1139/e90-138>
- Nicholls, E. (1992). Note on the occurrence of the marine turtle *Desmatochelys* (Reptilia: Chelonioidea) from the Upper Cretaceous of Vancouver Island. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(2), 377–380. <https://doi.org/10.1139/e92-033>
- Parham, J., Hilton, R. P., & Göhre, E. S. (2003). The oldest turtle from California and other new records of Late Cretaceous sea turtles from the Chico Formation. *PaleoBios*, 23(1), 24–28.
- Parris, D. C., Daeschler, E. B., Gilmore, E. S., Poole, J. C., & Pellegrini, R. A. (2012). Two halves make a holotype: two hundred years between discoveries. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 163, 85–89.
- Reeside, B. J. (1927). *The Cephalopods of the Eagle Sandstone and Related Formations in the Western Interior of the United States*. (Report-Professional Paper 151). United States Government Printed office. <https://doi.org/10.3133/pp151>
- Sato, T., Konishi, T., Hirayama, R., & Caldwell, M. W. (2012). A review of the Upper Cretaceous marine reptiles from Japan. *Cretaceous Research*, 37, 319–340. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2012.03.009>
- Servicio Geológico Mexicano (2008). *Cartas Geológico-Mineras: Carta Ciudad Acuña H14-7* [Mapa]. Escala 1:250,000.
- Shumard, B. F. (1860). Descriptions of new Cretaceous fossils from Texas. *Transactions of the Academy of Science of the Saint Louis*, 1, 590–610.
- Silva-Martínez, L. E., Blanco-Piñón, A., & León-González, J. A. (2014). Equinoideos del Cretácico Tardío del Norte de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 377–395.
- Stinnesbeck, W., Ifrim, C., Schmidt, H., Rindfleisch, A., Buchy, M.-C., Frey, E., González-González, A., Vega, F. J., Cavin, L., Keller, G., & Smith, K. T. (2005). A new lithographic limestone deposit in the Upper Cretaceous Austin Group at El Rosario, County of

- Múzquiz, Coahuila, northeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Biológicas*, 22(3), 401–418.
- Taff, B. J. (1892). Reports on the Cretaceous area north of the Colorado River. *Annual Report of the Geological survey of Texas*, 3, 267–379.
- Tong, H., Hirayama, R., Makhoul, E., & Escuillie, F. (2006). *Rhinochelys* (Cheloniidea: Protostegidae) from the Late Cretaceous (Cenomanian) of Nammoura, Lebanon. *Atti della Società italiana di scienze naturali e del Museo civico di storia naturale di Milano*, 147 (1), 113–138.
- Wieland, G. R. (1896). *Archelon ischyros*: a new gigantic cryptodire testudinate from the Fort Pierre Cretaceous of South Dakota. *American Journal of Science*, 2(12), 399–412.
- Wieland, G. R. (1900). Some Observations on Certain Well-Marked Stages in the Evolution of the Testudinate Humerus. *American Journal of Science*, 9(54), 413–424.
- Wieland, G. R. (1909). Revision of the Protostegidae. *The American Journal of Science*, 27(158), 101–130.
- Williston, S. M. (1894). *A new turtle from the Benton Cretaceous*. *Kansas University Quarterly*, 3, 5–18.
- Young, K. (1963). *Upper Cretaceous Ammonites from the Gulf Coast of the United States*. The University of Texas, Austin, Bureau of Economic Geology.
- Zangerl, R. (1953). The vertebrate fauna of the Selma Formation of Alabama. Part III. The turtles of the family Protostegidae. *Fieldiana Geology Memoirs*, 3, 59–133.
- Zangerl, R., & Sloan, R. E. (1960). A new specimen of *Desmatochelys lowi* (Williston), a primitive cheloniid sea turtle from the Cretaceous of South Dakota. *Fieldiana Geology*, 14, 7–40.

Roedores y lagomorfos blancanos (Plioceno tardío) del Lago de Chapala, Jalisco, México

Blancan rodents and lagomorphs (Late Pliocene) from Lake Chapala, Jalisco, Mexico

Vasconcelos Ginzo, Ricardo^{1,*}; Montellano Ballesteros, Marisol²

¹Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

*rickyvas@hotmail.com

Resumen

El Lago de Chapala, ubicado en el estado de Jalisco, es un sitio donde se han recuperado restos fósiles de varios grupos de vertebrados de edad plio-pleistocénica, entre ellos fósiles de roedores y lagomorfos. Se identificaron molares de los roedores cricétidos *Postcopemys chapalensis*, *Neotoma magnodonta*, *Sigmodon* sp. y *Sigmodon minor* y el lepórido *Hypolagus vetus* provenientes de la localidad denominada Chapala 1. Esta asociación faunística sugiere una edad blancana, corroborada por estudios anteriores de datación radiométrica de U-Pb, indicando una edad de 3.44 Ma (Plioceno tardío). En el caso de *Hypolagus vetus* es el primer registro de esta especie en la región de Chapala e incrementa su distribución durante el Plioceno tardío. La diversidad de taxa de micromamíferos presentes en Chapala 1 es moderada y se asemeja a la de asociaciones de otras localidades blancanas estadounidenses y mexicanas, resaltando la ausencia de geómidos y esciúridos. Esto se puede explicar por el esfuerzo de colecta, pero con más trabajos, esto podría corroborarse.

Palabras clave: Dientes, Diversidad, Lagomorpha, Plioceno, Rodentia.

Abstract

Fossil remains of Plio-Pleistocene age of several groups of vertebrates have been recovered in Lake Chapala, located in the state of Jalisco. Among the fossils recovered in the zone of Chapala, many belong to rodents and lagomorphs. Several molar teeth of the cricetid rodents *Postcopemys chapalensis*, *Neotoma magnodonta*, *Sigmodon* sp. and *Sigmodon minor* and lagomorphs *Hypolagus vetus* were identified in the locality called Chapala 1. This fauna association corresponds to the Blancan age (late Pliocene), corroborated by previous radiometric dating studies of U-Pb, which indicates an age of 3.44 Ma. It is the first record of *Hypolagus vetus* in Chapala, expanding its distribution during the late Pliocene. The diversity of taxa present in Chapala 1 is moderate and resembles that of associations from other localities found in Mexico and United States of America, which highlights the absence of geomids and sciurids. The lack of family diversity could be due to the collection effort, and upon further research it may be corroborated.

Key words: Teeth, Diversity, Lagomorphs, Pliocene, Rodents.

Cómo citar / How to cite: Vasconcelos Ginzo, R. & Montellano Ballesteros, M. (2024). Roedores y lagomorfos blancanos (Plioceno tardío) del Lago de Chapala, Jalisco, México. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 175–189.

Manuscript received: Enero 26, 2024.

Manuscript corrected: Junio 7, 2024.

Manuscript accepted: Junio 10, 2024.



1. INTRODUCCIÓN

El registro fósil de micromamíferos (roedores y lagomorfos) del Neógeno en México es escaso; la mayoría de las localidades en las que se ha reportado la presencia de sus restos, se ubican en el centro y norte del país (Wilson, 1949; Jacobs y Lindsay, 1981; Lindsay y Jacobs, 1985; Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2002). En los últimos años se han recuperado vestigios en localidades del sur del país, como en Oaxaca (Ferrusquía-Villafranca, 2003; Jiménez-Hidalgo *et al.*, 2014). El registro pleistocénico, es el más abundante, le sigue el que abarca desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno temprano, correspondiendo al Henfiliano y Blancano de las Edades de Mamíferos de América del Norte (NALMA por sus siglas en inglés) (Montellano-Ballesteros y Jiménez-Hidalgo, 2006).

El limitado registro fósil de los micromamíferos del Cenozoico ha repercutido en el poco entendimiento de la historia evolutiva y biogeográfica de estos en México (Montellano-Ballesteros y Jiménez-Hidalgo, 2006).

El presente trabajo está relacionado con la contribución de Méndez-Cárdenas (2009), quien recolectó una gran cantidad de dientes de micromamíferos en la localidad Chapala 1, Jalisco, pero una parte permaneció sin identificar. A raíz de este material inédito, se procedió a realizar una nueva colecta en el área, para incrementar la muestra fósil con el objetivo de identificar a los roedores y lagomorfos de la localidad de estudio e incrementar el conocimiento de la diversidad de mamíferos fósiles del centro de México, así como establecer las semejanzas y diferencias que presenta esta asociación con la de otras localidades de edad similar de América del Norte.

2. ANTECEDENTES

Los primeros registros publicados de micromamíferos provienen del estado de Chihuahua; Wilson (1949) quien reporta la presencia de tres especies de esciúridos en la localidad henfiliana (Mioceno tardío) Yepoméra: *Spermophilus pattersoni*, *S. matachicensis* y *Paenemarmota barbouri*. Posteriormente, Jacobs y Lindsay (1981) y Lindsay y Jacobs (1985) reportaron la presencia de otras especies de roedores de otras familias como los cricétidos *Calomys baskini*, *Prosigmodon chihuahensis*, *Prosigmodon oroscoi*, *Copemys valensis*; el geómido *Geomys minor* y el heterómido *Perognathus henryredfieldi*, y una especie de lagomorfo (*Notolagus velox*).

En Baja California Sur, Miller (1980) describe la fauna de la localidad blancana Las Tunas, donde registra el lagomorfo *Hypolagus vetus* y los roedores *Neotoma* sp. y *Ammospermophilus jeffriesi*.

En el estado de Guanajuato, en la localidad blancana Rancho Viejo, Miller y Carranza-Castañeda (1982, 1984) y Carranza-Castañeda y Miller (1988) mencionan la presencia de los lagomorfos *Pewelagus mexicanus*, *Hypolagus mexicanus* y *Paranotolagus complicatus*; de los esciúridos *Spermophilus* sp., *Paenemarmota barbouri* y

del capibara *Phugatherium dichroplax*. Miller y Carranza-Castañeda (1982) reportan los lagomorfos *Notolagus velox* e *Hypolagus* sp. de la localidad henfiliana Rancho El Ocote. Posteriormente, Carranza-Castañeda y Walton (1992) aluden a la presencia de los roedores cricétidos *Calomys elachys*, *Prosigmodon ferrusquiae* y *Neotoma sawrockensis*, entre otros en la localidad.

En la localidad blancana La Goleta, Michoacán, se ha reportado la presencia de roedores (*Cynomys* sp., *Spermophilus* sp., *Paenemarmota barbouri*, y *Neotoma* sp.) (Miller y Carranza-Castañeda, 1984; Carranza-Castañeda, 2013).

En la localidad henfiliana La Plegaria, Hidalgo, Guzmán-Gómez (2014) reporta la presencia de diversos roedores cricétidos, geómidos, heterómidos y esciúridos como *Calomys baskini*, *Pliosacomys* sp., *Perognathoides* sp., *Sciurus* sp., entre otros, además de la especie de lagomorfo, *Hypolagus vetus*.

En el estado de Jalisco, el Lago de Chapala cuenta con un registro amplio de fósiles de vertebrados, desde peces, reptiles, aves hasta mamíferos (Downs, 1958; Barbour, 1973; Smith *et al.*, 1975; Rufolo, 1998; Lucas, 2008; Rincón *et al.*, 2016). Los restos fósiles recuperados del lago y de sus alrededores pertenecen a taxas que existieron durante el Plioceno y el Pleistoceno, abarcando desde Blancano hasta el Rancholabreano (Lucas 2008; Rincón *et al.*, 2016). Dentro de los roedores y lagomorfos reportados se encuentran los cricétidos *Sigmodon* sp. y *Neotoma* sp., el capibara *Neochoerus aesopi* y el lepórido *Lepus* sp. (Rufolo, 1998; Lucas, 2008). Méndez-Cárdenas (2009) registra la presencia de cricétidos de la localidad blancana Chapala 1, Jalisco: *Sigmodon minor/minor*, *Sigmodon minor/medius*, además de dos especies indeterminadas de *Sigmodon* y *Neotoma* cf. *N. sawrockensis*. Recientemente, Rincón y colaboradores (2016) describieron una nueva especie de cricétido, *Postcopemys chapalensis*, proveniente de la misma localidad Chapala 1.

Carranza-Castañeda (2016) describe los restos de un capibara perteneciente al género *Neochoerus occidentalis* en Tecolotlán, Jalisco. Pacheco-Castro y colaboradores (2019) en la localidad henfiliana Jalteco, Jalisco, presentan una nueva especie de sigmodóntido *Prosigmodon tecolotum*.

3. UBICACIÓN

El Lago de Chapala, ubicado al sur de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, se encuentra entre las coordenadas 20°07' y 20°21' N y 102°45.75' y 102°25.5' W. Es el cuerpo de agua dulce más grande de México, con una longitud de 70 km, un ancho de 20 km y una profundidad promedio de 10 m (Lucas, 2008; Rincón *et al.*, 2016), en la Figura 1 se muestra la ubicación del lago.

Durante el Plioceno-Pleistoceno el Lago Chapala formaba parte de un lago de mayor extensión, referido como Lago Jalisco (Clements, 1963; Mitchell, 1965). Cerca de la región de Chapala han propuesto la presencia de un *rifting* continental activo formado por la

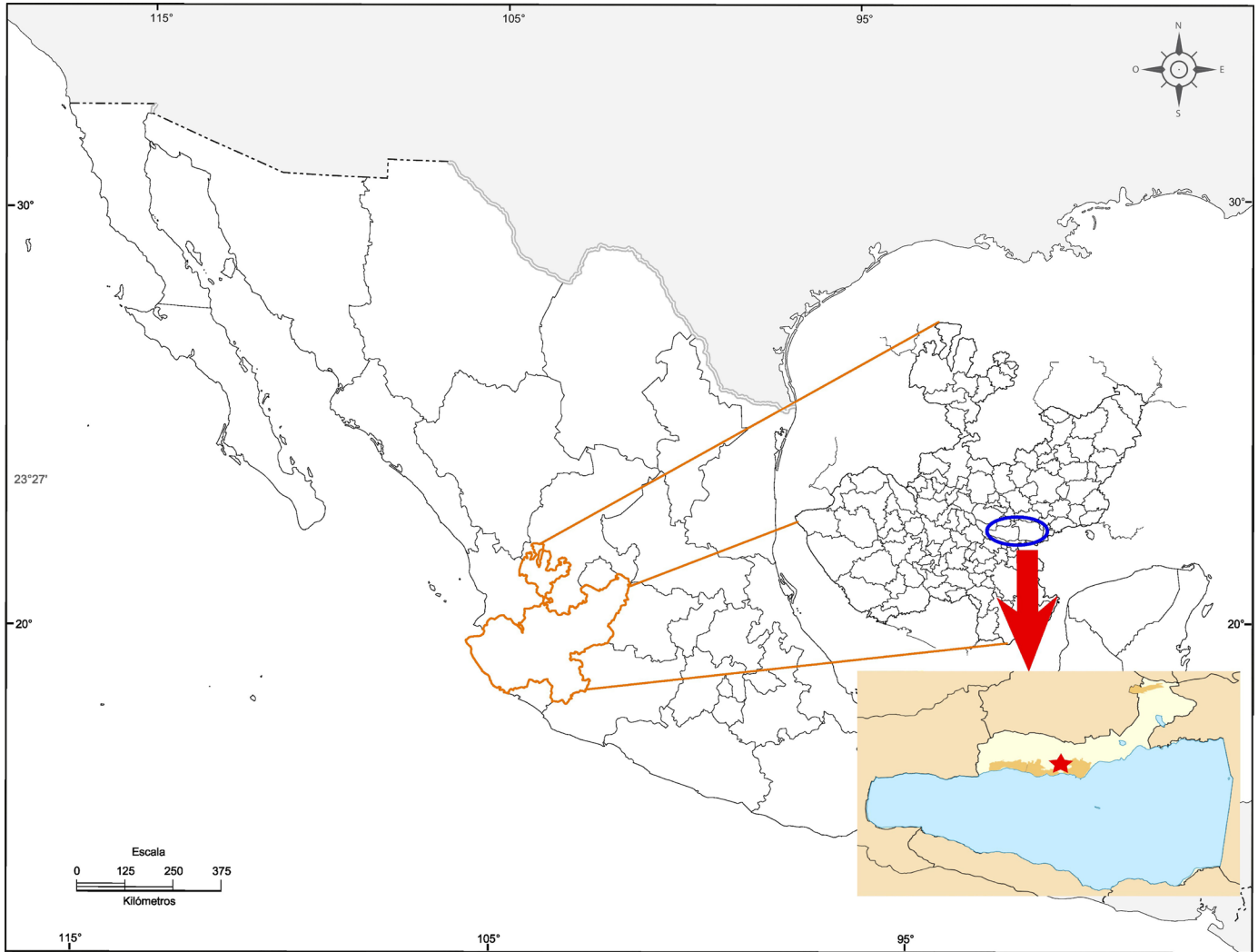


Figura 1. Ubicación de la zona norte del lago de Chapala, marcando el área de estudio con una estrella.

ocurrencia triple de los *rifts* de Colima, Tepic-Zacoalco y Chapala (Rosas-Elguera *et al.*, 1996).

Se hipotetiza que el rift de Chapala se formó durante el Mioceno en respuesta a los eventos de subducción de las placas de Cocos y Rivera con la placa norteamericana (Urrutia-Fucugauchi y Rosas-Elguera, 1994). El rift de Chapala limita al norte con el sistema de fallas Ajijic y fallas relacionadas; al occidente limita con el semi-graben de Zacoalco y al oriente con una serie de volcanes plio-cuaternarios (Rosas-Elguera *et al.*, 1996).

Los estratos de la región norte de la cuenca están compuestos por clastos volcánicos, depósitos fluviales y lacustres intercalados con una capa de ceniza volcánica, que en conjunto conforman la Formación Chapala. Las rocas de la formación se encuentran sobre una capa de roca volcánica andesítica de una edad de 3.4 ± 0.2

millones de años. También presenta estratos más recientes del Pleistoceno, aunque la datación no está del todo clara, debido a que los estratos más recientes se encuentran sumergidos en el lago (Delgado-Granados *et al.*, 1995; Rosas-Elguera *et al.*, 1996; Ferrari *et al.*, 2000).

La localidad Chapala 1 está ubicada en la carretera Chapala-Ajijic, en las coordenadas $20^{\circ}18'45''$ N y $103^{\circ}12'2''$ W, a 1650 msnm, en la orilla norte del lago. Méndez Cárdenas (2009) levantó una sección estratigráfica y recolectó fósiles de cinco niveles, realizó estudios de paleomagnetismo y obtuvo una datación radiométrica de un estrato de ceniza félsica obteniendo una edad de U-Pb de 3.44 ± 0.38 Ma que corresponde a Plioceno tardío. Identificó cinco zonas magnéticas donde su base se correlaciona con el crón C3n.1n (4.493 Ma) y su límite con el crón C2An.3n (3.330 Ma).

4. SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

La secuencia estratigráfica de la localidad es monótona, conformándose principalmente de estratos de arcilla de color café, con la presencia esporádica de lentes de arena; el espesor de estos estratos varía de los 70 cm a los 200 cm (Méndez-Cárdenas, 2009).

La sección tiene una longitud total de 33.6 m y un ancho de 10.78 m en la parte expuesta. En el estudio de Méndez-Cárdenas (2009), la sección se había medido en aproximadamente 80 m de largo. La pérdida del 58% del afloramiento, se debe a la remodelación de la carretera.

En la Figura 2 se muestra la columna estratigráfica de la localidad y se señalan los estratos donde se obtuvo el material. Cerca de la base, se ubica un estrato masivo de arenas de más de 3 m de espesor, en el cual se descubrieron fósiles de peces y mamíferos, denominado estrato M1.

Por debajo del estrato de ceniza datada en 3.44 ± 0.38 Ma, se encuentran dos estratos de limos, en los cuales se halló una gran abundancia de fósiles de peces y en el estrato inferior de limo se recolectaron dientes de conejo y roedor, denominado estrato M2.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

La colecta de sedimento se realizó en dos estratos denominados M1 y M2 (Figura 2). La recolecta del sedimento se realizó con el uso de martillos geológicos, palas y picahielos, obteniendo un total de aproximadamente 450 kilogramos. Parte del sedimento recolectado fue tamizado en la misma localidad, con el fin de llevar la menor cantidad de partículas gruesas, facilitando con ello el posterior trabajo de laboratorio.

En el Laboratorio de Paleontología de Vertebrados, del Instituto de Geología de la UNAM, se tamizó el sedimento para remover las partículas de mayor tamaño. La mayor parte de este proceso se hizo en seco, utilizando dos tamices, uno de apertura gruesa, de 0.3 cm, y uno de apertura fina, de 0.1 cm.

El sedimento cernido se revisó utilizando un microscopio estereoscópico, para discernir los fósiles que se encontraran entre los granos de sedimento. El material fósil recuperado, se separaba y se colocaba en recipientes rotulados, marcando el nivel del que provenía.

Para el estudio se adjuntaron molares sin describir y previamente recolectados por Méndez-Cárdenas, de los niveles F1, F2, F3, F4 y F5.

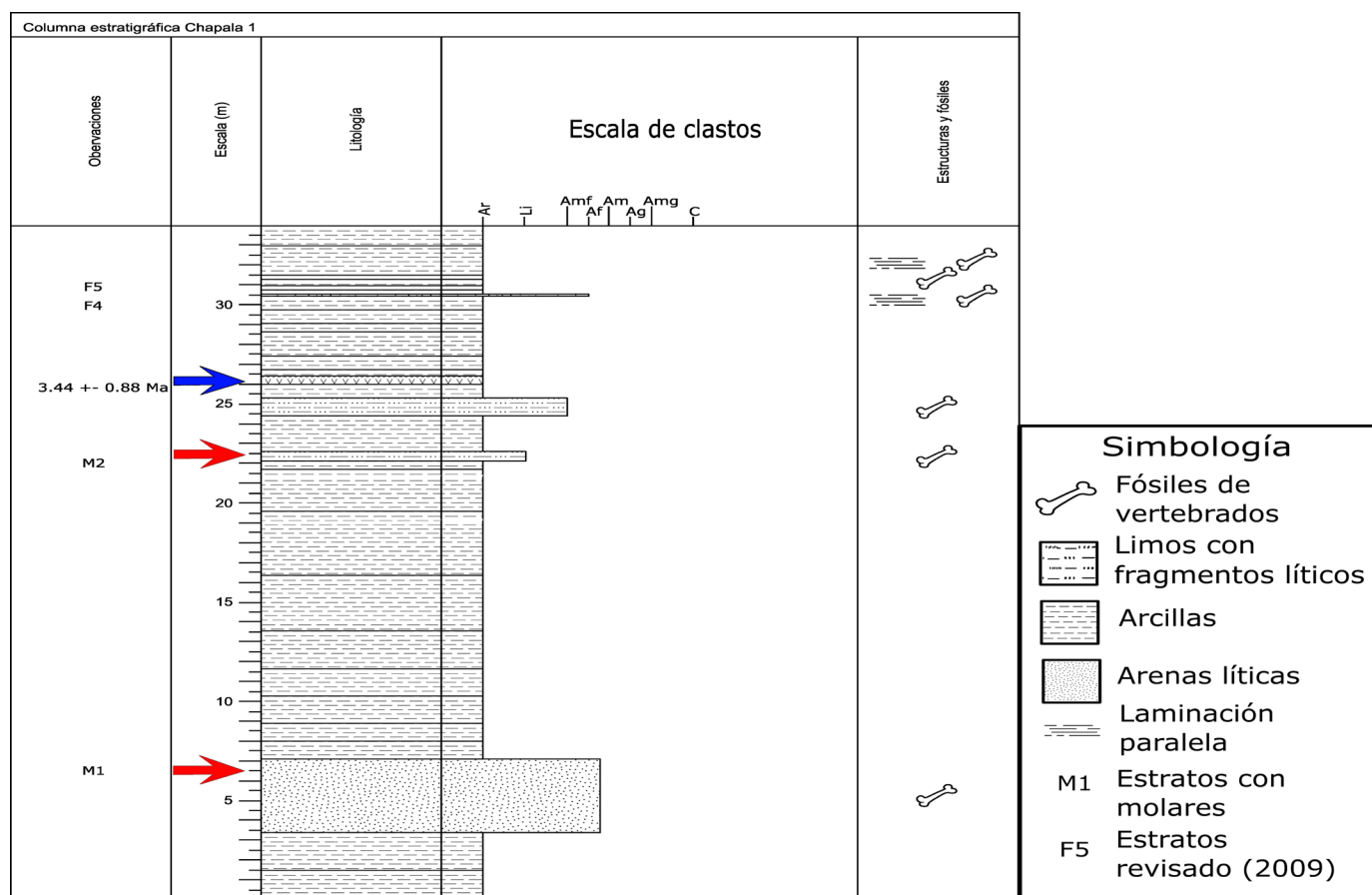


Figura 2. Columna estratigráfica de la localidad Chapala 1. Las flechas rojas indican estratos en los que se recolectó el material fósil y la flecha azul el estrato que se utilizó para la datación radiométrica. Abreviaturas: Ar, arcillas; Li, limos; Amf, arena muy fina; Af, arena fina; Am, arena media; Ag, arena gruesa; Amg, arena muy gruesa; C, cantos. Modificado de Méndez-Cárdenas, 2009.

Para la identificación y descripción de los elementos de micromamíferos encontrados, se siguió la nomenclatura establecida por Barbière y colaboradores (2019) para roedores y la de von Koenigswald y colaboradores (2010) para lagomorfos.

Los dientes se midieron utilizando un vernier y se tomó la longitud total anteroposterior (LT) y la longitud del margen posterior (MP) para los molares de roedores y lagomorfos, todas las medidas se expresan en milímetros (mm). De igual forma, los dientes se compararon con material reciente y fósil depositado en otras instituciones para determinar y/o identificar el género o especie al que pertenecen. El material descrito está depositado en la Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología con el acrónimo IGM (Instituto Geológico de México). Abreviaturas:

Antc- anterocono
Antfld- anterofléxido
Antlacd- anterocónido labial
Antlicd- anterocónido lingual
CMC- recolectado por Méndez-Cárdenas
Cp- cíngulo posterior
CVG- recolectado por Vasconcelos-Ginzo
Entfld- entofléxido
Entcd- entocónido
Hypc- hipocono
Hypcd- hipocónido
Hypfl- hipoflexo
Hypfld- hipofléxido
Lc- curvatura lingual
M- molar superior
m- molar inferior
Metc- metacono
Metcd- metacónido
Metfl- metaflexo
P- premolar superior
p- premolar inferior
Parc- paracono
Parfl- paraflexo
Prtd- protocónido
Prftd- protofléxido
Psb- hoja de corte principal
Ref- doblez reentrante
Tdf- facetas de contacto

6. SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

Orden Rodentia Bowdich, 1821
Suborden Myomorpha Brandt, 1855
Superfamilia Muroidea Illiger, 1811
Familia Cricetidae Fischer, 1817
Género *Postcopemys* Lindsay y Czaplewski, 2011

Diagnosis: Roedores de pequeño tamaño con molares braquiodontos. En molares superiores, el paralofo no alineado con el puente anterior del hipocono. Protolofo ausente en el M1, poco desarrollado en el M2, y

muy desarrollado en el M3. Hipocono reducido en el M3. Molares superiores con tres raíces, y los molares inferiores con dos raíces; ausencia de raíces accesorias (Lindsay y Czaplewski, 2011).

Postcopemys chapalensis Rincón, Czaplewski,
Montellano-Ballesteros y Benammi, 2016

Material identificado: tres ejemplares; IGM 13904 (=CVG20-1), m1 izquierdo; CMC08-1, m1 izquierdo; CMC08-2 m1 izquierdo.

Medidas: Longitud total: 2.0 mm; máxima longitud posterior: 1.2 mm.

Descripción: La corona de los m1 es moderadamente alta, presentan dos raíces muy desarrolladas, la zona anterior está ligeramente comprimida comparada con la zona posterior del molar; las principales cúspides se encuentran alternadas; presencia de un muro anterior cerca del anterocónido y teniendo contacto con el puente anterior del protocónido.

El anterocónido es bilobulado y ancho, con un anterofléxido muy desarrollado; los conúlidos anterolabial y anterolingual son simétricos; presencia de un proceso accesorio.

El metacónido está localizado más anteriormente que el protocónido y presenta paredes altas. El entocónido se constriñe un poco en la parte medial por el posterofléxido, al igual que el metacónido, está localizado más anteriormente que el hipocónido; tiene paredes altas y la cúspide es oblicua y ancha.

El hipocónido tiene paredes bajas, con forma semi-redonda, es ancho; su puente posterior forma el margen posterior del molar. El protocónido es similar al hipocónido en forma y tamaño. El posterolofido se encuentra muy comprimido y ligeramente alargado. Presencia de un mesolofido en la zona media lingual.

Discusión: Los molares presentan caracteres diagnósticos del género, como la presencia de un surco anteromedial desarrollado y el anterocónido bilobulado, un cíngulo posterior presente, poco desarrollado y el muro anterior, estructuras visibles en la Figura 3.

De las cuatro especies descritas de *Postcopemys*, dos se han registrado en el territorio mexicano, *Postcopemys valensis* en Yepómara, Chihuahua, de edad henfiliana y *Postcopemys chapalensis*, en la región del Lago de Chapala, Jalisco, del Blancano (Lindsay y Czaplewski, 2011; Rincón *et al.*, 2016). Los ejemplares descritos en este trabajo pertenecen a *P. chapalaensis*, debido a las características anatómicas compartidas tales como el m1 con un anterocónido bilobulado y la presencia de un mesolofido. Cabe señalar que los molares descritos por Rincón y colaboradores (2016), son ligeramente mayores, 34.3% más grandes, a los presentados en este trabajo.

Subfamilia Sigmodontinae Wagner, 1843
Género *Sigmodon* Say y Ord, 1825

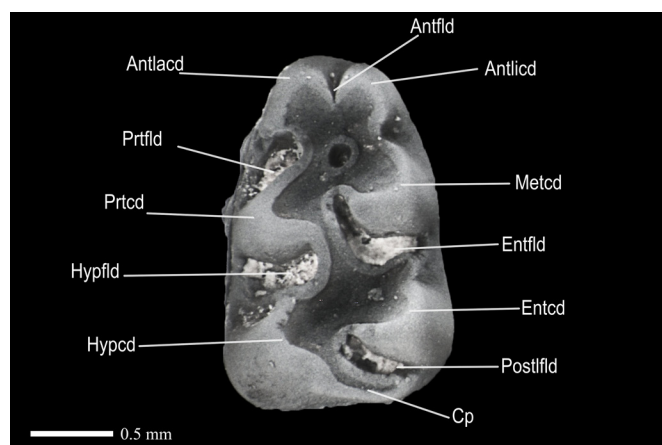


Figura 3. *Postcopemys chapalensis*, vista oclusal del m1 (IGM 13904) encontrado en el nivel M2 de Chapala 1, Jalisco.

Diagnosis: Roedores de talla mediana, molares braquiodontos de forma elipsoide o globular, de corona baja y raíces bien desarrolladas; en algunos casos presentan raíces accesorias. Carecen de lofos accesorios, pero hay casos en los que algunos miembros los presentan cerca de la primera cúspide. Cinco cúspides principales en los primeros molares, cuatro cúspides en los segundos molares y tres cúspides en los terceros molares; cúspides oblicuas y no alineadas con sus contrarias, divididas por flexos, pero se mantienen conectadas por medio de pliegues de esmalte anteriores y posteriores. Primera cúspide del M1 puede ser simple o bilobulada en caso de individuos jóvenes. El M1 presentan una ligera curvatura cóncava en la zona antero lingual, conocida como punto de inflexión (Jacobs y Lindsay, 1981; Lindsay y Jacobs, 1985; Carranza-Castañeda y Walton, 1992; Peláez-Campomanes y Martín, 2005; Lindsay, 2008).

Sigmodon minor Gidley, 1922

Sigmodon hilli Hibbard, 1941.

Sigmodon intermedius Hibbard, 1937.

Material identificado: 62 ejemplares; IGM 13905 (=CVG20-2), M1 derecho; CVG20-3, m2 derecho; CVG20-4, M1 derecho; CVG20-5, M2 derecho; CMC08-3, M2 derecho; CMC08-4, M2 izquierdo; CMC08-5, M1 derecho; CMC08-6, M2 izquierdo; CMC08-7, m1 izquierdo; CMC08-8, M2 derecho; IGM 13906 (=CMC08-8), M3 derecho; CMC08-10, m2 derecho; CMC08-11, m3 derecho; CMC08-12, m2 derecho; CMC08-13, m2 derecho; CMC08-14, M1 derecho; CMC08-15, m2 izquierdo; CMC08-16, M1 izquierdo; CMC08-17, m1 izquierdo; CMC08-18, m1 izquierdo; CMC08-19, m3 derecho; CMC08-20, M1 derecho; CMC08-21, M1 izquierdo; CMC08-22, m1 derecho; CMC08-23, m1 izquierdo; CMC08-24, m1 derecho; CMC08-25, M1 derecho; CMC08-26, M1

izquierdo; CMC08-27, M1 izquierdo; CMC08-28, M2 derecho; CMC08-29, M2 izquierdo; CMC08-30, m2 derecho; CMC08-31, m2 derecho; CMC08-32, M2 izquierdo; CMC08-33, M2 derecho; CMC08-34, M2 derecho; CMC08-35, m2 izquierdo; CMC08-36, M2 izquierdo; CMC08-37, m3 izquierdo; CMC08-38, m1 derecho; CMC08-39, m3 izquierdo; CMC08-40, m2 izquierdo; CMC08-41, m3 izquierdo; CMC08-42, M1 derecho; CMC08-43, M1 derecho; CMC08-44, M1 derecho; CMC08-45, m1 derecho; CMC08-46, M1 izquierdo; CMC08-47, M1 derecho; CMC08-48, m3 derecho; CMC08-49, m2 derecho; CMC08-50, M2 izquierdo; CMC08-51, m3 izquierdo; CMC08-52, m3 izquierdo; CMC08-53, M1 derecho; CMC08-54, M1 derecho; CMC08-55, m1 izquierdo; CMC08-56, M2 izquierdo; CMC08-57, M2 izquierdo; IGM 13907 (=CMC08-8), M3 izquierdo; CMC08-59, m1 derecho; CMC08-60, m1 izquierdo.

Medidas: Ver Tabla 1.

Descripción: Molares superiores: El M1 (Figura 4) presenta una superficie oclusal elíptica, los conos labiales y linguales tienen forma elipsoide comprimida; el anterocono ubicado en la zona anterior, es lobulado y simple, carece de un surco anteromedial; sus paredes están ligeramente inclinadas hacia la parte posterior, se constriñe por la presencia del protoflexo y paraflexo.

El protocono, ubicado en la zona antero-lingual, tiene forma de elipse y es angosto, sus paredes presentan una ligera inclinación hacia la parte posterior. El hipocono tiene una forma similar al protocono, pero es más ancho que éste, sus paredes no están inclinadas, se encuentra en la zona postero-lingual.

El metacono se encuentra en la parte postero-labial, es angosto con paredes altas y está constreñido medialmente por el metaflexo. El paracono es la cúspide más angosta, constreñida o limitada por el paraflexo y por el hipoflexo, ubicado en la zona media-labial.

El M2 (Figura 5A) tiene una superficie oclusal rectangular, con los bordes lisos. El protocono, ubicado en la parte antero-lingual, es de forma globular y ancho, sus paredes son anchas; su puente anterior es largo. El hipocono se encuentra en la parte postero-lingual; es de forma globular y ancho, sus paredes son anchas.

El paracono se encuentra en la parte antero-labial del molar; es de forma elíptica y es estrecho, tiene paredes anchas. El metacono está ubicado en la parte posterolabial; presenta una forma y tamaño similares a los del paracono, sus paredes presentan una ligera inclinación posterior.

M3 (Figura 5B) tiene una superficie oclusal de una forma triangular, con los bordes redondeados. El protocono se encuentra en la zona antero-lingual, es de forma globular y de gran tamaño. El hipocono presenta una forma lobulada, ubicado en la zona postero-lingual.

El paracono es la única cúspide labial presente ubicada en la zona medio-labial, tiene una forma elíptica comprimida, es la cúspide de menor tamaño.

Molares inferiores: el m1 tiene el área oclusal de forma elíptica. El anteroconido es lobulado y simple, la

carencia de un surco anteromedial indica que es de un ejemplar adulto; no hay proyecciones accesorias. Se encuentra en la parte anterior del molar.

El metacónido se ubica en la zona antero-lingual; tiene forma elíptica y estrecha, sus paredes presentan una ligera inclinación hacia la porción anterior. El entocónido se encuentra en la zona postero-lingual; es parecido al metacónido en tamaño y forma, sus paredes muestran una ligera inclinación hacia la zona anterior.

El protocónido ubicado en la parte antero-medio labial, tiene forma globular y es ancho, sus paredes son anchas y son rectas. El hipocónido se halla en la zona postero-labial, se parece al protocónido en su forma,

Tabla 1. Medida de molares identificados como *Sigmodon minor*.

Ejemplar	Tamaño	Diente
1	LT:1.7mm MP:1.4mm	M2R
2	LT:1.7mm MP:1.7mm	M2L
3	LT:3.3mm MP:2.4mm	M1R
4	LT:1.7mm MP:1.3mm	M2L
5	LT:2.5mm MP:1.5mm	m1L
6	LT:1.9mm MP:1.6mm	m2R
7	LT:1.4mm MP:1.8mm	M3R
8	LT:1.8mm MP:1.5mm	m2R
9	LT:1.8mm MP:1.3mm	m3R
10	LT:1.8mm MP:1.6mm	m2R
11	LT:1.8mm MP:1.6mm	m2R
12	LT:1.9mm MP:1.7mm	m2L
13	LT:2.2mm MP:1.7mm	M1L
14	LT:2.4mm MP:1.6mm	m1L
15	LT:2.1mm MP:1.5mm	m1L
16	LT:2.1mm MP:1.5mm	m3R
17	LT:2.3mm MP:1.6mm	M1R
18	LT:2.0mm MP:1.7mm	M1L
19	LT:2.1mm MP:1.5mm	m1R
20	LT:2.3mm MP:1.5mm	m1L
21	LT:2.2mm MP:1.4mm	m1R
22	LT:2.2mm MP:1.6mm	M1R
23	LT:2.3mm MP:1.5mm	M1L
24	LT:2.3mm MP:1.4mm	M1L
25	LT:1.5mm MP:1.4mm	M2R
26	LT:1.5mm MP:1.5mm	M2L
27	LT:1.7mm MP:1.4mm	m2R
28	LT:1.8mm MP:1.6mm	m2R
29	LT:1.7mm MP:1.5mm	M2L
30	LT:1.6mm MP:1.3mm	M2R
31	LT:1.6mm MP:1.4mm	M2R
32	LT:1.8mm MP:1.6mm	m2L
33	LT:1.7mm MP:1.5mm	M2L
34	LT:1.6mm MP:1.4mm	m3L
35	LT: ? MP:1.4mm	m1R
36	LT:1.7mm MP:1.5mm	m3L
37	LT:1.8mm MP:1.6mm	m2L
38	LT:1.7mm MP:1.5mm	m3L
39	LT:2.1mm MP:1.6mm	M1R

40	LT:2.0mm MP:1.4mm	M1R
41	LT: ? MP:1.4mm	M1R
42	LT:2.2mm MP:1.5mm	m1R
43	LT:2.0mm MP:1.5mm	M1L
44	LT:1.9mm MP:1.4mm	M1R
45	LT:1.6mm MP:1.4mm	m3R
46	LT:1.6mm MP:1.4mm	m2R
47	LT:1.6mm MP:1.5mm	M2L
48	LT:1.8mm MP:1.5mm	m3L
49	LT:1.8mm MP:1.5mm	m3L
50	LT:2.1mm MP:1.6mm	M1R
51	LT:2.0mm MP:1.4mm	M1R
52	LT:2.2mm MP:1.5mm	m1L
53	LT:1.7mm MP:1.6mm	M2L
54	LT:1.7mm MP:1.7mm	M2L
55	LT:1.4mm MP:1.2mm	M3R
56	LT:2.1mm MP:1.4mm	m1R
57	LT:2.2mm MP:1.5mm	m1L
58	LT: 2.1mm MP: 1.6mm	M1R
59	LT: 1.3mm MP: 1.0mm	m2R
60	LT: 2.1mm MP: 1.6mm	M1R
61	?	M1R

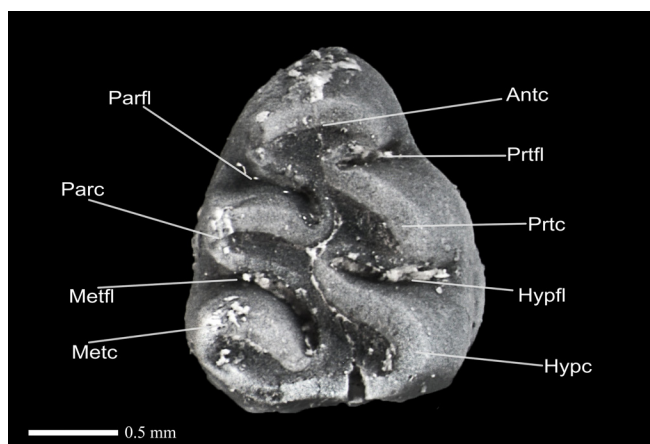


Figura 4. *Sigmodon minor*, vista oclusal de M1 (IGM 13905), recolectado en el nivel M1 de la localidad Chapala 1.

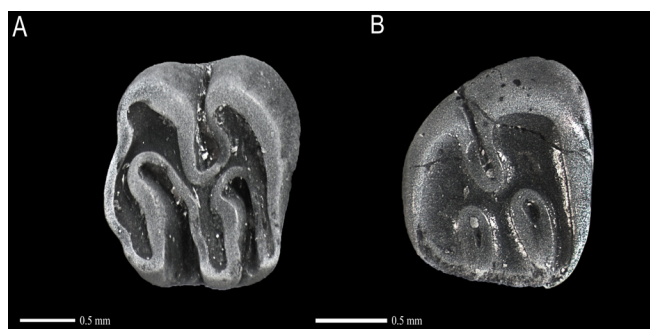


Figura 5. Molares de *S. minor*, recuperados por Méndez-Cárdenas en Chapala 1. A) vista oclusal del M2 (IGM 13906), B) vista oclusal del M3 (IGM 13907).

pero está más comprimido, su pared posterior tiene una inclinación hacia anterior; su puente posterior es largo, en su extremo lingual se encuentra el posterolófidio.

El m2 posee una forma rectangular en su superficie oclusal, presenta un cóngulo anterior labial, ubicado anterior al protocónido. El protocónido tiene forma globular, es pequeño, con paredes rectas, se encuentra un poco más posterior al metacónido. El hipocónido es de forma elíptica y es de mayor tamaño que el protocónido, su pared posterior presenta una inclinación pronunciada hacia anterior.

El metacónido y el entocónido son similares en tamaño, teniendo una forma elíptica y siendo de mayor tamaño que el protocónido, se encuentran en la zona lingual anterior y media respectivamente. Los lófidios mantienen un contacto limitado entre ellos; el posterolófidio está presente.

El m3 tiene forma triangular y solo presenta tres cónidos. Al igual que el m2 presenta un pequeño cóngulo anterior labial, de manera anterior al protocónido. Los lófidios se encuentran constreñidos, habiendo casos donde no llegan a tener contacto entre sí. El protocónido es globular y se encuentra en la zona antero-labial.

El hipocónido, ubicado en la zona posterior es similar al protocónido, pero de mayor tamaño. El metacónido presenta una forma globular, al igual que las otras cúspides; se encuentra en la zona antero-lingual.

Discusión: Estos molares, presentan las características diagnósticas de *Sigmodon minor*, como la ausencia de lofos y lófidios accesorios, la unión de las cúspides por medio de sus puentes anteriores y posteriores, flexos y fléxidos profundos y largos, así como las cúspides oblicuas con una forma elíptica (Figuras 4, 5A y 5B). La presencia o ausencia de un surco anteromedial en los primeros molares superiores e inferiores puede ser considerada como una característica diagnóstica, pero algunos autores no la consideran como tal, refiriéndose a un simple carácter que diferencia los distintos estadios ontogenéticos de estos roedores (Lindsay y Jacobs, 1985; Martin, 1986; Martin *et al.*, 2002; Peláez-Campomanes y Martin, 2005).

Otro rasgo distintivo tomado en cuenta para su identificación fue el número de raíces en los primeros molares inferiores y superiores. Se observó que en los pocos molares que aún conservaban estas estructuras, los M1 presentaban una raíz accesoria poco desarrollada mientras que los m1 carecían de esta raíz. Peláez-Campomanes y Martin (2005) tratan esta característica como un rasgo distintivo dentro de los miembros más basales de este género.

Bajo las características anteriormente señaladas, se llega a la conclusión de que los ejemplares descritos pertenecen a la especie *Sigmodon minor* de acuerdo a Martin (1979) y Peláez-Campomanes y Martin (2005); de igual forma, las dimensiones de los molares descritos concuerdan con los de otros ejemplares, aun teniendo una gran variación de tamaño entre los diferentes ejemplares, característica que ha llevado a una

serie de discusiones sobre la presencia de una única especie o de dos especies distintas, discusión que no se abordará en este trabajo.

Género *Sigmodon* Say y Ord, 1825
cf. *Sigmodon* sp.

Material identificado: un ejemplar; IGM 13908 (=CVG20-6), m1 izquierdo.

Medidas: Longitud total: 1.7 mm; ancho de margen: 1.2 mm.

Descripción: El molar se encuentra fragmentado, falta la parte más posterior, partes de los cónidos linguales y una de las raíces. Es un diente tipo braquiodonto y tiene una forma ovalada, las cúspides se encuentran alternadas y el punto de inflexión está poco marcado.

El anterocónido es lobulado y se encuentra centrado, es ancho y grande; presenta un cóngulo labial que va desde el anterocónido hasta la base del protocónido y constriñe el protofléxido. El protocónido es grande y ancho, el hipocónido está ausente debido a la condición del diente. Tanto el metacónido como el entocónido están rotos, pero se alcanza a apreciar que son grandes y anchos. El metacónido se encuentra ligeramente más anterior que el protocónido.

Discusión: El molar presenta características similares con los elementos identificados como *Sigmodon*, al carecer de lófidios accesorios y la conexión de los cónidos por medio de los puentes de esmalte (Figura 6).

En México, se ha reportado la presencia de *Sigmodon minor* en asociaciones de edad blanca (Pacheco, 2014); pero el ejemplar no puede ser referido a esta especie debido a que difiere en la presencia de una proyección en el anterocónido y la posición del metacónido y entocónido, los cuales se encuentran posicionados más anteriormente que el protocónido y el hipocónido. Estas características las comparte con otro miembro del género



Figura 6. *Sigmodon* sp., vista oclusal del m1 (IGM 13908), recuperado en el nivel M2, Chapala 1.

Sigmodon encontrado en la cantera Fallen Angel, Estados Unidos de América (Peláez-Campomanes y Martín, 2005), sin embargo, este ejemplar tampoco está asignado a alguna especie.

Subfamilia Neotominae Merriam, 1894
Género *Neotoma* Say y Ord, 1825

Diagnosis: Roedores de tamaño mediano, molares con coronas altas, con tendencia a ser prismáticos, presencia de raíces. Molares superiores presentan un desarrollo asimétrico de las cúspides linguales respecto a las cúspides labiales, dándole una forma de “M” a la superficie oclusal (Álvarez, 1966; Zakrzewski, 1991; Lindsay, 2008; Martín y Zakrzewski, 2019).

Neotoma magnodonta Álvarez, 1966

Material identificado: tres ejemplares; IGM 13909 (=CVG20-7), M1 izquierdo; CMC08-61, M1 derecho; CMC08-62, M1 derecho.

Medidas: Longitud total: 2.7 mm; ancho de margen: 2.2 mm.

Descripción: M1 se encuentra dividido en grandes lófos, el anterolof, el mesolof y el posterolof; los lófos se encuentran de manera diagonal anteroposteriormente.

El anterolof está compuesto por el cíngulo anterior y el protocono, tiene una forma elíptica; el protoflexo es poco profundo y estrangula ligeramente el anterolof en la zona media; el protocono tiene forma globular; el cíngulo anterior forma un lóbulo separado, pero debido al desgaste se ven unidos en un único lófo; el paraflexo y el hipoflexo comprimen el puente de esmalte que conecta el lófo anterior con el lófo medio.

El mesolof, que contiene al paracono y el hipocono, tiene una forma elíptica muy alargada labio-lingual, y algo comprimida anteroposteriormente; el hipocono se parece en forma al protocono, pero de mayor tamaño, mientras que el paracono tiene una forma lobulada; el metaflexo comprime la conexión entre el lófo medio con el lófo posterior. El posterolof, conformado únicamente por el metacono, es pequeño y tiene una forma elíptica.

Discusión: Debido a la diferencia morfológica de los molares de la subfamilia Neotominae con el resto de los cricétidos, se siguió la nomenclatura mencionada por Martín y Zakrzewski (2019). El molar presentó varias similitudes con el material descrito de roedores del género *Neotoma*, como una superficie oclusal en forma de “M” en los molares superiores y grandes lófos que conectan a las cúspides (Figura 7).

México cuenta con la presencia de dos especies fósiles de *Neotoma* del Blancano (Plioceno temprano): *N. magnodonta* y *N. (Paraneotoma) sawrockensis* (Miller, 1980; Lindsay *et al.*, 1984; Pacheco, 2014). Los ejemplares comparten similitudes morfológicas con la especie *N. magnodonta*, como la fusión de las cúspides labiales y linguales y la división del molar por tres lófos que le

confieren la forma de “M”, características comunes en miembros del género más avanzados y que no se encuentran en *N. (Paraneotoma) sawrockensis*, el cual presenta una morfología dental parecida a la del género *Sigmodon* (Pacheco, 2014).

Orden Lagomorpha Brandt, 1855
Familia Leporidae Gray, 1821
Género *Hypolagus* Dice, 1917

Diagnosis: Lagomorfos cuyo P2 presenta un doblez principal anterior muy desarrollado y un doblez externo anterior poco profundo, ambos rellenos con cemento. Molares superiores presentan crenulación en la hipoestría interna. Molares y premolares hipodontos (Lindsay, 2008).

Hypolagus vetus Kellogg, 1910

Material identificado: 16 ejemplares; IGM 13911 (=CVG20-7), MX izquierdo; CVG20-8, MX; CMC08-63, MX derecho; IGM 13912 (=CMC08-64), p3 izquierdo; CMC08-65, MX derecho; CMC08-66, mX izquierdo; CMC08-67, mX izquierdo; IGM 13910 (=CMC08-68), P2 derecho; CMC08-69, mX izquierdo; CMC08-70, MX derecho; CMC08-71, MX derecho; CMC08-72, MX izquierdo; CMC08-73, MX izquierdo; CMC08-74, MX derecho; CMC08-75, MX; CMC08-76, mX.

Medidas: Ver Tabla 2.

Descripción: Dentición superior: P2 presenta la superficie oclusal muy desgastada, por lo que no se puede llegar a apreciar del todo las características dentales. El premolar tiene una forma ovalada, su pared posterior es lisa y delgada y no presenta estructuras, la pared anterior es gruesa y presenta tres dobleces entrantes.

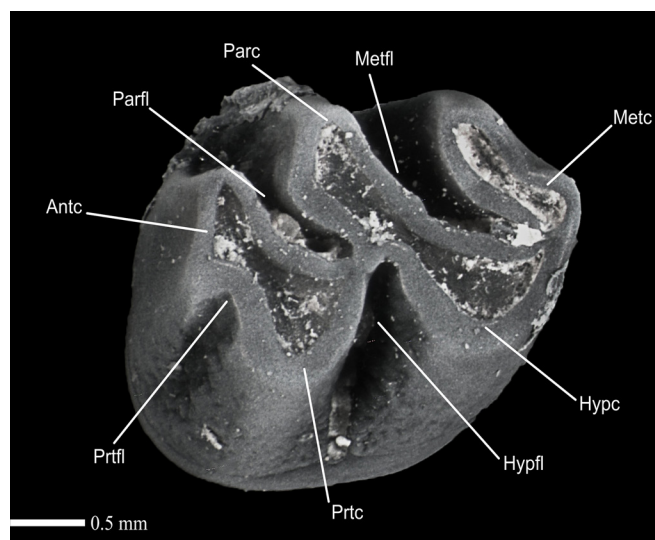


Figura 7. *Neotoma magnodonta*, vista oclusal del M1 izquierdo (IGM 13909), recolectado en el nivel M2 de Chapala 1.

El doblez principal anterior, se encuentra en la zona media del premolar, es grande y profundo, llegando hasta la zona media entre los bordes anterior y posterior, presenta una ligera curva hacia la parte labial; el doblez anterior externo, cerca de la zona labial, es el más corto de los dobleces, está poco desarrollado y es poco profundo. Ambos dobleces entrantes están rellenos de cemento. Todos los dobleces carecen de crenulación.

Los molariformes superiores se encuentran casi completos, faltando partes de las coronas y presentando poco daño en las superficies oclusales, la descripción se va a basar en el ejemplar mostrado en la Figura 9. Se trata de un diente hipsodonto/elodonto con una forma ovalada; presenta una depresión en su extremo lingual, cerca de las curvaturas linguales, lo cual le da un aspecto bilobulado, en el extremo labial se forma una pequeña depresión hacia posterior.

El anterolofa es grande y ancho, mientras que el posterolofa se encuentra más comprimido. El doblez entrante es largo, yendo del extremo lingual hasta casi llegar al extremo labial. La hoja de corte secundaria en el doblez reentrante presenta una crenulación prominente en el borde anterior del doblez reentrante y disminuye en el borde posterior.

Dentición inferior: p3 presenta una superficie oclusal semicircular, teniendo los bordes lisos en la zona lingual y presentando dos dobleces en el borde labial, uno anterior y otro posterior, ambos se encuentran rellenos de cemento. En la zona de los dobleces se forma un valle, estos están delimitados por una cresta anterior y una posterior; la cresta media (posterior para el valle anterior y anterior para el valle posterior) es de mayor tamaño que la cresta anterior y la posterior.

El doblez anterior es poco profundo y pequeño, teniendo una forma globular y una estructura simple. El doblez posterior es profundo, presenta crenulación y una ligera curvatura hacia anterior.

Discusión: El material fósil de lepórido comparte semejanzas con el material de *Hypolagus*, al presentar características como una pronunciada crenulación en los molares superiores, siendo un carácter común y distintivo en este grupo que lo diferencia de otros géneros de lagomorfos contemporáneos (Miller y Carranza-Castañeda, 1982; Korth y Blieux, 2010) (Figuras 8, 9 y 10). Se llegó a la conclusión que los ejemplares descritos pertenecen a la especie *Hypolagus vetus* debido a las características que comparten con el p3, siendo uno de los elementos diagnósticos de *Hypolagus vetus*, como la presencia de dos dobleces entrantes y la crenulación en el doblez posterior; el P2 también es un diente diagnóstico para la identificación, desafortunadamente, el ejemplar descrito en este trabajo se encuentra en mal estado y no se pudieron apreciar las estructuras diagnósticas.

En México, se han registrado las especies de lepóridos blancanas *Pewelagus mexicanus* y *Paranotolagus complicatus* en la localidad Rancho Viejo (Miller y Carranza-Castañeda, 1982, 1984; Carranza-Castañeda y Miller, 1988) en el estado de Guanajuato y la especie *Hypolagus*

Tabla 2. Medidas de dientes identificados como *Hypolagus vetus*.

Ejemplar	Tamaño	Diente
1	MP: 3.5mm LT: 2.1mm	MXR
2	MP: 2.1mm LT: 2.9mm	p3L
3	MP: 3.6mm LT: 2.1mm	MXR
4	MP: 1.9mm LT: 1.6mm	mXL
5	MP: 2.5mm LT: 2.3mm	mXL
6	MP: 1.5mm LT: 2.4mm	P2R
7	MP: 2.9mm LT: 1.9mm	MX
8	MP: 2.2mm LT: 1.9mm	mXL
9	MP: 3.5mm LT: 2.0mm	MXL
10	MP: 3.6mm LT: 2.2mm	MXR
11	MP: 2.0mm LT: 3.0mm	?
12	?	M?
13	?	m
14	MP: 3.7mm LT: 2.2mm	MXR
15	?	MXR
16	MP: 3.4mm LT: 2.2mm	MXL
17	MP: 2.8mm LT: 1.5mm	MX



Figura 8. *Hypolagus vetus*, vista oclusal del P2 (IGM 13910), recolectado por Méndez-Cárdenas en Chapala 1.

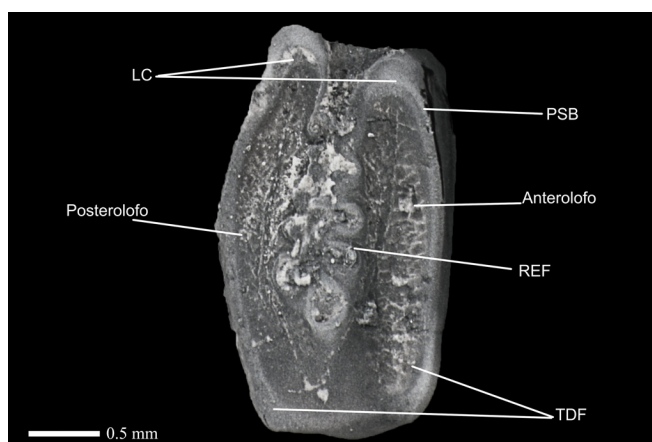


Figura 9. *H. vetus*, vista oclusal del Molar X (IGM 13911), recolectado en el nivel M2, Chapala 1.

vetus en la localidad Las Tunas, en el estado de Baja California (Miller, 1980).

El material fósil de lagomorfo identificado es de gran importancia, debido al poco material que se ha obtenido de este grupo en localidades de edad blancana, habiendo menos de una decena de sitios donde se han encontrado sus restos.

7. DISCUSIÓN

Hoy en día los mamíferos de tallas pequeñas, como son los roedores y quirópteros, son los grupos más diversos y/o abundantes, llegando a encontrarse en casi todos los ecosistemas terrestres y siendo uno de los eslabones más importantes dentro de las cadenas tróficas (Ceballos, 2014; Feldhamer *et al.*, 2015).

En México, las localidades fosilíferas de edades anteriores al Pleistoceno son escasas, y el número se reduce aún más si sólo se cuentan las localidades donde se han confirmado la presencia de micromamíferos (Montellano-Ballesteros y Jiménez-Hidalgo, 2006; Jiménez-Hidalgo *et al.*, 2014). Factores como los métodos de recolecta utilizados y la fragilidad de sus restos fósiles han resultado en que la paleontología de los micromamíferos del Neógeno en México se encuentre rezagada en comparación con otros países, los cuales han marcado la importancia paleoecológica y bioestratigrafía de los micromamíferos (Lindsay, 1972; Martin *et al.*, 2002; Peláez-Campomanes y Martin, 2005; Maridet *et al.*, 2007; Jiménez-Hidalgo *et al.*, 2014).

El Lago de Chapala es conocido por tener un registro paleontológico extenso, el cual cuenta con la presencia de una gran diversidad de vertebrados de edad rancho-labreana, además se ha documentado la presencia de taxones que corresponden a edades más antiguas: Irvingtoniano y Blancano (Rufolo, 1998; Lucas, 2008). Los límites bioestratigráficos no han sido bien definidos, debido a que los fósiles se encuentran mezclados en el fondo del lago (Downs, 1958; Barbour, 1973; Smith *et al.*, 1975; Rufolo, 1998; Lucas, 2008; Rincón *et al.*, 2016). Otro punto de discusión es la diversidad de micromamíferos fósiles, la cual es poco conocida en la región, limitándose en su mayoría a menciones de su presencia, habiendo pocos trabajos en los que se hace una apropiada descripción del material encontrado de estos mamíferos (Downs, 1958; Smith *et al.*, 1975).

La diversidad presente en la localidad es baja y se carecen de especies índice para determinar la edad de la asociación, sin embargo, la secuencia de donde se recolectó el material fósil está datada en 3.44 Ma por lo que no hay duda de que la edad de la asociación es blancana.

7.1 Micromamíferos de la localidad Chapala 1, Jalisco

Méndez-Cárdenas (2009) identificó la presencia del orden Rodentia, reconociendo miembros de la familia Cricetidae, representada por los géneros *Sigmodon*

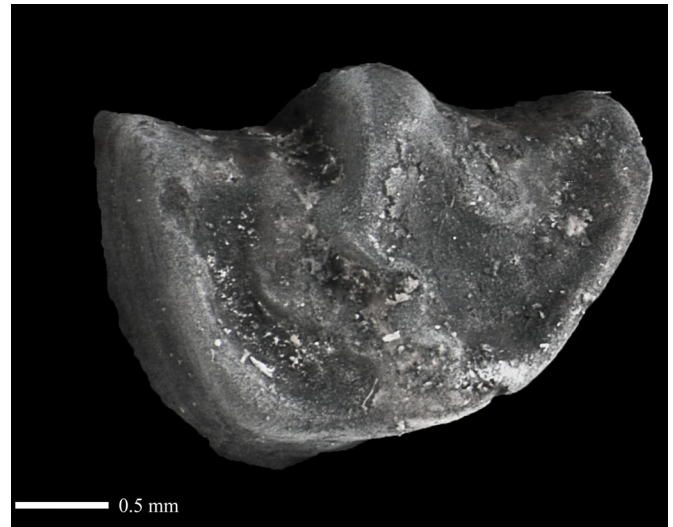


Figura 10. *H. vetus*, vista oclusal del p3 (IGM 13912), recolectado por Méndez-Cárdenas en Chapala 1.

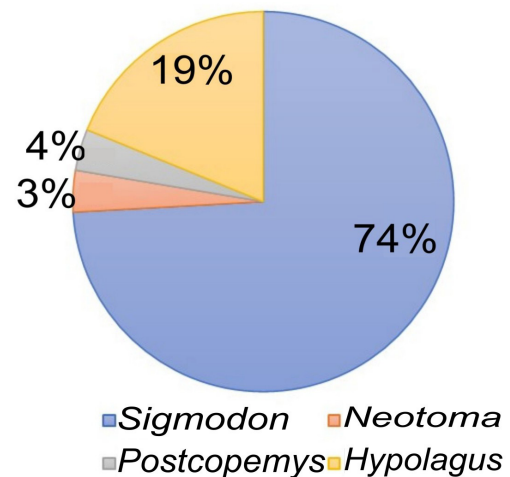


Figura 11. Porcentaje de abundancia de los géneros encontrados en Chapala 1, Jalisco.

y *Neotoma*. En esta nueva revisión se obtuvieron más ejemplares de estos géneros, se agregó la presencia del género *Postcopemys* y del orden Lagomorpha, representado por la familia Leporidae y el género *Hypolagus*. En la Figura 11, se ilustra la abundancia de micromamíferos encontrados en la localidad, siendo los roedores los micromamíferos más abundantes.

7.2 Comparación con otras faunas mexicanas

Chapala 1 cuenta con una diversidad baja-moderada de micromamíferos fósiles, conformada principalmente por miembros de la familia Cricetidae, existiendo una ausencia de otras familias de roedores, como Geomyiidae, Heteromyidae y Sciuridae. Cabe resaltar, que es

una de las pocas localidades mexicanas de edad blanca en la que se han registrado fósiles de lagomorfos.

La asociación de micromamíferos identificada en Chapala 1 presenta semejanzas con la encontrada en Rancho Viejo, Guanajuato, compartiendo los géneros de roedores *Sigmodon* y *Neotoma*, y en ambas localidades se confirma la presencia de lagomorfos (Miller y Carranza-Castañeda, 1982, 1984; Carranza-Castañeda y Miller, 1988). Sin embargo, las diferencias entre ambas localidades son notables, Rancho Viejo presenta una asociación más diversa, tanto a nivel de familias como de géneros. La comparación entre ambas localidades se muestra en la Tabla 3.

Las principales razones por la baja diversidad de micromamíferos en la localidad son el bajo esfuerzo de trabajo de tamizado y el tiempo de estudio en la localidad, por lo cual se tiene un bajo entendimiento de la microfauna presente en la zona, dando mayor importancia a animales de tallas grandes y a zonas donde los fósiles de estos son comunes.

Otro posible factor de baja diversidad podría ser la dinámica de la comunidad en ese entonces, sin embargo, no se tiene ninguna evidencia ecológica en la zona que soporte esta idea.

Otras localidades mexicanas como La Goleta en Michoacán, Tecolotlán en Jalisco, y Las Tunas en Baja California Sur, presentan una diversidad menor a nivel de género de micromamíferos, a la encontrada en Chapala 1 (Tabla 3) (Miller, 1980; Miller y Carranza-Castañeda, 1984; Carranza-Castañeda, 2013).

7.3 Comparación con otras localidades de la misma edad en América del Norte

La asociación faunística registrada en Chapala 1 presenta similitudes con varias asociaciones blancas de América del Norte, como la formación Verde de Arizona, en donde se han registrado las especies de roedores *Sigmodon minor*, *Neotoma (Paraneotoma) sp.*, *Postcopemys repenningi*, entre otras especies de cricétidos; en la localidad Truth or Consequences de Nuevo México, se ha registrado la presencia de los cricétidos *S. minor* y *N. quadriplicata* y el lagomorfo *Hypolagus vetus*; en la asociación Deer Park, Kansas se tiene la presencia de *S. minor* y *N. quadriplocata* (Czaplewski, 1987, 1990; Morgan y Lucas, 2003; Martin *et al.*, 2002; Lindsay y Czaplewski, 2011). En la Tabla 4 se muestra una comparación entre las faunas de Estados Unidos con Chapala 1.

Tabla 3. Lista de taxa de roedores y lagomorfos presentes en localidades de edad blanca en México. Las referencias son para: Tecolotlán, Pacheco-Castro, 2014; Rancho Viejo, Miller y Carranza-Castañeda, 1982, 1984; La Goleta, Carranza-Castañeda, 2013; Las Tunas, Miller, 1980.

Especies	Chapala 1 (JAL)	Tecolotlán (JAL)	Rancho Viejo (GUA)	La Goleta (MIC)	Las Tunas (BC)
Lagomorpha					
Leporidae					
<i>Hypolagus vetus</i>	X				X
<i>Paranotolagus complicatus</i>			X		
<i>Pewelagus mexicanus</i>			X		
<i>Pratilepus kansasensis</i>			X		
Rodentia					
Hydrochoeridae					
<i>Phugatherium dichroplax</i>			X		
<i>Nechoerus occidentalis</i>		X			
Sciuridae					
<i>Paenemarmota barbouri</i>			X	X	
<i>Spermophilus sp.</i>			X	X	
<i>Ammospermophilus jeffriesi</i>					X
Geomyidae					
<i>Geomys minor</i>			X		
Cricetidae					
<i>Baiomys sp.</i>			X		
<i>Postcopemys chapalensis</i>	X				
<i>Neotoma magnodonta</i>			X		
<i>Neotoma (Paraneotoma) sawrockensis</i>	X				
<i>Neotoma sp.1</i>					X
<i>Neotoma sp.2</i>				X	
<i>Sigmodon minor</i>	X		X		
<i>Sigmodon sp.</i>	X				

Tabla 4. Listado comparativo de micromamíferos registrados de diferentes localidades de Estados Unidos con Chapala 1.

Especies	Chapala 1 (JAL)	Truth or Consequence (Nuevo México)	Verde Formation (Arizona)	Deer Park (Kansas)
Lagomorpha				
Leporidae				
<i>Hypolagus vetus</i>	X	X		
<i>Notolagus lepusculus</i>		X		X
<i>Aliepus</i> sp.				X
<i>Nekrolagus progressus</i>				X
<i>Sin identificar</i>			X	
Rodentia				
Sciuridae				
<i>Spermophilus</i> sp.		X		X
<i>Spermophilus</i> cf. <i>rexroadensis</i>				X
Geomyidae				
<i>Geomys minor</i>		X		
<i>Geomys</i> (<i>Neterogeomys</i>) <i>minor</i>				X
<i>Geomys</i> cf. <i>quinni</i>				X
Heteromyidae				
<i>Perognathus</i> sp.			X	
<i>Perognathus strigipredus</i>			X	
<i>Perognathus</i> cf. <i>gidleyi</i>				X
<i>Prodipodomys idahoensis</i>			X	X
Cricetidae				
<i>Peromyscus hagermanensis</i>				X
<i>Baiomys rexroadi</i>				X
<i>Symmetrodontomys simplicidens</i>				X
<i>Bensonmys meadensis</i>				X
<i>Postcopemys chapalensis</i>	X			
<i>Copemys</i> sp.		X		
<i>Onychomys bensoni</i>		X		
<i>Onychomys hollisteri</i>				X
<i>Sigmodon minor</i>	X		X	X
<i>Sigmodon medius</i>		X		
<i>Sigmodon</i> sp.	X			
<i>Jacobsomys verdensis</i>			X	
<i>Jacobsomys</i> sp.		X		
<i>Neotoma quadriplicata</i>				X
<i>Neotoma</i> (<i>Paraneotoma</i>) <i>sawrockensis</i>	X			
<i>Neotoma</i> (<i>Paraneotoma</i>) <i>vaughani</i>			X	
Arvicolinae				
<i>Mimomys</i> (<i>Ogmodontomys</i>) <i>poaphagus</i>			X	

A pesar de compartir algunos géneros de roedores y la presencia de lagomorfos, las faunas de Estados Unidos presentan una mayor diversidad de géneros y familias de micromamíferos en comparación con el registro de Chapala 1, debido al bajo esfuerzo de trabajo que se ha realizado en la colecta de micromamíferos y el tiempo que se ha dedicado al trabajo en la localidad.

8. CONCLUSIONES

La diversidad de micromamíferos en el área de Chapala es baja a media, comparada con otras localidades mexicanas y norteamericanas de una edad similar. Esto

y la ausencia de taxones índices obstaculizan la determinación de la edad, pero gracias a los estudios radiométricos realizados en el área se puede conocer la edad de la localidad.

El descubrimiento de elementos dentales de la especie *Hypolagus vetus* en Chapala 1 es de gran importancia, pues es una especie que se había registrado únicamente en asociaciones blancanas en el norte de México, por lo que incrementa su rango de distribución geográfica en el territorio de México durante el Plioceno tardío.

El estudio de micromamíferos fósiles es complejo, pocos investigadores se dedican a estudiarlos, varios de los registros reportados son solo menciones dentro de los trabajos de investigación, y su recuperación por

medio del tamizado es laborioso. Sin embargo, brindan una información invaluable para el entendimiento de la diversidad de las asociaciones faunísticas del pasado e incrementan la biodiversidad encontrada en México.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al M. en C. René Hernández Rivera y al técnico académico Gerardo Álvarez Reyes, quienes apoyaron en la recolección del material. Se agradece a la M. en C. Violeta Amparo Romero por facilitar el uso del material de la Colección Nacional de Paleontología. Se agradece a Juan Miguel Contreras por su apoyo en la toma de las fotografías del material. Se agradece al Dr. Ascanio Rincón, Dr. Joaquín Arroyo Cabrales y al Dr. Adolfo Pacheco Castro por sus comentarios y revisiones del escrito.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, T. (1966). Roedores fósiles del Pleistoceno de Tequesquinhua, Estado de México, México. *Acta Zoologica Mexicana*, 8(3), 1-16.
- Barbière, F., Ronez, C., Ortiz, P. E., Martin, R. A., & Pardiñas, U. F. J. (2019). A new nomenclatural system for the study of sigmodontine rodent molars: First step towards an integrative phylogeny of fossil and living cricetids. *Biological Journal of the Linnean Society*, 127(2), 224-244. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blz021>
- Barbour, C. (1973). A biogeographical history of *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae): a species flock from the Mexican plateau. *Copeia*, 3, 533-556. <https://doi.org/10.2307/1443118>
- Bowdich, T. E. (1821). *An analisis of the natural clasifications of Mammalia for the use of students and travellers*. J. Smith.
- Brandt, J. F. (1855). Beiträge zur nähern Kenntniss der Saugethiere Russlands. *Mémoire de l'Académie imperiale des Sciences, St. Petersburg, Physique, Mathématique, et Naturalistique Séries*, 6(9), 1-365.
- Carranza-Castañeda, O. (2013). Paleomastozoología de la cuenca de San Miguel de Allende, estado de Guanajuato, sus contribuciones: el intercambio biótico entre las Américas. *Paleontología Mexicana*, 3(1), 73-83.
- Carranza-Castañeda, O. (2016). Roedores caviomorfos (Rodentia, Hydrochoeridae) del Blanco temprano-tardío-Irvingtoniano de los estados Guanajuato, Jalisco y Sonora, México: relación con *Phugatherium dichroplax*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3), 297-315.
- Carranza-Castañeda, O., & Miller, W. E. (1988). Roedores caviomorfos de la mesa central de México, Blanco temprano (Plioceno Tardío) de la fauna local Rancho Viejo, Estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 7(2), 182-189.
- Carranza-Castañeda, O., & Walton, A. H. (1992). Cricetid rodents from the Rancho El Ocote fauna, late Hemphillian (Pliocene), State of Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 10(1), 71-93.
- Ceballos, G. (2014). *Mammals of Mexico*. Johns Hopkins University Press.
- Clements, T. (1963). Pleistocene history of Lake Chapala, Jalisco, Mexico. In T. Clements, R. E. Stevenson and D. M. Halmos (Eds.), *Essays in marine geology in honor of K. O. Emery*. University of Southern California Press, 35-49.
- Czaplewski, N. J. (1987). Sigmodont Rodents (Mammalia; Muroidea; Sigmodontinae) from the Pliocene (Early Blancan) Verde Formation, Arizona. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 7(2), 183-199. <https://doi.org/10.1080/02724634.1987.10011652>
- Czaplewski, N. J. (1990). The Verde Local Fauna: Small vertebrate fossils from the Verde Formation, Arizona. *San Bernardino County Museums Association Quarterly*, 37, 1-39.
- Delgado-Granados, H., Urrutia-Fucugauchi, J., Hasenaka, T., & Ban, M. (1995). Southwestward volcanic migration in the western Trans-Mexican Volcanic Belt during the last 2 Ma. *Geofísica Internacional*, 34(3), 341-352. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1995.34.3.728>
- Dice, L. R. (1917). Systematic position of several Tertiary lagomorphs. *University of California Publications, Bulletin of the Department of Geology*, 10(12), 179-183.
- Downs, T. (1958). Fossil vertebrates from Lago de Chapala, Jalisco, Mexico. In *20th International Geological Congress, session 7, Paleontologica, Taxonomia y Evolucion, Mexico City, Mexico*, 75-77.
- Feldhamer, G. A., Drickamer, L. C., Vessey, S. H., Merritt, J. F., & Krajewski, C. (2015). *Mammalogy: Adaptation, Diversity, Ecology*. Johns Hopkins University Press.
- Ferrari, L., Pasquare, G., Venegas-Salgado, S., & Romero-Ríos, F. (2000). Geology of the western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco Block. In H. Delgado-Granados, G. Aguirre-Díaz & J. M. Stock (Eds.), *Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico* (Special Paper, 334, 65-83), Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2334-5.65>
- Ferrusquía-Villafranca, I. (2003). Chapter 13: Mexico's Middle Miocene Mammalian Assemblages. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, (279), 321-347. [https://doi.org/10.1206/0003-0090\(2003\)279<0321:C>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0090(2003)279<0321:C>2.0.CO;2)
- Ferrusquía-Villafranca, I., Jiménez-Hidalgo, E., Ortiz-Mendieta, J. A., & Bravo Cuevas, V. M. (2002). El registro paleogénico de mamíferos en México y su significación geológico-paleontológico. In M. Montellano-Ballesteros & J. Arroyo-Cabrales (Eds.), *Avances en los estudios paleomastozoológicos México DF, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica*, 25-46.
- Fischer von Waldheim, G. (1817). *Adversaria zoologica. Memoires de la Société Impériale des Naturalistes du Moscou*, 5, 357-428.
- Gidley, J. W. (1922). Preliminary report on fossil vertebrates of the San Pedro Valley, Arizona, with descriptions of new species of Rodentia and Lagomorpha. *Shorter contributions to general geology*, 131, 119-131.
- Gray, J. E. (1821). On the natural arrangement of vertebrate animals. *The London Medical Repository Monthly Journal and Review*, 15, 296-310.
- Guzmán-Gómez, I. G. (2014). *Mastofauna henfiliana de La Plegaria, Hidalgo, México*. [Tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hibbard, C. W. (1937). An Upper Pliocene Fauna from Meade County, Kansas. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 40(1-3), 239-265. <https://doi.org/10.2307/3625415>
- Hibbard, C. W. (1941). The Borchers fauna, a new Pleistocene interglacial fauna from Meade County, Kansas. *State Geological Survey of Kansas Bulletin*, 38(7), 197-220.
- Illiger, J. K. W. (1811). *Prodromus Systematis Mammalium et Avium: Aditis terminis zoographicis utriusque classis*. Berolini Sumptibus C. Salfeld.
- Jacobs, L. L., & Lindsay, E. H. (1981). *Prosigmodon oroscoi*, a new sigmodont rodent from the late Tertiary of Mexico. *Journal of Paleontology*, 55(2), 425-430.
- Jiménez-Hidalgo, E., Smith, K. T., Guerrero-Arenas, R., & Alvarado-Ortega, J. (2014). The first Late Eocene continental faunal assemblage from tropical North America. *Journal of South American Earth Sciences*, 57, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.12.001>

- Kellogg, L. (1910). Rodent fauna of the late Tertiary beds at Virgin Valley and Thousand Creek, Nevada. *University of California Publications, Bulletin of the Department of Geology*, 5(29), 421–437.
- Korth, W. W., & De Blieux, D. D. (2010). Rodents and lagomorphs (Mammalia) from the Hemphillian (late Miocene) of Utah. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(1), 226–235. <https://doi.org/10.1080/02724630903412448>
- Lindsay, E. H. (1972). *Small mammal fossils from the Barstow Formation* (Vol. 93). University of California Publications in Geological Sciences.
- Lindsay, E. H., Opdyke, N. D., & Johnson, N. M. (1984). Blancan-Hemphillian Land Mammals Ages and Late Cenozoic Mammal Dispersal Events. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 12, 445–488. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.12.050184.002305>
- Lindsay, E. H., & Jacobs, L. L. (1985). Pliocene small mammal fossils from Chihuahua, Mexico. *Paleontología Mexicana*, 51, 1–62.
- Lindsay, E. H. (2008). Cricetidae. In C. M. Janis, G. F. Gunnell & M. Uhen (Eds.), *Evolution of Tertiary Mammals of North America. Vol. 2: Small Mammals, Edentates and Marine Mammals*. Cambridge University Press.
- Lindsay, E. H., & Czaplewski, N. J. (2011). New rodents (Mammalia, Rodentia, Cricetidae) from the Verde Fauna of Arizona and the Maxum Fauna of California, USA, early Blancan Land Mammal Age. *Palaeontologia Electronica*, 14(3), 1–16.
- Lucas, S. G. (2008). Late Cenozoic fossil mammals from the Chapala rift basin, Jalisco, Mexico. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 44, 39–49.
- Maridet, O., Escarguel, G., Costeur, L., Mein, P., Hugueney, M., & Legendre, S. (2007). Small mammal (rodents and lagomorphs) European biogeography from the Late Oligocene to the mid Pliocene. *Global Ecology and Biogeography*, 16(4), 529–544. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00306.x>
- Martin, R. A. (1979). *Fossil history of the rodent genus Sigmodon* (Evolutionary Monographs, Vol. 2), University of Chicago.
- Martin, R. A. (1986). Energy, ecology and cotton rat evolution. *Paleobiology*, 12(4), 370–382. <https://doi.org/10.1017/S0094837300003110>
- Martin, R. A., Honey, J. G., Peláez-Campomanes, P., Goodwin, H. T., Baskin, J. A., & Zakrzewski, R. J. (2002). Blancan lagomorphs and rodents of the Deer Park assemblages, Meade County, Kansas. *Journal of Paleontology*, 76(2), 1072–1090. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2002\)0762.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2002)0762.0.CO;2)
- Martin, R. A., & Zakrzewski, R. J. (2019). On the ancestry of woodrats. *Journal of Mammalogy*, 100(5), 1564–1582. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz105>
- Méndez-Cárdenas, D. L. (2009). *Bioestratigrafía y magnetoestratigrafía de alta resolución en sedimentos lacustres del Neógeno en la Cuenca de Chapala, Jalisco, México*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000646669>
- Merriam, C. H. (1894). Abstract of a study of the American Wood rats, with descriptions of fourteen new species and subspecies of the genus *Neotoma*. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 9, 117–128.
- Miller, W. E. (1980). The late Pliocene las Tunas local fauna from southernmost Baja California, Mexico. *Journal of Paleontology*, 54(4), 762–805.
- Miller, W. E., & Carranza-Castañeda, O. (1982). New Lagomorphs from the Pliocene of Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2(1), 95–107. <https://doi.org/10.1080/02724634.1982.10011920>
- Miller, W. E., & Carranza-Castañeda, O. (1984). Late Cenozoic mammals of Central Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 4(2), 216–236. <https://doi.org/10.1080/02724634.1984.10012005>
- Mitchell, G. W. (1965) Investigation of “Lake Jalisco”. *The Mines Magazine*, 13–20.
- Montellano-Ballesteros, M., & Jimenez-Hidalgo, E. (2006). Mexican Fossil Mammals, Who, Where and When? In F. J. Vega, T. G. Nyborg, M. D. C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S. R. S. Cevallos-Ferriz & S. A. Quiroz-Barroso (Eds.), *Studies on Mexican Paleontology* (Topics in Geobiology, vol 24, pp. 249–273), Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/1-4020-3985-9_12
- Morgan, G. S., & Lucas, S. G. (2003). Mammalian biochronology of Blancan and Irvingtonian (Pliocene and Early Pleistocene) faunas from New Mexico. *American Museum of Natural History Bulletin*, 279, 269–320. [https://doi.org/10.1206/0003-0090\(2003\)279%3C0269:C%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0090(2003)279%3C0269:C%3E2.0.CO;2)
- Pacheco-Castro, A. (2014). *Bioestratigrafía de los roedores fósiles (Cricetidae y Geomyidae) del Cenozoico tardío en San Miguel Allende, Guanajuato y Tecolotlán, Jalisco*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000723322>
- Pacheco-Castro, A., Carranza-Castañeda, O., & Jiménez-Hidalgo, E. (2019). A new species of Sigmodontinae (Rodentia) from the late Hemphillian of central Mexico, and comments on the possible radiation of this group. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(3), 321–333. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2019.3.1162>
- Peláez-Campomanes, P., & Martin, R. A. (2005). The Pliocene and Pleistocene history of cotton rats in the Meade Basin of southwestern Kansas. *Journal of Mammalogy*, 86(3), 475–494. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2005\)86\[475:TPAPHO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2005)86[475:TPAPHO]2.0.CO;2)
- Rincón, A. D., Czaplewski, N. J., Montellano-Ballesteros, M., & Benammi, M. (2016). New species of *Postcopemys* (Cricetidae: Rodentia) from the early Pliocene of Lago de Chapala, Jalisco, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 61(2), 108–118. <https://doi.org/10.1894/15-00082R2.1>
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., Garduño-Monroy, V. H., & Urrutia-Fucugauchi, J. (1996). Continental boundaries of the Jalisco block and their influence in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico. *Geology*, 24(10), 921–924. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<0921:CBOTJB>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0921:CBOTJB>2.3.CO;2)
- Rufolo, S. (1998). *Taxonomy and significance of the fossil mammals of Lake Chapala, Jalisco, Mexico*. [Tesis de maestría]. Brigham Young University. Department of Geology.
- Say, T., & Ord, G. (1825). Description of a new species of Mammalia, whereon a genus is proposed to be founded. *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 4(2), 352–355.
- Smith, M. L., Cavender, T. M., & Miller, R. R. (1975). Climate and biogeographic significance of a fish fauna from the late Pliocene-early Pleistocene of the Lake Chapala basin (Jalisco, Mexico). *University of Michigan Papers on Paleontology, Studies on Cenozoic Paleontology and Stratigraphy in honor of Claude W. Hibbard Memorial*, 12, 29–38.
- Urrutia-Fucugauchi, J., & Rosas-Elguera, J. (1994). Paleomagnetic study of the eastern sector of Chapala Lake and implications for the tectonics of west-central Mexico. *Tectonophysics*, 239, 61–71. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90107-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90107-4)
- von Koenigswald, W., Anders, U., Engels, S., Schultz, J. A., & Ruf, I. (2010). Tooth morphology in fossil and extant Lagomorpha (Mammalia) reflects different mastication patterns. *Journal of Mammalian Evolution*, 17, 275–299. <https://doi.org/10.1007/s10914-010-9140-z>
- Wagner, J. A. (1843). Die Säugthiere in Abbildungen nach der Natur, mit Beschreibungen. Erlangen, *Expedition des Schreber'schen säugthier*.
- Wilson, R. W. (1949). Rodents of the Rincon fauna, western Chihuahua, Mexico. *Carnegie Institution of Washington Publications: Contributions to Paleontology*, 584, 165–176.
- Zakrzewski, R. J. (1991). New Species of Blancan Woodrat (Cricetidae) from North-Central Kansas. *Journal of Mammalogy*, 72(1), 104–109. <https://doi.org/10.2307/1381984>

***Pyrenicola* (Crustacea: Decapoda: Brachyura), new genus for *Litoricola macrodactyla* (Van Straelen, 1924) and *Litoricola macrodactyla pyrenaica* (Artal and Vía, 1989), and remarks on *Coeloma* (Milne-Edwards, 1865).**

***Pyrenicola* (Crustacea: Decapoda: Brachyura), género nuevo para *Litoricola macrodactyla* (Van Straelen, 1924) y *Litoricola macrodactyla pyrenaica* (Artal y Vía, 1989), y comentarios acerca de *Coeloma* (Milne-Edwards, 1865)**

Artal, Pedro¹; Ossó, Àlex^{2*}

¹Museu Geològic del Seminari de Barcelona, Diputació, 231, 08007 Barcelona, Catalonia.

²Ateneu de Natura-Tarragona, Llorenç de Villalonga, 17B, 1-1, 43007 Tarragona, Catalonia.

*aosso@tinet.cat

Abstract

A new genus, *Pyrenicola*, is proposed to accommodate *Xanthilites macrodactylus* Van Straelen, 1924 from the Thanetian of Haute Garonne (France), and *X. macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía, 1989 from the Ypresian of Aragon (Spain), as well as clarify their relationships with the morphologically close *Litoricola* Woodward, 1873, where both are currently placed, and with *Coeloma* A. Milne-Edwards, 1865. As a result, *Litoricola* is herein revalidated as an available genus, different from *Coeloma*, of which it has frequently been considered either a subgenus or a synonym. Also, the subspecies *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* is elevated to full species rank as *Pyrenicola pyrenaica* n. comb. The familial placement of *Pyrenicola* n. gen., *Litoricola* and particularly of *Coeloma*, currently placed within Polybiinae Paulson, 1875 (Portunoidea Rafinesque, 1815) is revised. Consequently, a new placement of the three genera within Geryonidae Colosi, 1923, the most basal portunoid crabs, is herein proposed.

Keywords: Paleogene, Pyrenees, Eubrachyura, Portunoidea, Geryonidae, non-swimming crabs.

Resumen

En el presente trabajo se propone un nuevo género, *Pyrenicola*, para ubicar a *Xanthilites macrodactylus* Van Straelen, 1924 del Thanetiano de la Haute Garonne (Francia) y *X. macrodactylus pyrenaicus* Artal y Vía, 1989 del Ypresiano de Aragón (España), así como clarificar sus relaciones con géneros morfológicamente cercanos como *Litoricola* Woodward, 1873 y *Coeloma* A. Milne-Edwards, 1865. Como resultado, *Litoricola* se revalida aquí como un género singular y diferente de *Coeloma*, del cual frecuentemente se le ha considerado un subgénero o un sinónimo. La subespecie *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus*, se eleva al rango de especie como *Pyrenicola pyrenaica* n. comb. Asimismo, se revisa la ubicación familiar de *Pyrenicola* n. gén., *Litoricola* y en particular la de *Coeloma*, actualmente ubicado en Polybiinae Paulson, 1875 (Portunoidea Rafinesque, 1815). En consecuencia, se propone una nueva ubicación para los tres géneros dentro de Geryonidae Colosi, 1923, considerados los portunoideos más basales.

Palabras clave: Paleoceno, Pirineos, Eubrachyura, Portunoidea, Geryonidae, cangrejos no nadadores.

urn:lsid:zoobank.org:pub:1C539811-F4FC-454F-A8F0-8C21A46D4CB1

Cómo citar / How to cite: Artal, P. & Ossó, À. (2024). *Pyrenicola* (Crustacea: Decapoda: Brachyura), new genus for *Litoricola macrodactyla* (Van Straelen, 1924) and *Litoricola macrodactyla pyrenaica* (Artal and Vía, 1989), and remarks on *Coeloma* (Milne-Edwards, 1865). *Paleontología Mexicana*, 13(2), 191–203.

Manuscript received: May 13, 2024.

Manuscript corrected: June 16, 2024.

Manuscript accepted: June 16, 2024.



1. Introduction

Fossil decapods from the Thanetian/Ypresian outcrops of both slopes of the Pyrenees have been recorded since the beginning of the twentieth Century until present times, this last decade has been the most important in terms of number of reports (van Straelen, 1924; Vía Boada, 1973; Artal and Vía, 1989; Artal and Castillo, 2005a, b; Artal *et al.*, 2006; Artal *et al.*, 2013a, b; Artal and van Bakel, 2018a, b; Ferratges *et al.*, 2019; Artal and van Bakel, 2020; Artal *et al.*, 2021; Ferratges *et al.*, 2021a, b; Artal *et al.*, 2022; Ferratges *et al.*, 2022a, b, c; van Bakel *et al.*, 2023).

Among the mentioned articles, three of them have been specifically dealing with two very morphologically similar taxa that were originally assigned to the genus *Xanthilites* Bell, 1858: *Xanthilites macrodactylus* van Straelen, 1924, and *X. macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía, 1989. Since then, the generic placement of both taxa has been controversial, and has been moved to different genera such as *Litoricola* Woodward, 1873 or *Coeloma* Milne-Edwards, 1865 (Table 1). For instance, *Xanthilites macrodactylus* and *X. macrodactylus pyrenaicus* were considered “unknown” and *Coeloma*? respectively (see Schweitzer, 2005, p. 287, t. 3), *X. macrodactylus pyrenaicus* as *Litoricola macrodactylus pyrenaicus* (Jagt *et al.*, 2010, p. 247), *X. macrodactylus* as *L. macrodactylus* (Ossó, 2016, p. 239; 2021, p.

151), or *Litoricola* spp. as *Coeloma* spp. (e.g. Schweitzer *et al.*, 2010, p. 137; 2021, p. 7–9).

When Artal and Vía (1989) erected *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus*, from the Ypresian of La Pobla de Roda (Aragon, Spain), considered it as a subspecies of *X. macrodactylus* of the Thanetian of Boussens (Haute Garonne, France), in despite of existing differences reported in their work. However, the review of a range of well-prepared specimens and old material located in museums, preserving both dorsal and ventral features, leads us to consider that the aforementioned taxa belong to a different species rather than a single species with subspecies. They can be also considered different species of a new genus, clearly separated from *Litoricola* or *Coeloma*. Moreover, we think that *Litoricola* should be considered a valid genus, rather than a subgenus of *Coeloma*, in agreement with Jagt *et al.* (2010, p. 247). The familial placement of the proposed new genus, *Litoricola* and *Coeloma*, is revised, given that the current placement of this group of taxa within Polybiinae (Paulson, 1875) (see Schweitzer *et al.*, 2021) cannot be sustained from a morphological point of view (*cf.* Spiridonov *et al.*, 2014; Evans, 2018; Spiridonov, 2020).

Thus, in order to disentangle the relationships among these taxa, the aims of the present work are: i) to reevaluate the taxonomic position of *Litoricola* as a valid genus; ii) to propose a new genus to accommodate *L. macrodactyla* and *L. macrodactyla pyrenaica*; iii) to reevaluate the subspecies status of

Tabla 1. Different generic placements through time of *Xanthilites macrodactylus* and *X. macrodactylus pyrenaicus*.

<i>Xanthilites macrodactylus</i> Van Straelen, 1924.	<i>Xanthilites macrodactylus pyrenaicus</i> Artal and Vía, 1989.	Unknown (<i>Xanthilites macrodactylus</i>) Schweitzer, 2005.	<i>Coeloma</i> ? (<i>Xanthilites macrodactylus pyrenaicus</i>) Schweitzer, 2005.	<i>Coeloma macrodactylus</i> (subspecies included) Schweitzer <i>et al.</i> , 2010; 2021.	<i>Litoricola macrodactylus pyrenaicus</i> Jagt <i>et al.</i> , 2010; Ferratges, 2017; Ferratges <i>et al.</i> , 2021, 2022b.	<i>Litoricola macrodactyla</i> Ossó, 2016, 2021; Van Bakel <i>et al.</i> , 2023.
--	--	---	--	--	---	--

L. macrodactyla pyrenaica and consider elevating it to full species rank within the new genus; iv) to discuss the familial placement of all the aforementioned taxa.

2. Repository

Museu de Geologia del Seminari de Barcelona (Barcelona, Catalonia), acronym: MGSB. Museu de Geologia de Barcelona (Barcelona, Catalonia), acronym MGB. Sedgwick Museum of Earth Sciences (Cambridge, United Kingdom), acronym: SGC.

3. Systematic paleontology

Order Decapoda Latreille, 1802

Infraorder Brachyura Latreille, 1802

Section Eubrachyura de Saint Laurent, 1980

Subsection Heterotremata Guinot, 1977

Superfamily Portunoidea Rafinesque, 1815

Family Geryonidae Colosi, 1923

Litoricola Woodward, 1873

Fig. 1A-F

Type species. *Litoricola dentata* Woodward, 1873, by subsequent designation of Glaessner (1929, p. 237)

Species included. *Litoricola dentata* Woodward, 1873 (= *L. glabra* Woodward, 1873 [see Collins *et al.*, 2020, p. 45, as *Coeloma*]).

Stratigraphical range. Lower Eocene.

3.1. Emended diagnosis

Medium-sized carapace, inverted subtrapezoidal in shape, broader than long, L/W ratio about 0.73, nearly flat in both directions; maximum width at the anterior third of carapace. Front bilobed, protruding beyond the orbits, slightly downturned. Lobes bifid, resulting in a tetra-lobed appearance, with outer spines markedly divergent. Orbits broad, with two distinct open fissures; width of the supraorbital margin twice the width of the front. Anterolateral margins short, near vertical with three unequal spines, blunt anterior corner

(excluding the extra-orbital tooth). Posterolateral margins straight, markedly longer than the anterolateral ones. Dorsal regions barely defined. Thoracic sternum relatively broad, slightly longer than broad, and ovate in shape. Sternite 3 is inverted subtrapezoidal and fused; sternite 4 broad, three times as tall as the sternite 3; sternites 5 to 7 subtrapezoidal, horizontally elongated, sternite 5 the wider. Suture 2/3 complete; suture 3/4 only visible laterally and defined by a marked oblique groove nearly reaches the axis; sutures 4/5 and 5/6 interrupted axially; sutures 6/7 and 7/8 complete. Sterno-pleonal cavity shallow, slightly surpassing coxa of P1 and reaching half of sternite 4. Male pleon subrectangular elongated; pleonal somites completely free; third male somite the wider. Chelipeds long, slender, present notable heterochely; dactylus of major claw with an eccentric proximal molariform tooth, followed by serial conical teeth. Major cheliped twice as long as the minor cheliped. Left handedness of chelipeds being frequent. Ambulatory legs long, slender, and compressed.

3.1.1. Remarks

Litoricola was erected by Woodward (1873, p. 28-30, pl. 2, figs. 1-5) based on several specimens coming from the early Eocene of Hampshire and he described two species: *L. dentata* and *L. glabra*. Subsequently, Glaessner (1929, p. 237) designated *L. dentata* as the type species and continued referring to them as feminine gender. Collins *et al.* (2020, p. 45 [as *Coeloma*]) considered '*C. glabrum*' as junior synonym of '*C. dentatum*'. *Litoricola* has been recurrently considered as subgenus of *Coeloma* or synonymized with *Coeloma* by different authors (e.g. Lörenthey in Lörenthey and Beurlen, 1929, p. 241; Glaessner, 1969, p. R524; Schweitzer *et al.*, 2010, p. 137; Quayle and Collins, 2012, p. 39; Collins *et al.*, 2020, p. 45; Schweitzer *et al.*, 2021, p. 7-9). However, Jagt *et al.* (2010, p. 247), considered *Litoricola* as valid genus, opinion followed by other authors, for instance Ossó (2016, 2021), Ferratges (2017), Ferratges *et al.* (2021c) and van Bakel *et al.* (2023).

In any case, *Litoricola* have enough morphological differences to be separated from *Coeloma* and from the new genus herein proposed. *Coeloma* is characterized by a more subhexagonal outline of the carapace (vs. subtrapezoidal in *Litoricola*); the fronto-orbital margins are wider than those in *Litoricola*; the

dorsal surface is generally granulated, slightly vaulted in both directions and the regions are fairly defined (vs. flattened and smooth carapace in *Litoricola*); the frontal margin, similarly bilobed and four-lobed-like, is wider and more downturned than in *Litoricola*; the outer orbital teeth is subtriangular, remarkably

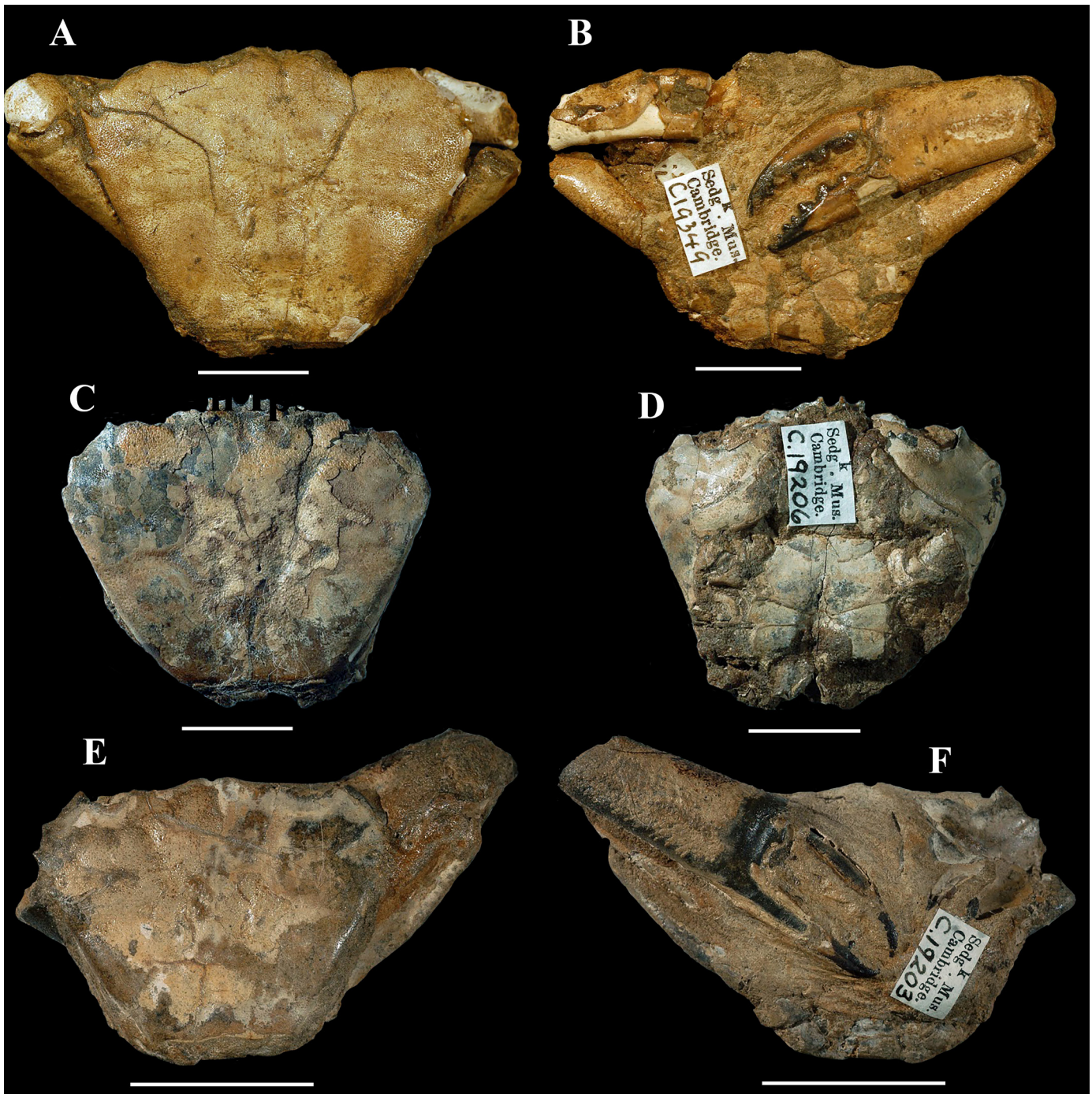


Figure 1. A-F, *Litoricola dentata* (Woodward, 1873) from the Ypresian of Hampshire, United Kingdom. A, B, SGC C19349, A: dorsal view; B: ventral view. C, D, SGC C19206, C: dorsal view, D: ventral view. E, F, SGC C19203, E: dorsal view, F: ventral view. Scale bar equal to 10 mm. (Pictures courtesy of Barry van Bakel).

stout, larger than any other in the outline (vs. blunt in *Litoricola*); the anterolateral margins are weakly arched, nearly-vertical, with three smaller teeth, and notably longer than in *Litoricola*; posterolateral margins are fairly longer than the anterolateral, posterior portion is broadly arched (vs. much longer and straight in *Litoricola*); the branchial regions are subdivided, in particular the epibranchial ridges are fairly marked (vs. poorly defined by swellings in *Litoricola*); dorsal grooves are shallow but well defined (vs. barely defined in *Litoricola*). The thoracic sternum is fairly subcircular, broad (vs. ovate, narrower in *Litoricola*). Chelipeds are shorter than *Litoricola* and do not present the strong heterochely that *Litoricola* shows (e.g. Milne-Edwards, 1865, p. 324, pl. 12, figs. 1-3; Lörenthey in Lörenthey and Beurlen, 1929, pl. 12, figs. 15, 16; Sorgenfrei, 1940, t. 7, figs. 1-5, t. 8, figs. 1-5; Bachmayer and Mundlos, 1968, pls. 10-15; Glaessner, 1969, fig. 332, 2a, b; Allasinaz, 1975, fig. 12, pls. 6, 7; Jagt *et al.*, 2010, p. 247-248, t. 1, pl. 1; Hyžný and Zagorsek, 2012, text-fig. 3A-C; Hyžný and Zorn, 2016, pl. 4, figs. 2a-e; Schweitzer *et al.*, 2021, p. 7-8; <http://www.mbfossilcrabs.com/Portunoidea.html> accessed March, 8, 2024).

The entire set of differences listed above warrant *Litoricola* as different genus, separated from *Coeloma* and their subgenera. See below the differences with the proposed new genus.

Genus *Pyrenicola* new genus

urn:lsid:zoobank.org:act:-

B13E8E7C-B374-4893-954D-8712FD0B595B

Type species. *Xanthilites macrodactylus* Van Straelen, 1924.

Etymology. From *Pyrene*, related to the origin of Pyrenees in Greek mythology, and joining the suffix *-cola*, from *Litoricola*, the most related genus. Gender feminine.

Species included. *Pyrenicola macrodactyla* (Van Straelen, 1924) [as *Xanthilites macrodactylus*]; *Pyrenicola martinezensis* (Rathbun, 1926) [as *Coeloma martinezensis*]; *Pyrenicola pyrenaica* (Artal and Vía, 1989) [as *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus*].

Stratigraphical range. From upper Paleocene to lower Eocene.

3.2. Diagnosis

Carapace medium-sized, subhexagonal in outline, fairly broader than long, maximum width at the level of the epibranchial region, slightly vaulted in both directions. Front bilobed, with bifid lobes giving tetra-lobed appearance, slightly downturned, protruding beyond the orbits. Orbits broad, subquadrate; supraorbital margin with vestiges of closed fissure medially, along with an open fissure or notch distally at the base of the outer-orbital tooth; outer orbital tooth subtriangular forwardly directed. Anterolateral margins slightly arched, with three to four subtriangular teeth (excluding outer-orbital tooth). Posterolateral margins straight. Posterior margin straight. Dorsal regions well defined by swellings; branchial areas few differentiated. Thoracic sternum narrow, ovate, longer than broad; maximum width at 5 sternite level; sternite 4 elongate; suture 3/4 visible laterally. sutures 4/5 and 5/6 interrupted axially. Sterno-pleonal cavity shallow, surpassing coxa of P1 and reaching half of sternite 4. Male pleon subtriangular, pleonal somites completely free; third male somite the wider. Chelipeds show notable heterochely; dactylus of major claw bearing an eccentric proximal molariform tooth, followed by serial conical teeth. Left handedness relatively common. Ambulatory legs long, slender, compressed.

3.2.1. Remarks

Pyrenicola n. gen. is compared with the morphological closest genera, such as *Litoricola* and *Coeloma*. Major differences distinguishing *Litoricola* from *Pyrenicola* n. gen. are a different outline of carapace, inverted subtrapezoidal in *Litoricola* (vs. subhexagonal in *Pyrenicola* n. gen.); the carapace reaches its maximum width towards the anterior (vs. more posteriorly in *Pyrenicola* n. gen.); an almost flattened carapace (vs. more vaulted in *Pyrenicola* n. gen.); slightly narrower front, clearly notched medially with divergent spines (vs. more notched

front in *Pyrenicola* n. gen.); the orbits are much wider, being the length twice the length of the front, and the supraorbital notches clearly open (vs. supraorbital fissures closed or fused in *Pyrenicola* n. gen.); the anterolateral margin is clearly shorter, with only three unequal teeth (vs. longer anterolateral margin with four teeth in *Pyrenicola* n. gen.); the groove defining the sternal suture 3/4 nearly reaches the axial portion of sternites (vs. only defined laterally in *Pyrenicola* n. gen.) (e.g. Woodward, 1873, p. 28-30, p. 2, figs. 1-5; Glaessner, 1969, p. R524, figs. 1a, b [as *Coeloma*]; Ossó, 2016, figs. 6F-I; Collins *et al.*, 2020, p. 45; Schweitzer *et al.*, 2021, p. 7, Fig 3.5 [as *Coeloma*]).

Coeloma differs from *Pyrenicola* n. gen. in having a different outline of the carapace, nearly subquadrate, and more flattened dorsal surface (vs. vaulted in *Pyrenicola* n. gen.); wider fronto-orbital margin, with orbits being extremely large, sinuous, and clearly divided in two portions, with two opened, deep, fissures (vs. shorter orbits and closed fissures in *Pyrenicola* n. gen.); much shorter anterolateral and nearly vertical margins (vs. longer and slightly arched in *Pyrenicola*); and noticeable epibranchial ridges, not well-defined in *Pyrenicola* n. gen. Moreover, the thoracic sternum is broader and the chelipeds are not so stout and do not show the extreme heterocheily as in *Pyrenicola* n. gen. (e.g. Milne-Edwards, 1865, p. 324, pl. 12, figs. 1-3; Glaessner, 1969, p. R524, fig. 332a, b; Allasinaz, 1975, fig. 12, pls. 6, 7; Jagt *et al.*, 2010, p. 247-249, t. 1, pl. 1; Hyžný and Zorn, 2016, pl. 4, figs. 2a-e; Schweitzer *et al.*, 2021, p. 7-9, fig. 5 [*Litoricola*]).

The set of characters listed above clearly distinguishes *Litoricola* and *Coeloma* from *Pyrenicola* n. gen., and justifies the erection of a new genus for the two reported species of crabs. Jagt *et al.* (2010, p. 247), included *Coeloma martinezensis* in *Litoricola* from the early Eocene of California (USA), unfortunately a detailed examination of the type material is not possible, given that the sole specimen (the holotype) USNM MO 353370 was marked as 'Missing back' in 2017 by the National Museum of Natural History (Nicolas Drew, Smithsonian

Institution, pers. comm.). However, based on its front protruding beyond the orbits, and the subquadrate orbits depicted in Rathbun (1926, pl. 11, figs. 1-3), we place *L. martinezensis* within *Pyrenicola* n. gen. rather than in *Litoricola*. Also, *Coeloma vareolata* Lörenthey, 1898, is left as it is, although based on the examination of images of the holotype, kindly provided by M. Hyžný, indicate that perhaps it could be placed in a new genus. Future works will determine its generic position.

Pyrenicola pyrenaica (Artal and Vía, 1989) n. comb.

Fig. 2A-F

Stratigraphic range. Middle Ypresian.

1973 *Xanthilites* cf. *interpunctus* (Schafhäült, 1863);

Vía Boada; p. 56, pl. 1.

1988 *Xanthilites interpunctus*; Vía, p. 351, fig. 343J.

1989* *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía; p. 58 pl. 1.

1989 *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía, 1988 [sic]; Solé and Vía, p. 32.

1995 *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía, 1989; Fraaye p. 65.

2005 *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía, 1988 [sic]; Schweitzer, p.287, t. 3.

2010 *Litoricola macrodactylus pyrenaicus* Artal and Vía, 1989; Jagt *et al.*, p. 249.

2017 *Litoricola macrodactylus pyrenaicus* (Artal and Vía, 1988) [sic]; Ferratges, fig. 41A, pl. 27, figs. A, B.

2021c *Litoricola macrodactylus pyrenaicus* (Artal and Vía, 1988) [sic]; Ferratges *et al.*, t1, fig. 7T.

2022b *Litoricola macrodactylus pyrenaicus* (Artal and Vía, 1988) [sic]; Ferratges *et al.* in Zamora *et al.*, figs. 10M, N.

3.3. Emended diagnosis

Medium-sized carapace, subhexagonal outline, slightly vaulted in both directions, L/W ratio about 0.76. Front bilobed, lobes bifid resulting in a tetra-lobed appearance, just protruding beyond the orbits, the frontal spines are directed forward, but in a slightly lower plane. Orbits of similar size to the front; supraorbital margin nearly straight, with an open fissure close to the outer-orbital tooth, and a vestige of a medial closed fissure. Anterolateral margin somewhat arched, with four subtriangular

teeth (excluding outer-orbital tooth) similar in size, the first one blunt, almost obsolete. Posterolateral margins straight, longer than anterolateral. Posterior margin nearly straight somewhat broader than frontal margin. Dorsal regions well defined by gentle, rounded, swellings; dorsal surface densely and uniformly covered by small granules. Thoracic sternum ovate, notably longer than broad; sternites 1–2

subtriangular, fused; sternite 3 inverted subtrapezoidal and fused with sternite 4; sternite 4 elongate; sternites 5 to 7 subtrapezoidal horizontally elongated, sternite 5 the wider. Suture 2/3 complete; suture 3/4 only visible laterally and defined internally by a shallow oblique depression; sutures 4/5 and 5/6 interrupted axially; sutures 6/7 and 7/8 complete. Episternites 4 to 6 posteriorly directed, suture barely



Figure 2. A-F, *Pyrenicola pyrenaica* (Artal and Vía, 1989) n. comb., from the Ypresian of La Pobla de Roda (Aragon, Spain). A-C, holotype MGSB 46620, A: dorsal view; B: ventral view; C: frontal view. D, MGSB 75445b, ventral view. E, F, MGSB 75445a, E: dorsal view, F: ventral view. Scale bar equal to 10 mm.

visible. Sterno-pleonal cavity shallow, surpassing coxa of P1 and reaching half of sternite 4. Male pleon subtriangular, pleonal somites completely free; third male somite the wider. Ambulatory legs long, slender, compressed. Male pleon subtriangular elongated, pleonal somites completely free; third male somite the wider. Female pleon subtriangular, somewhat wider than male pleon. Chelipeds show notable heterochely; major claw elongated, dactylus bearing an eccentric proximal molariform tooth, followed by serial conical teeth. Minor claw slender, dactyli with serial conical teeth. Ambulatory legs long, slender, compressed.

3.3.1. Remarks

Pyrenicola pyrenaica n. comb. was erected by Artal and Vía (1989) as *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* and considered as a subspecies of *Xanthilites macrodactylus* (Figs. 3A-F), based on the strong morphological similarities with the French Thanetian species. Also, its placement within the genus *Xanthilites* seemed appropriated at that time because their striking similarity with the imaginative drawing of *X. interpunctus* in Förster (1970, text-fig. 4) (see also Vía, 1988, fig. 343J, 344; Schweitzer, 2005, p.287). Schweitzer (2005, p. 287) reported it as *Coeloma*?, and Jagt *et al.* (2010, p. 247) moved it to *Litoricola*, albeit Schweitzer *et al.* (2021, p. 7-9) retained it as synonymous of *Coeloma*. To entangle even more the generic placement of this species, it has been synonymized with *Harpactocarcinus macrodactylus* (H. Milne-Edwards in d'Archiac, 1850) in Sasaki (2023, p. 11031).

To summarize, herein we elevate the Ypresian *Pyrenicola pyrenaica* n. comb. to full species rank, thus separating it from the Thanetian *P. macrodactyla*. We compare both species as follows.

Pyrenicola macrodactyla differs from *P. pyrenaica* n. comb. in having a major L/W ratio, of about 0.8 (vs. 0.76 in *P. pyrenaica* n. comb.); the front is slightly smaller and more protruded beyond orbits compared to

P. pyrenaica n. comb.; the medial fissure of the supraorbital margin is slightly open (vs. completely closed or fused in *P. pyrenaica* n. comb.); the anterolateral teeth of similar size are more developed, in particular the first one (vs. blunt or obsolete in *P. pyrenaica* n. comb.); the dorsal regions are defined by more salient, nearly conical swellings; the dorsal surface is covered by less dense small granules compared to *P. pyrenaica* n. comb.; the thoracic sternum and pleon, in both males and females, are narrower than those in *P. pyrenaica* n. comb.; the notable heterochely and heteromorphy of the chelipeds are more extremely marked compared to *P. pyrenaica* n. comb. (cf. Figs. 2, 3; Van Straelen, 1924, fig. 2, pl. 1, figs. 2, 2a, b; Artal and Vía, 1989, fig. 2, pl. 1; Goret *et al.*, 2013, pl. E, figs. 4, 7-9; Ossó, 2016, fig. 6D, E; van Bakel *et al.*, 2023, fig. 1I-J; <http://www.mb-fossilcrabs.com/Portunoidea.html> accessed March 8, 2024).

Hence, there are enough distinct features to justify elevating the subspecies *pyrenaica* to full species rank.

4. Remarks on the familial placement of *Litoricola*, *Pyrenicola* n. gen., and *Coeloma*

The familial placement of *Litoricola*, and by extension *Pyrenicola* n. gen., within Geryoniidae, the most basal non-regularly swimming portunoids, was widely argued by Ossó (2016, p. 239, 240). The same applies for *Coeloma* (Ossó, 2021, p. 151), currently placed within Polybiinae (Schweitzer *et al.*, 2021). Indeed, *Coeloma* has been treated through time as geryonid, mathildellid, among others, ending up within Polybiinae, along with a series of heterogeneous fossil genera previously placed within Macropipidae Stephenson and Campbell, 1960 (see Feldmann *et al.*, 2018, p. 580). In parallel, the constantly changing classification of extant Portunoidea, based mainly in molecular studies, subsumed Macropipidae (*sensu* Karasawa *et al.*, 2008) within Polybiinae (Schubart and Reuschel, 2009; Spiridonov *et al.*, 2014; Evans, 2018; Spiridonov, 2020; Schweitzer *et al.*, 2021), about which Spiridonov (2020,

p. 158) warned: “In this case, extinct genera return to an uncertain status, which is not a desirable situation”. According to the current diagnosis of Polybiinae (Spiridonov *et al.*, 2014: 422; Davie *et al.*, 2015, p. 1102; Feldmann *et al.*, 2018, p. 580; Schweitzer *et al.*, 2021, p. 6, 7), *Coeloma* cannot be kept there.

Alternatively, placing together *Coeloma*, *Litoricola* and *Pyrenicola* n. gen. within Geryonidae, seems more appropriate. For instance, the maximum width of carapace is placed posteriorly in Polybiinae than in Geryonidae, *Coeloma*, *Litoricola*, or *Pyrenicola* n. gen. The orbito-frontal margin in Polybiinae is shorter,

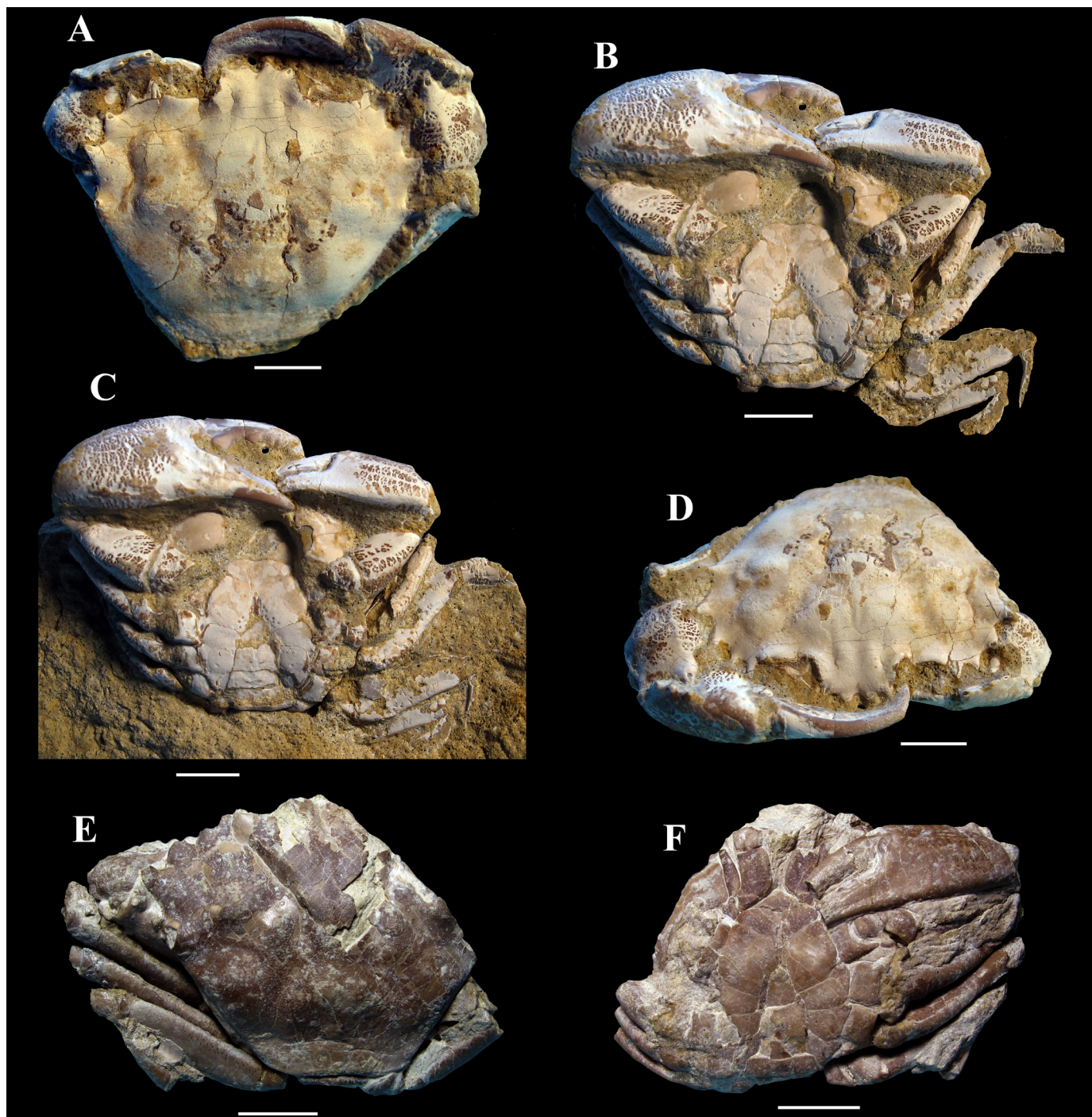


Figure 3. A-F, *Pyrenicola macrodactyla* (Van Straelen, 1924), from the Thanetian of Boussens (Haute Garonne, France). A-D, MGB 69154, A: dorsal view; B: ventral view digitally cropped from matrix; C: ventral view attached to the matrix; D: frontal view. E, F, MGSB 88577, E: dorsal view; F: ventral view. Scale bar equal to 10 mm.

the orbits are smaller, and the front is generally uneven (Spiridonov *et al.*, 2014, p. 422), whereas in Geryonidae and the three aforementioned genera, the orbits are broader, and the front four-toothed or bilobed with a tetra-lobed aspect (Figs. 1C, 2A, C, E, 3A, D; Manning and Holthuis, 1989). The presence of a well-developed posterolateral re-entrant for insertion of last pereopods typical in Polybiinae, is not seen neither in Geryonidae, nor in *Coeloma*, *Litoricola*, or *Pyrenicola* n. gen. (Figs. 1A-C, E, 2A, E, 3A, E; Allasinaz, 1975, fig. 12, pls. 6, 7; Manning and Holthuis, 1989). In Polybiinae, a portion of male sternite 8 is visible, and pleonal somites 3-5 are fused (*vs.* somites 3-5 in male separated by sutures but immovable in Geryonidae, and free in *Coeloma*, *Litoricola* and *Pyrenicola* n. gen.; Davie *et al.*, 2015, p. 1100). Most of the extant representatives of Polybiinae possess a wide thoracic sternum with a maximum width at the level of sternite 6 (Spiridonov, 2020, p. 139), whereas usually in Geryonidae, and the three aforementioned genera the maximum width of the sternum is at the level of sternite 5 (Figs. 1D, 2D, 3B, C, F; *e.g.* Allasinaz, 1975, fig. 12, pl. 6, fig. 4b, pl. 7, fig. 3; Davie *et al.*, 2007, figs. 6A, B). Thoracic sternal sutures 4/5 and 5/6 are usually well defined, and the sutures 6/7 and 7/8 are incomplete (Davie *et al.*, 2015, p. 1102), instead, in Geryonidae and in *Litoricola*, *Pyrenicola* and *Coeloma*, the sutures 4/5 and 5/6 are often incomplete, and the sutures 6/7 and 7/8 nearly complete (Figs. Davie *et al.*, 2015, p. 1099; Mychko, 2018, pl. 5, 1b, 3b). The P5 in representatives of Polybiinae the propodus is broadened and the dactylus is usually modified (*vs.* long and slender and not particularly modified in Geryonidae, neither in *Coeloma*, *Litoricola* and *Pyrenicola* n. gen.). The heterochely of chelipeds is very attenuated in Polybiinae (*vs.* strongly heterochely present in Geryonidae, *Coeloma*, and particularly in *Litoricola* and *Pyrenicola* n. gen.).

The above-listed array of differences between Polybiinae and Geryonidae, is enough to remove *Coeloma* from their current placement in Polybiinae, as shown by the set of

characters that justify its placement within Geryonidae, along to *Litoricola* and *Pyrenicola* n. gen., where it was previously placed on various occasions by different authors (see Ossó, 2016, p. 239, 240, and references therein).

5. Conclusions

The access to numerous well-preserved specimens of the various studied species, has permitted a detailed study of their morphology; as a result, it is observed that *Litoricola* possesses a sufficient number of distinctive characters *vs.* *Coeloma* and *Pyrenicola* n. gen., to be revalidated and retained as an available genus. As well as *Pyrenicola* n. gen., serves to accommodate the French Thanetian *P. macrodactyla*, and the Spanish Ypresian *P. pyrenaica*, the latter elevated herein to full species rank. Also, the familial placement of *Coeloma* has been revisited concluding that its placement within Geryonidae is better supported than in Polybiinae. In addition, the general dorsal morphology of these genera, particularly the fronto-orbital construction, strongly recall of Cretaceous non-swimming portunoids (see Ossó, 2023, p. 91), suggesting a possible phylogenetic relationship between these old taxa and the more derived Cenozoic and extant taxa, without discarding a possible convergence process. Future phylogenetic works, which are not within the reach of the authors, will confirm or not these assumptions and the systematic placements proposed herein.

Acknowledgements

We are indebted to Barry van Bakel for having provided pictures of type specimens of *Litoricola*. To the staff of the Museu de Geologia del Seminari de Barcelona (Barcelona, Catalonia), and the Museu de Geologia de Barcelona (Barcelona, Catalonia) for the facilities in the access to the collections. John Jagt and Sylvain Charbonnier helped us in formal aspects. Sandra Ramos helped us with the English language. We are grateful to anonymous

reviewers whose comments have greatly improved the manuscript.

References

- Allasinaz, A. (1987). Brachyura, Decapoda oligocenici (Rupeliano) del Bacino Ligure Piemontese. *Bollettino del Museo Regionale di Scienze naturali di Torino*, 5(2), 509–566.
- Artal, P., & Via, L. (1989). *Xanthilites macrodactylus pyrenaicus* (Crustacea, Decapoda) nueva subespecie del Ilerdiense medio del Pirineo de Huesca. *Batalleria*, 2, 57–61.
- Artal, P., & Castillo, J. (2005a). *Cyrtorhina ripacurtae* n. sp. (Crustacea, Decapoda, Raninidae), primera cita del género en el Eoceno inferior español. *Batalleria*, 12, 33–38.
- Artal, P., & Castillo, J. (2005b). *Periacanthus ramosus* (Crustacea, Decapoda), nueva especie del Eoceno inferior de Huesca (Aragón, España). *Batalleria*, 12, 39–44.
- Artal, P., & van Bakel, B. W. M. (2018a). Aethrids and panopeids (Crustacea, Decapoda) from the Ypresian of both slopes of the Pyrenees (France, Spain). *Scripta Musei Geologici Seminarii Barcinonensis*, 22, 3–19.
- Artal, P., & van Bakel, B. W. M. (2018b). Carpiliids (Crustacea, Decapoda) from the Ypresian (Eocene) of the Northeast of Spain. *Scripta Musei Geologici Seminarii Barcinonensis*, 22, 20–36.
- Artal, P., & van Bakel, B. W. M. (2020). A new xanthid crab (Decapoda, Brachyura) from the Lower Eocene (Ypresian) of Huesca (Aragón, Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 296, 19–27. <https://doi.org/10.1127/njgpa/2020/0885>
- Artal, P., van Bakel, B. W. M., & Castillo, J. (2006). *Retropluma* Gill, 1894 (Crustacea, Decapoda) from the Eocene of the eastern Pyrenees (Spain, France). *Cainozoic Research*, 5, 63–69.
- Artal, P., Ossó, À., & Domínguez, J. L. (2013a). *Archaeoportunus isabensis*, a new genus and species of portunoid crab (Crustacea, Decapoda) from the lower Eocene of Huesca (Spain). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65, 307–317. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2013v65n2a12>
- Artal, P., van Bakel, B. W. M., Fraaije, R. H. B., & Jagt, J. W. M. (2013b). New retroplumid crabs (Crustacea, Brachyura, Retroplumidae Gill, 1894) from the Eocene of Huesca (Aragon, Spain). *Zootaxa*, 3652, 343–352. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3652.3.3>
- Artal, P., Ossó, À., & Domínguez, J. L. (2021). New genus and new species of portunoid crab: *Archaeoportunus isabensis* from the Lower Eocene of Huesca (Aragon) and Lleida (Catalonia). *Nemus*, 11, 176–186.
- Artal, P., Ferratges, F. A., van Bakel, B. W. M., & Zamora, S. (2022). A highly diverse dromioid crab assemblage (Decapoda, Brachyura) associated with pinnacle reefs in the lower Eocene of Spain. *Journal of Paleontology*, 1–20. <https://doi.org/10.1017/jpa.2021.114>
- Bachmayer, F., & Mundlos, R. (1968). Die tertiären Krebse von Helmsedt bei Braunschweig, Deutschland. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 72, 649–692.
- Bell, T. (1858). A monograph of the fossil malacostracous Crustacea of Great Britain, Pt. I, Crustacea of the London Clay. Monograph of the Palaeontographical Society, London, 10 [1856], i–viii, 1–44. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.11701>
- Colosi, G. (1923). Una specie fossile di Gerionide (Decapodi brachiuri). *Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli*, 2(15), 248–255.
- Collins, J. S. H., Mellish, C. J. T., Ross, A. J., Crabb, P. T., & Donovan, S. K. (2020). A guide to the fossil Decapoda (Crustacea: Axiidea, Anomura, Brachyura) of the British Isles. *Proceedings of the Geologists' Association*, 131, 19–50. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2019.10.001>
- Davie, P. J. F., Ng, P. K. L., & Dawson, E. W. (2007). A new species of deep-sea crab of the genus *Chaceon* Manning & Holthuis, 1989 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Geryonidae) from Western Australia. *Zootaxa*, 1505, 51–62. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1505.1.4>
- Davie, P. J. F., Guinot, D., & Ng, P. K. L. (2015). Systematics and classification of Brachyura. in Castro, P., Davie, P. J. F., Guinot, D., Schram, F. R., von Vaupel Klein, J.C. (Eds.). *Treatise on Zoology – Anatomy, Taxonomy, Biology – The Crustacea: complementary to the volumes translated from the French of the Traité de Zoologie 9 (C) (I). Brachyura (Part 1), Decapoda (1049–1130)*.
- Evans, N. (2018). Molecular phylogenetics of swimming crabs (Portunoidea Rafinesque, 1815) supports a revised family-level classification and suggests a single derived origin of symbiotic taxa. *PeerJ*, 6, e4260. <https://doi.org/10.7717/peerj.4260>
- Feldmann, R. M., Schweitzer, C. E., & Goedert, J. L. (2018). A new species of Carcinidae (Portunoidea) and preservation with a complex taphonomic and depositional history, Washington State, USA. *Journal of Crustacean Biology*, 38, 579–586. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruy066>
- Ferratges, F. A. (2017). Los crustáceos fósiles de las cuencas Surpirenaicas. *Cuadernos de Paleontología Aragonesa*, 8, (100 pp). Asociación Cultural Bajo Jalón, Ricla (Zaragoza).
- Ferratges, F. A., Zamora, S., & Aurell, M. (2019). A new genus and species of Parthenopidae MacLeay, 1838 (Decapoda: Brachyura) from the lower Eocene of Spain. *Journal of Crustacean Biology*, 39, 303–311. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruz014>
- Ferratges, F. A., Artal, P., & Zamora, S. (2021a). New hermit crabs (Paguroidea, Anomura) from the Eocene of Huesca, Spain. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73(3), A070121. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n3a070121>
- Ferratges, F. A., Domínguez, J. L., & Ossó, À. (2021b). First record of a homolid crab (Crustacea: Decapoda: Homoloidea) from the early Eocene of the Iberian Peninsula. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73, A311220. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n3a311220>
- Ferratges, F. A., Zamora, S., & Aurell, M. (2021c). Unravelling the distribution of decapod crustaceans in the Lower Eocene coral reef mounds of NE Spain (Trempe-Graus Basin, southern Pyrenees). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 575, 110439. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110439>
- Ferratges, F. A., Artal, P., van Bakel, B. W. M., & Zamora, S. (2022a). Filling the early Eocene gap of paguroids (Decapoda, Anomura): A new highly diversified fauna from the Spanish Pyrenees (Serraduy Formation, Graus-Trempe Basin). *Journal of Paleontology*, 97(1), 172–188. <https://doi.org/10.1017/jpa.2022.67>
- Ferratges, F. A., García-Penas, Á., Aurell, M., & Zamora, S. (2022b). Distribution of Decapod communities from the early Eocene of the South-Pyrenean Central Unit (Trempe-Graus Basin, Spanish Pyrenees). Field Guidebook. In *8th Symposium on Fossil Decapod Crustaceans. Palaeontological Publications*, 1, eds. S. Zamora, F. A. Ferratges, A. García-Penas, & M. Aurell, 113–136.
- Ferratges, F. A., Zamora, S., & Aurell, M. (2022c). Systematics and paleoecology of a new species of Varunidae H. Milne Edwards, 1853 (Decapoda: Brachyura) from the lower Eocene of Spain. *Journal of Crustacean Biology*, 42(2), 1–9. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruac013>
- Förster, R. (1970). Zwei neue brachyure Krebse aus dem Paläozän des Haunsberges nördlich von Salzburg. *Mitteilungen Bayerischen Staatsammlung Paläontologische und Historische Geologie*, 10, 241–252.
- Fraaye, R. H. B. (1995). A new raninid crab, *Pseudorogues rangiferus* (Decapoda, Crustacea), from the Eocene of Spain. *Estudios Geológicos*, 51(1-2), 65–67.
- Glaessner, M. F. (1929). Crustacea Decapoda. In F. J. Pompeckj (Ed.), *Fossilium catalogus 1: Animalium* (Vol. 41. 464 p.). W. Junk. Berlin

- Glaessner, M. F. (1969). Decapoda. In R. C. Moor (Ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part R, Arthropoda*. [4(2)], pp. 400–533, 626–628. Geological Society of America & University of Kansas Press, Boulder & Lawrence.
- Goret, B., Téodori, D., & Lebrun, P. (2013). Le Crétacé-Paléogène des Petites Pyrénées. Des fossiles en Haute Garonne et Ariège. *Fossiles*, 16, 44–58.
- Guinot, D. (1977). *Données nouvelles sur la morphologie, la phylogénèse et la taxonomie des Crustacés Décapodes Brachyours* [Thèse de Doctorat ès-Sciences], Université Pierre et Marie Curie, 1: i-xv + 1-486; 2: xvi-xxiv + pls. 1-31.
- Hyžný, M., & Zágorský, K. (2012). The Priabonian bryozoan-decapod association from the Borové Formation (the Ďurkovec quarry, NE Slovakia) and its palaeoecological implications. *Acta Musei Nationalis Pragae Series B – Historia Naturalis*, 68, 15–22.
- Hyžný, M., & Zorn, I. (2016). A catalogue of the type and figured fossil decapod crustaceans in the collections of the Geological Survey of Austria in Vienna. *Jahrb Geol Bundesanst (1945)*, 156(1-4), 127–177.
- Karasawa, H., Schweitzer, C. E., & Feldmann, R. M. (2008). Revision of Portunoidea Rafinesque, 1815 (Decapoda: Brachyura) with emphasis on the fossil genera and families. *Journal of Crustacean Biology*, 28, 82–127. <https://doi.org/10.1651/07-2882R.1>
- Latreille, P. A. (1802). Histoire naturelle, générale et particulière des crustacés et des insectes. Tome 3, (1–468). F. Dufart, Paris. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.15764>
- Lőrenthey, E. (1898). Beiträge zur Decapodenfauna des ungarischen Tertiärs. *Természettudományi Füzetek*, 21, 1–133.
- Lőrenthey, E., & Beurlen, K. (1929). Die fossilen Dekapoden der Länder der Ungarischen Krone. *Geologica Hungarica, Series Palaeontologica*, 3, 1–421.
- Jagt, J. W. M., Van Bakel, B. W. M., & Fraaije, R. H. B. (2010). *Coeloma rupeliense* (Crustacea, Decapoda, Brachyura) from the Bilzen Formation (Rupel Group, Lower Oligocene) in northeast Belgium. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, 80, 245–252.
- Manning, R. B., & Holthuis, L. B. (1989). Two new genera and nine new species of geryonid crabs (Crustacea, Decapoda, Geryoniidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 102(1), 50–77.
- Milne Edwards, H. (1850). Formation nummulitique de l'Espagne. In *Histoire des progrès de la Géologie de 1834 à 1849*. (3, pp. 1-304) d'Archiac A. (Ed.). Paris.
- Milne-Edwards, A. (1865). Monographie des crustacés de la famille Cancériens. *Annales des Sciences naturelles (Zoologie)*, 5(3), 297–351. [urn:lsid:zoobank.org:pub:1C539811-F4FC-454F-A8F0-8C21A-46D4CB1](https://doi.org/10.5962/bhl.title.15764)
- Mychko, E. V. (2018). New findings of crabs of *Coeloma balticum* in Upper Eocene of the Sambia Peninsula (Kaliningrad Region). *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*, 93(3), 63–72 (in Russian).
- Ossó, À. (2016). *Eogeryon elegius* n. gen. and n. sp. (Decapoda: Eubrachyura: Portunoidea), one of the oldest modern crabs from late Cenomanian of the Iberian Peninsula. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(2), 231–246. <https://doi.org/10.18268/BSGM2016V68N2A5>
- Ossó, À. (2021). Un cranc nou, *Eogeryon elegius* gen. nov., sp. nov. del Cenomanià tardà de la península Ibèrica. *Nemus*, 11, 144–158.
- Ossó, À. (2023). New data on *Eogeryon elegius* Ossó, 2021 (Decapoda: Eubrachyura: Portunoidea), one of the oldest modern-looking crabs, from the mid-Cretaceous of Iberia. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 50(1), 89–96. https://doi.org/10.50897/bmf.50.1_89
- Paulson, O. (1875). *Studies on Crustacea of the Red Sea, with notes regarding other seas*. Part I. Podophthalmata and Edriophthalmata (Cumacea). S.V. Kulzhenko, Kiev, (XV, 144 pp.) (in Russian; English translation published by Por, F.D. 1961. 164 pp. Jerusalem, Israel program for scientific translations).
- Quayle, W. J., & Collins, J. S. H. (2012). A review of the Tertiary decapod crustaceans from the Isle of Wight, Hampshire, U.K., with description of three new species. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 38, 33–51.
- Rafinesque, C. S. (1815). Analyse de la nature, ou tableau de l'univers et des corps organisés. (pp. 1–224). L'Imprimerie de Jean Barravecchia, Palermo.
- Rathbun, M. J. (1926). The fossil stalk-eyed Crustacea of the Pacific slope of North America. *United States National Museum Bulletin*, 138(1-8), 1–155. <https://doi.org/10.5479/si.03629236.138.i>
- Saint-Laurent, M. de, (1980). Sur la classification et la phylogénie des Crustacés Décapodes Brachyours. I. Podotremata Guinot, 1977, et Eubrachyura sect. nov: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences de Paris, série D*, 290, 1265–1268.
- Sasaki, J. (2023). *The species list of Decapoda, Euphausiacea, and Stomatopoda, all of the world*. (version 07-8.12, pp. 1-17923). Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization, Resources Management and Enhancement Division. Abashiri Fisheries Research Institute, Fisheries Research Department, Hokkaido, Japan. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22353.89446>
- Schubart, C. D., & Reuschel, S. (2009). A proposal for a new classification of Portunoidea and Cancroidea (Brachyura: Heterotremata) based on two independent molecular phylogenies. In J. W. Martin, K. A. Crandall, D. L. Felder (Eds.), *Decapod Crustacean Phylogenetics. Crustacean Issues* (pp. 533–549). Koenemann, S. (series ed.), Vol. 18. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Schweitzer, C. E. (2005). The genus *Xanthilites* Bell, 1858 and a new xanthoid family (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Xanthoidea): new hypotheses on the origin of the Xanthoidea MacLeay, 1838. *Journal of Paleontology*, 79, 277–295. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2005\)079%3C0277:TGXBA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2005)079%3C0277:TGXBA%3E2.0.CO;2)
- Schweitzer, C. E., Feldmann, R. M., Garassino, A., Karasawa, H., & Schweigert, G. (2010). Systematic list of fossil decapod crustacean species. *Crustaceana Monographs*. 10(8), 1–222. <https://doi.org/10.1163/193724012X626575>
- Schweitzer, C. E., Feldmann, R. M., & Karasawa, H. (2021). Part R, Revised, Volume 1, Chapter 8T15: Systematic descriptions: Superfamily Portunoidea. *Treatise Online*, 151, 1–40. <https://doi.org/10.17161/to.vi.15392>
- Solé, J., & Via, L. (1989). Crustacis Decàpodes fòssils dels Països Catalans (Recopilació i actualització des de 1855 a 1988). *Batalleria*, 2, 23–42.
- Sorgenfrei, T. (1940). Marint Nedre-Miocæn i Klintinghoved paa Als. Et Bidrag til Løsning af Aquitanien-Spørgsmaalet. *Dansk Geologiske Undersøgelse*, 2(65), 1–143. <https://doi.org/10.34194/raekke2.v65.6854>
- Spiridonov, V. A. (2020). An update of phylogenetic reconstructions, classification and morphological characters of extant Portunoidea Rafinesque, 1815 (Decapoda, Brachyura, Heterotremata), with a discussion of their relevance to fossil material. *Geologija*, 63, 133–166. <https://doi.org/10.5474/geologija.2020.014>
- Spiridonov, V. A., Neretina, T. V., & Schepetov, D. (2014). Morphological characterization and molecular phylogeny of Portunoidea Rafinesque, 1815 (Crustacea Brachyura): Implications for understanding evolution of swimming capacity and revision of the family-level classification. *Zoologischer Anzeiger*, 253, 404–429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcz.2014.03.003>
- Stephenson, W., & Campbell, B. (1960). The Australian portunids (Crustacea: Portunida) IV. Remaining genera. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 11, 73–122.
- Van Bakel, B. W. M., Ossó, À., & Dominique, T. (2023). *Rogueus belgodereae*, a new raninoid crab (Crustacea: Brachyura: Raninoidea) from the Late Palaeocene (Thanetian) of Southern France, with comments on early palaeocene decapod crustacean faunules. *Palaeontologia Electronica*, 26(3), a44. <https://doi.org/10.26879/1269>

Pyrenicola: new genus for *Litoricola macrodactyla* and *L. macrodactyla pyrenaica* & remarks on *Coeloma*

- Van Straelen, V. (1924). Description de Brachyours montiens du Cominges. *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, 34, 58–62.
- Via, L. (1988). *Els decàpodes*. In *Història Natural dels Països Catalans*. 15 (Registre fòssil). 343–352f; 337–344. Barcelona
- Vía Boada, L. (1973). Datos para el estudio de los crustáceos decápodos del Eoceno circumpirenaico. *Pirineos*, 107, 55–70.
- Woodward, H. (1873). Further notes on Eocene Crustacea from Portsmouth. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 29, 25–31. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1873.029.01-02.08>

¿Es posible valorar una colección científica? La colección paleontológica de la SEMAHN como caso de estudio

Is it possible to value a scientific collection? The paleontological collection of SEMAHN as a case study.

Carbot-Chanona, Gerardo^{1,*}; Villanueva-Rocha, Luis Armando²

¹ Museo de Paleontología “Eliseo Palacios Aguilera”, Departamento de Paleontología, Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural. Calzada de Las Personas Ilustres s/n, 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

² Doctorado en Valuación y Transferencia de Riesgos, Escuela Nacional de Protección Civil. Carretera al antiguo aeropuerto, Ocozacoatlán de Espinosa, Chiapas, México.

* gfcarbot@gmail.com

Resumen

Las colecciones científicas de tipo paleontológicas forman parte del patrimonio cultural de la humanidad y revisten singular importancia, ya que cada fósil es una fuente única de información geológica, taxonómica, sistemática, paleobiogeográfica, paleoclimática y evolutiva. La Colección Paleontológica de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN) está resguardada en el Museo de Paleontología “Eliseo Palacios Aguilera”. Esta colección, localizada en el sur-sureste de México, es una de las colecciones públicas en su tipo más importantes del país. En este trabajo se valúa dicha colección a través de una metodología que consideró tanto el costo invertido en la recuperación, resguardo y mantenimiento de cada ejemplar, así como sus valores intrínsecos científico, social y educativo. Como resultado, la colección fue valuada en \$108,429,277.32 pesos. Los resultados obtenidos en este trabajo ponen de manifiesto que es posible establecer criterios que permitan valorar, en términos monetarios, una colección científica, siempre y cuando se consideren como criterios de ponderación los atributos intrínsecos de cada ejemplar que la compone. En el caso particular de la colección paleontológica de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, los fósiles que la conforman pueden ser considerados activos, debido a que hay un gasto de inversión en cada ejemplar. Esto a su vez les da la atribución de Bienes Patrimoniales Muebles. Sin embargo, no hay que olvidar que en México las colecciones paleontológicas están protegidas bajo el Artículo 28 bis de la “Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticas e históricos”, por lo que la compra o venta de fósiles mexicanos es un delito federal. En consecuencia, el ejercicio valuatorio de esta colección es con fines de protección, ya que con ello se puede considerar la contratación de seguros paramétricos que garanticen la compensación en caso de daños o pérdida.

Palabras clave: Bien patrimonial mueble, conservación *ex situ*, patrimonio paleontológico, valuación.

Abstract

Paleontological scientific collections are part of the cultural heritage of humanity and are of singular importance because each fossil is a unique source of geological, taxonomic, systematic, paleobiogeographic, paleoclimatic, and evolutionary information. The Paleontological Collection of the Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN) is housed at “Eliseo Palacios Aguilera” Museum of Paleontology. This collection, located in the south-southeast Mexico, is one of the most important public collections of its kind in the country. In this study, the collection is valued through a methodology that considers both the cost invested in the recovery, safeguarding, and maintenance

Cómo citar / How to cite: Carbot-Chanona, G., & Villanueva-Rocha, L. A. (2024). ¿Es posible valorar una colección científica? La colección paleontológica de la SEMAHN como caso de estudio. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 205–233.

Manuscrito recibido: Octubre 31, 2023.

Manuscrito corregido: Febrero 8, 2024.

Manuscrito aceptado: Febrero 14, 2024.



of each specimen, as well as its intrinsic scientific, social, and educational values. As a result, the collection was valued at \$108,429,277.32 Mexican pesos. The results obtained in this study show that it is possible to establish criteria that allow valuing, in monetary terms, a scientific collection, if the intrinsic attributes of each specimen that compose it are considered as weighting criteria. In the particular case of the paleontological collection of the Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, the fossils that make up it can be considered assets due to there is an investment expense in each specimen. In turn, this gives them the attribution of Movable Patrimonial Assets. However, we must not forget that in Mexico, paleontological collections are protected under Article 28 bis of the "Federal Law on Archaeological, Artistic and Historical Monuments and Zones" so the purchase or sale of Mexican fossils is a federal crime. Consequently, the valuation exercise of this collection is for protection purposes, as with this, the contracting of parametric insurance that guarantees compensation in the event of damage or loss can be considered.

Keywords. *Ex situ conservation, Movable heritage property, paleontological heritage, valuation.*

1. Introducción

1.1. Colecciones científicas.

El patrimonio cultural relacionado con la ciencia y la tecnología es diverso y complejo y, como tal, es más difícil de definir que el patrimonio industrial o el patrimonio natural (Lima y Carvalho, 2020). Este tipo de patrimonio es un legado colectivo de la sociedad que incluye conocimientos materiales e inmateriales sobre la vida, la naturaleza y el universo, que es compartido por la comunidad científica (Lourenço y Wilson, 2013). Parte de este legado cultural es resguardado en colecciones científicas. Las colecciones científicas proveen un banco de información y representan un fragmento del patrimonio natural de un país o región, constituyen un archivo histórico de múltiple utilidad en donde la preservación de especímenes o ejemplares y la información asociada a estos, sirven como base para realizar estudios de diferente índole: taxonómicos, sistemáticos, biogeográficos, genética de poblaciones, conservación, ecológicos, filogenéticos, etc. (Mesa-Ramírez, 2006).

Las colecciones científicas se pueden dividir en dos grandes grupos: 1) histórica social, entre ellas, colecciones arqueológicas, antropológicas, etnográficas, de arte, filmotecas y audioteclas y, 2) colecciones biológicas, que incluyen botánicas, zoológicas, colecciones vivas, colecciones geológicas y paleontológicas (Cristín y Perrilliat, 2011). Las colecciones

biológicas y paleontológicas sirven como centros de documentación de la vida actual y del pasado, además de poseer valores y usos intrínsecos y extrínsecos (Swing *et al.*, 2014). Las colecciones científicas en sí son un conjunto de piezas que conservan su individualidad, pero se organizan de acuerdo con una lógica específica y cuya selección está directamente vinculada a su valoración (Lima y Carvalho, 2020).

La utilidad de las colecciones científicas se basa principalmente en las muestras depositadas en ellas, las cuales generalmente poseen un potencial que va más allá de lo esperado (Mares, 2009). A pesar de estos hechos, las colecciones de ciencias naturales han sufrido décadas de abandono y están en peligro inminente de sufrir daños irreversibles. Incongruentemente, el valor e importancia de estas colecciones crece constantemente mientras enfrentan deterioro, abandono y pérdidas catastróficas debido a instalaciones deficientes, falta de curadores y personal de apoyo a la colección y presupuestos insuficientes (Mares, 2009).

Específicamente, las colecciones paleontológicas son testimonios del proceso científico, por lo que también forman parte del patrimonio cultural de la humanidad (Araújo *et al.*, 2017). Este tipo de colecciones revisten singular importancia, ya que cada fósil es una fuente única de información. En ellas, la paleontología basa sus interpretaciones geológicas, taxonómicas, sistemáticas, paleobiogeográficas,

paleoclimáticas y evolutivas (Allmon, 2005). Las colecciones paleontológicas, además de resguardar especímenes fósiles, exhiben gran parte de lo que resguardan, de esta manera se logra que el conocimiento sea accesible no sólo a la comunidad científica, sino también a la sociedad en general (Carbot-Chanona, 2015). Así mismo, la misión de las colecciones paleontológicas es proporcionar la documentación física en la que se basa la investigación paleontológica mediante la disponibilidad de una muestra representativa y la información asociada a cada ejemplar o taxón en la historia de la vida (Allmon, 2000).

Por otro lado, el concepto de biodiversidad en la actualidad juega un rol muy importante, sobre todo cuando en las últimas décadas la humanidad se enfrenta a una crisis medio ambiental, ya que vivimos en un mundo que está a punto de cambiar de manera irreversible (Halfter y Ezcurra, 1992). Aunque el concepto de biodiversidad es complejo, ha tenido influencia desde sus orígenes en los años 80 a la fecha (Núñez *et al.*, 2003). No obstante, en las diferentes definiciones en donde se usa el término Biodiversidad (*e.g.*, política ambiental, ámbito público, o incluso en el ámbito científico), no se toma en cuenta la diversidad de vida que ocurrió en el pasado (Gaston y Spicer, 1998). En consecuencia, las colecciones paleontológicas juegan un rol importante en lo que concierne a la biodiversidad actual. Por lo tanto, la integración de colecciones a los sistemas de protección del patrimonio natural de importancia geológica y geomorfológica es vital para mantener en adecuada conservación, ya que los fósiles son considerados un “patrimonio mueble” y el registro de los mismos es necesario para mantenerlos bajo un resguardo legal. De esta manera se cubre su vulnerabilidad a daños, o incluso pérdidas. Asimismo, dada la naturaleza misma de la fosilización, un fósil es, por definición, un objeto único o un producto natural irreplicable y, como tal, se convierte en un bien patrimonial de alto valor (Henriques y Pena dos Reis, 2015). Históricamente, el resguardo de las colecciones

paleontológicas recae en los museos, quienes además de conservar los fósiles, exhiben parte de su resguardo, logrando con ello transmitir a la sociedad el conocimiento científico (Carbot-Chanona, 2015). Los museos de historia natural son uno de los mayores recursos disponibles para los paleontólogos y biólogos evolutivos. A través de sus exhibiciones, han inspirado a generaciones de niños a convertirse en paleontólogos y también sirven como un gran depósito de datos reales y potenciales (Lieberman y Kaesler, 2000).

Existen varios intentos de valorar las colecciones científicas desde una perspectiva cultural, más que por el valor científico que poseen. En el caso de países como Estados Unidos de América, Canadá o en el Reino Unido, la capitalización de colecciones como activos no es obligatoria (Carnegie y Wolnizer, 1995). No obstante, estos países han encontrado atractiva la noción de valorar colecciones culturales, patrimoniales y científicas con fines de información financiera (*e.g.*, Rowles, 1992; Boreham, 1994). Por otro lado, en Australia y Nueva Zelanda los organismos emisores de normas contables han emitido pronunciamientos que exigen la capitalización de las colecciones como activos, lo que ha sido apoyado por el La Tesorería de su Majestad del Reino Unido (HM Treasury UK) (Carnegie y Wolnizer, 1995). Recientemente, se realizaron estudios en el Laboratorio de Investigación en Ciencias Naturales del Museo de la Universidad Tecnológica de Texas (Museum of Texas Tech University: MoTTU) para documentar y crear conciencia sobre la importancia financiera de las colecciones, al tiempo de proporcionar datos a los investigadores para justificar o determinar el valor de sus colecciones en términos monetarios (Baker *et al.*, 2014). En estos estudios se calculó el costo promedio de recolectar un espécimen, tanto en viajes locales como internacionales (Bradley *et al.*, 2012), así como los costos de resguardar cada uno de estos especímenes una vez que fueron depositados en la Colección de Mamíferos Recientes del MoTTU (Baker *et al.*, 2014).

Sin embargo, en Hispanoamérica, y principalmente en México, no existe hasta la fecha algún intento de asignar costos a las colecciones científicas.

La colección paleontológica que actualmente resguarda la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del Estado de Chiapas (CP-SEMAHN), se formalizó en el año 1997 en el seno del extinto Instituto de Historia Natural. Actualmente está albergada en el edificio del Museo de Paleontología “Eliseo Palacios Aguilera” (Figura 1). Esta colección es la única colección pública en su tipo en el sur-sureste de México y su principal objetivo es ampliar el conocimiento sobre la paleobiodiversidad de Chiapas, basado en la máxima representatividad de su registro fósil (Carbot-Chanona, 2015) y a la fecha tiene catalogados 6,178 ejemplares, de los cuales cerca del 25% están identificados a nivel de género y/o especie. Del total de ejemplares registrados en dicha colección se resguarda la única colección de ámbar de tipo institucional en el país, con más de 1,300 piezas (Avendaño *et al.*, 2012). Adicionalmente, en la CP-SEMAHN están depositados 79 Holotipos, 178 Paratipos, 1 Neotipo y 324 Hipotipos o Vouchers, lo que la convierte en una colección científica de gran importancia a nivel nacional. Asimismo, está registrada en el Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Debido a la importancia científica de la CP-SEMAHN y que es considerada como un bien de dominio público según el Artículo 11, inciso X, de la Ley del Patrimonio del Estado de Chiapas (Consejería Jurídica del Gobernador, 2022), se han llevado a cabo intentos de contratar seguros con el fin de minimizar el impacto que tendría la pérdida o daños a los ejemplares que se resguardan en dicha colección. Sin embargo, esta tarea se ha visto imposibilitada porque no se ha podido establecer el valor monetario de dicha colección. En consecuencia, ante la falta de mecanismos

que permitan valorar una colección científica de tipo paleontológica en México, en este trabajo establecemos el valor de la CP-SEMAHN a través de la implementación de una metodología que permitió valorar dicho acervo en términos monetarios, tomando como base los costos generados en el rescate, resguardo y mantenimiento de cada ejemplar depositado en ella, al tiempo de considerar sus valores intrínsecos (científico, educativo y social) para obtener un valor final.

2. Definición de Conceptos

2.1. Bienes muebles

Es un conjunto de derechos sobre un activo utilitario, artístico, histórico, documental o de cualquier otra índole con valor, no anexado permanentemente a la tierra. El término bien mueble se refiere, entonces, a todo lo que no es un inmueble, como son: maquinaria, equipo, joyas, obras de arte, vehículos, etc. Las principales características de un bien mueble son su movilidad y ser tangibles; también comprende los objetos entre sí mismos, así como los elementos intangibles atribuidos a las obligaciones y derechos de propiedad sobre ellos (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2017; Gómez-Pérez y Martínez-Matis, 2021). En este caso, se considera como el bien mueble a los fósiles que en su conjunto componen una colección paleontológica.

2.2. Fósiles

Los fósiles son restos de organismos, o evidencias de su actividad (huellas, excrementos, galerías), pertenecientes a épocas geológicas pasadas, que generalmente se han conservado en rocas sedimentarias (Prokop, 1981). Los fósiles permiten reconocer, estudiar e interpretar la historia de la vida y la evolución de los ambientes del pasado de un territorio determinado (Cristín y Perrilliat, 2011).



Figura 1. Fachada del museo de paleontología “Eliseo Palacios Aguilera”, recinto donde se resguarda la colección paleontológica de la SEMAHN (a). Gabinetes donde se resguardan los ejemplares fósiles (b).

2.3. Interés paleontológico

Es la capacidad de un fósil o conjunto de fósiles de poder proporcionar información científica, importancia educativa, su valor estético, social y/o cultural, por los cuales se justifica la importancia, y por tanto el estudio, la protección y la conservación de los bienes paleontológicos (Cristín y Perrilliat, 2011).

2.4. Valor intrínseco

Un valor intrínseco se da por todas aquellas características inherentes que le son propias a un objeto o bien patrimonial (Villaseñor-Alonso, 2011). Eames (1961) menciona que ese valor siempre es definido de manera cualitativa por el observador. Por ende, el valor intrínseco se asocia a valores hedonistas como el placer y la felicidad; estéticos, como la belleza, la calidad y la excelencia; cognitivos, como el conocimiento, la sabiduría o el juicio crítico; simbólicos como la identidad y la diferencia; sociales, como el sentido de pertenencia; y espirituales, como la trascendencia (Observatorio Vasco de la Cultura, 2018). En el caso de los bienes patrimoniales (como es el caso de los fósiles) el valor intrínseco representa una visión esencialista; es decir, el valor se considera como una propiedad esencial (*e.g.*, que hace ser al bien u objeto) y no como una propiedad accidental o contingente (*e.g.*, que puede o no tener el bien u objeto) (Robertson, 2008). Es decir, las colecciones contienen valores intrínsecos asignados por quienes las realizaron. Así, el coleccionista es siempre un interlocutor entre la sociedad y el esfuerzo por la preservación de la memoria (Lima y Carvalho, 2020).

2.5. Valor científico

El valor científico se refiere al conocimiento generado por cada objeto (especímenes o muestras) que, por lo general, está plasmado en una publicación científica (Bradley *et al.*, 2014). Específicamente, las colecciones de

historia natural contienen ejemplares asociados al desarrollo del conocimiento natural del ser humano, ya que son registros físicos de las formas de vida de nuestro planeta y de los procesos que en él ocurren (Stansfield, 1994; Nudds y Pettitt, 1997).

2.6. Valor social

Se puede definir como el potencial que tiene un objeto de contribuir al beneficio de la sociedad. En el caso de las colecciones científicas, tienen un impacto significativo en la salud pública, salud alimentaria, cambio climático global, conservación de los ecosistemas, contaminación ambiental, especies invasoras, productividad agropecuaria y seguridad nacional (Suarez y Tsutsui, 2004; Mares, 2009).

2.7. Valor educativo

Es el potencial que tiene un objeto de aportar enseñanza sobre un tema en particular. En el caso de las colecciones científicas, se utilizan constantemente con fines didácticos, para mostrar a los estudiantes de primera mano cómo son realmente los organismos pasados y presentes. Esto aplica para todos los niveles educativos, desde el jardín de niños hasta estudiantes de posgrado (Allmon, 1994).

3. Metodología

3.1. Recolección de información para definir el valor del bien

3.1.1. Cálculo de valor monetario

Las colecciones científicas poseen un valor intangible e incalculable en términos monetarios, debido, principalmente, a que su valor se mide con base en la generación del conocimiento científico que posee cada uno de los elementos que la componen (especímenes), o en su caso, con el potencial que tiene cada uno de estos para generar nuevo conocimiento

(Carbot-Chanona, 2015). Debido a ello, como primer paso, en este trabajo se estableció un valor monetario para cada espécimen basado en la inversión realizada para cada uno de ellos, siguiendo las propuestas de Bradley *et al.* (2012) y Baker *et al.* (2014). Para esto se consideraron los gastos que implica la búsqueda y recuperación (recolecta), su mantenimiento y almacenamiento. Es importante mencionar que todos los costos se estimaron al día 18 de junio de 2023, debido a que en los ejercicios valuatorios es recomendable usar los costos presentes en el mercado en el tiempo de realizar la valuación (Salas Tafoya, 2015).

Recolecta. Se consideró el gasto invertido en la búsqueda y recuperación de un ejemplar fósil, lo que implica traslado del personal especializado desde el centro de operaciones hasta las localidades fosilíferas, así como los costos de capital humano, herramientas y materiales. Se estimó el gasto de combustible usado, calculando el precio de la gasolina por los kilómetros recorridos, así como el total de días usados para la recuperación de un ejemplar, lo que involucra el sueldo del personal técnico y los viáticos requeridos por día. Se consideró un promedio de tres días para el rescate de un ejemplar, que incluyó también el tiempo de traslado hasta la localidad fosilífera.

Debido a que la distancia desde Tuxtla Gutiérrez, hasta las diferentes localidades fosilíferas varía, se consideró a la localidad más alejada a Puente Ixcán, en el municipio de Marqués de Comillas (300.35 km) y la más cercana a la localidad El Tzu-Tzu, en el municipio de Ocozocoautla (33.12 km). Por consiguiente, se tomó la mitad de la distancia a la localidad más alejada, estimándose para el cálculo de gasolina un recorrido de 150 km por traslado (300 km considerando la ida y el regreso) y el precio de la gasolina en \$21.94 pesos. Asimismo, se consideró que el vehículo usado en la mayoría de los trabajos de recolecta tiene un rendimiento de 7 km/l.

Infraestructura. En este apartado se consideró el costo del mobiliario especializado que

es usado en la colección paleontológica y en el cual se resguardan los especímenes fósiles que la conforman. Asimismo, se contempló en este rubro el equipo usado para su limpieza, restauración y estudio. El costo total de la infraestructura fue dividido entre todos los ejemplares.

Mantenimiento. En este rubro se contempló el gasto ejercido cada año para mantener en óptimas condiciones la colección paleontológica. En este se incluye el costo de la energía eléctrica que se consume anualmente, el costo de fumigación y el sueldo anual del personal involucrado en el mantenimiento de la colección. El monto de los tres rubros fue sumado y posteriormente, ese resultado fue multiplicado por 22, que es el número de años que lleva funcionando formalmente la colección paleontológica. El total fue dividido entre el número total de ejemplares depositados en la colección.

3.1.2. Asignación del valor científico

Adicional al valor monetario invertido en cada ejemplar, se asignó un valor científico, que fue definido tomando como base los criterios propuestos por Page (2003) y Bruschi y Cendrero (2005). Gómez-Pérez y Martínez-Matis (2021), definen el valor científico como el resultado del análisis e interpretación de la información geocientífica obtenida a partir del elemento o sitio que permite al evaluador reconocer la relevancia del elemento en el entendimiento de la interpretación de las fases geológicas de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente y la evolución de la vida.

Se definieron seis categorías de valor científico, que comprenden: 1) Ejemplares que representan taxones nuevos (holotipos, paratipos, lectotipos y neotipos), al que se le asignó el valor de ponderación 10; 2) taxones representados por un único ejemplar, con un valor de ponderación 5; 3) ejemplares que no representan taxones nuevos, pero que han sido

descritos o figurados en publicaciones científicas, con un valor de ponderación asignado de 4; 4) ejemplares poco comunes o raros, con valor de ponderación 3; 5) ejemplares en buen estado de conservación, con valor de ponderación 2, y; 6) taxones o especímenes bien representados en colecciones científicas nacionales, cuya pérdida no perjudique el trabajo científico futuro, al que se le asignó el valor de ponderación 1.

3.1.3. Asignación del valor social-educativo

Para medir el impacto social y educativo que han tenido los ejemplares depositados en la colección paleontológica de la SEMAHN, se agregó la Categoría 7, donde se incluyeron ejemplares que han sido usados en exhibiciones permanentes o temporales, que han servido para ilustrar la presentación de una plática, taller o conferencia, o que han sido motivo de noticias en medios visuales y/o escritos de comunicación. El valor de ponderación asignado a esta categoría fue de 2.

3.1.4. Valor monetario

Con base en el valor científico y social-educativo asignado a cada ejemplar dentro de la colección paleontológica, se ponderó el valor monetario de cada ejemplar, es decir, el valor monetario obtenido como consecuencia de los costos de inversión efectuados en un espécimen determinado fue multiplicado por el valor científico asignado a dicho ejemplar. Asimismo, si el ejemplar ha sido usado como parte de alguna exhibición, para ilustrar una presentación, o ha sido motivo de noticias en medios visuales y/o escritos de comunicación, el valor monetario fue multiplicado por el valor social-educativo establecido.

Es importante mencionar que, para algunos casos, los valores de ponderación se multiplicaron por dos o más categorías. Como ejemplo tenemos al espécimen del pez acantomorfo *Pepemkay maya* del Cretácico tardío (Alvarado-Ortega y Than-Marchese, 2013), el cual es

un holotipo, es un ejemplar único, su estado de conservación es excepcional y su descubrimiento fue motivo de noticias nacionales y de igual manera ha servido para ilustrar pláticas sobre los fósiles de Chiapas (Figura 2). Para este caso, el valor monetario obtenido se multiplicó por 10 (ejemplares que representan taxones nuevos); el mismo valor se multiplicó por 5 (taxones representados por un único ejemplar), posteriormente por 3 (ejemplares de conservación excepcional) y luego por 2 (ejemplares que han formado parte de una exhibición, han ilustrado una presentación, o han sido motivo de noticias en medios visuales y/o escritos de comunicación). Finalmente, los cuatro valores obtenidos fueron sumados para obtener el valor monetario del ejemplar.

Los criterios y valores de ponderación se resumen en la Tabla 1.

4. Resultados

4.1. Cálculo de costos para la recuperación de un ejemplar fósil

La recuperación de un ejemplar es parte fundamental para la conformación de una colección científica. En el caso de la colección paleontológica de la SEMAHN, los trabajos de rescate comenzaron en 1997, recuperándose hasta la fecha 14,871 fósiles, que provienen de 188 localidades ubicadas en 20 municipios de Chiapas. De estos, únicamente 6,178 han sido formalmente catalogados y son los que forman parte de la colección.

En la Tabla 2 se resumen los costos que se han invertido en la recuperación de un fósil, el cual se establece en \$7,625.52 pesos para cada ejemplar.

4.2. Cálculo de costos de infraestructura.

El adecuado resguardo de las colecciones científicas, así como su estudio, es fundamental para su conservación a largo plazo. Por consiguiente, contar con la infraestructura



Figura 3. *Pepemkay maya*, pez acantomorfo encontrado en la cantera El Chango, municipio de Ocozocoautla. Este ejemplar es un holotipo y, hasta la fecha, es un ejemplar único con un estado de conservación excepcional y ha servido para ilustrar presentaciones en pláticas dirigidas a público en general. En consecuencia, este ejemplar se ubica en las categorías 1, 2, 3, 5 y 7 propuestas en este trabajo.

Tabla 1. Categorías que representan el valor científico y social-educativo. Los valores científicos son establecidos con base en los criterios propuestos por Paige (2003) y Bruschi y Cendrero (2005).

Categoría	Descripción	Valoración de ponderación
1	Ejemplares que representan taxones nuevos (holotipos, paratipos, lectotipos y neotipos).	10
2	Taxones representados por un único ejemplar.	5
3	Ejemplares que no representan taxones nuevos, pero han sido descritos o figurados en publicaciones científicas	4
4	Ejemplares poco comunes o raros.	3
5	Ejemplares en estado de conservación excepcional.	2
6	Taxones o especímenes bien representados en colecciones científicas nacionales cuya pérdida no perjudique el trabajo científico futuro.	1
7	Ejemplares que han formado parte de una exhibición, han ilustrado una presentación, o han sido motivo de noticias en medios visuales y/o escritos de comunicación.	2

Tabla 2. Resumen de los costos ejercidos en el traslado y trabajo de campo para la recuperación de un ejemplar fósil depositado en la colección paleontológica de la SEMAHN.

Concepto	Costos	Cantidad	Total
Sueldo/día	\$ 439.20	3 días	\$1,317.60
Viáticos/día	\$1,030.00	3 días	\$3,090.00
Gasolina	\$ 21.94	42.85 litros	\$ 940.12
Pica	\$ 523.00	2 pieza	\$1,046.00
Brocha	\$ 42.00	4 piezas	\$ 168.00
Barretón	\$ 790.00	1 piezas	\$ 790.00
Yeso	\$ 12.00	2 kg	\$ 24.00
Tela de yute	\$ 20.99	10 metros	\$ 209.90
Bolsas de plástico	\$ 3.99	10 piezas	\$ 39.90
		Costo total	\$7,625.52

especializada es importante para lograr este objetivo. Para el caso de la colección paleontológica de la SEMAHN, se ha invertido en mobiliario diseñado para colecciones paleontológicas/geológicas, así como en equipo para su adecuada limpieza y restauración. Los costos de la infraestructura se resumen en la Tabla 3.

Los costos de infraestructura, los cuales arrojan un total de \$507,618.40 pesos, se dividió entre los 6,178 ejemplares depositados en la colección paleontológica, dando un total de \$82.16 pesos para cada ejemplar.

4.3. Cálculo de costos por mantenimiento

Los ejemplares depositados en una colección científica deben tener mantenimiento constante. Esto involucra trabajos curatoriales periódicos, tanto al interior de la colección como trabajos de laboratorio, así como los servicios que se contratan (energía eléctrica, fumigación, internet, etc.) para tener en adecuadas condiciones el acervo. Los costos del personal, servicios e insumos que se invierten anualmente en el mantenimiento de

la colección paleontológica de la SEMAHN suman un total de \$704,835.02 pesos (Tabla 4). Este monto se multiplicó por los 22 años que lleva en funcionamiento la colección, dando un total de \$15,506,370.44 pesos invertidos en este rubro. A su vez, este monto se dividió entre los 6,178 ejemplares depositados en la colección paleontológica, dando un total de \$2,509.93 pesos para cada uno.

Sumando los costos de recuperación (\$7,625.52), más los de infraestructura (\$82.16) y mantenimiento (\$2,509.93), obtenemos que la inversión para cada ejemplar depositado en la colección paleontológica de la SEMAHN es de \$10,217.61 pesos.

4.4. Cálculo de costos considerando el valor científico y social-educativo

Adicional al valor monetario invertido, cada ejemplar posee un valor científico, social y educativo único. Por consiguiente, el costo de inversión calculado para cada ejemplar fue ponderado siguiendo los criterios marcados en la Tabla 1. Sin embargo, estos criterios fueron

Tabla 3. Resumen de los costos de la infraestructura que conlleva curar y resguardar a los ejemplares en la colección paleontológica de la SEMAHN.

Concepto	Costos	Cantidad	Total
Gabinetes	\$ 16,332.00	16 piezas	\$261,312.00
Anaqueles metálicos	\$ 5,400.00	6 piezas	\$ 32,400.00
Microscopio estereoscópico	\$ 69,331.70	2 piezas	\$138,663.40
Compresora de aire	\$ 36,138.00	1 pieza	\$ 36,138.00
Lápiz neumático	\$ 6,000.00	2 piezas	\$ 12,000.00
Puntas para limpiar	\$ 97.00	5 piezas	\$ 485.00
Cortadora de roca	\$ 26,620.00	1 pieza	\$ 26,620.00
		Costo total	\$507,618.40

Tabla 4. Resumen de los costos de mantenimiento utilizados en los ejemplares en la colección paleontológica de la SEMAHN.

Concepto	Costos	Cantidad	Total
Sueldo del encargado de la colección/año	\$219,927.12	1 persona	\$219,927.12
Sueldo de técnico de laboratorio/año	\$184,466.80	2 personas	\$368,933.60
Energía eléctrica/año	\$ 82,644.00	1 servicio	\$ 82,644.00
Servicio de telefonía e internet	\$ 7,548.00	1 servicio	\$ 7,548.00
Servicio de fumigación	\$ 4,120.00	2 servicio	\$ 8,240.00
Productos químicos	\$ 17,542.30	12 litros	\$ 17,542.30
		Costo total	\$704,835.02

aplicados únicamente en los ejemplares Tipo (582 ejemplares), ya que son los que poseen importancia científica y, por consiguiente, han tenido impacto en los sectores educativo y social. Para el resto de los ejemplares (5,596 ejemplares) únicamente se consideró el costo invertido en su recuperación, mantenimiento y resguardo.

Como resultado tenemos que el valor de la colección de Tipos se estima en \$51,251,531.76 pesos (Tabla 5), mientras que para el resto de la colección se tiene una inversión de \$57,177,745.56 pesos. En consecuencia, en este trabajo se valúa la colección paleontológica de la SEMAHN en \$108,429,277.32 pesos.

5. Discusión

5.1. ¿Es posible asignar un valor monetario a una colección científica?

El valor de las colecciones ha sido asignado, históricamente, desde la perspectiva patrimonial, científica, cultural, social y educativa (e.g., Allmon, 1994; Lieberman y Kaesler, 2000; Mares, 2009), pero existen pocos intentos por asignarles un valor monetario. Entre los primeros intentos se encuentra el trabajo de Anderson (1973), quien estima los costos que invierte anualmente el Museo Americano de Historia Natural (*American Museum of Natural*

Tabla 5. Estimación del costo de los ejemplares Tipo depositados en la colección paleontológica de la SEMAHN, considerando la inversión calculada, su valor científico y valor social-educativo. Los números en las columnas de las categorías 1 a la 7, indican el valor de ponderación asignado para cada una de ellas.

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>?Iddingsia</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>?Palmerella</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>"Cerithium"</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>"Turritella" humerosa sanjuanensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>"Turritella"</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Aequipecten</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Anaplecta vega</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Anaplecta vega</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Anaplecta vega</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Antillopsysche mexicana</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Antillopsysche mexicana</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Apuliadercetes gonzalezae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Aquitanscia chiapanensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Aquitanscia maternus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Archaeochiapasa mardoqueoi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	3	0	0	2	\$ 204,352.20
<i>Archeostenoniscus mexicanus</i>	Holotipo	\$10,217.61	0	5	0	0	2	0	0	\$ 71,523.27
<i>Archeostenoniscus robustus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Architectonica alabamensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Architectonica</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Architectonica</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Architectonica</i> sp. cf. <i>A. elaborate</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Armadilloniscus miocaenicus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Armadilloniscus miocaenicus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	2	\$ 143,046.54
<i>Athleta petrosa petrosa</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Azteca</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	2	0	2	\$ 81,740.88
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Balanus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Belostomatidae</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Bernaya (Bernaya) media chiapasensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Bernaya (Bernaya) obesa</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Bernaya (Protocipraea) cf. angistoma</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Bison</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Bittium (Bittium) estellensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Caimaninae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	2	\$ 112,393.71

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Calappa zurcheri</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappa zurcheri</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappa zurcheri</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappa zurcheri</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappa zurcheri</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappa zurcheri</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappidae gen. et sp. indet.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calappilia hondoensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassa ocozocoautlaensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Callianassa sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassa sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassa sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassa sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassidae 1</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassidae 2</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassidae 2</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Callianassidae 2</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Calliostoma granulata</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Calyptraea aperta</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Camponotus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Carcineretes woolacoti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Carcineretes woolacoti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Carcineretes woolacoti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Carcineretes woolacoti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Carcineretes woolacoti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Carcineretes woolacoti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Cariblatia amfivola</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cariblatia amfivola</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cariblatia amfivola</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cariblatia amfivola</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cariblatia amfivola</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cariblatia simojovelensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Cariblatta simojoviensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cariblatta uchbena</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
Caridae indeterminado (Phyllosoma)	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Caridea gen & sp indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Caryocorbula sarda</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
cf. <i>Staurotypus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
cf. <i>Theridion hispidum</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	2	\$ 143,046.54
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Chiapasphaera cretacea</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana aptiana</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	2	\$ 143,046.54
<i>Cirolana aptiana</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana longirostra</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana longirostra</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana longirostra</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirolana longirostra</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cirsotrema</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Clementia (Clementia) dariena dariena</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Cornulina?</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Crommium globosa</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Crustaceo inidentificado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Crustaceo inidentificado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Ctenocheles</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Culoptila aguilerai</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	2	\$ 143,046.54
<i>Culoptila aguilerai</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Cuvieronius hyodon</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Cuvieronius hyodon</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Cuvieronius hyodon</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Cypraea (Erosaria) cf. C. (E). aliena</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Cypraeidae</i> indet.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Cypraeorbis alabamensis mexicana</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Cypraeorbis alabamensis ventripotens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Cypraeorbis</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Dardanus mexicanus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Dasypus</i> cf. <i>D. bellus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	2	\$ 112,393.71
<i>Dicotyles tajacu</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	2	\$ 112,393.71
<i>Diogenidae</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Discapseudes (Miodiscapseudes) chiapanensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Dolerocypria? robinsmithi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Dolerocypria? robinsmithi</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Dorippid?</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Dyrosauridae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	3	0	0	2	\$ 143,046.54
<i>Enchodus ferox</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus ferox</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus gladiolus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus petrosus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus petrosus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Enchodus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus</i> sp.1	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Enchodus</i> sp.1	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Eocypraea</i> (<i>Eocypraea</i>) cf. <i>castacensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Eocypraea</i> (<i>Eocypraea</i>) <i>inflata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eocypraea</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eocypraea</i> ? sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Episinus penneyi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus conversidens</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Equus mexicanus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Eremotherium laurillardii</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Eremotherium laurillardii</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Eriosachila</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Eubrachyura</i> gen & sp indeterminado	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eucalliax burckhardti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eucalliax burckhardti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eucalliax burckhardti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eucalliax burckhardti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eurytium</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eurytium</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eurytium</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Eurytium</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Exilia</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Forelius</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	2	0	0	\$ 61,305.66

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Galeodea koureos</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Galianora marcoi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Gavialidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	2	\$ 132,828.93
<i>Glyptotherium floridanum</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Glyptotherium floridanum</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Glyptotherium floridanum</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Gutierrezina vrsanskyi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Haringtonhippus francisci</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Haustator</i> sp. cf. <i>H. rivurbana</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Haydnella</i> cf. <i>H. steininbergi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Haydnella</i> cf. <i>H. steininbergi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hemicypris</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hemirraghus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Hepatella amazonica</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hepatella amazonica</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hepatella amazonica</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hepatella amazonica</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hepatella amazonica</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Hymenaea allendis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Hypsosijilia bretoni</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Hypsosijilia bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Hypsosijilia bretoni</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Ichthyodectoides indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Ichthyodectoides indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Ichthyodectoides indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Icriobranchiocarcinus tzutzu</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Icriobranchiocarcinus tzutzu</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Icriobranchiocarcinus tzutzu</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	0	\$ 132,828.93
<i>Ikelus nuxibus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Iliacantha panamica</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Karasawaia markgrafi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44

Tabla 5. Continuación...[illegible]

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Lyssomanes</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	0	\$ 112,393.71
<i>Macrocypraea veintensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	0	\$ 132,828.93
<i>Macrosemicotzrus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	2	\$ 132,828.93
<i>Mammuthus columbi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Mammuthus columbi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Marava antiqua</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Marava brevicauda</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Melongena corona tzeltal</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Melongena corona tzeltal</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Melongena corona tzeltal</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Mennipe zoque</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Mesalia alabamiensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Metagonia esquincacanoi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Mexicania grijalvaensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Mimetus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	2	\$ 132,828.93
<i>Mitra (Tiara) henekenii illacidata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Modisimus chiapanecus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Modisimus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	0	\$ 112,393.71
<i>Mokaya changoensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Mokaya changoensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Mokaya changoensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Necronectes</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Necronectes</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	2	0	0	\$ 61,305.66
<i>Nehalennia</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus aetodes</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neocallichirus cf. N. rhinos</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neochoerus aesopi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Neochoerus aesopi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Neochoerus aesopi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Neochoerus aesopi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Neochoerus aesopi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Nodipecten denaius?</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Notopoides exiguus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Notopoides exiguus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Notopoides exiguus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Notopoides exiguus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Notopoides exiguus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Notopus minutus</i> (=Notopoides exiguus)	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	2	\$ 71,523.27
<i>Odocoileus virginianus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	1	0	\$ 51,088.05
<i>Oliva</i> cf. <i>O. dimidiata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	2	0	0	\$ 61,305.66
<i>Orbitoplax nandachare</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Orbitoplax nandachare</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Orbitoplax nandachare</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Orbitoplax nandachare</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Orden Odonata, Suborder Zygoptera</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	2	\$ 132,828.93
<i>Ostrea</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Pachycrommium clarki</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palaega</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palaega</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palaega</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palaega</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palaegolibrinus spinicornis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Palaespherarmadillo mazanticus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Palaespherarmadillo mazanticus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Palaespherarmadillo rotundus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paleopinnixa perornata</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Palinuridae</i> gen & sp indeterminado	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palinuridae</i> gen & sp indeterminado	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Palinurus palaciosi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Palmerella mortoni mexicana</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Panopeous veintensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Panthera atrox</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Panthera atrox</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	2	\$ 91,958.49
<i>Paraclupea-like</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	2	\$ 112,393.71
<i>Paraclupea-like</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Paracyprina inujimensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paracyprina inujimensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paracyprina inujimensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paracyprina inujimensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paracyprina inujimensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paracyprina inujimensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Paraliochthonius miomaya</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Paraliochthonius miomaya</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Parapontoparta lagranjae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Parapontoparta lagranjae</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Parapontoparta lagranjae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parapontoparta sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Parazanthopsis meyapaquensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	2	\$ 122,611.32
<i>Parazanthopsis meyapaquensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Parazanthopsis meyapaquensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Pepemkay maya</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Perissoptera sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Perissoptera sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Perissoptera sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Perissoptera sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Petrochirus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Petrochirus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Petrochirus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Petrochirus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Phycosoma icti</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Plakolana chiapaneca</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32

Tabla 5. Continuación...

[illegible]

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Protoapseudoidus espinalensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Protoapseudoidus espinalensis</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Pseudopancolus minutus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Pseudopancolus minutus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Ranina berglundi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Ranina berglundi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Ranina berglundi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Raninoides treldenaensis</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	0	\$ 91,958.49
<i>Rhinoclavis (Ochetoclava) sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	0	\$ 91,958.49
<i>Richardoestesia isosceles</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	2	\$ 112,393.71
<i>Roemerus robustus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	0	\$ 91,958.49
<i>Santeella lillyae</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	2	\$ 112,393.71
<i>Sapperichthys chiapanensis</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Saurorhamphus sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Scombroclupea javieri</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	2	\$ 122,611.32
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Scombroclupea javieri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Selenops sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	3	2	0	2	\$ 163,481.76
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	2	\$ 112,393.71
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Sesarmidae indeterminado</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	2	0	0	\$ 91,958.49
<i>Stoaplax nandachare (=Orbitoplax nandachare)</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Strioterebrum sp.</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	0	0	0	\$ 91,958.49
<i>Strombus bifrons</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Strotarchus paradoxus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	0	\$ 112,393.71

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Sulcobuccinum</i> sp. cf. <i>S. scalina</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Swietenia miocenica</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Tapinoma</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	5	4	0	2	0	0	\$ 112,393.71
<i>Tehuacana schweitzerae</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Tehuacana schweitzerae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Tehuacana schweitzerae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Tehuacana schweitzerae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Tehuacana schweitzerae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	0	0	0	\$ 102,176.10
<i>Tellina</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Terebellum (Seraphs)</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Thalassocyprina cumangulus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina cumangulus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina cumangulus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina cumangulus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina cumangulus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina electri</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina electri</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina nicokaraszi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina resiniae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina resiniae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina resiniae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina resiniae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	0	2	0	0	\$ 122,611.32
<i>Thalassocyprina resiniae</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Thomisidae</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Thorectichthys fideli</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Thorectichthys fideli</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Thorectichthys fideli</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Thorectichthys fideli</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Thorectichthys fideli</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Thymoides carboti</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Thymoides carboti</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Thymoides carboti</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Thymoides carboti</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Tornatellaea bella</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Trachemys scripta</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Trachemys scripta</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Trachemys scripta</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Trochus</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Turbinella maya</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	0	\$ 132,828.93
<i>Turricula</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Turritella</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44

Tabla 5. Continuación...

TAXÓN	TIPO	INVERSIÓN (MXN)	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5	CATEGORÍA 6	CATEGORÍA 7	TOTAL
<i>Turritela</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Tzeltalpenaeus exilichelatus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Tzeltalpenaeus exilichelatus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Tzeltalpenaeus exilichelatus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Unicacichthys multidentata</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Unicacichthys multidentata</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	0	\$ 132,828.93
<i>Unicacichthys multidentata</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	0	\$ 132,828.93
<i>Vegaranina precocia</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	0	\$ 132,828.93
<i>Vegaranina precocia</i>	Neotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	0	0	2	\$ 153,264.15
<i>Vegrandichthys coitecus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Veridagon avendanoi</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	2	\$ 194,134.59
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Holotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Verrucoides stenohedra</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Viapinnixia alvarezi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Viapinnixia alvarezi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Viapinnixia alvarezi</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Viapinnixia alvarezi</i>	Holotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	2	\$ 61,305.66
<i>Viapinnixia alvarezi</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Volutilithes</i> sp. cf. <i>V. muricinus</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	3	0	0	0	\$ 71,523.27
<i>Volutocorbis minutus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	0	0	0	\$ 153,264.15
<i>Vostox engeli</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	5	0	0	2	0	0	\$ 173,699.37
<i>Xaiva?</i> sp.	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Xenophora delecta</i>	Hipotipo	\$10,217.61	0	0	4	0	0	0	0	\$ 40,870.44
<i>Xiphocentron (Xiphocentron) chiapasi</i>	Paratipo	\$10,217.61	0	0	0	3	0	0	0	\$ 30,652.83
<i>Zoqueichthys carolinae</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Zoqueichthys carolinae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Zoqueichthys carolinae</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
<i>Zoquepenaeus spinirostratus</i>	Holotipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	2	\$ 173,699.37
<i>Zoquepenaeus spinirostratus</i>	Paratipo	\$10,217.61	10	0	0	3	2	0	0	\$ 153,264.15
										\$ 51,251,531.76

History), en sus colecciones científicas, desde la compra de libros para la biblioteca, hasta la publicación de los resultados de las investigaciones que se generan. Más recientemente, Bradley *et al.* (2012) asignaron valor monetario a las “Colecciones de mamíferos recientes y recursos genéticos” del Laboratorio de Investigación en Ciencias Naturales del Museo de la Universidad Tecnológica de Texas. Para ello, estos autores calcularon el valor de cada ejemplar tomando como base los gastos utilizados en su recuperación, obteniendo una inversión de \$756,067 dólares. Por su parte, Bradley *et al.* (2014), calcularon para esta misma colección los costos de mano de obra y suministros para el resguardo, documentación y mantenimiento anual de un ejemplar o muestra de tejidos de mamíferos, resultando en \$58,749.70 dólares. No obstante, estos intentos de valorizar monetariamente las colecciones no contemplaron el valor intrínseco de cada ejemplar (científico, cultural, social y/o educativo).

Otro caso particular se da en Rusia, país donde la situación de las colecciones científicas se ve agravada, debido a que la legislación actual que regula la infraestructura de investigación considera sólo dos tipos de objetos: las instalaciones básicas y las instalaciones de investigación a gran escala. Dado que las colecciones científicas no pertenecen a ninguna de estas categorías, en ese país no son elegibles para recibir apoyo financiado por el gobierno para infraestructura de investigación. Por consiguiente, las agencias gubernamentales financieras necesitan criterios para su valoración, por lo que se han hecho ejercicios para valorizar dichas colecciones siguiendo los criterios establecidos en los Países Bajos (Chenchenkina y Sotnikova, 2019).

Por otro lado, se han planteado argumentos que se contraponen a la asignación de valor monetario a las colecciones. Carnegie y Wolnizer (1995) sostienen que la valoración adecuada de los elementos patrimoniales no solo es muy costosa, sino que su valor no puede evaluarse sin recurrir a conceptos ambiguos. Estos autores mencionan que “Las colecciones culturales y patrimoniales no pueden

describirse correctamente como activos financieros, ni cumplen los criterios para el reconocimiento como un activo según lo definido por los emisores de normas contables de Australia”. Carnegie y Wolnizer (1995) también hacen hincapié en que no hay correlación entre los aspectos financieros, como el precio que tendrían los artículos de colección si se vendieran, con los objetivos principales de las instituciones. Asimismo, Barton (2000) sostiene que el patrimonio y otros activos similares no satisfacen los conceptos de activos debido a su naturaleza de bienes públicos, es decir, son para el beneficio del público y no están para la venta.

Como se observa en los párrafos anteriores, las prácticas de información cultural y patrimonial varían ampliamente en el extranjero. Por ejemplo, la asignación de un valor monetario no es obligatorio en los Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea, pero en países como Australia y Nueva Zelanda sí se trabaja para poder valorar sus colecciones científicas. Es claro, entonces, que pocas instituciones extranjeras se comprometen a valorar sus activos con fines de información financiera (en lugar de seguros).

Uno de los puntos importantes que se deben considerar en trabajos futuros enfocados a valorar una colección científica, es la selección de los criterios a utilizar, ya que la valoración esta influenciada por la perspectiva personal del valuador, la cual va de la mano del entorno familiar, social y educativo en el que creció y se desarrolló. Recientemente, Lawenda *et al.* (2023) definieron 20 criterios principales, que desde su perspectiva consideran claves para el proceso de evaluación de una colección. Estos autores utilizan un algoritmo, al que llaman Valor de Colección Relativista, que suma los puntos de categorías individuales obtenidos de los valores resultantes de contestar un formulario electrónico disponible en línea a través de un portal (CollMan), lo que permite el acceso a un grupo más amplio de destinatarios y pruebas con muchas aplicaciones prácticas (Lawenda *et al.*, 2023). En el presente trabajo se utilizaron criterios de valuación centrados

en los valores intrínsecos de los ejemplares que conforman la colección paleontológica de la SEMAHN, muchos de los cuales pueden ser homologados con los criterios propuestos por Lawenda *et al.* (2023).

En este trabajo se pone de manifiesto que es posible establecer criterios que permitan valorar, en términos monetarios, una colección científica de tipo paleontológica, siempre y cuando se consideren los atributos intrínsecos (valor científico, social y educativo) de cada ejemplar que la compone, pues se considera que esos criterios son esenciales para establecer un valor que refleje el impacto de estos en los ámbitos antes mencionados. En el caso particular de la CP-SEMAHN, los fósiles que la conforman pueden ser considerados activos, debido a que hay un gasto de inversión en cada ejemplar. Esto a su vez les da la atribución de Bienes Patrimoniales Muebles. La valuación obtenida arroja que la CP-SEMAHN tiene un valor de \$108,429,277.32 pesos. Sin embargo, establecer si este valor es alto o bajo es complicado, principalmente por el enfoque desde el cual se tome dicho valor. En otras palabras, desde la perspectiva científica gran parte de los ejemplares depositados en ella poseen un valor incalculable, debido a su naturaleza única e irrepetible. Contrariamente, para una empresa que ofrece servicios de aseguramiento, el valor puede ser excesivo.

No hay que olvidar que las colecciones científicas se rigen bajo lineamientos internacionales. En México, las colecciones paleontológicas están bajo la protección del Artículo 28 bis de la “Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos”, el cual dice: “Para los efectos de esta Ley y de su Reglamento, las disposiciones sobre monumentos y zonas arqueológicas serán aplicables a los vestigios o restos fósiles de seres orgánicos que habitaron el territorio nacional en épocas pretéritas y cuya investigación, conservación, restauración, recuperación o utilización revistan interés paleontológico, circunstancia que deberá consignarse en la respectiva declaratoria que expedirá el Presidente de la República” (DOF, 2012). Asimismo, el estudio

de los fósiles mexicanos está regulado por los “Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México” que emitió el Consejo de Paleontología del INAH el 15 de noviembre de 2020 (INAH, 2020). En consecuencia, aunque los bienes que conforman la colección paleontológica puedan ser considerados activos y ser objetos con valor monetario, estos no pueden ser vendidos o comprados, por lo que este ejercicio valuatorio es con fines de protección, al establecer costos que permitan contratar seguros paramétricos que garanticen la compensación en caso de daños o pérdida.

6. Conclusiones

Las colecciones científicas son resguardos físicos que dan testimonio del patrimonio natural de la humanidad. En el caso particular de las colecciones paleontológicas, estas fundamentan su importancia en cada ejemplar fósil que las conforma, ya que son fuentes únicas de información en las que se basan los estudios geológicos, taxonómicos, sistemáticos, paleobiogeográficos, paleoclimáticos y evolutivos. Las colecciones paleontológicas, además, son la base del conocimiento que permea tanto a la comunidad científica, como a la sociedad en general y por tal motivo deben contar con mecanismos que garanticen su protección.

Consideramos que es posible valorar una colección científica si se contempla el gasto de inversión realizado en el acervo, siempre y cuando se tomen en cuenta como criterios de ponderación los valores intrínsecos que posee cada ejemplar, como son su importancia científica, educativa y social. En el caso particular de la colección paleontológica de la SEMAHN, los fósiles que la conforman pueden ser considerados como activos, debido a que hay un gasto de inversión en cada ejemplar y, en consecuencia, pueden ser considerados Bienes Patrimoniales Muebles. Bajo esta perspectiva, establecer criterios para la valuación de las colecciones científicas es indispensable para contar con mecanismos que garanticen

su protección, como es el caso de la contratación de seguros paramétricos ante daño o pérdida, ya sea por factores naturales (incendios, sismos, inundaciones) o antropogénicos (robo o vandalismo) ya que tiene un impacto positivo en la economía del contratante.

Contribuciones de los autores

GC-C: Conceptualización, análisis o adquisición de datos, desarrollo metodológico/técnico, redacción del manuscrito original, redacción del manuscrito corregido y editado, interpretación. LAV-R: Análisis o adquisición de datos, desarrollo metodológico/técnico, redacción del manuscrito original, interpretación.

Financiamiento

Ninguno.

Agradecimientos

Agradecemos al Museo de Paleontología “Eliseo Palacios Aguilera” por las facilidades otorgadas para realizar este trabajo, así como a Marco A. Coutiño-José y Luis Enrique Gómez-Pérez por los datos de los gastos ejercidos cada año. Asimismo, a los proyectos financiados por el Gobierno del Estado de Chiapas “Rescate del patrimonio paleontológico de la carretera Ocozocoautla-Cosoleacaque, del estado de Chiapas”, “Prospección y resguardo del patrimonio paleontológico de Chiapas”, “Rescate de la paleobiodiversidad de Chiapas”, “Estudio del ámbar con inclusiones biológicas” y “Reconstrucción paleoambiental del Pleistoceno tardío de Chiapas”, a través de los cuales se ha rescatado el material fósil que se resguarda en la colección paleontológica de la SEMAHN. Agradecemos también a Luis Manuel García Moreno, Sandra Urania Moreno e Isaac Muñoz Gómez de la Escuela Nacional de Protección

Civil por su valioso apoyo y sugerencias, así como los comentarios de dos revisores anónimos. Finalmente, agradecemos a Josep Anton Moreno Bedmar y Sandra Ramos Amézquita por el apoyo editorial y revisión técnica.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen intereses financieros ni relaciones personales que hayan influido en la elaboración de este artículo.

Referencias

- Allmon, W. D. (1994). The value of natural history collections. *Curator*, 73(2), 83–89. <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.1994.tb01011.x>
- Allmon, W. D. (2000). Collections in paleontology. En Lane, R. H., Steininger, F. F., Kaesler, R. L., Ziegler, W., & Lipps, J. (eds.). *Fossils and the future Paleontology in the 21st century*, 203–214. Frankfurt am Main, Alemania, Senckenberg-Buch, 74.
- Allmon, W. D. (2005). The importance of museum collections in paleobiology. *Palaeobiology*, 31(1), 1–5. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2005\)031<0001:TIOMCI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2005)031<0001:TIOMCI>2.0.CO;2)
- Alvarado-Ortega, J., & Than-Marchese, B. A. (2013). The first record of a North American Cenomanian Trachichthyidae fish (Acanthomorpha, Acanthopterygii), *Pepemakay* maya gen. and sp. nov., from El Chango quarry (Sierra Madre Formation), Chiapas, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 33(1), 48–57. <https://doi.org/10.1080/02724634.2012.712585>
- Anderson, S. (1973). It costs more to store a whale than a mouse: libraries, collections, and the cost of knowledge. *Curator*, 16(1), 30–44.
- Araújo, B. M., Ribeiro, E. S., & Granato, M. (2017). Carta do patrimônio cultural de ciência e tecnologia: produção e desdobramentos. En Granato, M., Ribeiro E. S., & Araújo B. M. (eds.). *Cadernos do patrimônio da ciência e tecnologia: Instituições, trajetórias e valores*, vol 1, 1st edn, 12–19. Editora do Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro.
- Avendaño Gil, J., Carbot-Chanona, G. F., & Coutiño, M. A. (2012). Estudio del ámbar con inclusiones biológicas de la Colección Paleontológica de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural. *Lacandonia*, 6(1), 23–29.
- Baker, R. J., Bradley, L. C., Garner, H. J., & Bradley, R. D. (2014). “Door to drawer” costs of curation, installation, documentation, databasing, and long-term care of mammal voucher specimens in natural history collections. *Occasional Papers, Museum of Texas Tech University*, 323, 1–15.
- Barton, A. D. (2000). Accounting for public heritage facilities - Assets or liabilities of the government? *Accounting, Auditing and Accountability Journal*, 13(2), 219–236. <https://doi.org/10.1108/09513570010323434>
- Boreham, T. (1994). Valuing heritage assets: Is it worth the cost and trouble? *Business Review Weekly*, disponible en < <https://www.afr.com/companies/valuing-heritage-assets-is-it-worth-the-cost-and-trouble-19941114-kavh1>>, consultado el 23 de agosto de 2023.

- Bradley, R. D., Bradley, L. C., Garner, H. J., & Baker, R. J. (2012). Cost of collecting and preparing mammal voucher specimens for natural history collections. *Occasional Papers, Museum of Texas Tech University*, 313, 1–14.
- Bradley, R. D., Bradley, L. C., Garner, H. J., & Baker, R. J. (2014). Assessing the value of natural history collections and addressing issues regarding long-term growth and care. *BioScience*, 64 (12), 1150–1158. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu166>
- Bruchi, V. M., & Cendrero, A. (2005). Geosite evaluation; Can we measure intangible values? *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 18(1), 293–306.
- Carbot-Chanona, G. (2015). La Colección Paleontológica de la SEMA-HN: análisis preliminar. *Lacandonia*, 9(2), 43–54.
- Carnegie, G. D., & Wolnizer, P. W. (1995). The financial value of cultural, heritage and scientific collections: An accounting fiction. *Australian Accounting Review*, 5(1), 31–47. <https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.1995.tb00164.x>
- Chechenkina, T. V., & Sotnikova, M. V. (2019). Is it possible to estimate the value of invaluable? *Science Governance and Scientometrics*, 14(4), 567–583. [10.33873/2686-6706.2019.14-4.567-583](https://doi.org/10.33873/2686-6706.2019.14-4.567-583)
- Cristín, A., & Perrilliat, M. (2011). Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 421–427. <https://www.jstor.org/stable/24921043>
- Diario Oficial de la Federación, DOF (2012). Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos. https://www.senado.gob.mx/comisiones/cultura/docs/Ley_FMZ.pdf, Consultado el 30 de agosto de 2023.
- Eames, S. M. (1961). The cognitive and the non-cognitive in Dewey's theory of valuation. *The Journal of Philosophy*, 58(7), 179–195. <https://doi.org/10.2307/2023472>
- Gaston, K., & Spicer, J. (1998). *Biodiversity. An introduction*. Blackwell Science Ltd, Malden, Massachusetts, EEUU, 207 p.
- Gómez-Pérez, M., & Martínez-Matis, D. (2021). Metodología de valoración del patrimonio geológico y paleontológico mueble o *ex situ* para el registro en el inventario nacional geológico y paleontológico. INGEF, 1–18
- Halffter, G., & Ezcurra, E. (1992). ¿Qué es la biodiversidad? En Halffter, G. (Comp.). La diversidad biológica de Iberoamérica I. *Acta Zoológica Mexicana*. Volumen Especial. México, p. 4.
- Henriques, M. H., & Pena dos Reis, R. (2015). Framing the palaeontological heritage within the geological heritage: An integrative vision. *Geoheritage*, 7(3), 249–259.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), 2020, Normateca. Disponible en <<https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01612485398.PDF>>, consultado el 30 de agosto de 2023.
- Lawenda, M., Błoszyk, J., & Konwerski, S. (2023). Determination of the relativistic value of museum natural collections, *Journal of Natural History*, 57 (37–40), 1671–1692, <https://doi.org/10.1080/00222933.2023.2272350>
- Lieberman, B. S., & Kaesler, R. L. (2000). The scientific value of natural history museum collections: the concept of completeness. *Paleontological Society Special Publication*, 10, 109–117. <https://doi.org/10.1017/S2475262200009035>
- Lima, J. T. M., & Carvalho, I. S. (2020). Geological or cultural heritage? The *ex situ* scientific collections as a remnant of nature and culture. *Geoheritage*, 12(3), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00448-5>
- Lourenço, M. C., & Wilson, L. (2013). Scientific heritage: reflections on its nature and new approaches to preservation, study and access. *Studies in History and Philosophy of Science*, 44(4), 744–753. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2013.07.011>
- Mares, M. A. (2009). Natural science collections: America's irreplaceable resource. *BioScience*, 59(7), 544–545. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.2>
- Mesa-Ramírez, D. (2006). Protocolos para la preservación y manejo de colecciones biológicas. *Museo de Historia Natural*, 10, 117–148.
- Nudds, J. R., & Pettitt, C. W. (1997). *The value and valuations of natural science collections*. The Geological Society, Manchester, Reino Unido, 276 p.
- Núñez, I., González-Gaudiano, E., & Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto en un concepto. *Interciencia*, 7(28), 387–393.
- Observatorio Vasco de la Cultura (2018). El valor público de la cultura. Eusko Jaurlaritza, Gobierno Vasco, disponible en https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/keb_argit_balio_publico_2018/es_def/adjuntos/Valor_publico_de_la_cultura.pdf, consultado el 03 de septiembre de 2023.
- Page, K. (2003). The protection of Jurassic sites and fossils: challenges for global Jurassic science (including a proposed statement on the conservation of palaeontological heritage and stratotypes). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 110(1), 373–379. <https://doi.org/10.13130/2039-4942/6313>
- Prokop, R. (1981). *Fósiles*. Susaeta Ediciones, Checoslovaquia, 222 p.
- Robertson, T. (2008). Essential vs. accidental properties. En Zalta, E. N. (ed.). *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, disponible en <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/essential-accidental/>>, consultado el 03 de septiembre de 2023
- Rowles, T. R. (1992). Financial reporting of infrastructure and heritage assets by public sector entities, Discussion Paper No. 17. Australian Accounting Research Foundation, Melbourne, 96 p.
- Salas Tafoya, J. M. (2015). El modelo de valuación inmobiliaria en México. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 5(10), 31–54
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2017). Metodología de los servicios valuatorios regulados por el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales para estimar el valor comercial de los activos: bienes inmuebles (urbanos, en transición y agropecuarios), bienes muebles (maquinaria y equipo o propiedad personal) y negocios. Primera Sección.
- Stansfield, G. (1994). Functions and organization of natural history museums. En Stansfield, G., Mathias, J., & Reid, G. (eds.). *Manual of Natural History Collections curatorship, Museums and Galleries Commission*, 1–10. Londres, Her Majesty Storage Office.
- Suarez, A. V., & Tsutsui, N. D. (2004). The value of museum collections for research and society. *BioScience*, 54(1), 66–74. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0066:tvomcf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0066:tvomcf]2.0.co;2)
- Swing, K., Denking, J., Carvajal, L. V., Encalada, A., Silva, X., Coloma, L. A., Guerra, J. F., Campós Yanez, F., Zak, V., Riera, P., Rivadeneira, J. F., & Valdebenito, H. (2014). Las colecciones científicas: percepciones y verdades sobre su valor y necesidad. *Revista Bitácora Académica*, 1, 1–46.
- Villaseñor-Alonso, I. (2011). El valor intrínseco del patrimonio cultural: ¿una noción aún vigente? *Intervención*, 2(3), 6–13. <https://doi.org/10.30763/Intervencion.2011.3.30>