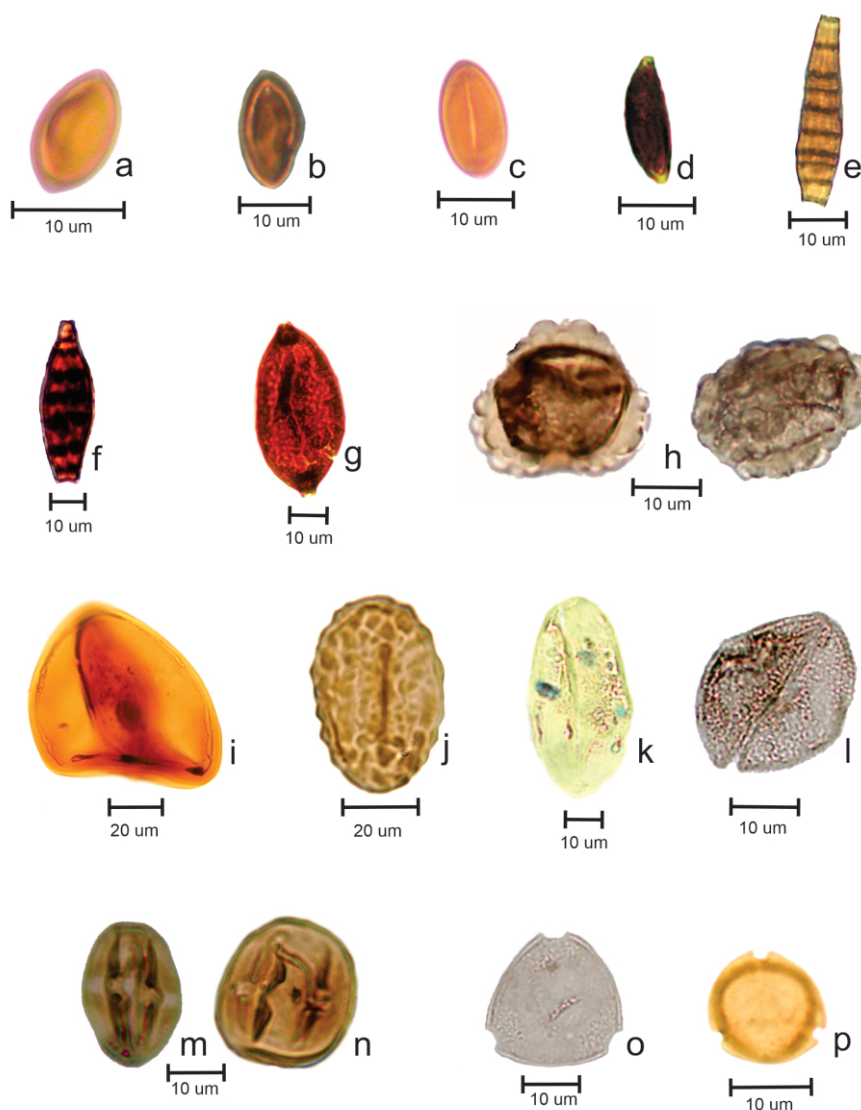


PALEONTOLOGÍA MEXICANA

Volumen 13 Número 1



Palinomorfos del Mioceno Inferior de Totolapa, Chiapas. A) cf. *Inapertisporites ovalis*. B) cf. *Monoporisporites macrosporus*. C) cf. *Hipoxylonites elongatioides*. D) *Kretzschmaria clavus*. E) cf. *Diporicellaesporites ordinatus*. F) *Diporicellaesporites fusiformis*. G) *Foveodiporites anklesvarensis*. H) *Polypodiisporites* sp. Tipo b. I) *Deltoidospora* sp. J) *Polypodiisporites* cf. *alienus*. K) *Cycadopites* sp. L) *Arecipites* sp. M-N) *Zonocostites ramonae*. O) *Momipites* sp. Tipo 1. P) *Momipites* sp. Tipo 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, Lia Rodríguez Gómez, José Roberto Ovando Figueroa.

Apoyo página web: Alejandro Silva.

ÍNDICE DE NÚMERO REGULAR – *REGULAR ISSUE NUMBER INDEX*

Paleobotánica

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
1	Estudio palinológico de una sección portadora del ámbar de Totolapa, en Chiapas, México. Carlos Castañeda-Posadas, Azarael Tomas-Mosso.
17	Órganos reproductivos de Bennettitales del Jurásico Temprano de la colección del Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería”, Oaxaca, México. Diego Enrique Lozano-Carmona; María Patricia Velasco-de León

Paleozoología

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
35	Bonefish (Elopomorpha, Albuliformes) remains from Late Cretaceous outcrops of San Carlos Quarry, Coahuila, Northern Mexico: evidence of a new giant Teleost in the Western Interior Seaway. Kleyton Magno Cantalice, Hector Porras-Múzquiz, Diogo de Mayrinck, Jesús Alvarado-Ortega.
45	Ichnofósiles en la Formación Ahuichila, noreste de México. Samuel Eguiluz-de Antuñano, María Isabel Hernández Ocaña.
57	Fossil names and a mineral dedicated to Carl Burckhardt. Ana Berthaa Villaseñor, Federico Olóriz.

Historia de la paleontología

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
77	Desarrollo y contexto histórico de la paleontología en Sonora, noroeste de México. Francisco J. Cuen-Romero, Josep A. Moreno-Bedmar, Héctor A. Noriega-Ruiz, Pilar Navas-Parejo, Blanca E. Buitrón-Sánchez, Rogelio Monreal.

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 1

Fecha de publicación: Enero 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 (1). 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://sfdora.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://sfdora.org/read/>

Estudio palinológico de una sección portadora del ámbar de Totolapa, en Chiapas, México

Palinological study of an amber-bearing section in Totolapa, Chiapas, Mexico

Carlos Castañeda-Posadas^{1,*} ; Azarael Tomas-Mosso¹ 

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

* carlos.castaneda@correo.buap.mx

Resumen

En este trabajo se identifica el contenido palinológico de la secuencia estratigráfica de la localidad de ámbar Totolapa, Chiapas. Se identificaron en total 6 géneros fósiles pertenecientes a fungoesporas y 11 géneros-formas pertenecientes a plantas vasculares. En el estrato portador del ámbar se encuentran representados a *Polypodiisporites* (Polipodeaceae), *Deltoidospora* (Cyatheaceae), *Cycadopites* (Cicadaceae), *Arecipites* (Palmae), *Momipites* (Jungladaceae) y *Zonocospites* (Rizophoraceae) y los géneros *Avicennia*, *Pelliceira*, *Quercus* y *Pinus*. Por la asociación de polen fósil la comunidad vegetal pertenece a un bosque tropical perennifolio cercano a un manglar. Por otro lado, al realizar un análisis de similitud de los elementos taxonómicos encontrados con los trabajos reportados en la región, se sugiere que la comunidad de Totolapa es similar a la reportada por Tomasini-Ortiz para la localidad de Simojovel, por lo que se plantea que los estratos portadores de ámbar de Simojovel pueden estar restringidos a una edad Mioceno Inferior similar a los estudiados en Totolapa.

Palabras clave: Polen, Mioceno, Estratigrafía, paleovegetación.

Abstract

This paper identifies the palynological content of the stratigraphic sequence of the amber locality Totolapa, Chiapas. A total of 6 fossil genera belonging to fungospores and the identification of 11 genera-forms belonging to vascular plants were identified; the amber bearing stratum are represented *Polypodiisporites* (Polipodeaceae), *Deltoidospora* (Cyatheaceae), *Cycadopites* (Cicadaceae), *Arecipites* (Palmae), *Momipites* (Jungladaceae) and *Zonocospites* (Rizophoraceae) and the genera *Avicennia*, *Pelliceira*, *Quercus* and *Pinus*. By the association of fossil pollen the plant community belongs to a tropical evergreen forest near a mangrove. On the other hand, when performing a similarity analysis of the taxonomic elements found with the works reported in the region, this community resembles those reported by Tomasini-Ortiz in the locality of Simojovel. As a result, it is proposed that the amber-bearing strata of Simojovel may be restricted to a Lower Miocene age like those found in Totolapa.

Keywords: Pollen, Miocene, Stratigraphy, paleovegetation.

Cómo citar / How to cite: Castañeda-Posadas, C., & Tomas-Mosso, A. (2024). Estudio palinológico de una sección portadora del ámbar de Totolapa, en Chiapas, México. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 1–16.

Manuscrito recibido: Abril 12, 2023.

Manuscrito corregido: Junio 6, 2023.

Manuscrito aceptado: Junio 10, 2023.



1. Introducción

El yacimiento fosilífero con ámbar en la localidad de Totolapa, estado de Chiapas, fue reportado por primera vez por Vázquez de Espinoza en 1948 (Bryant, 1983); sin embargo, es Bryant (1983) quien resalta la importancia que tiene el sitio desde un punto de vista arqueológico, además de mencionar que la abundancia y el contenido fósil de ámbar es comparable con el de Simojovel (Bryant, 1983). No obstante, los trabajos paleontológicos publicados formalmente para este yacimiento se registran hasta principios del siglo XXI. Entre ellos están los de Azar *et al.*, (2010) quienes describen un par de himenópteros de la familia Ceratocombidae; Durán-Ruiz *et al.* (2013) describen un par hormigas del género *Forelius*; Riquelme y Hill (2013) reportan una araña de la familia Salticidae; Breton *et al.* (2014) describen filamentos de microorganismos incluidos en el ámbar de Totolapa; y, finalmente, Riquelme y Menéndez-Acuña (2017) reportan una nueva especie de araña: *Maevia eureka*. Como se observa, las publicaciones sobre el ámbar de Totolapa son escasas y hasta el momento no existe ningún estudio palinológico en la zona que ayude a conocer los elementos botánicos presentes cuando se depositó el ámbar (Solórzano-Kraemer, 2010; Durán-Ruiz *et al.*, 2013; Breton *et al.*, 2014; Riquelme y Menéndez-Acuña *et al.*, 2017).

Geológicamente, los yacimientos de Totolapa no son correlacionables con los afloramientos portadores de ámbar de Simojovel y Huitupán, ubicados en la parte

central de los Altos de Chiapas (Solórzano-Kraemer, 2007; 2010; Durán-Ruiz *et al.*, 2013). Por lo tanto, se infiere que los estratos de Totolapa, de donde proviene el ámbar, pertenecen a los estratos de la sección Lutitas Mazantic y Areniscas Balumtum datadas con una edad del Mioceno Inferior-Medio (Vega *et al.*, 2009; Perrilliat *et al.*, 2010; Solórzano-Kraemer, 2010; Durán-Ruiz *et al.*, 2013; Breton *et al.*, 2014).

En el último siglo se han realizado varios trabajos palinológicos en la región central-norte del estado de Chiapas, en los que se han reportado más de 60 familias vegetales mostrando así la gran diversidad vegetal presente en aquella época (Tabla 1) (Langenheim *et al.*, 1967; Biaggi, 1978; Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández, 1984; Martínez-Hernández, 1992; Palacios Chávez y Rzedowski, 1993; Graham, 1999). Estos estudios, aparte de mostrar la diversidad vegetal, intentan proporcionar un panorama regional sobre las condiciones ecológicas que prevalecieron en el Mioceno de Chiapas, llegando a hipotetizar que el posible ambiente climático era cálido-húmedo, en el que estaba establecida una vegetación de tipo selva tropical, bordeada por un manglar distribuido hacia las zonas de baja elevación y cercanas a la costa, así como la presencia de un bosque mesófilo o bosque templado en las zonas de mayor altitud (Langenheim *et al.*, 1967; Biaggi, 1978; Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández, 1984; Martínez-Hernández, 1992; Palacios-Chávez y Rzedowski, 1993; Graham, 1999; Hernández-Hernández *et al.*, 2020). Sin embargo, todos los trabajos anteriormente mencionados no incluyen

Tabla 1. Número de palinomorfos en cada estrato de la secuencia de estudio de Totolapa.

		1	2	Portador	3	4	5	6	7	8	9
Plantas vasculares	Zonocospites	116	21	439	119	65	10	9	4	4	10
	Avicennia sp.	61	1	414	85	35	1	1	2	2	11
	Pellicera sp.	42		26	42	37		14	2	4	13
	Quercus sp.	20	9		6	15	0	5	1		11
	Pinus sp.	20	2	3	4	16	1	23	1		1
	Deltoidospora sp.	12	5	6	8	15		8	1	11	14
	Polypodiisporites sp.	9		13	6	8		5	1	3	21
	Polypodiisporites cf. alienus	10	6	18	4	4	4	6		2	5
	Cycadopites sp.	3		9	3	8	1		1	1	3
	Arecipites sp.	1	2	14	4	8	1		1		4
	Momipites Tipo 1			17	3	9			1		5
	Momipites Tipo 2			18							
Fungoesporas	Inapertisporites ovalis		8	12	1	1					1
	Monoporisporites macrosporus		7	8	1	2					2
	Hipoxylonites elongatioides			7	1	1					
	Kretzschmaria clavus			3							
	Diporicellaesporites ordinatus			4	1						
	Diporicellaesporites fusiformis			8							
	Foveodiporites analesvarensis			5							
Total		295	63	1024	291	228	23	77	22	35	110

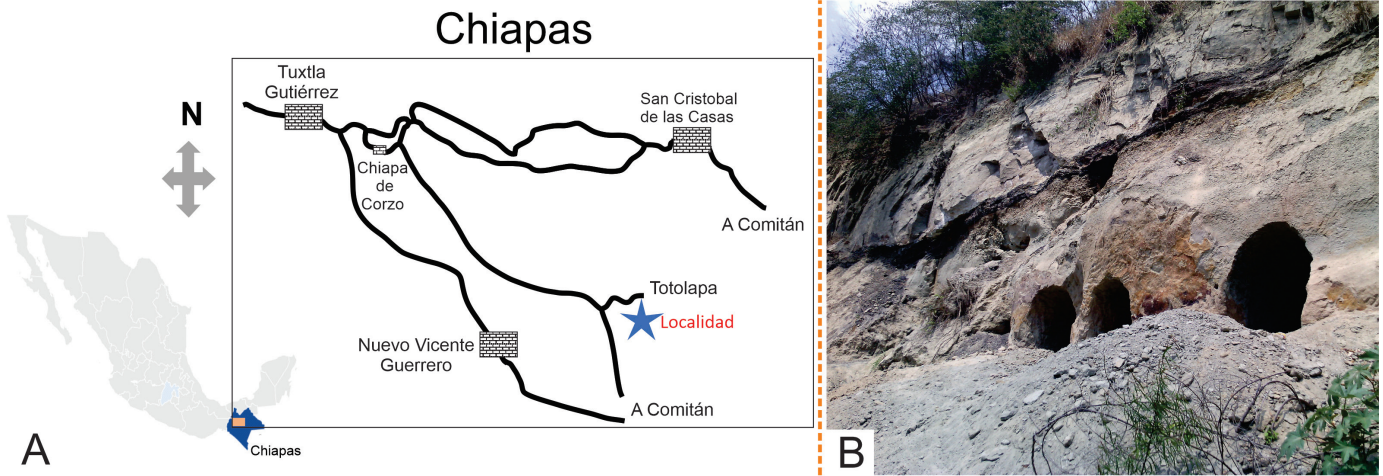


Figura 1. A) Mapa de localización de las minas de ámbar de Totolapa. B) Vista panorámica de las minas de ámbar.

registros de la zona de Totolapa. El presente trabajo contribuirá en reconocer los elementos botánicos presentes en los sedimentos de Totolapa al momento de la deposición del ámbar.

2. Marco geológico

La localidad donde aflora el estrato analizado en este trabajo se encuentra a las orillas del río Salado, a las afueras de la comunidad de Totolapa, Chiapas, México, en las coordenadas 16°32'28" N y 92°41'4" W, a una altitud de 532 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). Las capas del estrato de lutita carbonosa, que son portadoras del ámbar, están expuestas a lo largo de la orilla del río Salado y río Yalbantuc. El trazado del río Salado en esa área coincide con una falla geológica que facilita la erosión fluvial (Durán-Ruiz *et al.*, 2013).

La sección Totolapa en la localidad estudiada se compone de tres grandes unidades litoestratigráficas (Durán-Ruiz *et al.*, 2013). La unidad inferior está constituida por una sucesión de calizas con areniscas intercaladas, que corresponden a la Formación Lomut (Meneses-Rocha, 1985; Durán-Ruiz *et al.*, 2013). Hacia la parte superior predominan las rocas carbonatadas con contenido fósil, constituido esencialmente por corales y bivalvos, así como la presencia de icnofósiles. La parte superior de la unidad inferior está constituida por estratos de rocas terrígenas de grano fino, con depósitos volcánicos asignados al Paleógeno superior (Meneses-Rocha, 1985; Durán-Ruiz, 2014).

La unidad medida está compuesta de una secuencia de estratos de areniscas, lignitas intercaladas con trozos de carbón, conglomerados no consolidados y lentes de arcilla. Los niveles de lignito estudiados en este trabajo corresponden a un estrato en la parte superior de la columna, que se ha asignado tentativamente a la sección Mazatic y Balumtum de edad miocénica (Graham, 1999; Meneses-Rocha, 2001; Riquelme *et al.*, 2014a, b;

Riquelme y Menéndez-Acuña, 2017; Durán-Ruiz *et al.*, 2013; Breton *et al.*, 2014). En la unidad superior se encuentran sedimentos piroclásticos de color rojo oscuro, restos de madera carbonizada y material lignítico, así como algunos gasterópodos y bivalvos que se encuentran en una matriz arenosa perteneciente a un flujo de ceniza. Estos sedimentos pertenecen a un evento volcánico ocurrido durante el Plioceno-Pleistoceno (Mora *et al.*, 2007; Breton *et al.*, 2014). De lo anteriormente expuesto, se constata que la edad de la secuencia sedimentaria portadora de ámbar es algo ambigua, pero, al mismo tiempo, algunas unidades litoestratigráficas están fechadas con precisión. Por ejemplo, el paquete de rocas basales atribuido a la Formación Lomut se atribuye al Eoceno, mientras que la unidad superior con actividad volcánica se atribuye al Plioceno-Pleistoceno (Durán-Ruiz, 2013; Breton *et al.*, 2014). El rango de la unidad media que contiene el ámbar, abarca del Oligoceno al Mioceno, por lo tanto, esta secuencia de rocas sedimentarias (Figura 2) puede pertenecer a las formaciones La Quinta, Lutita Mazatic, o arenisca Balumtum (Bretón *et al.*, 2014; Solórzano-Kraemer, 2007; 2010; Vega *et al.*, 2009; Perrilliat *et al.*, 2010).

3. Material y métodos

Se extrajeron diez muestras para el análisis palinológico de las orillas del río Salado, a 100 metros del puente de la carretera de Acala a Totolapa, aproximadamente a 20 km de Totolapa. Las muestras se tomaron directamente sobre la unidad donde se encuentra el estrato de lignito portador del ámbar, se empacaron y se llevaron al Laboratorio de Paleontología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) para su procesamiento.

Las muestras fueron procesadas utilizando las técnicas tradicionales de palinología (lavados en ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, acetólisis, separación por

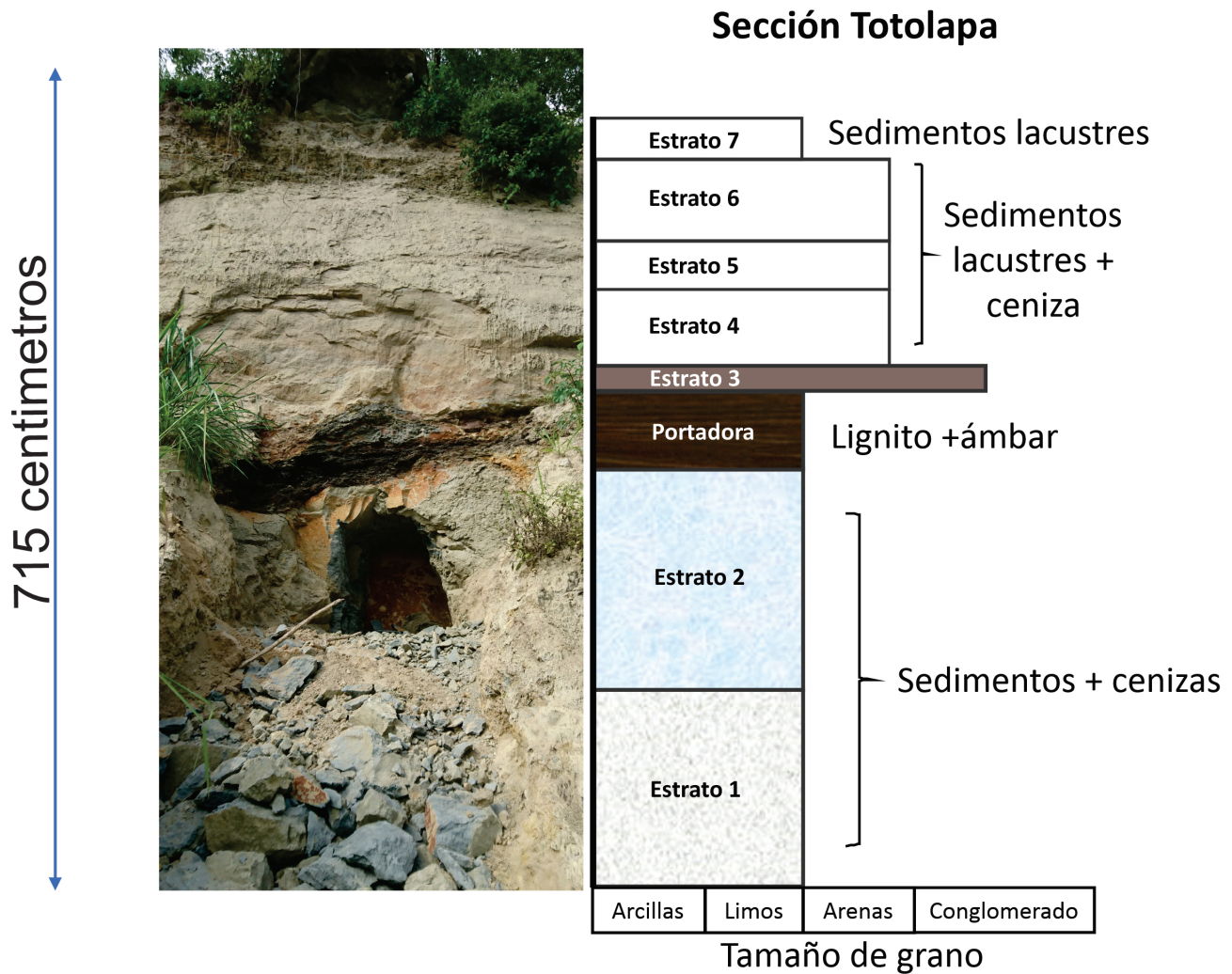


Figura 2. Estratigrafía de la mina de ámbar de Totolapa, a las orillas del río Salado.

densidad y montaje) para la extracción de los palinomorfos. Para la identificación y descripción de los palinomorfos se utilizó un microscopio óptico marca ZEISS Axiostar Plus con una cámara digital Canon acoplada a un programa de captura de imágenes Axiovision. La descripción e identificación de los palinomorfos se realizó utilizando la literatura especializada (e.g. Langenheim *et al.*, 1967; Biaggi, 1978; Martínez-Hernández, 1992; Palacios-Chávez y Rzedowski, 1993; Graham, 1999; y Kalgutkar y Jansonius, 2000).

4. Resultados

En el presente trabajo se describen e identifican 2168 palinomorfos que se encuentran agrupados en 19 tipos de distintas morfoespecies y corresponden a 11 géneros-forma de palinomorfos de plantas vasculares y 6 a estructuras esporas de hongos o fungoesporas. Del total, 1024 palinomorfos se encuentran exclusivamente en el estrato portador del ámbar, agrupados de la siguiente manera: Fungo-esporas: doce pertenecen al

género *Inapertisporites*, ocho a *Monoporisporites*, siete a *Hipoxylonites* tipo 1, tres a *Kretzschmaria*, cuatro a *Diporicellaesporites ordinatus*, ocho a *Diporicellaesporites fusiformis* y cinco a *Faveodiporites*. Por parte de las plantas vasculares en el estrato portador de ámbar se ha identificado: trece palinomorfos asignados a *Polypodiisporites* sp. y dieciocho a *Polypodiisporites* cf. *P. alienus*; seis especímenes a *Deltoidospora* (Cyathaceae); nueve a *Cycadopites* (Cicadaceae); catorce a *Arecipites* (Palmae); diecisiete a *Momipites* 1, y dieciocho a *Momipites* tipo 2 (Jungladaceae); cuatrocientos treinta y nueve a *Zonocospites* (Rizophoraceae). El total de los palinomorfos se encuentra distribuido en los diferentes estratos como se muestra en la tabla 1.

4.1. Asociaciones palinológicas

4.1.1. Fungo-esporas

Género. *Inapertisporites* van del Hammen ex Rouse, 1959

Especie. cf. *Inapertisporites ovalis* Sheffy y Dilcher, 1971
Figura 3a.

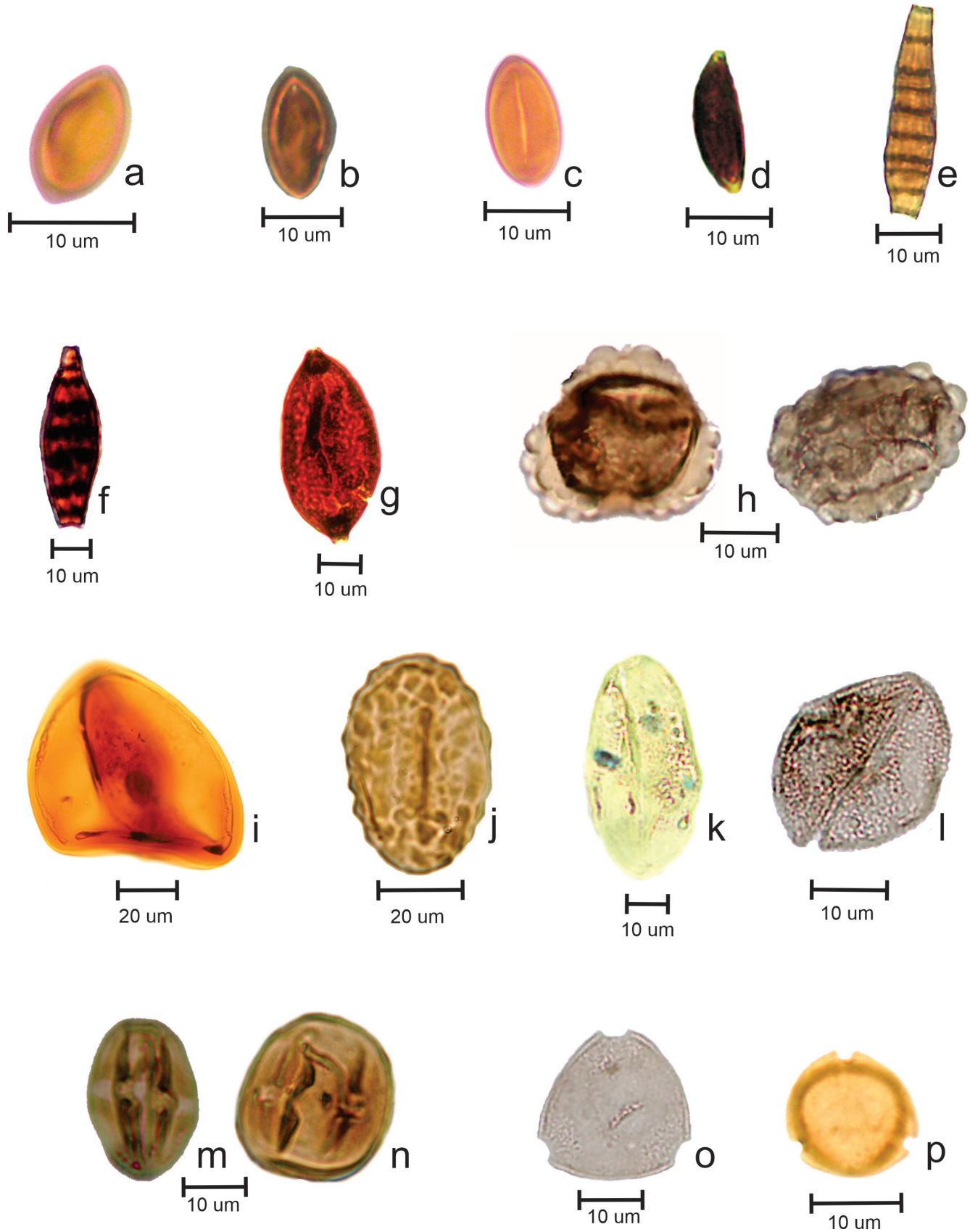


Figura 3. Palinomorfos de los sedimentos del estrato portador de ámbar en Totolapa. Las fotografías están amplificadas x 1000. A) cf. *Inapertisporites ovalis*. B) cf. *Monoporisporites macrosporus*. C) cf. *Hipoxylonites elongatioides*. D) *Kretzschmaria clavus*. E) cf. *Diporicellaesporites ordinatus*. F) *Diporicellaesporites fusiformis*. G) *Foveodiporites anklesvarensis*. H) *Polypodiisporites* sp. Tipo b. I) *Deltoidospora* sp. J) *Polypodiisporites* cf. *alienus*. K) *Cycadopites* sp. L) *Arecipites* sp. M-N) *Zonocostites ramonae*. O) *Momipites* sp. Tipo 1. P) *Momipites* sp. Tipo 2.

Descripción: Espora en forma elipsoidal, aseptada, de color marrón oscuro. Monoporada. El poro tiene 1 µm de diámetro levemente umbonado. La pared es psilada y tiene un espesor de 1 µm. Mide 12–20 µm de longitud por 7–10 µm de ancho.

Afinidad botánica: *Sordaria*.

Formas similares: semejante a *Inapertisporites ovalis*, concordado principalmente con las formas y las medidas reportadas por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984, Lám. 1, fig. 8); Kalgutkar y Jansonius (2000, Lám. 1, fig. 7). Parecido en forma y dimensiones al género *Sordaria* reportada por Biaggi (1978, Lám. 2, fig. 9); Gelorini *et al.* (2011, Lám. 4, fig. T.1180) y Musotto *et al.* (2013, fig. 2, H).

Abundancia: 12 estructuras encontradas.

Edad: Eoceno Medio-Reciente.

Género: *Monoporisporites* van der Hammen, 1954

Especie: cf. *Monoporisporites macrosporus* Salard-Chenboldaef y Locquin, 1980

Figura 3b.

Descripción: Espora en forma elipsoidal, aseptada, de color marrón oscuro. Monoporada. El poro tiene 1.2 µm de diámetro levemente umbonado. La pared es psilada y tiene un espesor de 0.5 µm y presenta una capa interna que tiene 1 µm de espesor. Mide 17–22 µm de longitud por 8–10 µm de ancho.

Afinidad botánica: Basidiomicetes.

Formas similares: Parecido a *Monoporisporites macrosporus* que reporta Kalgutkar y Jansonius (2000, Lám. 3, fig. 18), solo que en dimensiones más pequeñas al ejemplar de este trabajo. Muy semejante a *Monoporisporites* sp. Potonié, 1960, en tamaño y forma presentada por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984, Lám. 2, fig. 3).

Abundancia: 8 estructuras encontradas.

Edad: Oligoceno–Mioceno.

Género: *Hipoxylonites* Elsik, 1990

Especie: cf. *Hipoxylonites elongatioides* Elsik, 1990

Figura 3c.

Descripción: Fungospora de forma fusiforme ligeramente curvada, presenta un surco de manera longitudinal que ocupa todo el cuerpo de la espora, es de color marrón claro. Es una espora aseptada, con pared psilada con menos de 1 µm de espesor. Mide de 14–16 µm de longitud por 7 µm de ancho.

Afinidad botánica: *Hipoxylon* sp. Bull 1971.

Formas similares: Los ejemplares tienen semejanza con la especie *H. elongatioides* reportados por Kalgutkar y Jansonius (2000, Lám. 2, fig. 82) semejante en forma, pero en tamaño a *Hipoxylonites* sp., reportado por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984, Lám. 2, fig. 7).

Abundancia: Se midieron 7 esporas.

Edad: Oligoceno–Reciente.

Género: *Kretzschmaria* Fries, 1849

Especie: *Kretzschmaria clavus* Fries, 1849

Figura 3d.

Descripción: Espora de forma fusiforme a ligeramente curvada y aseptada. Presenta un surco longitudinal poco visible que abarca casi toda la espora. Es de color marrón obscuro. Presenta una pared psilada con 1 µm de espesor. Mide 20 µm de longitud por 9 µm de ancho.

Afinidad botánica: Familia Xylariaceae.

Formas similares: Parecido en dimensiones y forma a ejemplar Tipo UG-1128 *Kretzschmaria clavus* reportadas por Gelorini *et al.* (2011, Lám. 4, fig. T. 1128). También al espécimen reportado por Musotto *et al.* (2013, fig. 3A) como *Anthostomella* cf. *fuegiana*.

Abundancia: Se midieron 3 estructuras.

Edad: Mioceno–Reciente.

Género: *Diporicellaesporites* Elsik, 1968

Especie: cf. *Diporicellaesporites ordinatus* Sheffy y Dilcher, 1971

Figura 3e.

Descripción: Son considerados fragmosporas, de color marrón obscuro, monohiladas; con células más gruesas en la parte central y más angostas en los extremos; septos gruesos, observándose 9; son diporadas, los poros están en los extremos; con pared de 1–2 µm de espesor. Miden 40 micras de alto por 11 micras de ancho. Se contaron 12 estructuras.

Formas similares: Los ejemplares son parecidos a *Diporicellaesporites ordinatus* reportados por Kalgutkar y Jansonius (2000, Lám. 14, fig. 6).

Abundancia: Se hallaron 4 ejemplares.

Edad: Eoceno–Mioceno.

Género: *Diporicellaesporites* Elsik, 1968

Especie: *Diporicellaesporites fusiformis* Kalgutkar, 1993

Figura 3f.

Descripción: Fragmosporas, de color marrón obscuro, monohiladas; con células más gruesas en la parte central y más angostas en los extremos; septos gruesos, observándose 8 septos; son diporadas, los poros están en los extremos; con pared de 1.5 a 2 µm de espesor. Miden 40 micras de alto por 7 a 11 micras de ancho.

Formas similares: Los ejemplares son semejantes a *Diporicellaesporites fusiformis*, reportados por Ramanujam y Srisailam (1980). (Lám. 2, fig. 22).

Abundancia: Se contaron 8 estructuras.

Edad: Mioceno.

Género: *Foveodiporites* Ke y Shi, 1978

Especie: *Foveodiporites anklesvarensis* Varma y Rawat, 1963

Figura 3g.

Descripción: Esporas biporadas, simetría bilateral, isopolar, ligeramente alargadas (usualmente 27 x 67 x 30 µm). Poros en los extremos laterales de aproximadamente 8 µm de diámetro en la base, elevados del cuerpo general por un collar de aproximadamente 4 µm de alto. Apertura de poro pequeña, de aproximadamente 2.5 µm de diámetro. Exina foveolada, menos de 1.4 µm de espesor. Miden 25–27 µm de ancho por 50–56 µm de largo.

Afinidad botánica: Hongos fósiles.

Formas similares: Los ejemplares son semejantes a la especie *Foveodiporites anklesvarensis*, reportados por Kalgutkar y Jansonius (2000, Lám. 5, fig. 35); y a los reportados por Matta-García (2004, fig. 2e).

Abundancia: Se midieron 5 estructuras.

Edad: Oligoceno–Mioceno Temprano.

Género: *Polypodiisporites* (Potonié) Khan y Martin (1972)

Sinonimia:

Polypodiumsporites (Potonié) Thiergart, 1938

Verrucatosporites (Potonié) Pflug y Thomson, 1953

Polypodocaceae-sporites (Potonié) Thomson y Plug, 1953

Reticuloidosporites Elsik, 1968

Especie: *Polypodiisporites* cf. *alienus* (Potonié) Khan y Martin, 1972
Figura 3j.

Descripción: Esporas solitarias, con forma reniforme, presenta una apertura recta situada a lo largo del borde cóncavo, mide 25 µm de longitud. Presenta una ornamentación verrugosa irregular de 3 a 4 µm de diámetro y una pared de 1 a 2 µm de grosor. Miden de 38 a 42 µm de largo por 22 a 25 µm de ancho.

Afinidad botánica: Polypodiaceae.

Formas similares: Espora se asemeja a *Polypodium loriceum* presentada por Biaggi, (1978, Lám. 3, figs. 3-4); además a los ejemplares de *Polypodiisporites* cf. *P. alienus* presentados por Martínez-Hernández *et al.* (1980); por los reportados por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984, Pág. 16, Lám. 2, fig. 9); Graham (1999, fig. 7).

Abundancia: Se midieron 18 estructuras.

Edad: Paleógeno–Neógeno.

Especie: *Polypodiisporites* sp. / *Verrucatosporites* Tipo b
Figura 3h.

Descripción: Las esporas solitarias de forma triangular. Presenta una ornamentación verrugosa irregular de 3 a 4 µm de diámetro y una pared de 2 a 3 µm de grosor. Miden de 20 µm de largo por 15 µm de ancho.

Afinidad botánica: Polypodiaceae.

Formas similares: Esta espora se asemeja *Verrucatosporites* sp., presentada por Tomasini-Ortiz y Martínez Hernández (1984, Lám. 5, fig. 71).

Abundancia: Se midieron 13 estructuras.

Edad: Oligoceno–Mioceno.

Género: *Deltoidospora* Miner, 1935

Especie: *Deltoidospora* sp.

Figura 3i.

Descripción: Las esporas son solitarias, monada, heteropolar, triangular. La marca trilete ocupa $\frac{3}{4}$ del radio de la célula. Presenta una ornamentación psilada y una pared de 3 a 4 µm de grosor. Miden de 60–65 µm de largo por 70–80 µm de ancho.

Afinidad botánica: Cyatheaceae y Dicksoniaceae.

Formas similares: Esta espora se asemeja con la presentada por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984); presenta gran parecido al ejemplar *Leiotriletes* sp. reportado por Palacios-Chávez y Rzedowski, (1993, Lám. 1, fig. 23), parecido al presentado como *Cyathea* sp., por Biaggi (1978, figs. 1-2).

Abundancia: Se midieron 6 estructuras.

Edad: Cretácico–Mioceno.

Género: *Cycadopites* (Wodehouse) Wilson y Webster, 1946

Especie: *Cycadopites* sp.

Figura 3k.

Descripción: Polen en monada, heteropolar, simetría bilateral, forma ovoidal. Monosulcada, sulco de 20 µm de largo, que se extiende por toda la longitud del grano y se abre en los extremos. Exina tectada, psilada. Presenta una pared de 0.8 µm de espesor. El tamaño de la espora es de 40–45 µm de largo por 20–25 µm de ancho.

Afinidad botánica: Cycadales.

Formas similares: El espécimen se parece en forma, pero no en dimensiones; es más grande el espécimen de este trabajo que a *Cycadopites* sp. al presentado por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984, Lám. 4, fig. 2) del Oligoceno–Mioceno de Chiapas; Ramírez-Arriaga *et al.* (2014).

Abundancia: Se midieron 9 ejemplares.

Edad: Oligoceno.

Género: *Arecipites* (Wodehouse) Nichols, Ames y Traverse, 1973

Especie: *Arecipites* sp.

Figura 3l.

Descripción: Polen en monada, simetría bilateral, forma ovoidal, prolada. Monosulcada, sulco recto de 22.5 µm de largo, que se extiende por toda la longitud del grano, margen interior entero. Exina semitectada, columnelada, microreticulado, los muros y los lúmenes del mismo tamaño (0.8 a 1 µm) aproximadamente. El ancho de la pared es de 2.5 µm. El tamaño de la espora es de 27.5–31.5 µm de largo por 20–22.5 µm de ancho.

Afinidad botánica: Palmae.

Formas similares: Los especímenes fueron comparados con los *Arecipites* sp. descritos por Biaggi (1978, Lám. 8, figs. 1-3); y el espécimen de *Arecipites* sp. reportado Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1984, Lám. 4, fig. 2), con el presentado por Palacios-Chávez y Rzedowski (1993, Lám. 29, fig. 600) como *Astrocaryum*. Ramírez-Arriaga *et al.* (2014) teniendo mayor semejanza con este reporte.

Abundancia: Se encontraron 14 ejemplares.

Edad: Cretácico-Mioceno.

Género: *Momipites* (Wodehouse) Nichols, 1973

Sinonimia:

Engelhardtipollenites Raatz, 1937

Engelhardtioipollenites Potonié, 1951

Triatriopollenites Thomson y Pflug, 1953

Maceopolipollenites Leffingwell, 1971

Especie: *Momipites* tipo 1 (*Alfaroa/Oreomunea*)

Figura 3o.

Descripción: Polen en monada, simetría radial, de forma oblado a triangular. El grano es triporado, poros arreglados ecuatorialmente, equidistantes con un diámetro del poro de 4 μm de ancho. La exina es tectada finamente escabada, tiene aproximadamente 0.8 μm de espesor. Tienen un diámetro ecuatorial de 20 a μm .

Afinidad botánica: Jungladaceae.

Formas similares: Los ejemplares tienen parecido a lo reportado por Biaggi (1978, Lám. 10, figs. 3-4) y por Graham (1999, fig. 17) como *Alfaroa/Oreomunea*. Con el presentado por Palacios-Chávez y Rzedowski (1993) como *Engelharthia-Oreomunea* Lám. 16, fig. 307. Con el ejemplar *Momipites corylipites* Wodehouse (1993) descrito en Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1994) o los ejemplares descritos por Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga (1999, Lám. 4, fig. 12) para el Oligoceno de Puebla.

Abundancia: 11 especímenes encontrados e identificados.

Edad: Oligoceno-Mioceno.

Especie: *Momipites* tipo 2

Figura 3p.

Descripción: Polen en monada, simetría radial, de forma oblado a triangular. El grano es triporado, poros, equidistantes con un diámetro del poro de 2.5 μm de ancho. La exina es tectada finamente escabada, tiene aproximadamente 1.5 μm de espesor. Tienen un diámetro ecuatorial de 18 a 22 μm y un diámetro polar de 24 μm .

Afinidad botánica: *Engelhardtia*.

Formas similares: Los ejemplares tienen parecido a los reportados por Martínez-Hernández (1992, Lám. 1, fig. 34.; Lám. 2, fig. 4). Parecido a *Engelhardtoidites*

microcoryohaeus reportado por Biaggi (1973, Lám. 10, fig. 13) y Graham (1999).

Abundancia: 18 especímenes encontrados e identificados.

Edad: Oligoceno-Mioceno.

Género: *Zonocostites* Germeraad, Hopping y Muller, 1968

Especie: *Zonocostites ramoneae* Germeraad, Hopping y Muller, 1968

Figuras 3n, 3n. Laminillas BUAPAL 102, 103, 104.

Descripción: Polen en monada, isopolar, simetría radial, de forma subprolado. El grano es tricolpado, con una endoapertura alargada con costillas transversales que convergen. Los bordes meridionales son indistintos. La exina es subtectada tiene aproximadamente 1 μm de espesor. Presenta estrías con un grosor de 0.5 μm paralelas al eje polar. Tienen un diámetro ecuatorial de 12 a 18 μm y un diámetro polar 18 a 27 μm . 25 especímenes medidos y 278 encontrados.

Afinidad botánica: Familia Rhizophoraceae.

Formas similares: Los ejemplares presentados como *Rhizophora* por Biaggi (1978, Lám. 14, figs. 15-19); Palacios-Chavez y Rzedowski (1993, Lám. 13, figs. 445, 446); por Martínez-Hernández (1992, Lám. 1, figs. 19-23); y Graham (1999, figs. 25-26). También muestra similitudes con los descritos en Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1994, Lám. 5, fig. 7) como *Zonocostites*.

Abundancia: 439 especímenes.

Edad: Oligoceno-Reciente.

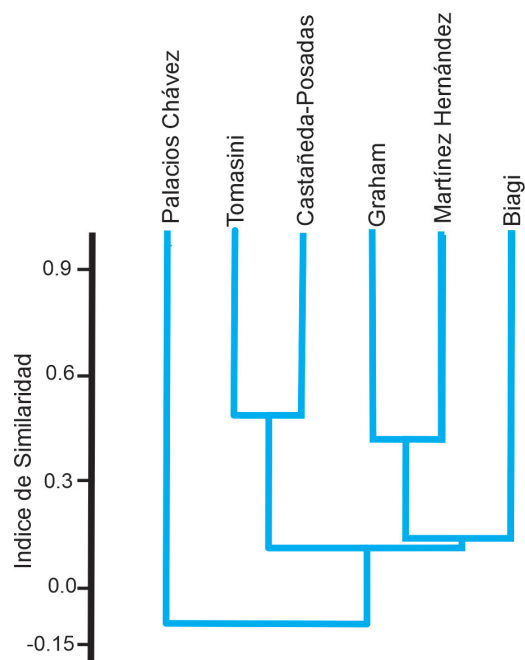


Figura 4. Fenograma mostrando las Asociación de las comunidades palinológicas para el Oligoceno, Mioceno del estado de Chiapas.

5. Discusión

El reconocimiento de los palinomorfos identificados sugiere que corresponden a una comunidad vegetal tipo manglar, dominado por el género *Rhizophora*, junto con otros elementos tropicales como helechos (Polipodiácea), algunas cícadas, y palmas. Este tipo de vegetación es concordante con la planteada por Frost y Langenheim (1974), Palacios-Chávez y Rzedowski (1993), Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1994), y Graham (1999). Sin embargo, la abundancia del género *Avicennia*, nos indican que el sitio se encuentra en la parte interna del manglar, sin contacto con el mar, más próximo a la vegetación de continente.

El reconocimiento de las fungo-esporas pertenecientes a *Sordaria*, *Hipoxylon* y *Xylaria*, nos permite inferir que en el lugar de depósito se encontraban una gran cantidad de herbívoros en el ambiente, así como la presencia de grandes cuerpos de agua en encharcamiento, donde la materia orgánica no tenía una descomposición constante (Ramanujam y Srisailam, 1980; Van Geel *et al.*, 2010; Musotto *et al.*, 2013).

Para encontrar una mayor afinidad a la comunidad palinológica presente en Totolapa, se realizó un análisis de cluster (Fenograma) aplicando el índice de similitud, para comparar la asociación palinológica encontrada en este estudio con lo reportado anteriormente para sedimentos contemporáneos (Figura 4). El fenograma se realizó en el programa Past 4, utilizando el índice de correlación para comparar la similitud de las localidades (ver Anexo 1). Los resultados obtenidos en el análisis de clusters arrojan un índice de correlación de 8.643 entre la asociación palinológica reportada en este trabajo y la descrita por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández (1994) para sedimentos de Simojovel en Chiapas (Figura 4). Sin encontrarse correlación significativa con las asociaciones palinológicas reportadas por Martínez-Hernández (1992), Palacios-Chávez y Rzedowski (1993) y Graham (1999).

Nuestros hallazgos indican la presencia de elementos vegetales costeros para la zona de Totolapa y concuerdan con los datos de Durán-Ruiz *et al.* (2013), mientras que los reportados por Martínez-Hernández (1992), Palacios-Chávez y Rzedowski (1993) y Graham, (1999), corresponden a elementos vegetales más continentales para las distintas zonas centrales de Chiapas.

Los resultados del presente estudio tienen implicaciones estratigráficas relevantes para la zona de estudio. La cercana correlación entre las asociaciones palinológicas aquí reportadas y descritas para el área de Simojovel, Chiapas, nos permiten sugerir que el estrato portador del ámbar de Totolapa es semejante a la Formación La Quinta (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), más en específico a la parte superior, donde dicha formación es de edad miocénica o parte de la Lutita Mazatic, situación que es más aceptada por otros trabajos realizados en la zona (Duran-Ruiz *et al.*, 2013). La propuesta estratigráfica que postulamos en el presente

trabajo se ve fortalecida por los reportes en la bibliografía que indican que ambos yacimientos no se encuentran fósiles de microforaminíferos y escolecodontos, no hay presencia de dinocistos, hay un aumento de diversidad de polen y esporas, y diversidad de fungoesporas (Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández, 1994).

6. Conclusiones

Se identificaron 2168 palinomorfos que se agrupan en 15 morfoespecies y 11 género-forma. Por la presencia y abundancia del género *Zonocostites* y su asociación con el género actual *Rhizophora* se puede asumir que la vegetación en el sitio de Totolapa puede ser tipo manglar, muy parecida taxonómicamente a la reportada por Tomasini-Ortiz y Martínez-Hernández en 1994 para Simojovel, Chiapas. Esta asociación entre comunidades nos permite hipotetizar que Totolapa puede ser un manglar con una edad del Mioceno Inferior y ser perteneciente a la Lutita Mazatic. Es necesario continuar con estudios estratigráficos integrativos con el fin de establecer las edades de todas las localidades fosilíferas de ámbar, lo que nos permitirá establecer bien el contexto temporal de los yacimientos y robustecer las hipótesis de los escenarios biológicos que predominaban en el pasado del sureste de México.

Agradecimientos

Los autores agradecen a dos revisores anónimos por sus acertados comentarios al escrito. También agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Ecocampus Valsequillo-BUAP, por el apoyo para el desarrollo de esta investigación. Igualmente se agradece la labor editorial del Dr. Josep A. Moreno Bedmar, Mtra. Sandra Ramos Amézquita y Mtro. León Felipe Álvarez Sánchez.

Referencias

- Azar, D., Nel, A., Coty, D., & Garrouste, R. (2010). The second fossil ceratocombidae bug from the Miocene amber of Chiapas (México) (Hemiptera: Ceratocombidae). *Annales de la Société Entomologique de France (Nouvelle série)*, 46(1-2), 100-102.
- Biaggi, R. E. (1978). *Palynology and paleoecology of some Oligo-Miocene sediments from Chiapas, Mexico*. Tesis de Máster no publicado. Walla College. Walla, Washington.
- Breton, G., Serrano-Sánchez, M. L., & Vega, F. (2014). Filamentous micro-organisms, inorganic inclusions and pseudo-fossil in the Miocene amber from Totolapa (Chiapas, México): Taphonomy and systematics. *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, 66(81), 199-214.
- Bryant, D. D. (1983). Recently discovered amber source near Totolapa, Chiapas, México. *American antiquity*, 48(2), 54-357.
- Durán-Ruiz, C., Riquelme, F., Coutiño-José, M., Carbot-Chanona, G., Castaño-Meneses, G., & Ramos-Arias, M. (2013). Ants from the Miocene Totolapa amber (Chiapas, México), with the first record

- of the genus *Forelius* (Hymenoptera, Formicidae). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 50, 495–502. dx.doi.org/10.1139/cjes-2012-0166
- Frost, S. H., & Langenheim, R. L. (1974). *Cenozoic reef biofacies*: De Kalb. Northern. Illinois University Press.
- Graham, A. (1999). Studies in Neotropical Paleobotany. XIII. An Oligo-miocene palynoflora from Simojovel (Chiapas, México). *American Journal of Botany*, 86(1), 17–31.
- Gelorini, V., Verbeken, A., van Geel, B., Cocquyt, C., & Vershuren, D. (2011). Modern non-pollen palynomorphs from East African lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164, 143–173. Doi: 10.1016/j.revpalbo.2010.12.002
- 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. Doi: 10.1016/j.jsames.2020.102827
- Kalgutkar, R. M., & Jansonius, J. (2000). *Synopsis of fossil fungal spores, mycelia and fructifications*. American association of stratigraphic palynologists foundation. Dallas, Texas. USA.
- Langenheim, J. H., Hackner, B. L., & Bartlett, A. S. (1967). Mangrove Pollen at the depositional site of Oligo-Miocene Amber from Chiapas, Mexico. *Botanical Museum Leaflets Harvard University*, 21, 289–324.
- Matta-García, L. B. (2004). Hongos fósiles del Mioceno al sur del estado Monagas (Venezuela) y sus implicaciones paleoecológicas. Resultados preliminares. *Acta Botánica de Venezuela*, 27(2), 127–139.
- Martínez-Hernández, E. (1992). Caracterización ambiental del Terciario de la región de Ixtapa, Estado de Chiapas- Un enfoque Palinoestratigráfico. *Revista del Instituto de Geología*, 10, 54–64.
- Martínez-Hernández, E., Hernández-Campos, H., & Sánchez-López, M. (1980). Palinología del Eoceno en el Noreste de México. *Revista del Instituto de Geología*, 4(2), 155–166.
- Meneses-Rocha, J. J. (1985). *Tectonic Evolution of strike-slip Fault province of Chiapas, Mexico*. Tesis de maestría no publicada, Universidad de Texas.
- Meneses-Rocha, J. J. (2001). Tectonic Evolution of the Ixtapa graben, an example of a strike-slip basin in southeastern Mexico: implications for regional petroleum system. In The Western Gulf of Mexico Basin. Tectonic, Sedimentary Basin, and petroleum system. En Bartolini, C., Buffler, R. T. & Cantú-Chapa, A. (eds.). *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 75. pp 183–216.
- Mora, J. C., Jaimes-Viera, M. C., Garduño-Monroy, V. H., Layer, P., Pompa-Mera, V., & Godínez, L. (2007). Geology and geochemistry characteristics of the Chiapanecan Volcanic Arc (Central area), Chiapas, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 162, 43–72.
- Musotto, L. L., Bianchinotti, M. V., & Borromei, A. M. (2013). Inferencias paleoecológicas a partir del análisis de microfósiles fúngicos en una turbera pleistoceno-holocena de Tierra del Fuego, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 15(1), 89–98.
- Palacios-Chávez, R., & Rzedowski, J. (1993). Estudio palinológico de las floras fósiles del Mioceno inferior y principios del Mioceno medio de la región de Pichucalco, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, 24, 1–96.
- Perrilliat, M., Vega, F., & Coutiño, M. (2010). Miocene mollusk from the Simojovel area in Chiapas, Southwestern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 30, 111–119. Doi: 10/1016/j.jsames.2012.04.005
- Ramanujam, C. G. K., & Srisailam, K. (1980). Fossil fungal spores from the Neogene beds around Cannanore in Kerala state. *The Botanique*, 9(1978), 119–133.
- Riquelme F., & Hill, D. E. (2013). Insights into amber salticids from the Neogene of Middle America, with the first report of Marpissinae (Araneae: Salticidae) from the Chiapas Amber. *Peckhamia*, 106(1), 1–5.
- Riquelme, F., & Menéndez-Acuña, M. (2017). Miocene spider *Maevia eureka* nov. sp. (Araneae: Salticidae). *PeerJ*, 5: e3614. doi: 10.7717/peerj.3614
- Riquelme F., Ruvalcaba-Sil, J. L., Alvarado-Ortega, J., Estrada-Ruiz, E., Galicia-Chávez, M., Porras-Múzquiz, H., Stojanoff, V., Siddons, D. P., & Miller, L. (2014a). Amber from Mexico: coahuilite, simojovelite and bacalite. *MRS Proceedings*, 1618, 169–180.
- Riquelme F., Northrup, P., Ruvalcaba-Sil, J. L., Stojanoff, V. Siddons, D. P., & Alvarado-Ortega, J. (2014b). Insights into molecular chemistry of Chiapas amber using infrared-light microscopy, PIXE/RBS, and sulfur K-edge XANES spectroscopy. *Applied Physics A*, 116, 97–109.
- Salard-Cheboldaeff, M., & Locquin M. V. (1980). Champignons présents au Tertiaire le long du littoral de l' Afrique équatoriale: 105e Congrès National des Sociétés savantes, Caen, 183–195.
- Solórzano-Kraemer, M. M. (2007). Systematic, palaeoecology, and palaeobiogeography of the insect fauna from Mexican amber. *Palaentographica Abteilung A*, 282(1-6), 1–133.
- Solórzano-Kraemer, M. M. (2010). Mexican Amber. *Biodiversity of fossil in amber from the major world deposits*. Penney, Siri Scientific Press. Manchester.
- Tomasini-Ortiz, A. C., & Martínez-Hernández, E. (1984). Palinología del Eoceno – Oligoceno de Simojovel, Chiapas. *Paleontología Mexicana*, 50, 1–61.
- Van Geel, B., Gelorini, V., Lyaruu, A., Aptroot, E., Rucina, S., Marchant, R., Sinninghe-Damsté, J. S., & Versschuren, D. (2010). Diversity and ecology of tropical African fungal spores from a 25,000-year palaeoenvironmental record in southeastern Kenya. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164, 174–190.
- Varma, C. P., & Rawat, M. S. (1963). A note on some diporate grains recovered from Tertiary horizons of India and their potential marker value. *Grana Palynologica*, 4, 130–139.
- Vega, F. J., Nyborg, T., Coutiño, M. A., Sole, J., & Hernández-Monzón, O. (2009). Neogene Crustaceae from Southeastern Mexico. *Bulletin the Mizunammi fossil Museum*, 35, 51–69.

Anexo 1.

Información complementaria al artículo.

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
Deflandreaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Deflandrea</i>	1	0	0	0	0	0
Homotrybliaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Cyclonephelium</i>	1	0	0	0	0	0
Sarcoscyphaceae	1	0	0	1	0	0
<i>Cookeina</i>	1	0	0	0	0	0
Sordariaceae	1	0	0	1	1	0
<i>Actinopelte</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Sordaria</i>	1	0	0	0	1	0
Xilariaceae	0	0	0	1	1	0
<i>Hypoxylon</i>	0	0	0	1	1	0
Incertae Sedis	1	0	0	1	1	0
<i>Monoporisorites</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Striadisporites</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Microthyriaceous</i>	0	0	0	1	0	0
Pucciniaceae	1	0	0	1	0	0
<i>Puccinia</i>	1	0	0	0	0	0
Ustilaginaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Ustilago</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Inapertisporites</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Lacrimasporonites</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Entophlyctis</i>	1	0	0	0	0	0
Hyphomyceteae	1	0	0	1	1	0
<i>Alternaria</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Celaesporites</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Dicellaesporites</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Diporicellaesporites</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Diporisporites</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Dyadospornites</i>	1	0	0	1	0	0
Lycopodiaceae	1	0	1	1	0	1
<i>Lycopodium</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Laevigatosporites</i>	0	0	0	1	0	0
Selaginellaceae	1	1	1	1	0	1
<i>Selaginella</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Echinatisporites</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Sphagnum</i>	0	0	0	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
Equisetaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Equisetum</i>	1	0	0	0	0	1
Aspleniaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Asplenium</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Holodictyum</i>	0	0	0	0	0	1
Cyatheaceae	1	1	1	1	0	1
<i>Alsophila</i>	1	0	0	0	0	1
<i>cf. Chemidaria</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cyathea</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Sphaeropteris</i>	1	1	0	0	0	0
Deltoidospora	0	0	0	1	1	1
Davaliaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Davalia</i>	0	0	0	0	0	1
Dicksoniaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Dicksonia</i>	0	0	0	0	0	1
Gleicheniaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Gleicheniaceae</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Dichranopteris</i>	1	0	0	0	0	0
Gymnosgrammaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Jamesonia</i>	1	0	0	0	0	0
Marattiaceae	1	0	0	0	0	1
<i>cf. Daneae</i>	1	0	0	0	0	1
<i>cf. Marattia</i>	1	0	0	0	0	0
Matoniaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Klukisporites</i>	0	0	0	0	0	1
Plagiogyriaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Plagiogyria</i>	0	0	0	0	0	1
Polypodiaceae	1	0	0	1	1	1
<i>Dryopteris</i>	0	0	0	0	0	1
<i>cf. Acrostichum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Grammitis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Laevigatosporites</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Microgramma</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Phlebodium</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Polypodium</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Polypodiisporites</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Polypodiidites</i>	1	0	0	0	0	0
Pteridaceae	1	1	1	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
<i>Adiantum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ceraptopteris</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Hypolepis</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Hemiperis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lindsaeae</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ochropteris</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Pteris</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Verrugancin gulatisporites</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Pteridium</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Birestisporites/</i> <i>Hymenophyllum</i>	0	0	0	1	0	0
Hemionitidaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Anograma</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Hemionitis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Jamesonia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Schizoloma</i>	0	0	0	0	0	1
Sinopteridaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Cheiloplacton</i>	0	0	0	0	0	1
Schizaceae	1	0	0	1	0	1
cf. <i>Anemia</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Cicatricosisporites</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Lygodium</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Corrugatisporites</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Klukisporites</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Triplanosporites</i>	1	0	0	0	0	0
Vittariaceae	1	1	0	0	0	0
<i>Polytaenium</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Vittaria</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Corollina</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Ephedraceae</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Equisetoporites/Ephedra</i>	0	0	0	1	0	0
Cupressaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Cupressus</i>	0	0	0	0	0	1
cf. <i>Taxodium</i>	1	0	0	0	0	1
Pinaceae	1	1	1	1	0	1
<i>Abiespollenites</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Cedrus</i>	1	0	0	1	0	1
cf. <i>Clavabivesiculites</i>	1	0	0	0	0	0

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
<i>Larix</i>	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Picea</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Pinus</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Pseudotsuga</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Tsuga</i>	0	0	0	0	0	1
Podocarpaceae	0	1	0	1	0	1
<i>Podocarpus</i>	0	1	0	1	0	1
Taxodiaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Sequoia</i>	0	0	0	0	0	1
Cycadophyta	0	0	0	1	1	1
<i>Cycadopites</i>	0	0	0	1	1	1
Gramineae	1	0	0	1	0	1
<i>Graminidites</i>	1	0	0	1	0	1
Aceraceae	1	0	0	0	0	1
<i>Acer</i>	1	0	0	0	0	1
Acanthaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Odontema</i>	0	0	0	0	0	1
Anacardiaceae	1	1	0	0	0	0
<i>Tapirira</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Spondias</i>	1	0	0	0	0	0
Agavaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Agave</i>	0	0	0	0	0	1
Annonaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Annona</i>	0	0	0	0	0	1
Apocynaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Prestonia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Rauvolfia</i>	0	0	0	0	0	1
Aquifoliaceae	1	1	1	0	0	1
<i>Ilex</i>	1	1	1	0	0	1
Araliaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Dendropanax</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Oreopanax</i>	0	0	0	0	0	1
Asteraceae	0	1	0	0	0	1
Betulaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Alnus</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Carpinus</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Corylus</i>	1	0	0	0	0	1
Bigmoniaceae	0	0	0	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
<i>Crescentia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Tabebuia</i>	0	0	0	0	0	1
Bombacaceae	1	1	0	0	0	1
<i>Bombax</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Aguiaria</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Pachira</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Ceiba</i>	0	0	0	0	0	1
Boraginaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Tournefortia</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Cordia</i>	0	0	0	0	0	1
Bromeliaceae	0	0	1	0	0	1
<i>Catopsis</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Tilandsia</i>	0	0	1	0	0	1
Brunelliaceae	0	0	0	0	0	0
<i>Brunellia</i>	0	0	0	0	0	1
Burseraceae	0	0	0	0	0	0
<i>Bursea</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Protium</i>	0	0	0	0	0	1
Buxaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Buxus</i>	0	0	0	0	0	1
Capparidaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Cleome</i>	0	0	0	0	0	1
Caprifoliaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Lonicera</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Viburnum</i>	0	0	0	0	0	1
Caryophyllaceae	1	0	0	0	0	0
Casuarinaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Casuarinidites</i>	1	0	0	0	0	0
Chenopodiaceae/ Amaranthaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Chenopodipollis</i>	1	0	0	0	0	0
Clethraceae	1	0	0	1	0	1
<i>Clethra</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Psilatricolporites</i>	0	0	0	1	0	0
Chloranthaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Hedyosmum</i>	0	0	0	0	0	1
Combretaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Combretum</i>	1	0	0	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
<i>Terminalia</i>	1	0	0	0	0	0
Convolvulaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Merremia</i>	1	0	0	0	0	0
Cunoniaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Weinmannia</i>	0	0	0	0	0	1
Cornaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Cornus</i>	0	0	0	0	0	1
cf. <i>Cyrilla</i>	1	0	0	0	0	0
Cyrillaceae	1	0	0	0	0	0
Cyperaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Cyperus</i>	0	0	0	0	0	1
Ericaceae	1	1	0	0	0	1
<i>Ericipites</i>	1	0	0	0	0	1
Euphorbiaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Acalypha</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Alchornea</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Hura</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Hyeronima</i>	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Tetrorchidium</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Codiaeum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Jatroba</i>	0	0	0	0	0	1
Fagaceae	1	0	0	1	0	1
<i>Castanea</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Fagus</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Nothofagus</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Quercus</i>	1	0	0	0	0	1
Gunneraceae	0	0	0	0	0	1
<i>Gunnera</i>	0	0	0	0	0	1
Hamamelidaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Liquidambar</i>	1	0	0	0	0	1
Hippocastanaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Aesculidites</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Ballia</i>	0	0	0	0	0	1
Icacinales	1	0	0	0	0	1
<i>Phytocrene</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Calatola</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Demostachys</i>	0	0	0	0	0	1
Iliciaceae	1	0	0	0	0	0

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
<i>Myocolpopollenites</i>	1	0	0	0	0	0
Juglandaceae	1	1	1	1	1	1
<i>Alfaroa</i> / <i>Engelhardtia</i> / <i>Oreomunnea</i>	1	1	1	0	1	1
<i>Engelhardtiodites</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Junglans</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Momipites</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Pterocarya</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Carya</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Oudhkusumites</i>	1	0	0	0	0	0
Labiatae	1	0	0	0	0	0
Lauraceae	0	0	0	0	0	1
<i>Persea</i>	0	0	0	0	0	1
Leguminosae	1	1	0	0	0	1
<i>Acacia</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Hymenaea</i>	0	1	0	0	0	0
<i>crudia</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Enterolobium</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Inga</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Mimosa</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Baikiaee</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Bauhinia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Cassia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Oacolpollenites</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Dalea</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Myroxylon</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Phaseolidites</i>	0	0	0	0	0	1
Liliaceae	0	0	1	1	1	1
<i>Liliacidites</i>	0	0	0	1	1	1
Loranthaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Aethanthus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Arceuthobium</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Psittacanthus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Struthanthus</i>	0	0	0	0	0	1
Lythraceae	0	0	0	0	0	1
<i>Cuphea</i>	0	0	0	0	0	1
Magnoliaceae	0	0	0	1	0	1
<i>Liriodendron</i>	0	0	0	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
Melastomaceae	0	0	0	0	0	1
Malpighiaceae	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Byrsonima</i>	1	0	0	0	0	0
Meliaceae	0	1	0	0	0	1
<i>Cedrela</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Guarea</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Swietenia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Trichillia</i>	0	0	0	0	0	1
Malvaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Thespesia</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Hibiscus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Sida</i>	0	0	0	0	0	1
Moraceae	1	0	0	0	0	0
<i>Broussonetia</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ficus</i>	1	0	0	0	0	0
Myricaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Myrcia</i>	0	0	0	0	0	1
Myrsinaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Heberdenia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Parathesis</i>	0	0	0	0	0	1
Myrtaceae	1	1	0	0	0	1
<i>Eugenia</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Myrtacidites</i>	1	0	0	0	0	0
Nyssaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Nyssa</i>	1	0	0	0	0	1
Ochnaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Ourateae</i>	0	0	0	0	0	1
Oleaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Fraxinus</i>	1	0	0	0	0	1
Onagraceae	1	0	0	0	0	1
<i>Fuchsia</i>	0	0	0	0	0	1
Palmae	1	1	0	1	0	1
cf. <i>Areca</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Arecipites</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Astrocaryum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Crysophilia</i>	0	1	0	0	0	0
cf. <i>Granophyllum</i>	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Iriarteia</i>	1	0	0	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
cf. <i>Jessenia</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Liliacidites</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Monocolpopollenites</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Nypa</i>	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Paralinospadix</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Phoenix</i>	1	0	0	0	0	0
Passifloraceae	0	0	0	0	0	1
<i>Passiflora</i>	0	0	0	0	0	1
Piperaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Piper</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Peperomia</i>	0	0	0	0	0	1
Platanaceae	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Platanus</i>	1	0	0	0	0	1
Polygalaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Polygala</i>	1	0	0	0	0	1
Polygonaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Coccoloba</i>	0	0	0	0	0	1
Portulacaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Lewisia</i>	0	0	0	0	0	1
Potamogetonaceae	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Potamogeton</i>	1	0	0	0	0	0
Primulaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Dococatheon</i>	0	0	0	0	0	1
Pyrolaceae	1	0	0	0	0	0
<i>Monotropa</i>	1	0	0	0	0	0
Ranunculaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Ranunculus</i>	0	0	0	0	0	1
Rhamnaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Rhamnus</i>	0	0	0	0	0	1
Rhizophoraceae	1	1	1	1	1	1
<i>Rizophora</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Cassipourea</i>	0	0	0	0	0	1
Rosaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Crataegus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Prunus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Rosa</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Rubus</i>	0	0	0	0	0	1
Rubiaceae	1	0	0	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i> , 1984	Castañeda <i>et al.</i> , 2023	Palacios, 1993
cf. <i>Randia</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Alibertia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Deppea</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Farameae</i>	0	0	0	0	0	1
Rutaceae	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Zanthoxylum</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Cassimiroa</i>	0	0	0	0	0	1
Sabiaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Meliosoma</i>	0	0	0	0	0	1
Salicaceae	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Populus</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Salix</i>	1	0	0	0	0	1
Sapindaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Cupania</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Paullinia</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Serjania</i>	0	0	0	0	0	1
Sapotaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Manilkara</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Pouteria</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Tetracolpoporellenites</i>	0	0	0	0	0	1
Saxifragaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Phyllomona</i>	0	0	0	0	0	1
Smilacaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Smilax</i>	0	0	0	0	0	1
Sterculaceae	1	0	1	0	0	1
<i>Ayenia</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Bythneria</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Chiranthodendron</i>	0	0	0	0	0	1
Solanaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Salanum</i>	0	0	0	0	0	1
Stryracaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Stryrax</i>	0	0	0	0	0	1
Symplocaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Symplocos</i>	0	0	0	0	0	1
Theaceae	1	1	1	1	0	1
<i>Pelliciera</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Ternstroemia</i>	0	0	0	0	0	1
Tiliaceae	1	0	1	0	0	1

Familia/Género	Biaggi, 1978	Graham, 1999	Martinez, 1992	Tomasini <i>et al.</i>, 1984	Castañeda <i>et al.</i>, 2023	Palacios, 1993
<i>Tilia</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Tiliapollenites</i>	0	0	1	0	0	0
Thymelaeaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Sernapollenites</i>	0	0	0	0	0	1
Typhaceae	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Typha</i>	1	0	0	0	0	0
Ulmaceae	1	0	0	0	0	1
<i>Celtis</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Planera</i>	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Trema</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Ulmus/Zelkova</i>	1	0	0	0	0	1
Umbelliferae	1	0	0	0	0	1
<i>Berula</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Eryngium</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Cupuliferoipollenites</i>	1	0	0	0	0	0
Urticaceae	1	0	0	0	0	1
cf. <i>Sarcopilea</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Urtica</i>	1	0	0	0	0	0
Verbenaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Verbena</i>	0	0	0	0	0	1
Vitaceae	0	0	0	0	0	1
<i>Cissus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Vitis</i>	0	0	0	0	0	1

Órganos reproductivos de Bennettitales del Jurásico Temprano de la colección del Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería”, Oaxaca, México

Reproductive organs of Early Jurassic Bennettitales from the collection of the Community Geological Museum of Rosario Nuevo "Ing. Jorge Jiménez Rentería", Oaxaca, Mexico

Diego Enrique Lozano-Carmona^{1,2,*}; María Patricia Velasco-de León¹; Jorge Jiménez-Rentería^{3,†}

¹ Colección 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.

² Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Nacional Autónoma de México. Av. San Claudio, Ed. BIO 1 CU, Col. Jardines de San Manuel, 72570, Puebla, México.

³ Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (MURNO), Agencia de Policía Rosario Nuevo, Tezoatlán de Segura y Luna, 69200, Oaxaca, México. † Fallecido.

* diego.lozano@zaragoza.unam.mx

Resumen

El Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (MURNO) es un museo de sitio con casi 15 años de trabajo, tiempo en el que ha logrado fomentar y consolidar la protección del patrimonio paleontológico que alberga la población de Rosario Nuevo, Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca. A pesar de ello, el conocimiento taxonómico de los ejemplares que resguarda es incipiente y desactualizado. Pocos ejemplares han recibido un estudio sistemático cuyo resultado fuese publicados en años recientes. No obstante, la riqueza potencial, principalmente del Jurásico Inferior/Medio, que alberga tanto el museo como la localidad, es alta. El objetivo de este trabajo es dar a conocer los avances en la identificación taxonómica de ejemplares de órganos reproductivos del orden de las Bennettitales con el fin de contribuir a la documentación básica y gráfica del acervo del MURNO, así como resaltar y ejemplificar el valor científico, cultural y social de los museos comunitarios. Se revisaron un total de 14 ejemplares correspondientes a órganos reproductivos de Bennettitales, 12 de ellos corresponden a órganos femeninos, seis al fósil género *Williamsonia* con las fósiles especies *W. netzahualcoyotlii*, *W. oaxacensis*, y *Williamsonia* sp., dos ejemplares corresponden a *Wielandiella* sp., y cuatro al género *non-committal* de *Bennetticarpus*. Solo dos ejemplares corresponden a *Weltrichia*, fósil género asignado a órganos reproductivos masculinos y se presenta la descripción sistemática de *Weltrichia huitzilopochtlii* comb. nov. Todos ellos de la formación Rosario del Jurásico Inferior (Toarciano). Esta primera clasificación taxonómica permitirá complementar la documentación básica de los ejemplares que resguarda el MURNO. Esto ayudará a seguir consolidando el reconocimiento y la protección del patrimonio paleontológico en la región. Los museos comunitarios no deben ser olvidados por investigadores, académicos ni autoridades gubernamentales ya que funcionan como sitios de protección y divulgación del conocimiento geológico y paleontológico.

Palabras clave: Mesozoico, Museo comunitario, paleoflora, Pangea ecuatorial occidental, Patrimonio paleontológico.

Cómo citar / How to cite: 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.

Manuscrito recibido: Septiembre 18, 2023.

Manuscrito corregido: Enero 6, 2024.

Manuscrito aceptado: Enero 8, 2024.



Abstract

The Community Geological Museum of Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (MURNO) is a site museum with almost 15 years of work, during which time it has managed to promote and consolidate the protection of the paleontological heritage that houses the town of Rosario Nuevo, Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca. Despite this, the taxonomic knowledge of the specimens it protects is incipient and outdated. Few specimens have received systematic study that have been published in recent years. However, the potential richness, mainly from the Lower/Middle Jurassic, which houses both the museum and the town, is high. The objective of this work is to present the progress in the taxonomic identification of specimens of reproductive organs of the order Bennettitales in order to contribute to the basic and graphic documentation of the MURNO collection, as well as highlight and exemplify the scientific value, cultural and social of community museums. A total of 14 specimens corresponding to reproductive organs of Bennettitales were reviewed, 12 of them correspond to female organs, six to the fossil-genus *Williamsonia* with the fossil-species *W. netzahualcoyotlii*, *W. oaxacensis*, and *Williamsonia* sp., two specimens correspond to *Wielandiella* sp., and four to the non-committal genus of *Bennetticarpus*. Only two specimens correspond to *Weltrichia*, a fossil genus assigned to male reproductive organs, and the systematic description of *Weltrichia huitzilopochtlii* comb. nov., is presented. All of them from the Rosario formation of the Lower Jurassic (Toarcian). This first taxonomic classification will complement the basic documentation of the specimens that MURNO protects. This will help to continue consolidating the recognition and protection of paleontological heritage in the region. Community museums should not be forgotten by researchers, academics or government authorities since they function as sites of protection and dissemination of geological and paleontological knowledge.

Keywords: Community museum, Mesozoic, paleoflora, Paleontological heritage, Western equatorial Pangea.

1. Introducción

El estado de Oaxaca, en el sur de México, posee una alta riqueza cultural, biológica, así como geológica de la cual se desprende el creciente reconocimiento de su patrimonio paleontológico (Pérez-Crespo, 2011; Velasco-de León *et al.*, 2016, Robles-García *et al.*, 2018; Guerrero-Arenas *et al.*, 2021, Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021). Este patrimonio corresponde a registros del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico que contienen invertebrados, vertebrados, plantas e icnofósiles (e.g. Rodríguez-Benítez, 1983; Silva-Pineda, 1984; Sandoval y Westermann, 1986; Ferrusquía-Villafraña y Comas-Rodríguez, 1988; Villanueva-Olea *et al.*, 2011; Alvarado-Ortega *et al.*, 2014; Guerrero-Arenas y Jiménez-Hidalgo, 2015; Velasco-de León *et al.*, 2016, Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 2018; entre otros). En la región noroccidental se encuentran afloramientos jurásicos con un amplio e importante registro de fósiles de plantas (Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021). Este registro se documentó desde principios del siglo XX (Wieland, 1914) y desde entonces ha sido estudiado de manera sistemática aportando nuevos registros para la paleobotánica en México (e.g. Silva-Pineda *et al.*, 2011; Lozano-Carmona y Velasco de León, 2016; Flores-Barragan *et al.*, 2017; Ortega-Chávez *et al.*, 2017; Lozano-Carmona *et al.*, 2019, 2021a). Uno de los sitios que resguarda la riqueza paleoflorística del Jurásico Temprano-Medio en esta región es el Museo Comunitario Geológico de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (MURNO) localizado en el poblado de Rosario Nuevo, municipio de Tezoatlán de Segura y Luna (Silva-Pineda, 1984; Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021; Ortega-Chávez *et al.*, 2017, 2021).

En el territorio circundante de Rosario Nuevo existen afloramientos del Jurásico Temprano y Jurásico Medio (Figura 1). En estos afloramientos se han encontrado fósiles de plantas correspondientes a Bennettitales, Cycadales, Coniferales, helechos y las fósilespecies *incertae sedis Perezlaria oaxacensis* Delevoryas *et* Gould y *Mexiglossa varia* Delevoryas *et* Gould (Delevoryas y Gould, 1971, 1973; Delevoryas y Person, 1975; Silva-Pineda, 1984; Ortega-Chávez *et al.*, 2017, 2021). La mayoría de los ejemplares que corresponden a estas publicaciones están resguardados en la Colección Nacional de Paleontología del Instituto de Geología y en la Colección de Paleontología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES-Zaragoza), ambas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Sin embargo, hay excepciones, como es el caso del ejemplar estudiado por Ortega-Chávez *et al.* (2017), que corresponde a un tronco de 8 metros de longitud, del fósilgénero *Agathoxylon*, que se encuentra en la comunidad de Rosario Nuevo. Debido a sus dimensiones este ejemplar se encuentra *in situ*. Este y muchos más fósiles de troncos se encuentran en las laderas del territorio de la localidad y forman una parte del patrimonio que resguarda el MURNO.

El MURNO (Figura 2a) fue establecido en mayo de 2009 por el Ing. Jorge Jiménez Rentería (Jiménez-Rentería, 2012) con el objetivo de resguardar los ejemplares fósiles que eran encontrados en la zona, además de funcionar como un sitio de divulgación del patrimonio geológico/paleontológico del área. El acervo del MURNO contiene rocas, minerales y fósiles de plantas, de invertebrados e icnofósiles, además de algunas piezas que posiblemente pertenezcan a fósiles de vertebrados y piezas arqueológicas. La principal

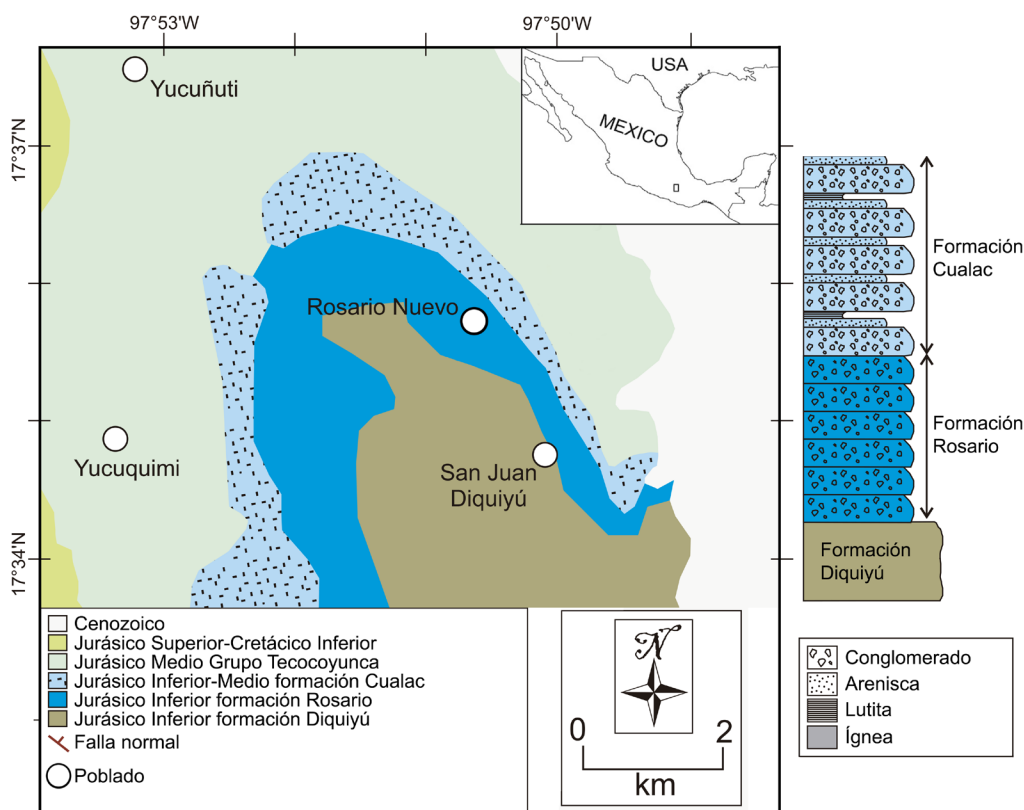


Figura 1. Esquema del mapa geológico de la localidad de Rosario Nuevo, Municipio de Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca. Se puede ver la distribución de los afloramientos de las formaciones Diquiyú, Rosario y Cualac en la Cuenca de Tezoatlán entorno a la población de Rosario Nuevo y la columna estratigráfica que los representa. Mapa tomado y modificado de Martini *et al.* (2017).

actividad de operación y mantenimiento del museo está a cargo de un comité designado por la población de Rosario Nuevo.

Hoy en día el acervo que resguarda el MURNO ha sido poco estudiado. Hasta el momento, dos publicaciones formales de su material incluyen un tronco permineralizado del fósilgénero *Agathoxylon* (Ortega-Chávez *et al.*, 2017), así como un registro de huellas de camélidos de la icnoespecie *Lamaichnum guanicoe* Aramayo y Bianco, del Paleógeno (Jiménez-Hidalgo y Guerrero-Arenas, 2018). También, existen registros *in situ* en la cañada de Rosario Nuevo sobre secuencias transgresivas-regresivas con icnofósiles y la descripción morfológica del icnogénero *Thalassinoides* (Pieńkowski *et al.*, 2019; Lozano-Carmona *et al.*, 2021b). Desafortunadamente, la mayoría de los ejemplares fósiles que se encuentran en el museo tienen la información e identificación taxonómica desactualizada. Para abordar este problema en el año 2019 el grupo de investigación de la Colección de Paleontología de la FES-Zaragoza comenzó la documentación, identificación taxonómica y catalogación de la sección de paleobotánica de la colección del MURNO. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es dar a conocer los avances en la identificación

taxonómica de ejemplares de órganos reproductivos femeninos y masculinos del orden de las Bennettitales con el fin de contribuir a la documentación básica y gráfica del acervo del MURNO, así como resaltar y ejemplificar el valor científico, cultural y social de los museos comunitarios.

Estos ejemplares corresponden a los primeros hallazgos confirmados de *Weltrichia*, *Wielandiella*, *Bennetticarpus* y *Williamsonia oaxacensis* Delevoryas *et al.*, así como a nuevos reportes de *Williamsonia netzahualcoyotlii* Wieland en la unidad informal formación Rosario del Jurásico Temprano (Person y Delevoryas, 1982; Silva-Pineda, 1984; Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021). El acervo del MURNO contiene un importante registro paleobotánico, tanto de órganos reproductivos como de troncos permineralizados y potencialmente el registro de hojas permitirá enriquecer el listado paleoflorístico de la localidad. Además, las experiencias, la organización comunitaria y el estado de la documentación de esta colección en el MURNO permitirá seguir consolidando el reconocimiento y la protección del patrimonio paleontológico en la región. Esto demuestra que los museos comunitarios no deben ser olvidados por investigadores, académicos ni autoridades gubernamentales.



Figura 2. a) Frente de inmueble del Museo Geológico Comunitario Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (MURNO). **b)** Gaveta número 4, vista los ejemplares de los órganos reproductivos de Bennettitales estudiados en este trabajo, nótese que los ejemplares tienen su etiqueta respectiva con la información básica. **c)** Ing. Jorge Jiménez Rentería realizando la observación de los ejemplares y comunicando su origen estratigráfico.

2. Marco geológico

El poblado de Rosario Nuevo se ubica en el municipio de Tezoatlán de Segura y Luna al noroeste del estado de Oaxaca. Geológicamente ambas demarcaciones pertenecen a la Cuenca sedimentaria de Tezoatlán. Esta cuenca está delimitada por la falla normal del Río Salado al norte, pero los límites al sur, este y oeste están sepultados bajo rocas del Cenozoico (Martiny *et al.*, 2012). La sucesión sedimentaria es de edad Jurásica y tiene un espesor de ~1000 m (Martini *et al.*, 2017; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018). Las rocas que afloran en la Cuenca de Tezoatlán han sido divididas en tres unidades informales, Diquiyú, Rosario y Cualac (Erben, 1956; Morán-Zenteno *et al.*, 1993; Figura 1). La formación Rosario se ha interpretado como un abanico aluvial o una corriente fluvial de alta energía con llanuras

de inundación locales asociadas (Moran-Zenteno *et al.*, 1993). Sin embargo, recientemente un estudio detallado sobre la proveniencia de los sedimentos se encontraron nuevos datos geológicos.

Zepeda-Martínez *et al.* (2018), documentaron afloramientos en la parte central de la Cuenca de Tezoatlán principalmente de las formaciones Rosario y Cualac. La formación Rosario está compuesta predominantemente por depósitos de conglomerado. Con base en el arreglo de elementos arquitecturales de las facies proponen que se trató de sistemas fluviales trenzados y de abanicos aluviales. Además, el ambiente sedimentario se caracterizó por una topografía abrupta, favoreciendo la intermitencia de depósitos sedimentarios-gravitacionales. Este análisis permitió sustentar que la formación Rosario se depositó en la parte proximal de un abanico aluvial (Zepeda-Martínez *et al.*, 2018). La

edad máxima de depósito de la formación Rosario es 179.4 ± 3.0 Ma, es decir corresponde al Toarciano dentro el Jurásico Temprano (Zepeda-Martínez *et al.*, 2018).

3. Material y métodos

El material estudiado corresponde a 14 ejemplares preservados como impresiones y moldes externos de órganos reproductivos en arenisca fina a muy fina que carecen de cutícula. El material fue catalogado con el acrónimo MURNO y numeración consecutiva del 10 al 24. Todos los ejemplares están depositados en la sección paleobotánica del Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” en la gaveta número 4 (Figura 2b).

Para corroborar que los ejemplares correspondían a órganos reproductivos de Bennettitales primero se realizaron observaciones y mediciones. Estos datos fueron comparados con las diagnós de los fosilígenos *Williamsonia*, *Wielandiella*, *Bennetticarpus* y *Weltrichia* (Harris, 1969; Popa, 2014, 2019; Pott, 2014). Identificados los ejemplares a nivel de género, se procedió a realizar la identificación de la fosilíespecie. Para ello se compararon los ejemplares con las fosilíespecies del Jurásico del sur de México y de otras localidades del Jurásico a nivel mundial (e.g. Harris, 1969; Delevoryas y Gould, 1973; Silva-Pineda, 1984; Delevoryas, 1991; Silva-Pineda *et al.*, 2011; Pott, 2014; McLoughlin *et al.*, 2018; Popa, 2014; 2019; Lozano-Carmona *et al.*, 2021a, Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021, entre otros).

Las observaciones se realizaron con un estereoscopio Nikon SMZ-10A y los caracteres cuantitativos se midieron utilizando un vernier y el programa ImageJ versión 1.48. Cada ejemplar fue fotografiado con una cámara Sony Cíbershot DSC-H10 (Carl Zeiss Lens: 3,5–4,4/6,3–63). Las ilustraciones reconstructivas fueron elaboradas con base en las reconstrucciones generales de órganos reproductivos presentadas por Delevoryas y Gould (1973), Anderson *et al.* (2007), Rothwell *et al.* (2009), Pott (2014), Lozano-Carmona y Velasco-de León (2021) y Lozano-Carmona *et al.* (2021a).

La ubicación estratigráfica exacta se desconoce, es decir el nivel o estrato donde fue recolectado cada ejemplar, no obstante, se sabe que todos los ejemplares revisados corresponden a la formación Rosario del Jurásico Temprano (Jiménez-Rentería *com. pers.* 2012; Figura 2c).

4. Resultados y discusión

4.1. Paleobotánica sistemática

Se revisaron un total de 14 ejemplares correspondientes a órganos reproductivos de Bennettitales. 12 de ellos corresponden a órganos femeninos, seis al fosilíespecie *Williamsonia* con las fosilíespecies *W.*

netzahualcoyotlii, *W. oaxacensis*, y *Williamsonia* sp., dos ejemplares corresponden a *Wielandiella* sp., y cuatro al género *non-committal* de *Bennetticarpus*. Solo dos ejemplares corresponden a *Weltrichia*, fosilíespecie asignada a órganos reproductivos masculinos. A continuación, se presenta únicamente la descripción sistemática de una combinación nueva para una fosilíespecie de *Weltrichia* y se comenta brevemente sobre los detalles morfológicos de las demás fosilíespecies.

Orden: Bennettitales Engler, 1892

Familia: Williamsoniaceae Carruthers, 1870

Género: *Weltrichia* Braun, 1847 emend. Harris (1969)

Especie tipo: *Weltrichia mirabilis* Braun, 1847, del Jurásico de Veitlahm (Bavaria), Alemania.

Weltrichia huitzilopochtlii (Wieland) Lozano-Carmona *et* Velasco-de León comb. nov.

Figura 3.

Basónimo: *Williamsonia huitzilopochtlii* Wieland, 1914. Tipificación: Silva-Pineda, A. 1984, Paleontología Mexicana 49, p. 27.

Sinonimia:

1911 No determinada (Wieland, 1911, fig. 15A).

1913 *Williamsonia huitzilopochtlii* Wieland, p 267.

1914 *Williamsonia* (?) *huitzilopochtlii* Wieland, p 98.

1914 *Williamsonia huitzilopochtlii* Wieland, lám 27, fig. 7; lám. 28, fig. B.

1973 *Williamsonia huitzilopochtlii* Delevoryas y Gould, p 35, lám. III, fig. 4–10; lám. IV, fig. 1–3.

1984 *Williamsonia huitzilopochtlii* Silva-Pineda, p 27, lám. 8, fig. 3; lám. 23, fig. 3; lám. 24, fig. 2; lám. 25, fig. 1.

Lectotipo: IGM-PB 389 Colección Nacional de Paleontología IG, UNAM antes UTPC-109-Universidad de Texas (Delevoryas y Gould, 1973, p. 35; Perrilliat y Castañeda-Posadas, 2013 p. 59).

Epítipo: MURNO-19. Repositorio: Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Jorge Jiménez Rentería”, Municipio de Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca, México.

Localidad Tipo: Agencia municipal de Rosario Nuevo, Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca, México. Formación Rosario, edad Toarciano. Coordenadas: 17° 36' N; 97° 51' O.

Material: Impresión de la parte basal de una flor masculina, MURNO-19.

Diagnósis enmendada: Flor masculina, pequeña, con forma de estrella y simetría radial. Presenta de siete a nueve rayos centrífugos fusionados basalmente en una copa central. La forma de los rayos centrífugos es lanceolada ligeramente ovada, ensanchados en la parte media y con ápice agudo, con finas estrías en la vista adaxial y lisos en la abaxial. Con una relación 1:1 entre la longitud de los rayos centrífugos y el diámetro de la copa basal.

Emended diagnosis: Male flower, small, star-shaped and radially symmetrical. It has seven to nine centrifugal

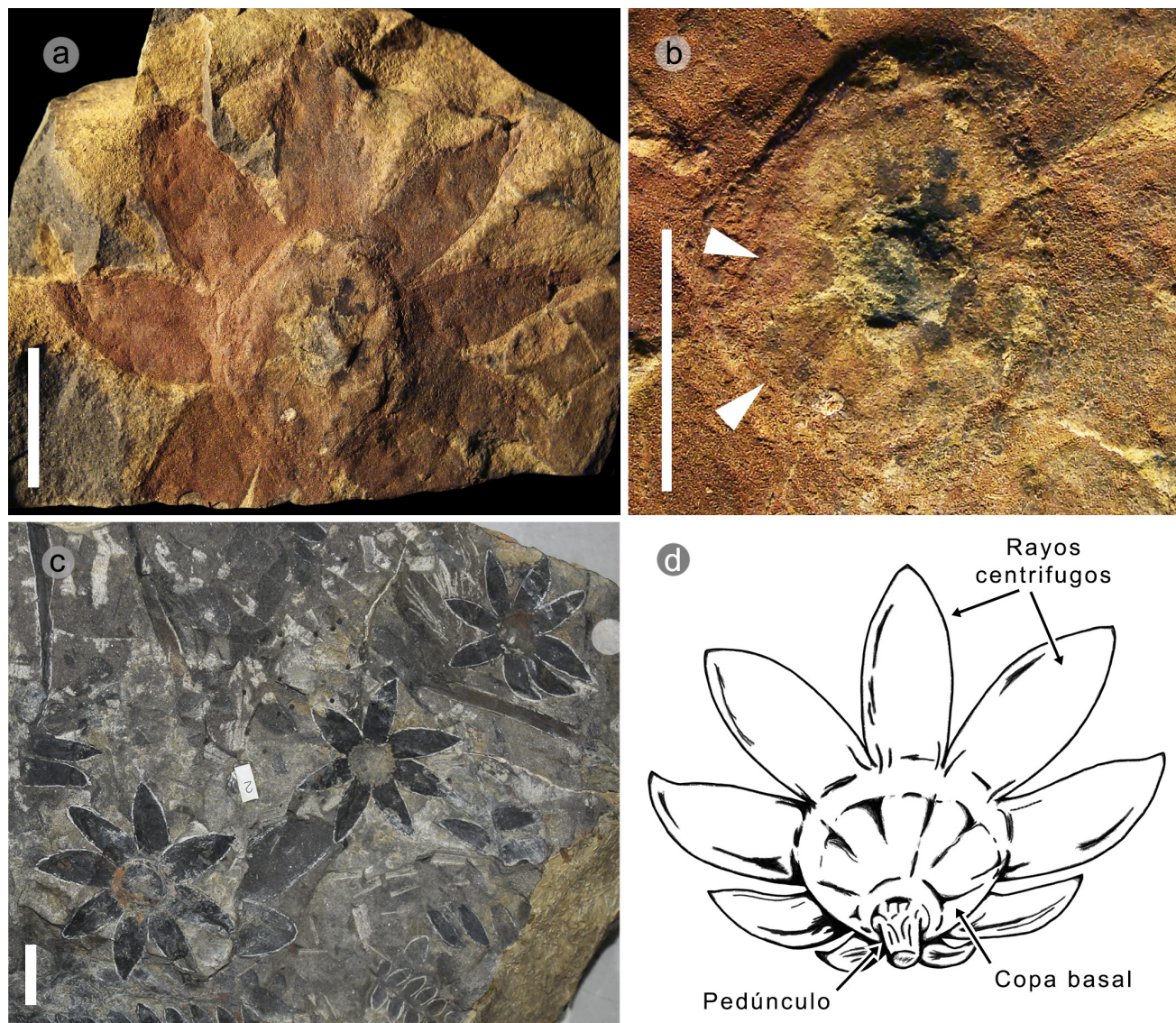


Figura 3. *Weltrichia huitzilopochtlii* comb. nov. **a)** Ejemplar Epitipo MURNO-19 en vista abaxial, nótese la distribución de los rayos centrifugos unidos basalmente a una copa y en el centro la cicatriz del pedúnculo. **b)** Acercamiento a la copa basal del ejemplar MURNO-19, las flechas indican su ornamentación segmentada. **c)** Ejemplares recolectados por Wieland (2014) en los que se basó para la descripción original. **d)** Reconstrucción ilustrativa de *W. huitzilopochtlii* comb. nov., donde se pueden ver la disposición de los rayos centrifugos unidos a la copa basal y el pedúnculo. Reconstrucción basada en el ejemplar MURNO-19. Escala 1 cm.

rays basally fused into a central cup. The shape of the centrifugal rays is lanceolate, slightly ovate, widened in the middle part and with an acute apex, with fine striations in the adaxial view and smooth in the abaxial view. With a 1:1 ratio between the length of the centrifugal rays and the diameter of the basal cup.

Descripción: Diámetro total del órgano es de 31 mm, pero puede ser de hasta 40 mm; presenta de siete a nueve rayos centrifugos fusionados basalmente en una copa con 10–15 mm de diámetro, la longitud de los rayos centrifugos va de 11–14 mm y su ancho, en la parte media, es de 5–7 mm. La cicatriz de unión del pedúnculo es de 5 mm de diámetro. No se observan vellosidades, rayos centrípetos o presencia de sacos polínicos ni sus cicatrices de unión.

Observaciones e interpretación: Al comparar la morfología del ejemplar MURNO-19 con registros de órganos reproductivos de Bennettitales del sur de México resultó evidente la similitud con *Williamsonia? huitzilopochtlii* Wieland (Fig. 3a y c). Esta fosilíespecie fue descrita por G. R. Wieland con base en pocos ejemplares (Wieland, 1914). Wieland describió e identificó los ejemplares sin incluir caracteres de importancia taxonómica tal es el caso de la presencia de un cono ovulífero (“gineceo”), así como el modo de inserción de las brácteas, sugiriendo provisionalmente el fosilígénero *Williamsonia*. Posteriormente, Delevoryas y Gould (1973) adicionan caracteres a la descripción con base en nuevas recolectas y designan un lectotipo (Delevoryas y Gould, 1973). Sin embargo, los caracteres morfológicos

detallados por Delevoryas y Gould (1973) tienen varias inconsistencias con la diagnosis del fosilígénero *Williamsonia* las cuales son detalladas a continuación. (1) “a whorl of 6–8 bracts fused basally” (Delevoryas y Gould, 1973, p. 35). Las brácteas (semejantes a los rayos centrífugos en *Weltrichia*) fusionadas basalmente en una copa son un carácter diagnóstico del fosilígénero *Weltrichia* (Harris, 1969; Popa, 2019). Pero, en *Williamsonia* las brácteas no se fusionan basalmente, sino que estas se insertan individualmente al pedúnculo muy cerca de la base del receptáculo, se traslapan y forman de dos/tres a varias hileras (Ash, 1968; Harris, 1969; Popa, 2014; Pott, 2014). (2) “Ovulate receptacle 6–8 mm in diameter, bearing interseminal scales with polygonal heads” (Delevoryas y Gould, 1973, p. 35). Solo un ejemplar presentó lo que ellos llaman el “receptáculo ovulífero” que correspondería a un gineceo, y mencionan que sólo observaron escamas interseminales sin evidencia de micropilos o escamas seminales y el detalle de este ejemplar no era bueno. Sin embargo, observando las evidencias que muestran no son claras las llamadas escamas interseminales, en estas no se observa el patrón característico de las escamas o las formas poligonales que presenta el gineceo de *Williamsonia*. Aparentemente estas estructuras corresponden a formas derivadas del tamaño del grano de la arenisca del ejemplar. (3) “*Williamsonia nizhonia* Ash (1968) has the same kind of organization as *W. huitzilopochtlii*, with a central, ovuliferous head subtended by a bract whorl.” (Delevoryas y Gould, 1973, p. 35). A pesar de que las llamadas brácteas (rayos centrífugos) si presentan una forma y organización similar, en *W. nizhonia* Ash se preservaron restos de un gineceo con cutícula y presencia de escamas seminales e interseminales en conexión orgánica con las brácteas. Además, las brácteas de *W. nizhonia* están dispuestas en una sola hilera, pero se traslapan entre ellas (Ash, 1968). El traslape de las brácteas indica que no están fusionadas basalmente y podría indicar que corresponden a más de una hilera, sin embargo, el único ejemplar descrito por Ash (1968) no permite verificar el arreglo de más de una hilera debido al proceso de fosilización. Aunque Ash (1968) compara a *W. nizhonia* con *W. huitzilopochtlii* deja claro que la falta de caracteres en la descripción de Wieland (1914) no permite relacionarlas taxonómicamente.

Por otro lado, Silva-Pineda (1984) realizó la tipificación de los ejemplares recolectados por Wieland (1914) y retoma los datos de Delevoryas y Gould (1973) para agrupar a *Williamsonia centeotl* Wieland y *W. tlazolteotl* Wieland con *W. huitzilopochtlii*. El argumento de Silva-Pineda (1984) para realizar esta agrupación es que las dos primeras especies únicamente difieren de *W. huitzilopochtlii* en tamaño y número de brácteas. Pero, en *W. tlazolteotl* y *W. centeotl* si se observa evidencia de que las brácteas son individuales, se traslapan y forman al menos dos hileras (Wieland, 1914; Silva-Pineda, 1984). Por último, el ejemplar revisado por Delevoryas y Gould (1973) UTPC-112 (ahora IGM-PB 393, Perrilliat y Castañeda-Posadas, 2013) coincide con la forma y caracteres

de *W. tlazolteotl*. Por lo tanto, es evidente la ambigüedad de la descripción de los ejemplares recolectados por Wieland (1914) y Delevoryas y Gould (1973). Entonces, aquí se propone a *Weltrichia huitzilopochtlii* (Wieland) Lozano-Carmona et Velasco-de León comb. nov., para los ejemplares asignados como *Williamsonia huitzilopochtlii* (Wieland, 1914) y los ejemplares IGM-PB 389, IGM-PB 391 y IGM-PB 392 (Perrilliat y Castañeda-Posadas, 2013), antes UTPC109, UTPC110, UTPC111 en Delevoryas y Gould (1973).

El ejemplar MURNO-19, aquí revisado y determinado como *Weltrichia huitzilopochtlii* comb. nov., presenta los caracteres diagnósticos del fosilígénero *Weltrichia* (Fig. 3a, b y d). Tales como una simetría radial y rayos centrífugos fusionados basalmente formando una copa basal. Sin embargo, la vista abaxial no permite observar la presencia de sacos polínicos o rayos centrípetos. Varias fosilpecies de *Weltrichia* han sido descritas con base en ejemplares en vista abaxial, ya que observar la copa basal unida a una sola hilera de rayos centrífugos son dos de sus principales caracteres diagnósticos (Popa, 2014; 2019).

Al comparar a *Weltrichia huitzilopochtlii* comb. nov., con las especies del género en el Jurásico del sur de México se observa una clara distinción morfológica con la mayoría de las especies, en particular en el diámetro total y el de la copa basal, así como el número/forma de los rayos centrífugos (Tabla 1). Sin embargo, su similitud es mayor con la fosiliespecie *W. xochitetlii* Lozano-Carmona et Velasco-de León, principalmente en el diámetro total y en el diámetro de la copa basal (Tabla 1). Los rangos de ambos caracteres son compatibles. Pero, al comparar la forma de los rayos centrífugos entre estas, la diferencia es notable (Wieland, 1914; Delevoryas y Gould, 1973; Silva Pineda, 1984; Lozano-Carmona et al., 2021a). Por ejemplo, la forma de los rayos centrífugos de *W. huitzilopochtlii* es lanceolada, mientras que en *W. xochitetlii* son filiformes, además el largo de los rayos centrífugos de *W. xochitetlii* es mayor, mientras que el ancho es menor que en *W. huitzilopochtlii* (Tabla 1). Además, la ornamentación también difiere, mientras que en *W. xochitetlii* se observa una estría longitudinal marcada y robusta, en *W. huitzilopochtlii* la superficie es lisa o con finas estrías longitudinales. También, la comparación morfológica con las demás especies de *Weltrichia* del sur de México muestra una combinación de los caracteres distinta de *W. huitzilopochtlii* (Tabla 1).

Ampliando la comparación de *Weltrichia huitzilopochtlii* con especies del Jurásico a nivel mundial (Tabla 2) se observan diferencias significativas que permiten reconocerla claramente como una especie distinta. La principal diferencia con todas las especies es el diámetro de la copa basal y el diámetro total del órgano, los cuales son de dimensiones menores en *W. huitzilopochtlii* (Tabla 2). También, el número de rayos centrífugos es mayor a 10 en todas las especies a nivel mundial, mientras que en *W. huitzilopochtlii* son de seis a nueve.

Tabla 1. Comparación de los caracteres morfológicos de las fosilíespecies de *Weltrichia* registradas en las cuencas sedimentarias del Jurásico en el sur de México.

		Cuenca Tezoatlán		Cuenca Tlaxiaco	Cuenca Ayuquila			
		Formación Rosario		Fm. Zorrillo	Formación Ayuquila			Fm. Tecomazúchil
Cm		<i>W. mexicana?</i>	<i>W. huitzilopochtlii</i>	<i>W. magna</i>	<i>W. mixtequensis</i>	<i>W. ayuquilana</i>	<i>W. microdigitata</i>	<i>W. xochitetlii</i>
1	D	? (50 d)	31–40	226	75–80	60	30	32 p. (45.2 d)
2	Dcb	20	10–15	30	20	30	15	9.5–14 (p.11)
3	Rcf	?	7–9	5 (10 d)	14	10	14	8
4	Rcfl	12–15	11–14	90–102	76	15	7–8	14.1–22.5 c.
5	Rcfa	?	5–7	13–15	7-Sep	?	?	3.1
6	FRcf	Filiforme?	Lanceolada	Lanceolada	Lanceolada	Triangular	Obtusa	Filiforme
7	ORcf	?	Lisa a finamente estriados	Estrías, cicatrices	Estrías y vellosidades	?	?	Cresta longitudinal
8	Rcp	?	?	?	?	no	no	?
9	Spl	? (10 d)	?	?	14–18	Muchos	20–30	6–8
10	Spll	1.5–2	?	?	1.65–5.54	6	?	1.2
11	Spla	2–2.5	?	?	0.39–1.37	<2	?	1
12	Splh	5–6	?	?	7–9	?	10–15	2
13	HSpl	2	?	?	2 d	2	2	3–4
14	FSpl	Oval	?	?	Elongados, forma de gota	Elongados	Elongados-tubulares	Oval-elípticos

Abreviaciones: 1. **D:** Diámetro del contorno; 2. **Dcb:** Diámetro de la copa basal; 3. **Rcf:** Rayos centrífugos; 4. **Rcfl:** Largo de rayos centrífugos; 5. **Rcfa:** Ancho de rayos centrífugos; 6. **FRcf:** Forma de los rayos centrífugos 7. **ORcf:** Ornamentación de rayos centrífugos; 8. **Rcp:** Rayos centrípetos; 9. **Spl:** Sacos polínicos; 10. **Spll:** Largo de sacos polínicos; 11. **Spla:** Ancho de sacos polínicos; 12. **Splh:** Sacos polínicos por hilera; 13. **HSpl:** Hileras de sacos polínicos; 14. **FSpl:** Forma de los sacos polínicos; **Cm:** Carácter morfológico; **Fm:** formación geológica. **c:** carácter conservado, **d:** carácter deducido; **p:** promedio; **?** carácter desconocido. Todos los datos métricos están en milímetros. Filas en gris indican los principales caracteres taxonómicos para la diferenciación de las fosilíespecies de *Weltrichia sensu* Popa (2014, 2019).

Las únicas dos especies con caracteres ligeramente similares y una forma parecida son *W. alpina* Krasser y *W. johannae* Popa (Popa, 2019). *Weltrichia alpina* es similar en el diámetro total siendo 14 mm más grande en comparación a *W. huitzilopochtlii*, aunque los rayos centrífugos tienen casi la misma longitud (Tabla 2). Sin embargo, *Weltrichia alpina* tiene el doble de rayos centrífugos y son hasta 10 mm más anchos. Por otro lado, *Weltrichia johannae* es similar en el diámetro de la copa basal, solo tiene tres rayos centrífugos más y son del mismo ancho que los de *W. huitzilopochtlii*. Pero, el diámetro total es casi del doble y los rayos tienen más de 10 mm de longitud que en *W. huitzilopochtlii*.

cf. *Weltrichia*

Material: Impresión lateral de los rayos centrífugos y copa basal, MURNO-20. (Figura 4a).

Descripción: Impresión lateral de una estructura cerrada inmadura con 27 mm de ancho, y 37 mm de largo. Pedúnculo preservado de 5 mm de ancho y 14 mm de largo. Los rayos centrífugos están en posición cerrada lo que no permite ver el número de estos o los

sacos polínicos. Superficie es lisa sin ornamentación y son de apariencia rígida o dura.

Comentarios: Flor inmadura con rayos centrífugos unidos a una copa basal. Los rayos centrífugos están sin abrir, razón por la cual se le considera inmadura. Es posible que el órgano presentara hasta seis rayos centrífugos, pero esta deducción es imposible de corroborar debido a la posición en que fosilizó y la etapa de desarrollo. Hacia la parte basal se observa la unión de los rayos formando una copa basal pequeña y está unida al pedúnculo el cual se logra ver una ligera impresión de este. Aunque la posición y el estado de desarrollo en vista lateral del fósil no permite ver más caracteres se asigna provisionalmente (cf.) al fosilígénero *Weltrichia* con base en la fusión basal de los rayos centrífugos. Esta forma de la fosilización en vista lateral ha sido documentada por Silva-Pinea *et al.* (2011), para *Weltrichia mixtequensis* Silva-Pineda, Velasco-de León, Arellano-Gil *et* Grimaldo, pero en este caso el ejemplar los rayos están abiertos permitiendo ver hasta los sacos polínicos. Otro registro similar es el de *Williamsonia durikaiensis* McLoughlin, Pott *et* Sobbe, el cual también se describe con base en algunas flores

Tabla 2. Listado de las fosiliespecies de *Weltrichia* y sus caracteres comparados con *W. huitzilopochtlii* comb. nov.

Taxon	D	Dcb	Rcf	Rcfl	Rcfa	Rcp	Spl	Spl(l, a)	Fspl	Referencia
<i>Weltrichia alfredii</i> (Krasser) Popa	120	55	13–14	30–32	10–12	?	?	?	?	Krasser, 1922 ; Popa, 2014, 2019
<i>Weltrichia alpina</i> Krasser	54	?	14	10 d	17 d	?	?	?	?	Popa, 2019
<i>Weltrichia antonii</i> Popa	100	52	9–10	25	13	?	?	?	?	Popa, 2014
<i>Weltrichia ayuquilana</i> Delevoryas	60	30	10	15	?	no	muchos	6, 2	Elíptica–elongada	Delevoryas, 1991
<i>Weltrichia daohugouensis</i> Li <i>et al.</i>	98–100	48–50	22–23	20–25	4–5	?	muchos	2, 1–1.5	Elíptica	Li <i>et al.</i> , 2004
<i>Weltrichia fabrei</i> Saporta	?	?	?	50–60	8–10	?	?	3–4, 1	Elongada	Saporta, 1891; Popa, 2019
<i>Weltrichia givulescui</i> Popa	100	30–40	16	40–50	7–10	16	?	?	?	Popa, 2001
<i>Weltrichia harrisiana</i> Bose <i>et Banerji</i>	120–150	20	12–14	25–35	5–8	?	5	7–9, 1.5	Elongada	Bose y Banerji, 1984; Popa, 2019
<i>Weltrichia hirsuta</i> Schweitzer	130–140	?	46	?	?	?	?	?	Elongada–elíptica	Popa, 2019
<i>Weltrichia huangbanjingouensis</i> Sun <i>et al.</i>	?	35	?	?	?	?	?	?	?	Sun <i>et al.</i> , 2001; Popa, 2019
<i>Weltrichia johannae</i> Popa	70	15	12	25–27	5–6	12	?	?	?	Popa, 2014
<i>Weltrichia magna</i> Guzmán-Madrid <i>et Velasco-de León</i>	226	30	5 (10 d)	90–102	13–15	?	?	?	?	Guzmán-Madrid y Velasco-de León, 2021
<i>Weltrichia maldaensis</i> Pal <i>et Ghosh</i>	70 d	20	8 (16 d)	25	5	?	12?	?	Circular	Pal y Ghosh, 1985; Popa, 2019
<i>Weltrichia microdigitata</i> Delevoryas	30	15	14	7–8	?	no	20–30	?	Elongada–tubular	Delevoryas, 1991
<i>Weltrichia mirabilis</i> Braun	100	50	10–11	30–40	?	?	20	3–5, ?	Elíptica–elongada	Popa, 2019
<i>Weltrichia mixtequensis</i> Silva Pineda <i>et al.</i>	160	20	14	75–80	7–9	?	7–9	1.6–5.5, 0.3–1.3	Elongada	Silva-Pineda <i>et al.</i> , 2011
<i>Weltrichia oolithica</i> Saporta	80 d	40	9?	30–40	?	?	?	?	?	Popa, 2019
<i>Weltrichia pecten</i> (Leckenby) Harris	100–120	30–50	10–12	30	5–10	no	?	3, 1	semicircular	Harris, 1969
<i>Weltrichia primaeva</i> Schweitzer <i>et Kirchner</i>	?	?	?	60	9	?	8–10	?	Elíptica	Popa, 2019
<i>Weltrichia santalensis</i> (Sitholey <i>et</i> Bose) Harris	220–230	28–45	20	?	?	?	?	?	Elongada	Harris, 1969; Popa, 2019
<i>Weltrichia setosa</i> (Nathorst) Harris	120	40	20	40–60	10–16	40	12?	3–7, ?	Aplanada	Harris, 1969
<i>Weltrichia sol</i> Harris	170–200	100	30	50–60	10	no	4–5	4, 2.5	Semicircular	Harris, 1969
<i>Weltrichia</i> sp. (sp. nov.?)	100	27	15–16	37	10	?	?	?	?	Kimura y Ohana 1989
<i>Weltrichia spectabilis</i> (Nathorst) Harris	?	40	13	30–50	10	no	1–3	1–1.5, ?	Semicircular–elongada	Harris, 1969
<i>Weltrichia steierdorfensis</i> Popa	105–120	40–45	12	25	13	?	?	?	?	Popa, 2014
<i>Weltrichia whitbiensis</i> (Nathorst) Harris	120–130	40–50	13–16	40	10	no	7–8	2–3, ?	Elíptica	Harris, 1969
<i>Weltrichia xochitlilii</i> Lozano-Carmona <i>et</i> Velasco-de León	32–45.2	11	8	14.1–22.5	3.1	?	6	1.2, 1	Oval–elíptica	Lozano-Carmona <i>et al.</i> , 2021
<i>Weltrichia huitzilopochtlii</i> comb. nov.	31–40	10–15	7–9	11–14	5–7	?	?	?	?	Este estudio

Abreviaciones: **D:** Diámetro del contorno; **Dcb:** Diámetro de la copa basal; **Rcf:** Rayos centrífugos; **Rcfl:** Largo de rayos centrífugos; **Rcfa:** Ancho de rayos centrífugos; **Rcp:** Rayos centrípetos; **Spl:** Sacos polínicos; **Spl(l, a):** Largo y ancho de sacos polínicos; **FSpl:** Forma de los sacos polínicos; **d:** carácter deducido; **?** carácter desconocido. Todos los datos métricos están en milímetros.

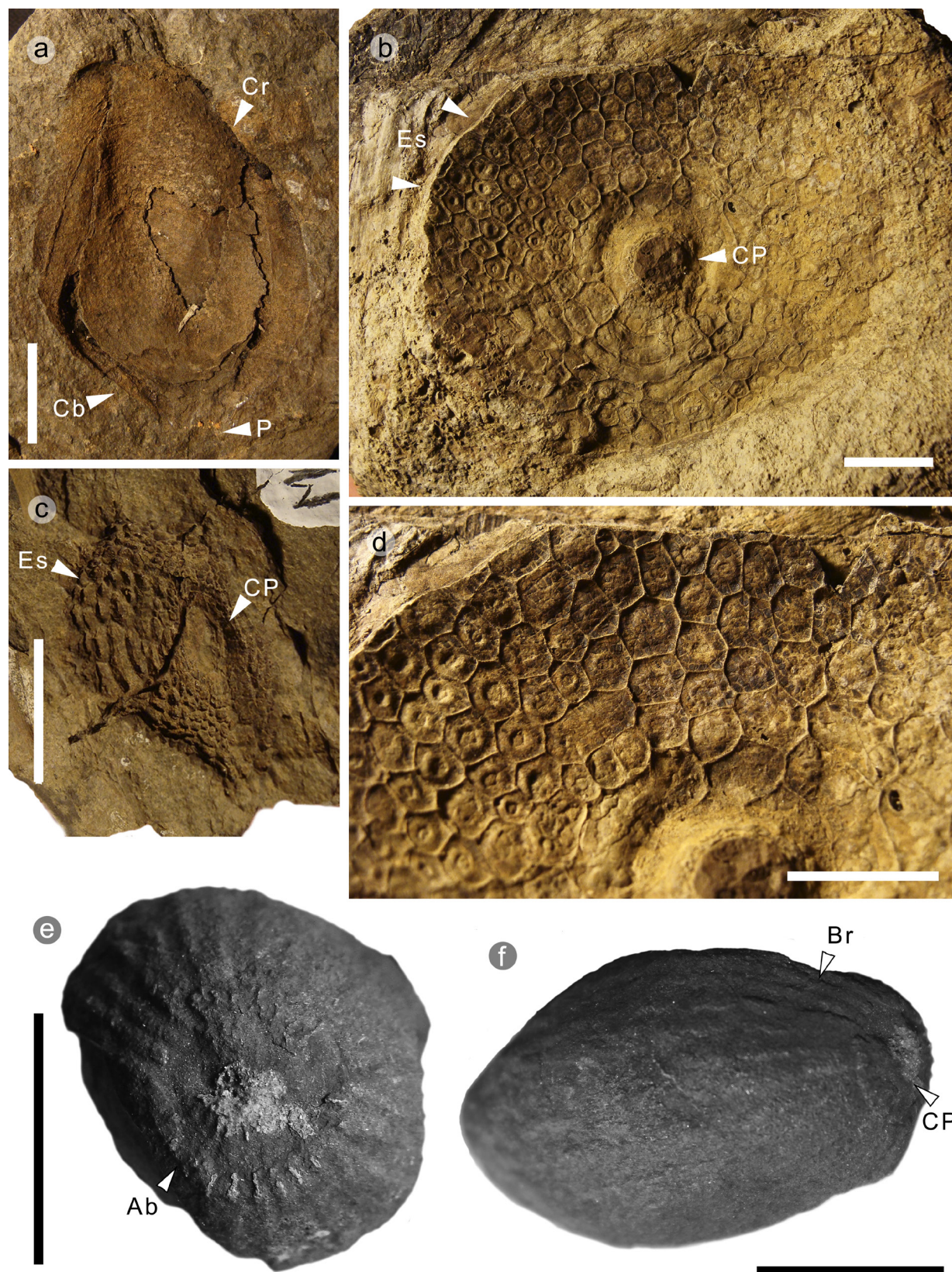


Figura 4. Ejemplares de órganos reproductivos de la colección paleobotánica del MURNO. **a)** cf. *Weltrichia*, vista lateral, nótese los rayos centrífugos (Cr), la copa basal (Cb) y el pedúnculo (P). **b)** *Williamsonia netzahualcoyotlii*, vista basal, las flechas indican el contorno de la impresión, las escamas seminales (Es) y la cicatriz del pedúnculo (CP). **d)** Acercamiento a las escamas seminales, se puede observar la ornamentación y el micropilo hacia el centro de algunas de ellas. **c)** *Williamsonia oaxacensis*, vista basal, las flechas indican las escamas seminales (Es) y la cicatriz del pedúnculo (CP). **e-f)** *Wielandiella* sp., **e)** vista basal, **f)** vista lateral, nótese las delgadas brácteas (Br), el anillo basal de unión de las brácteas (Ab) y la cicatriz del pedúnculo (CP) al centro. Escala 1 cm.

inmaduras con las brácteas cerradas y en vista lateral (McLoughlin *et al.*, 2018).

El fosilígénero *Weltrichia* ha sido documentado en varios afloramientos del Jurásico de México en las formaciones Rosario, Zorrillo, Otlaltepec, Ayuquila y Tecomazúchil. Su rango estratigráfico va del Toarciano (Jurásico Inferior) al Calloviano (Jurásico Medio) (Silva-Pineda, 1984; Delevoryas, 1991; Silva-Pineda *et al.*, 2011; Lozano-Carmona *et al.*, 2021a; Velasco-de León *et al.*, 2019).

Género: *Williamsonia* Carruthers, 1870 emend. Harris (1969)

Especie tipo: *Williamsonia gigas* (Lindley *et Hutton*) Carruthers, 1870

Williamsonia netzahualcoyotlii Wieland, 1914

Material: Cuatro impresiones de gineceos, MURNO-10, MURNO-12, MURNO-15, MURNO-18 (Figura 4b y d).

Descripción: Impresiones basal y lateral de gineceos que van de 36 a 53 mm de diámetro, con una cicatriz del pedúnculo de 6–8 mm de diámetro, el receptáculo o la corona no son visibles, escamas seminales e interseminales con forma hexagonal. El diámetro de las cabezas de las escamas es de 2.6–3.6 mm y el diámetro del micropilo es de 0.58 mm. Escamas con ornamentación, un patrón de formas poligonales ordenadas alrededor de los micropilos de cada escama.

Comentarios: *Williamsonia netzahualcoyotlii* es la fosilíespecie de órgano reproductivo de las Bennettitales con mayor distribución geográfica y un amplio rango estratigráfico en México. Se ha registrado en los estados de Oaxaca y Puebla, en afloramientos de las formaciones Rosario, Zorrillo, Zorrillo/Taberna, Ayuquila, Otlaltepec y localidades indiferenciadas del Grupo Tecocoyunca. El rango estratigráfico va del Toarciano (Jurásico Inferior) al Bathoniano (Jurásico Medio) (Silva-Pineda, 1969, 1984; Delevoryas y Gould, 1973; Velasco-de León, 1990; Morales-Lara y Silva-Pineda, 1996; Martínez-Paniagua, 2015; Lozano-Carmona y Velasco de León, 2016, 2021; Flores-Barragan *et al.*, 2017; Velasco-de León *et al.*, 2019). Sin embargo, en todos los registros hasta la fecha no se había observado la ornamentación en cada escama, lo anterior posiblemente se deba a la erosión de los demás ejemplares. Aunque este carácter carece de valor diagnóstico, siendo entonces una muestra del detalle de preservación de los ejemplares del MURNO. Por último, en 1984, Silva-Pineda realiza la tipificación de este fosilitaxon y coloca en sinonimia a los fosilitaxones *W. ipalnegoani* Wieland y *W. xipe* Wieland. Delevoryas y Gould (1973) indican que las brácteas de *Williamsonia netzahualcoyotlii* son muy similares a las de *W. huitzilopochtlii*, pero no hay ningún registro de ejemplar o descripción que mencione la presencia de brácteas unidas a los gineceos. Por lo tanto, esta especie

es conocida únicamente sobre la morfología del gineceo (ver Tabla 1 en Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021).

Williamsonia oaxacensis Delevoryas *et Gould*, 1973

Material: Una impresión basal de gineceo, MURNO-11 (Figura 4c).

Descripción: Impresión de un gineceo de 15 mm de diámetro, con una cicatriz del pedúnculo de 3.6 mm, sin receptáculo visible y con escamas seminales e interseminales de forma poligonal. Las cabezas de las escamas tienen un diámetro de 1.9 mm y el diámetro del micropilo es de 0.4 mm.

Comentarios: *Williamsonia oaxacensis* es una fosilíespecie que tiene un registro geográfico exclusivo en el estado de Oaxaca. Pero su rango estratigráfico va, con el presente registro en la formación Rosario, del Toarciano (Jurásico Inferior) al Calloviano (Jurásico Medio). Otras formaciones con registro de esta especie son Zorrillo, Zorrillo/Taberna, Ayuquila y Tecomazúchil (Delevoryas y Gould, 1973; Lozano-Carmona y Velasco de León, 2016, 2021; Lozano-Carmona *et al.*, 2021a; Velasco-de León *et al.*, 2019). *Williamsonia oaxacensis* es un gineceo pequeño con un diámetro que alcanza los 20 mm. También sus escamas tienen un diámetro pequeño, de 0.8 a 2 mm, y estos caracteres son los que permiten distinguir a este fosilitaxon de entre las especies del Jurásico en el sur de México (ver Tabla 1 en Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021). Delevoryas y Gould (1973), comentan que esta especie no correspondería a un estadio inmaduro de *W. netzahualcoyotlii* ya que la densidad de escamas es mayor en *W. oaxacensis*. En este caso el ejemplar resguardado en el MURNO es la impresión basal del gineceo donde se aprecia el diámetro, la forma de las escamas y la cicatriz del pedúnculo. Todos estos caracteres son compatibles con la diagnosis de la especie.

Género: *Wielandiella* Nathorst, 1910 emend. Pott (2014)

Especie tipo: *Wielandiella angustifolia* (Nathorst) Nathorst, 1913 emend. Pott (2014)

Wielandiella sp.

Material: Moldes externos de las brácteas, MURNO-16, MURNO-17 (Figura 4e–f).

Descripción: Ejemplares con forma ovoide a esférica con un diámetro de hasta 31 mm y 47 mm de largo. Un verticilo de al menos 26 brácteas delgadas y semilanceoladas ordenadas densamente con 45 mm largo y un ancho de 1.9–2.1 mm. Éstas presentan estrías longitudinales. Las brácteas en el ejemplar MURNO-17 abarcan todo el gineceo, se proyectan por encima de este y se tocan en los ápices. Las bases de las brácteas forman un anillo de marcas rectangulares de 1 x 2 mm de ancho y largo. Este anillo rodea la cicatriz del

pedúnculo el cual tiene un diámetro de 10 mm. No se observa el gineceo.

Comentarios: *Wielandiella* es una estructura altamente informativa para inferir reconstrucciones de plantas completas (planta total), como en los taxones de plantas actuales (Pott, 2014). El concepto de planta completa (total) incluye la descripción de tallos, hojas y estructuras reproductivas que se han registrado en conexión orgánica o en cercana asociación estratigráfica (Pott, 2014; Turland et al., 2018). Aquí solo se aborda la descripción de ejemplares de estructura reproductiva los cuales comparten alta similitud morfológica con las diagnósticas de *W. angustifolia* (Nathorst) Nathorst, emend. Pott y *W. villosa* (Pott, McLoughlin, Wu et Friis) de Pott (Pott, 2014; Pott et al., 2015). Cabe resaltar que los caracteres que permiten realizar esta identificación taxonómica son el tamaño y forma de las brácteas, así como su arreglo en un solo verticilo. Dichos caracteres tienen una considerable similitud con los ejemplares MURNO-16 y 17, el largo de las brácteas de *W. angustifolia* y *W. villosa* es entre 3 y 10 mm menor, mientras que el ancho está dentro del rango de *W. angustifolia*, pero es más pequeño que el de *W. villosa*. La forma de la inserción y las bases de las brácteas que a su vez forman un anillo es el carácter más notable entre el ejemplar MURNO-16 y las especies *W. angustifolia* y *W. villosa* (Pott, 2014; Pott et al., 2015). El registro aquí presentado corresponde a la primera descripción sistemática para el Jurásico del sur de México.

Previamente, Velasco-de León et al. (2019), reportaron la presencia de un ejemplar provisionalmente asignado a *Wielandiella* (cf. *Wielandiella*) para la Formación Ayuquila. Sin embargo, habría que corroborar dicha asignación ya que desafortunadamente no hay una descripción del material. No obstante, Lozano-Carmona et al. (2019), sugieren la posibilidad de la existencia de *Wielandiella* en afloramientos jurásicos del sur de México con base en la presencia de hojas de *Anomozamites* y su establecimiento como el follaje de *W. angustifolia* y *W. villosa*. *Anomozamites* está registrada para la formación indiferenciada de Zorrillo/Taberna del Bajociano (Lozano-Carmona et al., 2019). El reporte de *Wielandiella* aquí presentado corresponde al Toarciano. En este sentido, la posibilidad de hallar más ejemplares de *Wielandiella* en otros afloramientos jurásicos de la región sigue siendo alta.

Género: *Bennetticarpus* Harris, 1932

Especie tipo: *Bennetticarpus oxylepidus* Harris, 1932

Bennetticarpus sp.

Material: Moldes de sección del gineceo, MURNO-21, MURNO-22, MURNO-23, MURNO-24 (Figura 5).

Descripción: Impresiones de gineceos de forma circular en sección transversal, con un diámetro de 51 a 56 mm, el receptáculo tiene un diámetro de 16 a 30 mm. El

ancho de los óvulos/escamas es de 0.7 a 1 mm y el largo es de 14 mm.

Comentarios: *Bennetticarpus* se utiliza para incluir a los gineceos con caracteres de tipo-bennettitales pero que no presentan los caracteres diagnósticos distinguibles para asignar con precisión a un género de estructura reproductiva de este orden (Harris, 1932; Pott et al., 2010; Popa, 2014). En este caso el material revisado corresponde a secciones transversales de los gineceos donde solo es distinguible la forma circular a elíptica de la estructura, parte del receptáculo y algunas de las escamas interseminales. Estos ejemplares no muestran indicios de maduración por parte de los óvulos/semillas. La morfología de las estructuras en general y la forma de las escamas son similares a los descritos por Pott y Axsmith (2015) para *Williamsonia carolinensis* Pott et Axsmith. Pero, los detalles como número de escamas y la morfología de los óvulos, entre otros, son difíciles de determinar. Por lo tanto, consideramos que la asignación a *Bennetticarpus* es adecuada. En este sentido, este correspondería al segundo reporte de este fosilgénero en afloramientos jurásicos del sur de México (Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021).

4.2. Diversidad e importancia de los órganos reproductivos de Bennettitales en el Jurásico del sur de México

Las Bennettitales son el orden más diverso registrado en los afloramientos jurásicos del sur de México. Su diversidad está compuesta principalmente por fosilización de hojas y órganos reproductivos. Las hojas están representadas por cinco fosilgéneros (*Anomozamites*, *Otozamites*, *Pterophyllum*, *Ptilophyllum* y *Zamites*). La diversidad de órganos reproductivos también consta de cinco fosilgéneros (*Williamsonia*, *Williamsoniella*, *Wielandiella*, *Weltrichia* y *Bennetticarpus*). También hay registros de brácteas aisladas denominadas *Cycadolepis* y algunos registros de tallos Williamsoniaceos. Esta diversidad abarca un rango estratigráfico desde el Toarciano en el Jurásico Inferior en la formación Rosario hasta el Calloviano en el Jurásico Medio en la Formación Tecmazúchil (Delevoryas y Gould, 1973; Silva-Pineda, 1978; 1984; Person y Delevoryas, 1982; Silva-Pineda et al., 2011; Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2016, 2021; Flores-Barragan et al., 2017; Lozano-Carmona et al., 2019; 2021a; Velasco-de León et al., 2019).

El caso particular de los órganos reproductivos sobresale en esta diversidad ya que con los nuevos hallazgos su riqueza se ha incrementado notablemente en la última década. Incluyendo el registro aquí presentado son siete fosil especies de *Weltrichia* (Tabla 1). Para *Williamsonia* también hay siete fosil especies (*W. netzahualcoyotli*, *W. oaxacensis*, *W. diquyui* Delevoryas et Gould, *W. nathorstii* Wieland, *W. cuauhtemoci* Wieland, *W. oligosperma* Delevoryas y *W. sanjuanensis* Lozano-Carmona et Velasco-de León). Mientras que para *Williamsoniella* y *Wielandiella* solo hay un registro para cada uno, pero aun considerando especies indeterminadas (sp.). Por

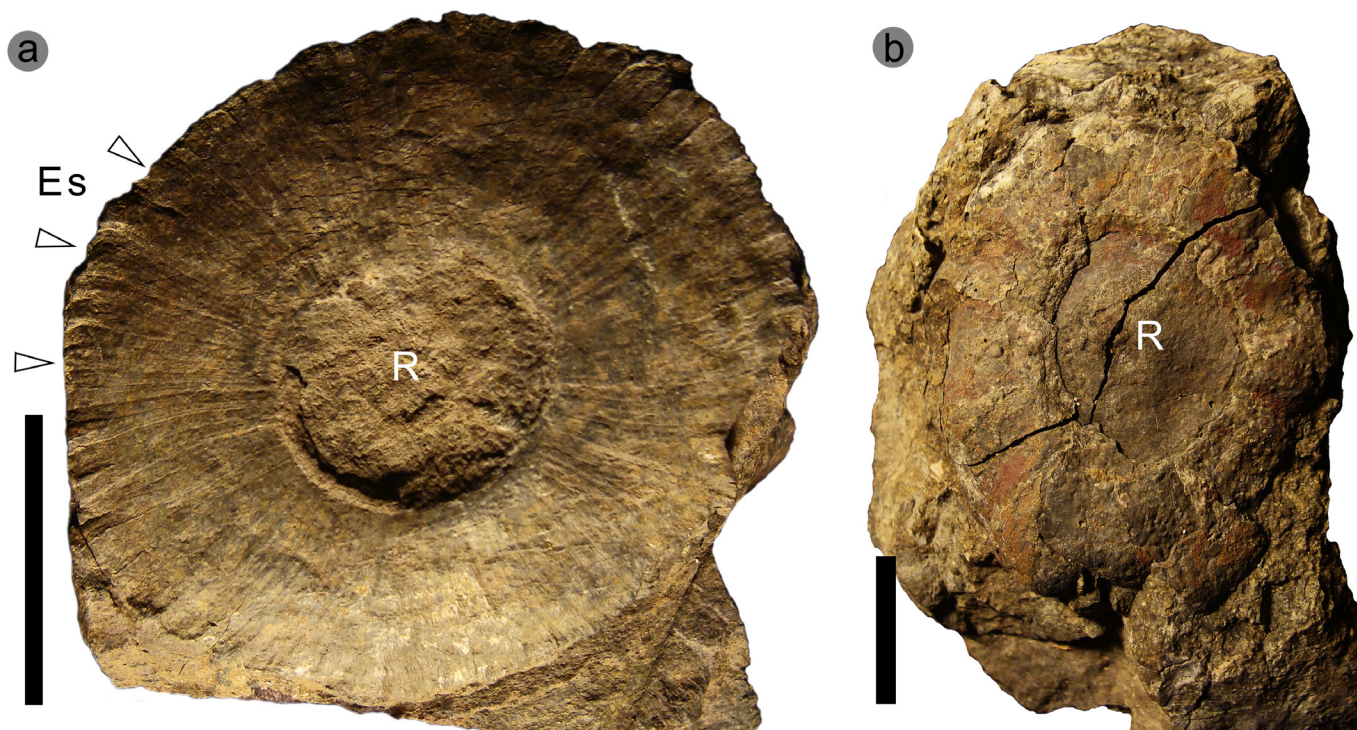


Figura 5. *Bennetticarpus* sp., corte trasversal del gineceo, las flechas indican el contorno y algunas escamas (Es) concéntricas hacia el receptáculo (R). Escala 1 cm.

último, están las brácteas de *Cycadolepis mexicana* Wieland y las secciones transversales de *Bennetticarpus* sp., (Wieland, 1914; Delevoryas y Gould, 1973; Silva-Pineda, 1984; Delevoryas, 1991; Flores-Barragan *et al.*, 2017; Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021). Los datos aquí presentados permiten confirmar la presencia de *Wielandiella* en el Jurásico, registro que fue estimado por la presencia de hojas de *Anomozamites* previamente halladas en la región y las cuales son consideradas como el follaje asociado (Pott, 2014; Lozano-Carmona *et al.*, 2019). También permiten ampliar el rango estratigráfico de *Weltrichia* y *Bennetticarpus*, fosilígenos que solo se habían registrado en el Jurásico Medio (Delevoryas, 1991; Silva-Pineda *et al.*, 2011; Guzmán-Madrid y Velasco-de León, 2021; Lozano-Carmona y Velasco-de León, 2021).

Considerando la diversidad de órganos reproductivos de las Bennettitales a nivel mundial, la diversidad que en México se está reportando es de las principales. En el caso de *Weltrichia*, la riqueza de México supera a la reportada en las principales localidades jurásicas de Inglaterra y de Rumania donde se han descrito cinco especies respectivamente (Popa, 2019). Con respecto a *Williamsonia* la situación es similar, las localidades con mayor diversidad son las de Inglaterra e India con seis y siete especies respectivamente (Popa, 2014). En el caso de *Wielandiella*, *Williamsoniella* y *Bennetticarpus*, aun no es equiparable este patrón de diversidad taxonómico, lo anterior posiblemente se deba a que hasta hace poco tiempo se comenzaron a registrar en los afloramientos

jurásicos. Sin embargo, es muy posible que en un futuro se hallen nuevas evidencias ya que aún se continua con la exploración de afloramientos Jurásicos en el sur de México (Lozano-Carmona *et al.*, 2021a).

4.3. El estado de la documentación del Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” y su perspectiva en el marco de las colecciones científicas.

El Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (MURNO) fue propuesto con el objetivo de resguardar y divulgar el patrimonio geológico y paleontológico del área. Esta propuesta fue realizada por el Ing. Jorge Jiménez Rentería a los pobladores de Rosario Nuevo en 2009 (Jiménez-Rentería, 2012) y fue bien recibida por ellos. Fue entonces que donaron el edificio de la antigua escuela para convertirse en el inmueble del museo. Desde entonces, el museo ha estado en actividad permanente lo que ha permitido divulgar el conocimiento de la riqueza geológica y paleontológica de la localidad y el resguardo de diversos ejemplares fósiles. La administración del museo está a cargo de un comité integrado por habitantes de Rosario Nuevo, el cual cambia cada dos años. Esta iniciativa ha sido adoptada por la comunidad y ha demostrado su interés para mantener activo el museo. Por lo tanto, ya que la iniciativa de crearlo, de administrarlo y mantenerlo activo proviene de la comunidad, es lo que lo respalda como un real Museo Comunitario (Wells, 2006). El

acervo y espacio del museo en general es reducido, pero el material tiene buena calidad de preservación y las gavetas de resguardo son adecuadas para mantenerlo protegido y exhibido (Figuras 2–5). Además, cabe resaltar que la población está consciente de la importancia del registro fósil *in situ*, por lo que mantiene un limitado número de ejemplares *ex situ* en el museo.

Como se había mencionado anteriormente, la información taxonómica de la mayoría de los ejemplares estaba desactualizada. Con los resultados aquí presentados se inicia la adecuada documentación asociada a cada ejemplar que está en el museo, siendo una contribución al mejoramiento del estado de la colección. Tradicionalmente los datos taxonómicos, de localidad, formación o yacimiento y nivel estratigráfico (documentación básica) de cada ejemplar son los que integran una buena documentación en una colección científica (Montero y Diéguez, 1991; Cristin y Perrilliat, 2011). En este sentido el único dato faltante es el de nivel estratigráfico (localidad fosilífera), ya que este dato no fue registrado por los recolectores. No obstante, además de la documentación básica que aquí se presenta se

adicionan datos gráficos como fotografías e ilustraciones/esquemas (Figuras 3–6). Esta documentación gráfica apoyará principalmente al comité del museo para que pueda identificar la morfología de las estructuras reproductivas de Bennettitales tanto en el material del museo como en el que se descubra *in situ*. Ya que la comunidad de Rosario Nuevo evita extraer los ejemplares del lugar donde fue hallado, esto permitirá que en un futuro se pueda conocer el sitio o nivel estratigráfico con registro fósil. Por lo tanto, la documentación asociada a cada ejemplar fósil estará complementándose.

En este sentido, el MURNO, necesitará consolidar una documentación administrativa y biográfica (Montero y Diéguez, 1991). Hasta el momento solo hay un registro histórico de visitantes y un pequeño archivo de las publicaciones, tesis o resúmenes de congreso en los cuales se han utilizado material de la localidad, lo que forma parte de dicha documentación. Consolidando estos dos aspectos, el museo podrá avanzar en el continuo curatorial de una colección científica (Hughes *et al.*, 2000; Cristin y Perrilliat, 2011). De este modo, será más eficiente el servicio que el museo ofrece a la comunidad

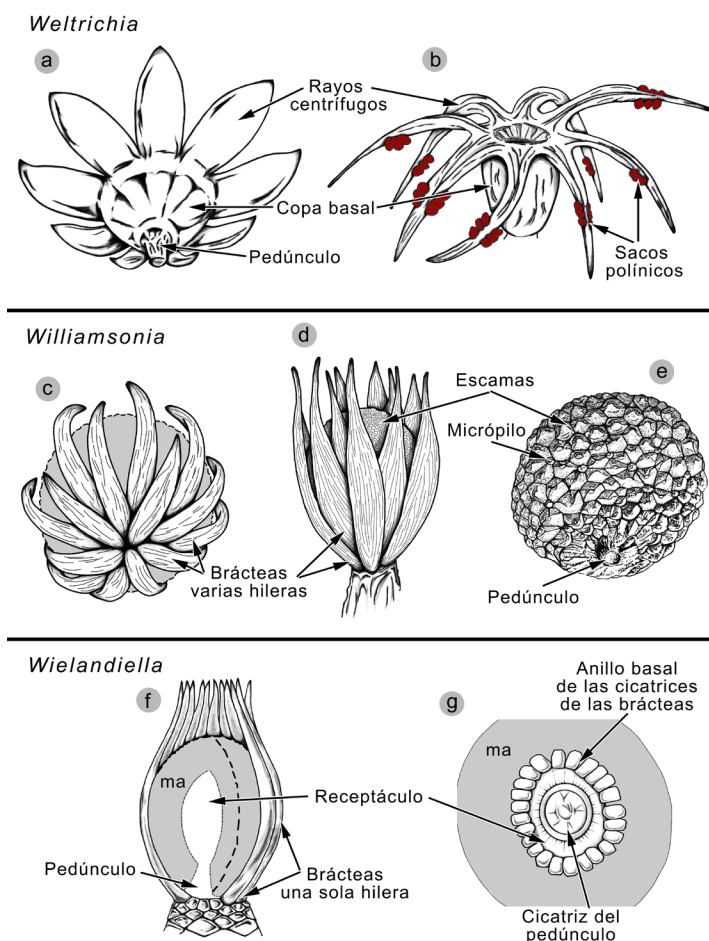


Figura 6. Reconstrucciones ilustrativas de los órganos reproductivos de las Bennettitales encontrados en el Jurásico en el sur de México. Se enfatiza en los caracteres morfológicos distintivos de cada fosilígénero y sus partes. **a-b)** *Weltrichia*, **c-d-e)** *Williamsonia*, **f-g)** *Wielandiella*. **a, c, g)** ilustraciones elaboradas por D. E. Lozano-Carmona. **b, d, e, f)** ilustraciones tomadas y modificadas respectivamente de Delevoryas y Gould (1973); Pott (2014); Lozano-Carmona y Velasco-de León (2021); Lozano-Carmona *et al.* (2021a).

local y de visita, ya que podrá transmitir una mayor información asociada a cada ejemplar fósil (Montero y Diéguez, 1991; Espinosa-Santos, 2010; Estrada-Loyo, 2014). Además, las investigaciones que en un futuro se realicen con este acervo estarán obligadas a difundir la importancia y protección que realiza el MURNO ante la comunidad científica (Espinosa-Santos, 2010; Estrada-Loyo, 2014). Por lo tanto, el resguardo, conservación y mantenimiento del acervo del MURNO deberá continuar bajo la colaboración entre la comunidad de Rosario Nuevo y la científica-académica.

En México existen numerosos casos de éxito en el establecimiento de museos comunitarios, y en particular con colecciones paleontológicas podemos citar los ejemplos de los museos de San Lucas Teteletitlán, Santa Ana Teloxtoc y San Juan Raya en el estado de Puebla y en Melchor Múzquiz, Coahuila (Aguilar y Porras-Múzquiz, 2009; Rojas-Zúñiga y Gío-Argáez, 2016). En estos casos es innegable la participación de las comunidades respectivas en la creación, administración y divulgación. Lo que son las actividades primordiales en un museo comunitario (Wells, 2006). En el caso de los museos del estado de Puebla la documentación asociada al acervo es principalmente básica, con algunas excepciones (Rojas-Zúñiga y Gío-Argáez, 2016). Mientras que en el Museo de Múzquiz se podría considerar que hay un mayor avance en la documentación básica, gráfica, administrativa y biográfica, incluso su acervo está inscrito en el Registro de Monumentos Arqueológicos Muebles de INAH (Aguilar y Porras-Múzquiz, 2009). En este sentido, sería relevante evaluar con el comité del MURNO el registro del acervo paleontológico ante el INAH. Esto permitiría tener una protección y conservación dentro del marco legal mexicano a través del tiempo, asegurando su disponibilidad para la divulgación, difusión y estudios futuros (Cristín y Perrilliat, 2011; Aguilar y Alvarado, 2020; INAH, 2020; Morales-Ortega *et al.*, 2021).

5. Conclusiones

A 14 años de su establecimiento, el Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo "Ing. Jorge Jiménez Rentería" se ha convertido en una ventana al patrimonio geológico, pero principalmente paleontológico de la región de Tezoatlán. La protección y divulgación de dicho patrimonio ha sido posible por el constante trabajo de la comunidad de Rosario Nuevo a través del comité del museo. Esto ha permitido que se pueda vincular a la sociedad con su entorno inmediato. Por lo tanto, con esta contribución podrán conocer más sobre la morfología y la correcta nomenclatura de los órganos reproductivos de las Bennettitales que se pueden encontrar en los afloramientos jurásicos de la región. En este sentido *Weltrichia huitzilopochtlii* comb. nov., se convierte en la séptima especie masculina descubierta en el Jurásico en México. Se confirma la presencia de *Wielandiella*, y se amplía el alcance estratigráfico para *Williamsonia*

oaxacensis y *Bennetticarpus*. Con esta primera clasificación se podrá ir complementando la documentación básica de los demás ejemplares que se resguardan en el MURNO para estandarizar su organización y optimizar su función como un sitio de protección y divulgación del conocimiento geológico y paleontológico.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo y el grupo de investigación de la Colección de Paleontología de la FES Zaragoza, UNAM, queremos agradecer a toda la comunidad de Rosario Nuevo, Tezoatlán de Segura y Luna. Pero, en particular a la Sra. María Rosa Reyes, el Sr. Calixto Santos Gutiérrez, el Sr. José Luis Martínez López, por brindarnos siempre las facilidades, hospitalidad y apoyo en el trabajo de campo. También queremos agradecer el financiamiento otorgado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT IN100721).

Referencias

- Aguilar, F. J., & Porras-Múzquiz, H. (2009). Los fósiles del Museo de Múzquiz A. C. y su resguardo patrimonial por el Instituto Nacional de Antropología e Historia. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(2), 147–153.
- Aguilar, F. J., & Alvarado, L. (2020). The Council of Paleontology of INAH: Background and perspectives. *Paleontología Mexicana*, 9(2), 91–101.
- Alvarado-Ortega, J., Barrientos-Lara, J. I., Espinosa-Arrubarrena, L., & Melgarejo-Damián, M. P. (2014). Late Jurassic marine vertebrates from Tlaxiaco, Oaxaca State, southern Mexico. *Paleontologia Electronica*, 17(1), 1–25.
- Anderson, J. M., Anderson, H. M., & Cleal, C. J. (2007). *Brief history of the gymnosperms: classification, biodiversity, phytogeography and ecology*. Strelitzia 20. South African National Biodiversity Institute, Pretoria.
- Ash, A. R. (1968). A new species of *Williamsonia* from the Upper Triassic Chinle Formation of New Mexico. *Journal of the Linnean Society of London, Botany*, 61, 113–120.
- Braun, C. F. W. (1847). Die fossilen Gewächse aus den Grezschichten Zwischen dem Lias und Keuper des neu aufgefundenen Pflanzenlagers in dem Sterinbruche von Veitlahm bei Culmbach. *Flora*, 30, 81–87.
- Carruthers, W. (1870). On fossil cycadean stems from the secondary rocks of Britain. *Transaction of the Linnean Society of London*, 26, 675–708.
- Cristín, A., & Perrilliat, M. del C. (2011). Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 421–427.
- Delevoryas, T. (1991). Investigations of North American Cycadeoids: *Weltrichia* and *Williamsonia* from the Jurassic of Oaxaca, Mexico. *American Journal of Botany*, 78(2), 177–182.
- Delevoryas, T., & Gould, R. E. (1971). An unusual fossil fructification from the Jurassic of Oaxaca, Mexico. *American Journal of Botany*, 58(7), 616–620.
- Delevoryas, T., & Gould, R. E. (1973). Investigations of North American Cycadeoids: williamsonian cones from the Jurassic of Oaxaca, México. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 15, 27–42.
- Delevoryas, T., & Person, C. P. (1975). *Mexiglossa varia* gen. et sp. nov., a new genus of glossopteroid leaves from the Jurassic of Oaxaca, México. *Palaeontographica, Abteilung B*, 154, 114–120.

- Engler, A. (1892). *Syllabus der Vorlesungen spezielle und medicinisch-pharmaceutische Botanik*. Largeedn Borntraeger, Berlin.
- Erben, H. K. (1956). Estratigrafía y Paleontología del Mesozoico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca y Guerrero. Especialmente del Jurásico Inferior y Medio [Guía de excursión a campo]. En: *XX Congreso Geológico Internacional Excursión A-12*, México, D.F., 11–36.
- Espinosa-Santos, V. (2010). Difusión y divulgación de la investigación científica. *IDESIA*, 28(3), 5–6. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000300001>
- Estrada-Loyo, E. (2014). El periodismo científico, la difusión y la divulgación de la ciencia. *Ciencia UANL*, 17(67), 72–74.
- Ferrusquía-Villafraña, I., & Comas-Rodríguez, O. (1988). Reptiles marinos mesozoicos en el sureste de México y su significación geológico-paleontológica. *Revista del Instituto de Geología*, 7(2), 168–181.
- Flores-Barragan, M. A., Velasco-de León, M. P., & Corro-Ortiz, M. G. (2017). El género *Williamsoniella* (Thomas) y flora asociada de la Formación Zorrillo-Taberna indiferenciadas (Jurásico Medio) Oaxaca, México. *Paleontología Mexicana*, 6(2), 59–65.
- Guerrero-Arenas, R., & Jiménez-Hidalgo, E. (2015). Las comunidades del Pleistoceno Tardío de la Mixteca Alta Oaxaqueña: cómo el pasado nos permite conservar el presente. En Ortiz-Escamilla, R. (comp.), *El pasado lejano de la Mixteca: Huajuapán de León, Oaxaca, México*, (1er ed., 25–38 pp). Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & González Rodríguez, K. A. (Editores). (2021). *Patrimonio Paleontológico y Geológico de Oaxaca*. Universidad del Mar, Oaxaca.
- Guzmán Madrid, D. S., & Velasco-de León, M. P. (2021). *Weltrichia magna* sp. nov., a new record for the Middle Jurassic of Oaxaca, Mexico. *Acta Palaeobotanica*, 61(1), 95–106.
- Harris, T. M. (1932). The fossil Flora of Scoresby Sound, East Greenland, 3. Caytoniales and Bennettitales. *Meddelelserom Gronland, Kobenhavn*, 85, 2–133.
- Harris, T. M. (1969). *The Yorkshire Jurassic flora III Bennettitales*. Trustees of the British Museum (Natural History), London.
- Hughes, N. C., Collier, F. J., Kluesendorf, J., Lipps, J., Taylor, W. L., & White, R. D. (2000). Fossil invertebrate and microfossil collections: Kinds, uses and users, In White, R. D., Allmon, W. D. (Eds.), *Guidelines of the management and curation of invertebrate fossil collections: Boulder, Colorado, E.U.A.* The Paleontological Society Special Publications (10, 25–35).
- Instituto Nacional de Antropología e Historia. (2020). *Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México*. <https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01612485398.PDF>
- Jiménez-Hidalgo, E., & Guerrero-Arenas, R. (2018). The Oldest Camel Footprints from Mexico. *Boletín de la Sociedad de México*, 70(2), 351–359.
- Jiménez-Rentería, J. (2012). Museo Geológico de la comunidad de Rosario Nuevo, Municipio de Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca: un proyecto geo-social [Resumen]. *Memorias de VI Jornadas Paleontológicas y Primer Simposio de Paleontología en el Sureste de México “100 años de Paleontología en Chiapas”*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 33.
- Lozano-Carmona, D. E., & Velasco-de León, M. P. (2016). Jurassic flora in South-east Mexico: importance and prospect of recent findings in the Mixteco Terrane. *Paleontología Mexicana*, 5(2), 87–101.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103404>
- Lozano-Carmona, D. E., Velasco-de León, M. P., & Flores-Barragan, M. A. (2019). Jurassic Flora in Southern Mexico: *Anomozamites Schimper*, 1870 emend. Pott et McLoughlin, 2009 from Mixteco Terrane, Phytogeographical Implications of Williamsoniaceae Family (Bennettitales). *Open Journal Geology*, 9, 142–156.
- Lozano-Carmona, D. E., Corro-Ortiz, M. G., Morales, R. L., & Velasco-de León, M. P. (2021a). *Weltrichia xochitellii* sp. nov. (Bennettitales) from the Middle Jurassic of northwestern Oaxaca, Mexico: First paleobotanical evidence from the Tecomazúchil Formation. *Journal of South American Earth Sciences*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103230>
- Lozano-Carmona, D. E., Ortega-Chávez, E., & Velasco-de León, M. P. (2021b). Icnofacies *Glossifungites* del Jurásico de Oaxaca: Descripción morfológica de *Thalassinoides* y *Gastrochaenolites* y su importancia paleoambiental. En Guerrero-Arenas R., Jiménez Hidalgo, E. González Rodríguez K. A. (Eds), *El patrimonio paleontológico y geológico de Oaxaca*. (pp. 193 – 207). Universidad del Mar, campus Puerto Escondido.
- Martínez-Paniagua, O. D. (2015). *Estudio Taxonómico y Diversidad de la Paleoflora del Jurásico Medio en la Región de Olinálá (Grupo Tecocoyunca), Guerrero* [Tesis de Licenciatura], Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2015-marzo/0726968/Index.html>
- Martini, M., Velasco-de León, M. P., Zepeda-Martínez, M., Lozano-Carmona, D. E., & Ramírez-Calderón, M. (2017). Field guide to the Jurassic Otlattepec and Tezoatlán Basins, southern Mexico: sedimentological and paleontological records of Puebla and Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(3), 691–709.
- Martiny, B. M., Morán-Zenteno, D. J., Tolson, G., Silva-Romo, G., & López-Martínez, M. (2012). The Salado River fault: reactivation of an Early Jurassic fault in a transfer zone during Laramide deformation in southern Mexico. *International Geology Review*, 54(2), 144–164. <https://doi.org/10.1080/00206814.2010.510014>
- McLoughlin, S., Pott, C., & Sobbe, I. H. (2018). The diversity of Australian Mesozoic bennettitids reproductive organs. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 98, 71–95. <https://doi.org/10.1007/s12549-017-0286-z>
- Montero, Á., & Diéguez, C. (1991). Tipología, problemática y usos de la documentación asociada a las colecciones paleontológicas. *Boletín de la ANABAD*, 41(2), 153–163.
- Morales-Lara, A., & Silva-Pineda, A. (1996). Flórida jurásica de una nueva localidad en la región de San Miguelito. *Boletín de la sociedad Geológica Mexicana*, 3(4), 31–41.
- Morales-Ortega, P., Aguilar, F., & Nava-Sánchez, E. H. (2021). ¿qué sabemos sobre la legislación de los fósiles en México?, un análisis preliminar. *Paleontología Mexicana*, 10(1), 1–23.
- Morán-Zenteno, D. J., Caballero-Miranda, C. I., Silva-Romo, G. Ortega-Guerrero, B., & Gonzáles-Torres, E. (1993). Jurassic-Cretaceous Paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico. *Geofísica Internacional*, 32(3), 453–473.
- Nathorst, A. G. (1910) Erratum. Cover slip to Nathorst AG 1909 Paläobot Mitt 8, Fecha Enero 7, 1910. Nathorst, A. G. (1909). Paläobotanische Mitteilungen 8. Über *Williamsonia*, *Wielandia*, *Cycadocephalus* und *Weltrichia*. *Kunl Sven Vetenskapsakad Handl*, 45, 3–37.
- Nathorst, A. G. (1913). How are the names *Williamsonia* and *Wielandia* to be used? a question of nomenclature. *Geol Foeren Stockh Foerhandl*, 35, 361–366.
- Ortega-Chávez, E., Velasco-de León, M. P., & Jiménez-Rentería, J. (2017). *Agathoxylon* sp. del Jurásico Inferior, Rosario Nuevo, Oaxaca, México. *Paleontología Mexicana*, 6(2), 73–77.
- Ortega-Chávez, E., Velasco-de León, M. P., & Estrada Ruiz, E. (2021). Nuevo registro xilológico de los géneros fósiles *Agathoxylon* sp. y *Protophyllocladoxylon* sp. del Jurásico Medio de Oaxaca, México. *Paleontología Mexicana*, 10(1), 71–82.
- Pérez-Crespo, V. A. (2011). Estado actual del conocimiento de las plantas fósiles de Oaxaca, México. *Naturaleza y Desarrollo*, 9(1), 47–59.
- Person, C. P., & Delevoryas, T. (1982). The Middle Jurassic Flora of Oaxaca Mexico. *Palaentographica Abteilung B*, 180, 82–119.
- Perrilliat, M. del C., & Castañeda-Posadas, C. (2013). Catálogo de Plantas Fósiles en la Colección Nacional de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM, México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín* 119.

- Pieńkowski, G., Martini, M., & Zepeda-Martínez, M. (2019). Bajocian transgressive-regressive sequences of the Tecocoyunca Group, southern Mexico, with maximum flooding surfaces marked by *Thalassinoides*. *Geological Quarterly*, 36(3), 449–459. <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1480>
- Popa, M. E. (2014). Early Jurassic bennettitalean reproductive structures of Romania. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 94, 327–362.
- Popa, M. E. (2019). Review of the bennettitalean genus *Weltrichia*. *Journal of Palaeogeography*, 8, 12. <https://doi.org/10.1186/s42501-019-0023-9>.
- Pott, C. (2014). A revision of *Wielandiella angustifolia*, a Shrub-sized bennettite from the Rhaetian-Hettangian of Scania, Sweden, and Jameson Land, Greenland. *International Journal of Plant Science*, 175(4), 467–499. <https://doi.org/10.1086/675577>
- Pott, C., & Axsmith, B. J. (2015). *Williamsonia carolinensis* sp. nov. and associated *Eoginkgoites* foliage from the upper Triassic Pekin formation, North Carolina: implications for early evolution in the Williamsonsaceae (Bennettitales). *International Journal of Plant Sciences*, 176(2), 174–185. <https://doi.org/10.1086/679471>
- Pott, C., Krings, M., Kerp, H., & Friis, E. M. (2010). Reconstruction of a bennettitalean flower form the Carnian (Upper Triassic) of Lunz, Lower Austria. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 159, 94–111. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.11.004>
- Pott, C., Xiaoli, W., & Xiaoting, Z. (2015). *Wielandiella villosa* comb. nov. from the Middle Jurassic of Daohugou, China: More evidence for divaricate plan architecture in Williamsonsaceae. *Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation*, 4(2), 137–148.
- Robles-García, N. M. (Coordinador). (2018). *Mixtecos Ñuu Dzahui. Señores de la lluvia*. Secretaría de Hacienda y Crédito Público, México.
- Rodríguez-Benítez, J. L. (1983). *Estudio palinoestratigráfico de las formaciones paleozoicas Tíñu, Santiago e Ixtaltepec, de la región de Nochistlán, Oaxaca, México* [Tesis de Licenciatura]. Instituto Politécnico Nacional.
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., Velasco-de León, M. P., Arellano-Gil, J., & Lozano-Carmona, D.E. (2018). Middle Jurassic Ankylosaur tracks from México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(2), 379–395.
- Rojas-Zuñiga, A., & Gío-Argáez, F. R. (2016). Museos Comunitarios de México y la Paleontología. Estudio de caso: Formación San Juan Raya, Puebla, México. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Aula, Museos y Colecciones*, 3, 21–32.
- Rothwell, G. W., Crepet, W. L., & Stockey, R. A. (2009). Is the anthophyte hypothesis alive and well? New evidence from the reproductive structures of Bennettitales. *American Journal of Botany*, 96(1), 296–322.
- Sandoval, J., & Westermann, G. E. G. (1986). The Bajocian (Jurassic) ammonite fauna of Oaxaca, Mexico. *Journal of Paleontology*, 60, 1220–1271.
- Silva-Pineda, A. (1969). Paleobotánica y Geología de Tecmatlán, Estado de Puebla, parte 1, Plantas fósiles del Jurásico Medio de Tecmatlán, Estado de Puebla. *Paleontología Mexicana*, 27, 7–77.
- Silva-Pineda, A. (1978). Contribuciones a la Paleobotánica del Jurásico de México, Parte 3, Plantas del Jurásico medio del sur de Puebla y noroeste de Oaxaca. *Paleontología Mexicana*, 44, 27–57.
- Silva-Pineda, A. (1984). Revisión taxonómica y tipificación de las plantas jurásicas colectadas y estudiadas por Wieland (1914) en la región de El Consuelo, Oaxaca. *Paleontología Mexicana*, 49, 1–103.
- Silva-Pineda, A., Velasco de León, M. P., Arellano-Gil, J., & Grimaldo, J. R. (2011). A new species of *Weltrichia* (Bennettitales) from the Middle Jurassic of the Tecmazuchil Formation (Oaxaca, Mexico). *Geobios*, 44, 519–525.
- Turland, N. J., Wiersema, J. H., Barrie, F. R., Greuter, W., Hawksworth, D. L., Herendeen, P. S., Knapp, S. et al. (2018). *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y Plantas (Código de Shenzhen)*. Stiftung Herbarium Greuter (Fundación Herbario Greuter), Alemania.
- Velasco-de León, M. P. (1990). Tafoflora del Jurásico Medio de la cañada del ajo, sur de Puebla, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 2(2), 17–29.
- Velasco-de León, P., Arellano-Gil, J., Ortiz-Martínez, E. L., Lozano-Carmona, D. E., Domínguez-Trejo, I., Canales-García, I., Carbot-Chanona, G. (2016). Paleontología y Geología de la Sierra Madre del Sur. En Luna-Vega, I., Espinosa, D., & Contreras-Medina, R. (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur*. (pp. 67–90). Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 93, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.008>
- Villanueva-Olea, R., Castillo-Espinoza, K. M., Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S. A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2011). Placas columnares de crinoides del Carbonífero de la región de Santiago Ixtaltepec, municipio de Nochistlán, Oaxaca: consideraciones estratigráficas y paleobiogeográficas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 429–443.
- Wells, B. (2006). *Hacia la construcción de Museos Comunitarios: Fundamentos para un Museo Territorial Comunitario en el lafkenmapu, Comuna de Valdivia. X región* [Tesis de licenciatura no publicada], Universidad Austral de Chile, Chile.
- Wieland, G. R. (1911). On the williamsonian tribe. *American Journal of Science*, 32(192), 433–466. <https://doi.org/10.2475/ajs.s4-32.192.433>
- Wieland, G. R. (1913). The Liassic flora of the Mixteca Alta of Mexico – its composition, age, and source. *American Journal of Science*, 36(213), 251–281. <https://doi.org/10.2475/ajs.s4-36.213.251>
- Wieland, G. R. (1914). La flora liásica de la Mixteca Alta. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 31, 1–165.
- Zepeda-Martínez, M., Martini, M., & Solari, L. (2018). A major provenance changes in sandstones from the Tezoatlán basin, southern Mexico, controlled by Jurassic, sinistral normal motion along the Salado River fault: Implications for the reconstruction of Pangea. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 447–460. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.07.008>

Bonefish (Elopomorpha, Albuliformes) remains from Late Cretaceous outcrops of San Carlos Quarry, Coahuila, Northern Mexico: evidence of a new giant Teleost in the Western Interior Seaway

Restos de fósiles de Macabí (Elopomorpha, Albuliformes) del Cretácico Tardío en los depósitos marinos de la cantera San Carlos, Coahuila, en el norte de México: evidencia de un nuevo teleósteo gigante en el Mar Interior Occidental

Kleyton Magno Cantalice^{1*}, Hector Porras-Múzquiz², Diogo de Mayrinck³,
Jesús Alvarado-Ortega¹

¹Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, 04510, México.

²Museo de Paleontología de Múzquiz, Adolfo E. Romo 935, La Cascada, Melchor Múzquiz, Coahuila, 26343, México.

³Laboratório de Ictiologia Aplicada: anatomia e evolução (LICTAE), Departamento de Ensino de Biologia, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier 524, Sala 504, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 20550-013, Brasil.

*kleytonmc@geologia.unam.mx

ABSTRACT

The discovery of suspensorium bones, comprising the hyomandibular and metapterygoid, indicates the presence of a giant species belonging to the order Albuliformes in the Late Cretaceous outcrops of Northern Coahuila. The taxonomic designation in the order Albuliformes is due to the presence of the metapterygoid cup, a postero-dorsal concavity on the metapterygoid bone which, together with its articulation with the hyomandibular, composes the hyomandibular-metapterygoid fenestra. Although the function of this structure has been debated, its presence represents a diagnostic feature for both fossil and extant Albuliformes species. Comparing the hyomandibular-metapterygoid fenestra with other bonefish is evidence that this structure is quite variable inside the order. The hyomandibular length indicates that this specimen measured approximately 3.9 meters in length, which represents three times the size of †*Farinichthys gigas*, the largest bonefish known to date, collected in Paleocene outcrops from Brazil. This taxon represents a new giant form inside the Western Interior Seaway, which differs from the other large teleostean fishes of this ancient sea for being a secondary consumer.

Keywords: Albuliformes, Late Cretaceous, Coahuila, Mexico, Western Interior Seaway.

RESUMEN

En este trabajo se describen los huesos del suspensorio de un ejemplar fósil del orden Albuliformes recuperado en los depósitos marinos del Cretácico Tardío de la región norte de Coahuila. Aunque el ejemplar sólo conserva los huesos hiomandibular y el metapterigoides, éste muestra un rasgo diagnóstico de los albuliformes: la presencia de la fenestra hiomandibular-metapterigoides formada entre las mellas presentes en los bordes posterodorsal del metapterigoides (=metapterygoid cup) y anteroventral del hiomandibular. Aunque la función de esa estructura es discutible, su presencia representa una característica exclusiva observada en especies fósiles y vivientes del orden Albuliformes.

Cómo citar / How to cite: Cantalice, K. M., Porras-Múzquiz, H., Mayrinck, D., Alvarado-Ortega, J. (2024). Bonefish (Elopomorpha, Albuliformes) Remains from Late Cretaceous Outcrops of San Carlos Quarry, Coahuila, Northern Mexico: Evidence of a New Giant Teleost in the Western Interior Seaway. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 35–44.

Manuscript received: April 11, 2023.

Manuscript corrected: December 29, 2023.

Manuscript accepted: January 2, 2024.



La comparación de dicha fenestra observada en este fósil con las de otros Albuliformes revela dos rasgos peculiares en el ejemplar estudiado. Por un lado, los huesos hiomandibular y metapterigoides son de tamaño inusualmente grandes. A partir de estos huesos, es posible estimar que la longitud del individuo al que pertenecieron pudo ser cercana a 3.9 m, triplicando el tamaño del mayor albuliforme antes conocido, †*Farinichthys gigas* del Paleoceno de Brasil. Por otro lado, la fenestra hiomandibular-metapterigoides del ejemplar estudiado muestra una combinación peculiar de rasgos no observada en otros albuliformes, ésta es notablemente oblonga, aguda en ambos extremos y ventroposteriormente inclinada. Las presentes observaciones confirman que el fósil estudiado potencialmente representa una nueva especie albuliforme del Cretácico Tardío que vivió en la región limítrofe entre el sur del Mar Interior de Occidental y el norte del proto-Golfo de México, lo cual difiere de los demás teleosteos gigantes por ser un consumidor secundario en la cadena trófica.

Palabras clave: Albuliformes, Cretácico Tardío, Coahuila, México, Mar Interior Occidental.

1. Introduction

During the Cretaceous, the Earth's geography and climate were different from today. The landmass had changed significantly during this period, and the average global temperature was higher than in the present day, precluding the formation of polar ice caps (Hay and Floegel, 2012). Therefore, the Cretaceous represents when the sea level was higher than in recent geological periods. As a result, the lands were flooded with marine waters from diverse epicontinental seas around the globe (Hay and Floegel, 2012; Scotese, 2014).

In North America, the Western Interior Seaway (WIS) was a large tectonically regulated epicontinental sea formed and extinguished by a series of transgressions and regressions of marine waters during the Cretaceous (Kauffman and Caldwell, 1993; Miall, 2009). The WIS was a relatively shallow sea that extended 4800 kilometers crossing from the current Arctic Ocean to the Gulf of Mexico, separating North America into two landmasses named Appalachia and Laramidia (Kaufmann, 1977, 1984; Cumbaa et al., 2010).

There is remarkable biodiversity reported to the WIS and its corresponding landmasses. Invertebrate fauna, for example, comprises bivalves, gastropods, cephalopods, crustaceans, and echinoderms. Vertebrates include cartilaginous and bony fishes, marine turtles, ichthyosaurs, plesiosaurs, pterosaurs, dinosaurs, among others (e.g., Russel, 1988; Cumbaa et al., 2013; Murray and Cook, 2016). Earliest paleontological studies concentrate on fossil localities in the United States of America (USA) and Canada (e.g., Cope, 1872; Hattin, 1975; Russel, 1988; Kirkland, 1989; Polcyn et al., 2008; Cumbaa et al., 2010; 2013; Underwood and Cumbaa, 2010; Bice et al., 2013; Murray and Cook, 2016); however, current studies in several Late Cretaceous outcrops of northern Coahuila de Zaragoza state have been revealing the paleontological potential of Mexico to understand the biodiversity distributed in the austral region of the WIS, close to the opening in the proto-Gulf of Mexico (Blanco-Piñón and Alvarado-Ortega, 2005; Stinnesbeck et al., 2005; Giersch et al., 2008; Alvarado-Ortega and Porras-Múzquiz, 2009; Riquelme et al., 2013; Stinnesbeck et al., 2023).

The marine fossil assemblage in these Mexican fossil beds comprises planktonic foraminifera, bivalves, ammonoids, crustaceans, chondrichthyans, actinopterygians, turtles, and mosasaurs (Blanco-Piñón & Alvarado-Ortega, 2005; Stinnesbeck et al., 2005; Giersch et al., 2008; Alvarado-Ortega and Porras-Múzquiz, 2009; Riquelme et al., 2013). The fossil diversity and geology of the Late Cretaceous marine localities from northern Coahuila de Zaragoza are poorly understood. The lithology is poorly known, and several taxa need identification. Here we describe a new teleost fish belonging to the order Albuliformes. Although incomplete, this specimen constitutes a new report of a bonefish and the largest albuliform fish documented until now; consequently, its discovery indicates the presence of giant teleost species inhabiting the WIS belonging to different trophic niches.

1.1. Area of study

The Múzquiz Lagerstätte is a series of outcrops belonging to both Eagle Ford and Austin groups ranging from the Turonian to Campanian (Stinnesbeck et al., 2005; Alvarado-Ortega et al., 2006; Ifrim et al., 2007; Alvarado-Ortega and Porras-Múzquiz, 2009; 2022; Riquelme et al., 2013; López-Conde et al., 2019). They are named Múzquiz Lagerstätte because of its proximity to the Melchor Múzquiz municipality (about 150 km) and its great diversity of fossils found, with several specimens showing an exceptional degree of preservation. The geological settings of these quarries are poorly understood, so the stratigraphic group and age are based mainly on the fossil record.

The specimen studied was collected in the San Carlos quarry, one of the fossil beds of the Múzquiz Lagerstätte that belonged to the Austin group. The San Carlos quarry is in 29°04'11"N and 100°47'12"W coordinates, near Jimenez municipality, northern Coahuila de Zaragoza. According to previous studies (i.e., Carrasco, 1963; Piedad-Sánchez et al., 2011; López-Conde et al., 2019), the Austin Group in Jimenez is divided into two distinct members belonging to the Campanian and named La Dessau and Los Tecolotes. Here, the fossil record comes from the Los Tecolotes member, dated of the Campanian based on the presence of the ammonites †*Scaphites*

hippocrepis DeKay, 1828 and †*Delawarella delawarensis* Collignon, 1948 (Carrasco, 1969; Silva-Martínez *et al.*, 2014; López-Conde *et al.*, 2019).

The San Carlos quarry consists of parallel laminate strata ranging between 20 to 100 cm thick and comprising siltstone and reddish-brown shale, interleaved with yellowish-gray marls. Thin anhydrite layers of about 3 cm are occasionally present. Only one turtle fossil, †*Desmatochelys* cf. *lowi* Williston, 1894, and teleost fragments belonging to the order Tseftiiformes have been reported from the San Carlos quarry (López-Conde *et al.*, 2019; Stinnesbeck *et al.*, 2023, fig.1); however, several other species need identification, such as mollusks, crustaceans, sharks, and bony fishes (Piedad-Sánchez *et al.*, 2011, personal observation). The environment of the San Carlos quarry is tentatively assigned to a regressive sedimentary deposit of marine origin on a shallow shelf near the coast (Piedad-Sánchez *et al.*, 2011).

2. Materials and methods

The unique specimen (MUZ-3915) is conserved in part and counterpart in a yellowish stratum about 40 cm thick. This specimen is currently housed at the Museo de Paleontología de Múzquiz [Paleontological Museum of Múzquiz], at Melchor Múzquiz municipality, Coahuila de Zaragoza State, northern Mexico. Measures were performed using a digital dial caliper and photographs with a Nikon DSLR D5500. The free softwares GIMP v. 2.10.32 and Inkscape v.1.2 were used for the image edition and line drawings.

The anatomical interpretation follows that of Forey (1973). The comparative material comprises the unique specimen of †*Nunaneichthys mexicanus* Hernández-Guerrero, Cantalice, González-Rodríguez, and Bravo-Cuevas, 2021 (UAHMP-4232), housed at the Museo de Paleontología of the Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo [Museum of Paleontology of the Autonomous University of Hidalgo State]; 12 specimens of †*Macabi tojolabalensis* L-Recinos, Cantalice, Caballero-Viñas, and Alvarado-Ortega, 2023 (IGM 13105 to IGM 13116) housed at Colección Nacional de Paleontología [National Collection of Paleontology] of the Universidad Nacional Autónoma de México [Autonomous National University of Mexico] (CNP-UNAM); and finally, one dry skeleton of the living species *Albula vulpes* (Linnaeus, 1758) (CRM-1246), from Paraíba State, Northeast Brazil, and housed at the extant specimen section of the CNP-UNAM. Data about other Albuliformes have been taken from the literature (*e.g.*, Woodward, 1893; Ridewood, 1904; Blake, 1940; Estes, 1969; Forey, 1973; Forey *et al.*, 1996, 2003; Filleul, 2001; Gallo and Figueiredo, 2002; Forey and Maisey, 2010; Mayrinck *et al.*, 2010; Figueiredo *et al.*, 2012; Bartholomai, 2013;

Taverne and Capasso, 2018; Hernández-Guerrero *et al.*, 2021; L-Recinos *et al.*, 2023).

3. Results

3.1. Systematic Paleontology

Infraclass Teleostei Müller, 1845

Super cohort Teleocephala De Pinna, 1996

Cohort Elopomorpha Greenwood, Rosen, Weitzman, and Myers, 1966

Order Albuliformes Greenwood, Rosen, Weitzman, and Myers, 1966

Albuliformes *incertae sedis*

Referred specimen. MUZ-3915; part and counterpart (Figure 1).

Locality and horizon. San Carlos quarry, 29°04'11"N, and 100°47'12"W, at Jimenez municipality, Coahuila de Zaragoza, northern Mexico. This fossil bed belongs to the Campanian strata of the Austin Group.

3.2. Description

The metapterygoid (mpt) is inclined and presents a concavity on its anteroventral border. The ventral border is semi-circular and medially presents several grooves. Posteriorly, the ventral edge of the metapterygoid covers the anterior crest (an.c) of the hyomandibular (Figure 2). Above this region is the metapterygoid cup (mpt.cup), a concavity of this bone commonly found in Elopomorpha (Forey, 1973). Like in Albuliformes, this structure in MUZ-3915 forms a fenestra (Figure 2A, C); the hyomandibular-metapterygoid fenestra (hy-mpt.f), which according to Forey (1973), is for the passage of the levator arcus palatine muscle to insert upon the medial face of the metapterygoid (see discussion). The dorsal edge of the metapterygoid is prolonged and exceeds the articulation with the hyomandibular (Figure 2C). At least four grooves are discernible running along this region.

The hyomandibular is cross-shaped and is larger than the metapterygoid (Figure 1). The anterior edge is projected, forming the facet for articulation with the metapterygoid (mpt.fc), which composes the dorsal limit of the hyomandibular-metapterygoid fenestra (Figure 2). The dorsal border of the hyomandibular articulates the suspensorium with the neurocranium. In the specimen studied, the anterodorsal (ad.p) and posterodorsal (pd.p) projections are separated by a shallow groove. The opercular projection (op.p) is posterior, articulating the hyomandibular and the opercle. The ventral edge of the hyomandibular (v.p) is prolonged and presents a well-developed anterior groove, named

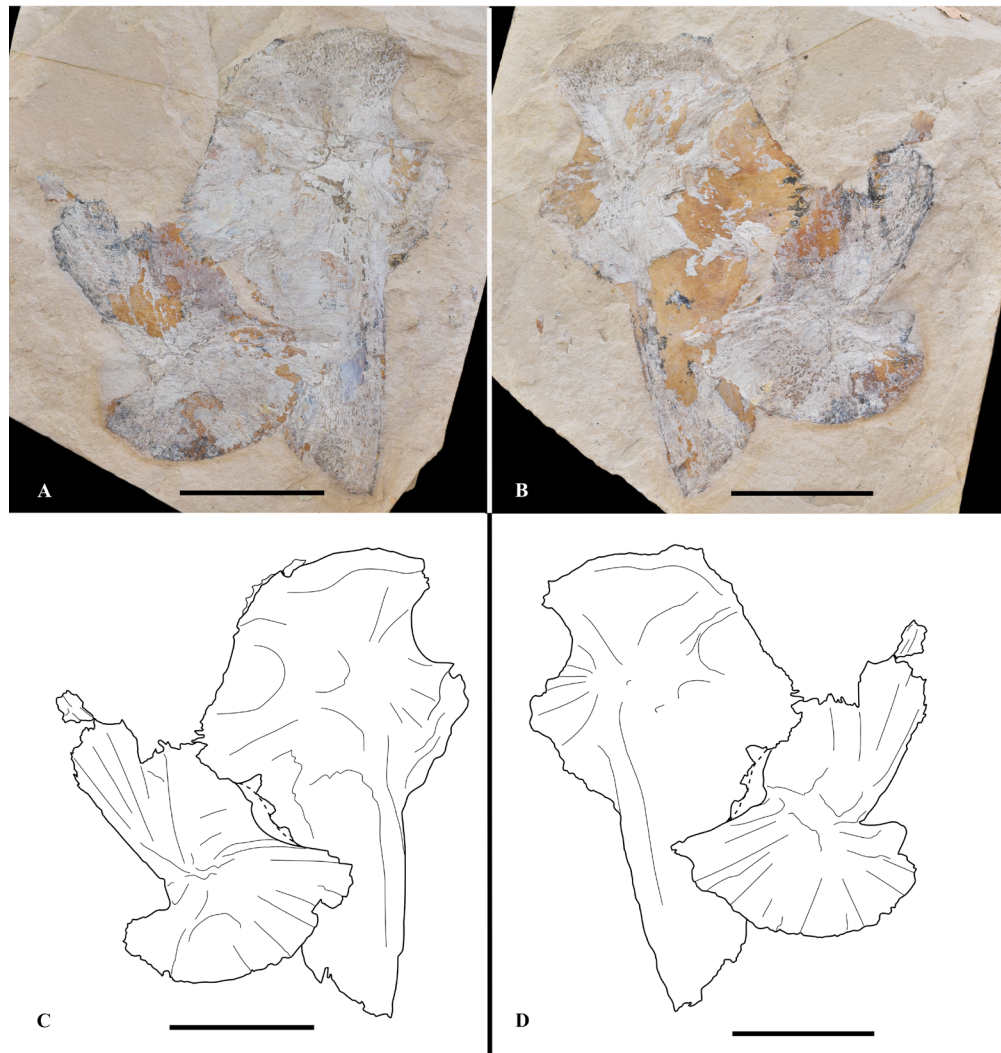


Figure 1. Photography (A, B) and line drawing (C, D) of MUZ-3915, in part (A, C) and counterpart (B, D). The scale indicates 50 mm.

preopercular groove (pop.g). The ventral border of the hyomandibular is covered by the posterior portion of the metapterygoid, forming the ventral border of the hyomandibular-metapterygoid fenestra.

3.3. Remarks

In addition to the specimen described herein, bonefishes distributed inside the WIS domains include members of the extinct subfamily †Phyllodontinae, composed of three genera, †*Casierus* Estes, 1969, †*Phyllodus* Agassiz, 1843 and †*Paralbula* Blake, 1940, which are recognized by fragmented tooth plates from the Late Cretaceous of USA and Canada (e.g., Estes, 1969; Applegate, 1970; Cumbaa et al., 2010, 2013; Murray and Cook, 2016). The best-preserved fossil Albuliformes in the WIS is the species †*Albula dunklei*, from Mooreville Shale of the Selma Formation, Late Cretaceous (Santonian to Campanian) of Alabama (Applegate, 1970) and †*Deltaichthys albuloides*, from the

Upper Cretaceous of Eagle Ford formation, Texas (Fielitz and Bardack, 1992).

The genera †*Casierus*, †*Phyllodus*, and †*Paralbula* are represented by tooth plates (e.g., Estes, 1969, Cumbaa et al., 2013), a structure not observed in the specimen here analyzed. †*Albula dunklei* is also not compared with the presented fossil due to the lack of suspensorium bones. The preserved material includes the middle portion of the body (including the pectoral-fin girdle) and several scales, vertebrae, and isolated head bones (Applegate, 1970). On the contrary, †*D. albuloides* is a nearly complete and three-dimensional species that preserves both hyomandibular and metapterygoid bones (Fielitz and Bardack, 1992); however, the configuration is distinct from that found in the albuliform specimen of the San Carlos quarry (see discussion). All these features indicate that the albuliform from the San Carlos quarry should represent a new bonefish species; however, due to the absence of more detailed morphological evidence, this result should be

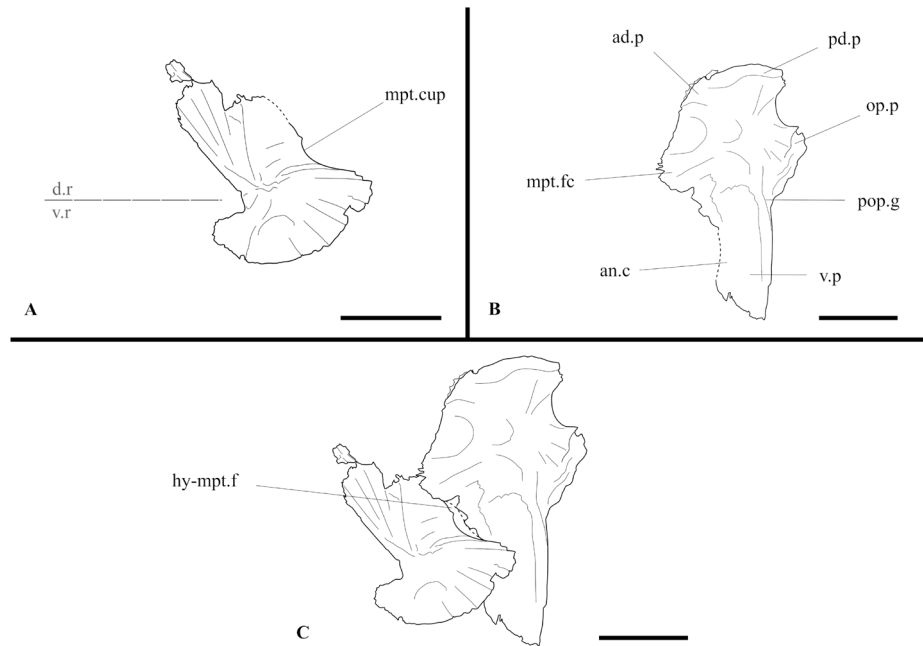


Figure 2. Schematic drawing of the metapterygoid (A, C) and hyomandibular (B, C) of MUZ-3915. The scales indicate 50 mm. Abbreviations: an.c., anterior crest; ad.p., antero-dorsal process; an.p., anterior portion; d.r., dorsal region; hy-mpt.f., hyomandibular-metapterygoid fenestra; mpt.cup: metapterygoid cup; mpt.fc., metapterygoid facet; op.p., opercular process; pd.p., postero-dorsal process; pop.g., preopercular groove; v.p. ventral portion; v.r. ventral region.

considered preliminary to the precise taxonomic assignment. At this moment, the present fossil described is an albuliform *incertae sedis*.

4. Discussion

4.1. The hyomandibular-metapterygoid fenestra in bonefishes

The presence of a hyomandibular-metapterygoid fenestra was first observed by Forey (1973) as a feature present in †*Osmeroides latifrons* Woodward, 1907, and the subfamilies Albulinae and Pterothrissinae. Currently, it is considered a diagnostic character to the order Albuliformes (Hernández-Guerrero *et al.*, 2021); however, there are several fossil species in which this structure is not observed due to the poor state of preservation, such as in all the subfamily Phylloodontidae (Estes, 1969) and †*Macabi tojolabalensis* (L-Recinos *et al.*, 2023).

The hyomandibular-metapterygoid fenestra is formed by the connection with the metapterygoid and the hyomandibular, together with the posterodorsal concavity of the metapterygoid (the mpt. cup), which, according to Forey (1973), passes a deep division of the *levator arcus palatine* muscle to insert upon the medial face of the metapterygoid (Forey, 1973, p. 132). Although this hypothesis is widely accepted, Figueiredo *et al.* (2012) stated that there is a membrane covering the hyomandibular-metapterygoid fenestra in extant Albuliformes, indicating that neither muscle nor nerves

passed through this structure. These authors pointed out that this structure should be a transformation to reduce the pressure of the suspensorium when crushing their prey, an adaptation to the durophage feeding habit (Figueiredo *et al.*, 2012).

The presence or absence of muscle fibers through the hyomandibular-metapterygoid fenestra will be elucidated through a noninvasive morphological analysis of extant species, which is outside the scope of this work. Nevertheless, we corroborate the correlation between the hyomandibular and metapterygoid bones (and the hyomandibular-metapterygoid fenestra shape) with the feeding habitat (Figueiredo *et al.*, 2012) since it is notable the inter-specific variation of this structure (Figure 3).

In general, the hyomandibular-metapterygoid fenestra is larger in living species. Furthermore, in extant species of *Albula* and *Pterothrissus*, the dorsal border of the metapterygoid is directed to the posterior region of the body, and the anterior edge of the metapterygoid is expanded. Within the fossil record, the species †*Nunaneichthys mexicanus* presents the smallest fenestra (Hernández-Guerrero *et al.*, 2021). The hyomandibular and the fenestra shape of the species described herein resemble those of †*Farinichthys gigas* and †*Deltaichthys albuloides*, except for the hyomandibular in †*F. gigas*, which seems less developed (Gallo and Figueiredo, 2002). On the contrary, in †*D. albuloides*, the metapterygoid bone presents a reduced anterodorsal border, and the hyomandibular-metapterygoid fenestra is more developed (Figure 3D).

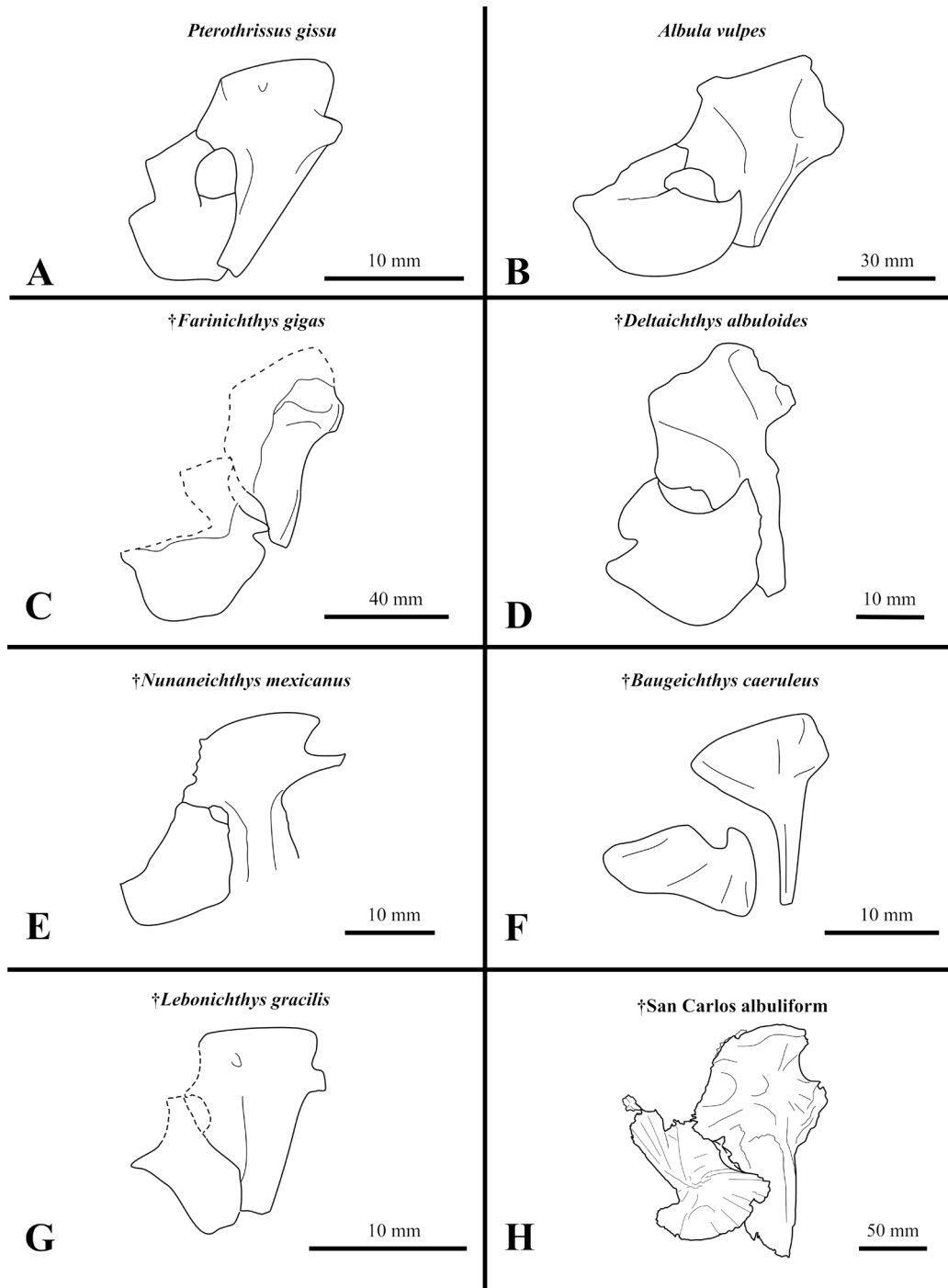


Figure 3. Line drawing of the type of articulation of the metapterygoid and the hyomandibular in different albuliform species. A and G are in internal view. References: A and G) Forey (1973); B) CRM-1246; C) Gallo and Figueiredo (2002); D) Fielitz and Bardack (1992); E) Hernández-Guerrero *et al.* (2021); F) Filleul (2001); H) MUZ-3915.

The species †*Baugeichthys caeruleus* shows a different configuration of the hyomandibular and metapterygoid bones compared with other albuliform taxa (Figure 3). The ventral branch of the hyomandibular is straight, and the metapterygoid cup is dorsally positioned and not on the posterodorsal edge. The metapterygoid cup in the dorsal position is also noted in extant members of the order Elopiformes, such as *Megalops cyprinoides* (Forey, 1973). The albuliform from the San Carlos

quarry, like other Mesozoic bonefishes, presents a small hyomandibular-metapterygoid fenestra, which indicates a modification of this structure in bonefishes during the Cenozoic.

4.2. The Giant Bonefish

Extant members of the order Albuliformes are not large species compared to other Elopomorphs, such as

Megalops cyprinoides (Forey, 1973). The maximum length reported is 105 cm for an *Albula vulpes* species (Nelson *et al.*, 2016). The best-preserved albuliform fossil taxa also are not large, except by †*Farinichthys gigas* from the marine Paleocene outcrops of Maria Farinha Formation, Northeastern Brazil (Gallo and Figueredo, 2002). This species was described based on incomplete and semi-articulated fossils and considered the largest bonefish (Gallo and Figueredo, 2002), reaching more than 1.30 meters (*cf.* †*F. gigas* is probably 23% larger than the extant species) (Figure 4).

Correlating the hyomandibular length of *Albula vulpes*, †*Farinichthys gigas*, and the species herein described, it indicates that the bonefish from the San Carlos quarry reaches about 3.9 meters in length (Figure 4). This feature implies that Mesozoic Bonefishes were bigger than Cenozoic species and, in the WIS, this group was three times longer in the maximum length compared to †*F. gigas*. Representing, thus, the largest albuliform fish reported to date.

4.3. A new giant species inside the Western Interior Seaway

Giant Albuliformes fishes are rare; however, large organisms are common inside the Western Interior Seaway. Giant bivalves inoceramids, such as †*Volviceramus grandis* Stoliczka, 1871, †*Cladoceramus undulatoplicatus* (Roemer, 1852), †*Platyceramus platinus* (Logan, 1898) were abundant inside the WIS domains.

Another common giant invertebrate that lived in the WIS was the cephalopod †*Tusoteuthis longa* Logan, 1898, a squid that may have measured eight to 20 meters long. These invertebrates probably composed the main food source of the specimen herein described since extant Albuliformes are secondary predators, which usually prey on shelled invertebrates (Cumbaa *et al.*, 2013).

Giant cartilaginous fishes include the top predator †*Cretoxyrhina mantelli* (Agassiz, 1835), which could reach about 7 meters in length; and †*Ptychodus polygyrus* Agassiz, 1835, a durophage hybodontiform shark with about 10 meters (Shimada, 1997; Hamm, 2010). A giant sarcopterygian fish, †*Megalocoelacanthus dobiei* Schwimmer, Stewart, and Williams, 1994, the largest coelacanth known to date with about 3 meters, also inhabits the WIS (Schwimmer *et al.*, 1994). Giant teleost fishes are more diverse in this ancient sea and include †*Xiphactinus audax* Leidy, 1870, †*Gillicus arcuatus* Hay, 1898, †*Saurodon leanus* Hays, 1830, †*Ichthyodectes ctenodon* Cope, 1870, †*Bonnerichthys gladius* (Cope, 1873), and †*Pachyrhizodus caninus* (Russel, 1988; Alvarado-Ortega and Porras-Múzquiz, 2009; Friedman *et al.*, 2010; Shimada, 2015). Except for †*B. gladius*, which is a plankton-feeder fish reaching about 16 meters, the other giant teleostean fishes are piscivore top predators (Friedman *et al.*, 2010; Shimada, 2015; Table 1).

Although the teeth are not observed in the present described species, the presence of molariform teeth in the parasphenoid and the branchial apparatus is a common feature present in members of the order

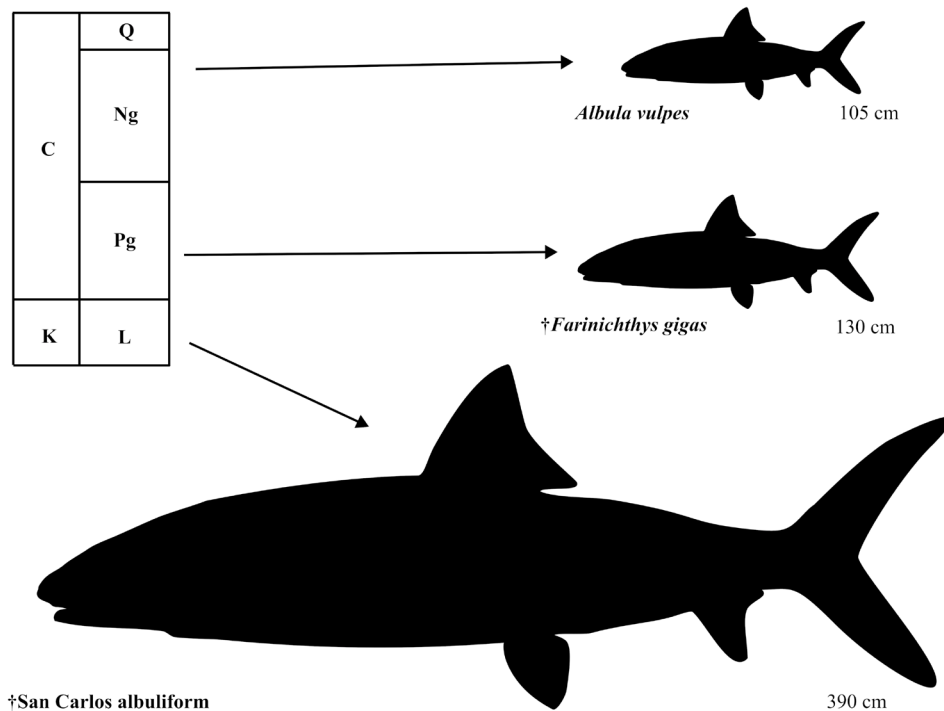


Figure 4. The Geological Age and the maximum length of Albuliformes fishes reported to date. References: Nelson *et al.* (2016) for *Albula vulpes*; Gallo and Figueredo (2002) for †*Farinichthys gigas*. Abbreviations: C, Cenozoic; K, Cretaceous, L, late; Ng, Neogene; Pg, Paleogene; Q, Quaternary.

Table 1. Some Giant teleostomorph fishes from the Western Interior Seaway and their respective trophic niches.

Taxon	Trophic niche	References
<i>Pachyrhizodus caninus</i>	Top predator (piscivore)	Shimada (2015)
<i>Xiphactinus audax</i>	Top predator (piscivore)	Walker (2006)
<i>Ichthyodectes ctenodont</i>	Top predator (piscivore)	Everhart et al. (2010)
<i>Gillicus arcuatus</i>	Top predator (piscivore)	Walker (2006)
<i>Prorosphyraena perniciososa</i>	Top predator (piscivore)	Liston et al. (2019)
<i>Saurodon leanus</i>	Top predator (piscivore)	Everhart et al. (2010)
<i>Stratodus apicalis</i>	Top predator (piscivore)	Cope (1871)
San Carlos albuliform	Secondary consumer (invertebrate-feeder)	Present study
<i>Bonnerichthys gladius</i>	Primary consumer (planktonic)	Friedman et al. (2010)

Albuliformes, which allows these groups to consume hard-shelled organisms. This species, therefore, represents an important complement to understanding the different trophic niches occupied by teleost fishes inside the WIS domains.

5. Conclusion

A new Mesozoic albuliform from the San Carlos quarry, Coahuila state, northern Mexico is described. Although incomplete, the presence of the hyomandibular-metapterygoid fenestra allows us to recognize this species as a bonefish. The correlation between the size of the bones preserved in this new taxon and other albuliform taxa indicates that the new species herein reported reaches about 3.9 meters in length, which represents the largest bonefish known to date. Giant teleost fishes are common inside the WIS domains, however, are represented mainly by piscivore taxa and one planktivorous. Since albuliforms are adapted to the durophage feeding habit, it is suggested that the taxon reported herein represents a complement of the trophic niche occupied by the teleost inside this remarkable extinct sea.

Acknowledgments

Thanks to the quarry workers from the San Carlos quarry for donating the specimen studied. Thanks to Juanita Maria Robles Herrera for giving us access to the material. Thanks to Stephany Pacheco Ordaz for helping with the material cataloging. Thanks to Oliver Ariel López Conde for discussion about vertebrate gigantism in the WIS domains. Thanks to the two anonymous reviewers and Sandra Ramos who improved the final version of the manuscript. This work was financially supported through the grants DGAPA-PAPIIT IA206123 and IN119020.

References

- Agassiz, L. (1835). Rapport sur les poissons fossiles découverts depuis la publication de la troisième livraison. In *Feuilleton additionnel sur les Recherches sur les poissons fossiles. Quatrième livraison* (Janvier 1835). Imprimerie de Petitpierre et Prince (text), Neuchâtel, 39–64.
- Agassiz, L. (1843). *Recherches sur les poissons fossiles*. Tome II, Contenant l'Histoire de l'Ordre des Ganoides. Imprimerie de Petitpierre, Neuchâtel, 336 p.
- Alvarado-Ortega, J., & Porras-Múzquiz, H. (2009). On the occurrence of *Gillicus arcuatus* (Cope, 1875) (Pisces, Ichthyodectiformes†) in Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(2), 215–224. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2009v61n2a9>
- Alvarado-Ortega, J., & Porras-Múzquiz, H. (2022). On the presence of *Xiphactinus* (Teleostei, Ichthyodectiformes) in the Coniacian-Campanian marine deposits of the Piedritas site, Coahuila, northern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 39(2), 142–150. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2022.2.1684>
- Alvarado-Ortega, J., Blanco-Piñón, A., & Porras-Múzquiz, H. (2006). Primer registro de *Saurodon* (Teleostei: Ichthyodectiformes) en la cantera La Mula, Formación Eagle Ford (Cretácico Superior: Turoniano), Múzquiz, Estado de Coahuila, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 23(1), 107–112. <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/article/view/829>
- Applegate, S. P. (1970). The vertebrate fauna of the Selma Formation of Alabama. Part III, The Fishes. *Fieldiana: Geology Memorior*, 3(8), 389–433.
- Bartholomai, A. (2013). New teleosts (Elopomorpha: Albuliformes) from the Lower Cretaceous (Late Albian) of the Eromanga Basin, Queensland, Australia. *Memoirs of the Queensland Museum - Nature*, 58, 73–94. <https://doi.org/10.17082/j.2204-1478.58.2013.2013-09>
- Bice, K. N., Shimada, K., & Kirkland, J. I. (2013). Late Cretaceous marine fishes from the upper Greenhorn Limestone in southeastern Nebraska. *Kansas Academy of Science, Transactions*, 116(1–2), 22–26. <https://www.jstor.org/stable/42637225>
- Blake, S. F. (1940). *Paralbula*, a new fossil fish based on dental plates from the Eocene and Miocene of Maryland. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 30(5), 205–209. <https://www.jstor.org/stable/24529724>
- Blanco-Piñón, A., & Alvarado-Ortega, J. (2005). Fishes from La Mula quarries, a new Late Cretaceous locality from the vicinity of Múzquiz, Coahuila, NE Mexico. In Arratia, G., Schultze, H.-P., and Wilson, M. V. H. (Eds.), *Mesozoic Fishes 4 – Homology and Phylogeny* (pp. 37–41). Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.

- 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, V. B. (1969). Amonites del Campaniano inferior del norte de Coahuila. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 30(2), 139–154. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1967v30n2a2>
- Collignon, M. (1948). Ammonites Neocretacees du Menabe (Madagascar) I. Les Texanitidae (part 1 and 2). *Annales Geologiques Service des Mines, Gouvernement Général de Madagascar*. Fasc. 13, 85–19, lim. 7, 12, 15; Fasc. 14, 34–36, lam. 31.
- Cope, E. D. (1870). On the Saurodontidae. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 11(81), 529–548. <https://www.jstor.org/stable/981509>
- Cope, E. D. (1872). On the families of fishes of the Cretaceous Formation of Kansas. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 12(81), 327–357. <https://biostor.org/reference/202550>
- Cope, E. D. (1873). On two new species of Saurodontidae. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 25, 337–339.
- Cumbaa, S. L., Shimada, K., & Cook, T. D. (2010). Mid-Cenomanian vertebrate faunas of the Western Interior Seaway of North America and their evolutionary, paleobiogeographical, and paleoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 295(1–2), 199–214. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.05.038>
- Cumbaa, S. L., Underwood, C. J., & Schröder-Adams, C. J. (2013). Paleoenvironments and paleoecology of the vertebrate fauna from a Late Cretaceous marine bonebed, Canada. In Arratia, G., Schultze, H.-P. and Wilson, M.V.H. (Eds.), *Mesozoic Fishes 5—Global Diversity and Evolution* (pp. 509–524). Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich.
- Dekay, J. E. (1828). Report on several multilocular shells from the state of Delaware; with observations of a second specimen of the new fossil genus *Eurypterus*. *Annals of the Lyceum of Natural History of New York*, 2, 273–279.
- De Pinna, M. C. (1996). Teleostean monophyly. In Stiassny, M. L. J., Parenti, L. R., and Johnson G. D. (Eds.), *Interrelationships of fishes* (pp. 147–162). Academic Press, San Diego. <https://doi.org/10.1016/B978-012670950-6/50008-4>
- Estes, R. (1969). Studies on fossil phylloodont fishes: interrelationships and evolution in the Phylloodontidae (Albuloidei). *Copeia*, 2(Jun. 3), 317–331. <https://doi.org/10.2307/1442082>
- Fielitz, C., & Bardack, D. (1992). *Deltaichthys albuloides*, a new and unusually preserved albulid (Teleostei) probably from the Cretaceous of Texas. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 133–141. <https://www.jstor.org/stable/4523434>
- Figueiredo, F. J., Gallo, V., & Leal, M. E. C. (2012). Phylogenetic relationships of the elopomorph fish †*Paraelops cearensis* Silva Santos revisited: Evidence from new specimens. *Cretaceous Research*, 37, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2012.03.012>
- Filleul, A. (2001). *Baugeichthys caeruleus*, gen. et sp. nov., a New Albuliform Fish from the Hauterivian of the Massif Des Bauges (France). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 20(4), 637–644. <https://www.jstor.org/stable/4524144>
- Forey, P. L. (1973). A revision of the Elopiform fishes, fossil and recent. *Bulletin of the British Museum of Natural History (Geology)*, 10, 1–222.
- Forey, P. L., & Maisey, J. G. (2010). Structure and relationships of †*Brannerion* (Albuloidei), an Early Cretaceous teleost from Brazil. In J. S. Nelson, H.-P. Schultze, & M. H. V. Wilson (Eds.), *Origin and Phylogenetic Interrelationships of Teleosts* (pp. 183–218). Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Forey, P. L., Littlewood, D. T. J., Ritchie, P., & Meyer, A. (1996). Interrelationships of elopomorph fishes. In Stiassny, M. L. J., Parenti L. R. and Johnson G. D. (Eds.), *Interrelationships of fishes* (pp. 175–191). Academic Press, San Diego. <https://doi.org/10.1016/B978-012670950-6/50010-2>
- Forey, P. L., Yi, L., Patterson, C., & Davies, C. E. (2003). Fossil fishes from the Cenomanian (Upper Cretaceous) of Namoura, Lebanon. *Journal of Systematic Palaeontology*, 1(4), 227–330. <https://doi.org/10.1017/S147720190300107X>
- Friedman, M., Shimada, K., Martin, L. D., Everhart, M. J., Liston, J., Maltese, A., & Triebold, M. (2010). 100-million-year dynasty of giant planktivorous bony fishes in the Mesozoic seas. *Science*, 327(5968), 990–993. <https://doi.org/10.1126/science.1184743>
- Gallo, V., & Figueiredo, F. J. (2002). *Farinichthys gigas*, a new albulid fish (Teleostei: Elopomorpha) from the Paleocene of the Pernambuco-Paraíba Basin, northeastern Brazil. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22(4), 747–758. [https://doi.org/10.1671/0272-4634\(2002\)022\[0747:FGANAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2002)022[0747:FGANAF]2.0.CO;2)
- Giersch, S., Frey, E., Stinnesbeck, W., & Gonzáles-Gonzáles, A. H. (2008). Fossil fish assemblages of northeastern Mexico: New evidence of Mid Cretaceous Actinopterygian radiation [Abstract]. In 6th Meeting of the European Association of Vertebrate Paleontologists, Muzeum Spisá, Spisská Nová Ves, Slovak Republic, Abstracts Volume, pp. 43–45.
- Greenwood, P. H., Rosen, D. E., Weitzman, S. H., & Myers, G. S. (1966). Phyletic studies of teleostean fishes, with a provisional classification of living forms. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 131, 339–456. <http://hdl.handle.net/2246/1678>
- Hamm, S. A. (2010). The Late Cretaceous shark, *Ptychodus rugosus*, (Ptychodontidae) in the Western Interior Sea. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 113(1/2), 44–55. <https://doi.org/10.1660/062.113.0203>
- Hattin, D. E. (1975). Stratigraphy and Depositional Environment of Greenhorn Limestone (Upper Cretaceous) of Kansas. *Kansas Geological Survey Bulletin*, 209, 128 p.
- Hay, W. W., & Floegel, S. (2012). New thoughts about the Cretaceous climate and oceans. *Earth-Sciences Reviews*, 115, 262–272. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.09.008>
- Hays, I. (1830). Description of a fragment of the head of a new fossil animal, discovered in a marl pit, near Moorestown, New Jersey. *Transactions of the American Philosophical Society*, 3, 471–477. <https://doi.org/10.2307/1005151>
- Hay, O. P. (1898). Notes on species of Ichthyodectes, including the new species *I. cruentus*, and on the related and herein established genus *Gillicus*. *American Journal of Science*, 6(33), 225.
- Hernández-Guerrero, C., Cantalice, K. M., González-Rodríguez, K. A., & Bravo-Cuevas, V. M. (2021). The first record of a pterothrissin (Albuliformes, Albulidae) from the Muhi Quarry, mid-Cretaceous (Albian-Cenomanian) of Hidalgo, central Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, 103032. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103032>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1127/0077-7749/2007/0245-0071>
- Kauffman, E. G. (1977). Geological and biological overview: western interior Cretaceous basin. *The Mountain Geologist*, 14, 75–99.
- Kauffman, E. G. (1984). Paleobiogeography and evolutionary response dynamic in the Cretaceous Western Interior Seaway of North America. In Westermann, G. E. G. (Ed.), *Jurassic-Cretaceous Biochronology and Paleogeography of North America* (pp. 273–306). Geological Association of Canada, St. Johns, Newfoundland, Canada.
- Kauffman, E. G., & Caldwell, W. G. E. (1993). The Western Interior Basin in space and time. *Evolution of the Western Interior Basin. Geological Association of Canada, Special Paper*, 39, 1–30.
- Kirkland, J. I. (1989). Fossil elasmobranchs from the mid-Cretaceous (Middle Cenomanian - Middle Turanian) Greenhorn Cyclothem of eastern Nebraska. *Nebraska Academy of Science, Proceedings*, 99, 1–52.
- L-Recinos, M., Cantalice, K. M., Caballero-Viñas, C., & Alvarado-Ortega, J. (2023). A new Mesozoic teleost of the subfamily Albulinae (Albuliformes: Albulidae) highlights the proto-Gulf of Mexico in the early diversification of extant bonefishes. *Journal of Systematic Palaeontology*, 21(1), 2223797. <https://doi.org/10.1080/14772019.2023.2223797>

- Leidy, J. (1870). Remarks on ichthyodorulites and certain fossil Mammalia. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 22, 12–13.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Tomo 1. Edition Decima, Reformata. Laurentii Salvii: Holmiae, 824p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.542>
- Logan, W. N. 1898. The invertebrates of the Benton, Niobrara and Fort Pierre Groups. *University of Kansas, Geological Survey*, 4, 431–518.
- López-Conde, O. A., Sterli, J., Alvarado-Ortega, J., Chavarría-Arellano, M. L., & Porras-Múzquiz, H. (2019). The first record of *Desmatochelys* cf. *D. lowii* 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>
- Mayrnick, D., Brito, P. M., & Otero, O. (2010). A new albuliform (Teleostei: Elopomorpha) from the Lower Cretaceous Santana Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Cretaceous Research*, 31(2), 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2009.11.002>
- Miall, A. D. (2009). Initiation of the Western Interior foreland basin. *Geology*, 37(4), 383–384. <https://doi.org/10.1130/focus042009.1>
- Müller, J. (1845). Untersuchungen über die Eingeweide der Fische, Schluss der vergleichenden Anatomie der Myxinoiden. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1843, 109–170. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/29197776>
- Murray, A. M., & Cook, T. D. (2016). Overview of the Late Cretaceous fishes of the northern western interior seaway. *Cretaceous Period: Biotic Diversity and Biogeography*. *New Mexico Museum of Natural History and Science*, 71, 255–261.
- Nelson, J. S., Grande, T. C., & Wilson, M. V. (2016). *Fishes of the World*. 5th Edition. John Wiley & Sons.
- Piedad-Sánchez, N., Porras-Múzquiz, H., de la Rosa-Rodríguez, G., Carrillo-Pedroza, F. R., Flores-Castro, K., Esquivel-Macias, C., Sánchez-Hernández, O. A., Blancas-Zamora, J. A., Salas-Gutiérrez, D. N., Saucedo-González, D., Diaz-Garza, J. F., Quiroz-Hinojosa, G., Zamudio-Guzmán, I., & González-Carrillo, F. (2011). Litoestratigrafía preliminar de un depósito marino en la región de San Carlos, Municipio de Jiménez, Coahuila de Zaragoza, Norte de México. En *IX Congreso cubano de Geología (Geología 2011), Estratigrafía y Paleontología. 4 al 8 de abril de 2011*. ISBN 978-959-7117-30-8. p.1.
- Polcyn, M. J., Bell, G. L., Jr., Shimada, K., & Everhart, M. J. (2008). The oldest North American mosasaurs (Reptilia: Squamata) from the Turanian (Upper Cretaceous) of Kansas and Texas with comments on the radiations of major mosasaur clades. In Everhart, M. J. (ed.), *Proceedings of the Second Mosasaur Meeting* (pp. 137–155). Fort Hays State University.
- Ridewood, W. G. (1904). 4. On the Cranial Osteology of the Fishes of the Families Elopidae and Albulidae, with Remarks on the Morphology of the Skull in the Lower Teleostean Fishes generally. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 74(3), 35–81. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1904.tb08312.x>
- Riquelme, F., Alvarado-Ortega, J., Ruvalcaba-Sil, J. L., Aguilar-Franco, M., & Porras-Múzquiz, H. (2013). Chemical fingerprints and microbial biomineralization of fish muscle tissues from the Late Cretaceous Múzquiz Lagerstätte, Mexico. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 30(2), 417–435. <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/article/view/125>
- Roemer, C. F. (1852). Die Kreidebildungen von Texas und ihre organischen Einschlüsse. 100 p. Adolph Marcus; Bonn. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.15015>
- Russell, D. A. (1988). A check list of North American marine Cretaceous vertebrates including freshwater fishes. *Occasional Papers of Tyrrell Museum of Palaeontology*, 4, 1–57.
- Schwimmer, D. R., Stewart, J. D., & Williams, G. D. (1994). Giant fossil coelacanths of the Late Cretaceous in the eastern United States. *Geology*, 22(6), 503–506. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0503:GFCOTL>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0503:GFCOTL>2.3.CO;2)
- Scotese, C. R. (2014). Atlas of Early Cretaceous Paleogeographic Maps, *PALEOMAP Atlas for ArcGIS, volume 2, The Cretaceous*, Maps 23–31, Mollweide Projection, PALEOMAP Project, Evanston, IL. <https://doi.org/10.13140/2.1.4099.4560>
- Shimada, K. (1997). Gigantic lamnoid shark vertebra from the Lower Cretaceous Kiowa Shale of Kansas. *Journal of Paleontology*, 71(3), 522–524. <https://doi.org/10.1017/S0022336000039536>
- Shimada, K. (2015). Body form and paleoecology of the large Late Cretaceous bony fish, *Pachyrhizodus caninus*. *Cretaceous Research*, 52, 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2014.10.006>
- Silva-Martínez, L. E., Blanco-Piñón, A., & de León-González, J. A. (2014). Equinoideos del Cretácico Tardío del Norte de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 377–395. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2014v66n2a12>
- Stinnesbeck, W., Ifrim, C., Schmidt, H., Rindfleisch, A., Buchy, M. C., Frey, E., Gonzalez-Gonzalez, A. H., Vega, F. V., 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 geológicas*, 22(3), 401–418. <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/article/view/847>
- Stinnesbeck, E. S., Herder, F., Rust, J., & Stinnesbeck, W. (2023). Taphonomy of the teleost *Tselfatia formosa* Arambourg, 1943 from Vallecillo, NE Mexico. *PLoS ONE*, 18(2), e0280797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280797>
- Stoliczka, F. (1871). Cretaceous fauna of southern India. 3, The Pelecypoda, with a review of all known genera of this class, fossil and Recent. *Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, 537.
- Taverne, L., & Capasso, L. (2018). Osteology and relationships of *Italoalbula pietrarajae* gen. and sp. nov. (Teleostei, Albuliformes) from the Marine Cretaceous of Pietraraja (Campania, Southern Italy). *Thalassia Salentina*, 40, 95–118. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:191167151>
- Underwood, C. J., & Cumbaa, S. L. (2010). Chondrichthyans from a Cenomanian (Late Cretaceous) bonebed, Saskatchewan, Canada. *Palaeontology*, 54, 903–944. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2010.00969.x>
- Williston, S. M. (1894). *A New Turtle from the Benton Cretaceous* (p. 5-18). Kansas University Quarterly, 5–18.
- Woodward, A. S. (1893). Palaeichthyological notes. *Journal of Natural History*, 12(70), 281–287.
- Woodward, A. S. (1907). The fossil fishes of the English Chalk, pt. 3. *Monograph of the Palaeontographical Society, London*, 97–128. <https://doi.org/10.1080/02693445.1907.12035529>

Icnofósiles en la Formación Ahuichila, noreste de México

Ichnofossils in the Ahuichila Formation, northeastern Mexico

Samuel Eguiluz-de Antuñano^{1,*}; María Isabel Hernández Ocaña²

¹ Consultor, Ciudad de México; Rinconada Precolombina 103, CDMX.

² Goldengeociencias, Nuevo León; Cádiz No. 827, Colonia Anzures, Benito Juárez.

*seguiluz662@gmail.com

Resumen

En la Formación Ahuichila hay trazas fósiles que se identifican a nivel icnogénico como *Planolites*, *Palaeophycus*, *Cochlichnus*, *Thalassinoides*, *Camborygma* y ?*Protovirgularia*, así como rizolitos. Estas trazas posiblemente se asocian con la icnofacies *Scoyenia*, la cual se caracteriza por desarrollarse en sedimentos detríticos bien oxigenados de planicies de inundación y litoral lacustre. Se describe por primera vez la taxonomía de icnogéneros del Paleógeno en depósitos continentales en el noreste de México. Ante la carencia de fósiles, el conjunto icnogénico ratifica el ambiente de depósito previamente interpretado. Tobas de extracuenca intercaladas en la sucesión datan al depósito como Oligoceno. La Formación Ahuichila tiene asociaciones de litofacies que se interpretan como sub-ambientes de abanico aluvial, fluvial, evaporítico y lacustre somero, en ellos se alojan selectivamente los icnogéneros estudiados. El conjunto de trazas se encuentra en condiciones de flujo hidrodinámico variable, con alternancia de condiciones húmedas y áridas durante su depósito. Deformación de sedimento blando se vincula con la evolución sintectónica de esta formación.

Palabras clave: ambiente fluvio-lacustre, *Camborygma*, *Cochlichnus*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*.

Abstract

In the Ahuichila Formation there are ichnofossils identified at the ichnogenic level as *Planolites*, *Palaeophycus*, *Cochlichnus*, *Thalassinoides*, *Camborygma* and ?*Protovirgularia*, as well as rhizolites. These fossil traces are linked to the *Scoyenia* ichnofacies, developed in well-oxygenated detrital sediments of floodplains and lake shorelines. For the first time, Paleogene ichnogenes are described in continental deposits in northeastern Mexico. Given the lack of fossils, the ichnogenic group confirms the previously interpreted deposition environment. Extra-basin tuffs interspersed in the succession dated the deposit to the Oligocene. The Ahuichila Formation has lithofacies associations that are interpreted as alluvial, fluvial, evaporite and shallow lacustrine sub-environments, the studied ichnogenes are selectively housed in them. The set of traces is found in conditions of variable hydrodynamic flow, with alternating humid and arid conditions during their deposition. Soft sediment deformation is linked to the syntectonic evolution of this formation.

Keywords: *Camborygma*, *Cochlichnus*, fluvio-lacustrine environment, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*.

Cómo citar / How to cite: Eguiluz-de Antuñano S., & Hernández Ocaña, M. I. (2024). Icnofósiles en la Formación Ahuichila, noreste de México. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 45–55.

Manuscrito recibido: Abril 29, 2023.

Manuscrito corregido: Enero 3, 2024.

Manuscrito aceptado: Enero 5, 2024.



1. Introducción

Las trazas fósiles, ante la ausencia de fósiles, son estructuras que ayudan a interpretar las condiciones ambientales de un depósito sedimentario continental o marino, debido a que la preservación de los icnofósiles es distinta a las de los fósiles corporales. Por ejemplo, algunos organismos de cuerpo blando suelen producir un mucus que ayuda a la precipitación de minerales (Buatois y Mángano, 2008). El estudio de los icnofósiles es un valioso complemento en el análisis de facies sedimentarias y puede ayudar a confirmar o a refinar las interpretaciones de los parámetros paleoambientales como la energía del medio, el tipo de grano, la consolidación del sustrato, batimetría, oxigenación, entre otros aspectos, o bien para proporcionar interpretaciones alternativas (Buatois y Mángano, 2008; 2011).

La carencia de restos fósiles diagnósticos, hasta el momento, en la Formación Ahuichila motiva a los autores a combinar métodos alternos como la identificación icnológica, estratigrafía y sedimentología, con objeto de interpretar el ambiente y sub-ambientes en que se depositaron estas rocas sedimentarias siliciclásticas, carbonatadas y evaporíticas. Este trabajo reporta diversos icnogéneros, con sus correspondientes descripciones, asociados a depósitos continentales (fluvio-lacustres) en el noreste de México, en un entorno tectónico inestable de la Formación Ahuichila (Oligoceno), que aflora en el bajío del mismo nombre, en el estado de Coahuila.

Como antecedentes, Kellum (1932, 1936) describió una unidad conglomerática cenozoica formada por bloques y guijas de caliza, capas de ceniza volcánica y tufa (caliza impura), expuesta en las sierras de Jimulco, España y Praderones, las cuales están distribuidas en Coahuila, Zacatecas y Durango. Schulze (1953) refirió depósitos sedimentarios y volcánicos del Cenozoico en las sierras de la Comarca Lagunera y concluyó que existió vulcanismo previo al depósito de capas de conglomerado compuesto principalmente por clastos de caliza; durante la sedimentación de este conglomerado, el vulcanismo cesó y después continuó. Rogers *et al.* (1956) propusieron el nombre de Formación Ahuichila y designaron su localidad tipo en el bajío del mismo nombre (Figura 1). Para esta formación describieron dos unidades, la unidad inferior con un espesor de ~30 metros, compuesta por capas de arenisca y tobas interestratificadas, con capas delgadas de yeso y estratos ricos con material carbonoso en donde encontraron impresiones de plantas y fragmentos de tallos. La unidad superior es muy potente (> 200 metros), compuesta por conglomerado aparentemente masivo, formado mayormente por guijarros y bloques de caliza, arenisca, pedernal y rocas volcánicas subordinadas. Con base en una comparación subjetiva con el Conglomerado Rojo de Guanajuato estudiado por Edwards (1955) y por Fries *et al.* (1955), Rogers *et al.* (*op. cit.*) a la Formación Ahuichila se le asignó una

edad del Eoceno Tardío. Tardy (1980) documentó que la Formación Ahuichila se divide en tres miembros (conglomerado en la base, arenisca y lutita con yeso en la parte media y limolita en la cima), con más de 500 m de espesor y que yace en discordancia angular sobre las rocas marinas plegadas del Cretácico, e interpretó a esta formación como un depósito de molasa acumulado durante el Paleoceno Tardío y el Mioceno Temprano. Ramírez-Peña *et al.* (2019) argumentan que la Formación Ahuichila se acumuló en el Paleoceno. Eguiluz-de Antuñano *et al.* (2022a) describieron las características litológicas que sirven para identificar cuatro asociaciones de litofacies con subambientes de abanico aluvial, fluvial, evaporítico y lacustre somero intermitente, conjunto que diagnostica un clima variable de humedad y aridez durante su depósito, en una cuenca continental cerrada (Figura 1). Granos de circones obtenidos en tobas de la Formación Ahuichila tienen edades U-Pb de $26.4 \pm 1.1/-0.4$ Ma con el método TuffZirc, mientras que de una capa de arenisca en la parte inferior de esta formación se obtuvo una edad promedio ponderada de 28.1 ± 0.5 Ma (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2022b). Por lo tanto, el depósito de la Formación Ahuichila se puede situar en el Oligoceno. El presente trabajo contribuye al conocimiento existente de la Formación Ahuichila mediante el estudio de sus icnofósiles.

2. Litofacies, icnogéneros y ambientes de depósito de la Formación Ahuichila

Con base en las características litológicas de la Formación Ahuichila en afloramientos del Bajío de Ahuichila (Figura 1), se reconocen cuatro litofacies (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2022a). El criterio empleado para definir cada litofacies es la litología, tamaño de grano, estructuras sedimentarias primarias y estructuras sedimentarias biogénicas. Mediante el diagrama ternario de McBride (1963) se clasificó con lupa el tipo de arenisca que integra la suma de cuarzo, pedernal y cuarcita en un extremo y segrega al contenido de feldespato y fragmentos de líticos en extremos opuestos. La clasificación textural de Dunham (1962) se utilizó para roca caliza. Con cámara digital y escala apropiada se obtuvieron imágenes *in situ* de varios tipos de trazas fósiles, en diferentes niveles estratigráficos y en varias localidades que son citadas en este texto (Tabla 1). Las estructuras dejadas por la biodiversidad orgánica en el registro geológico se describieron morfológicamente, en donde se consideró la longitud y grosor del trazo, posición en las capas, características del rastro y el índice de bioturbación (IB) de acuerdo con la propuesta de Taylor y Goldring (1993). Las imágenes digitales obtenidas de las trazas en el afloramiento se identificaron en gabinete a nivel de icnogénero; la resolución, preservación, o inclusión de la traza dentro de la roca, no permitió la identificación de icnoespecie. La abundancia relativa de las

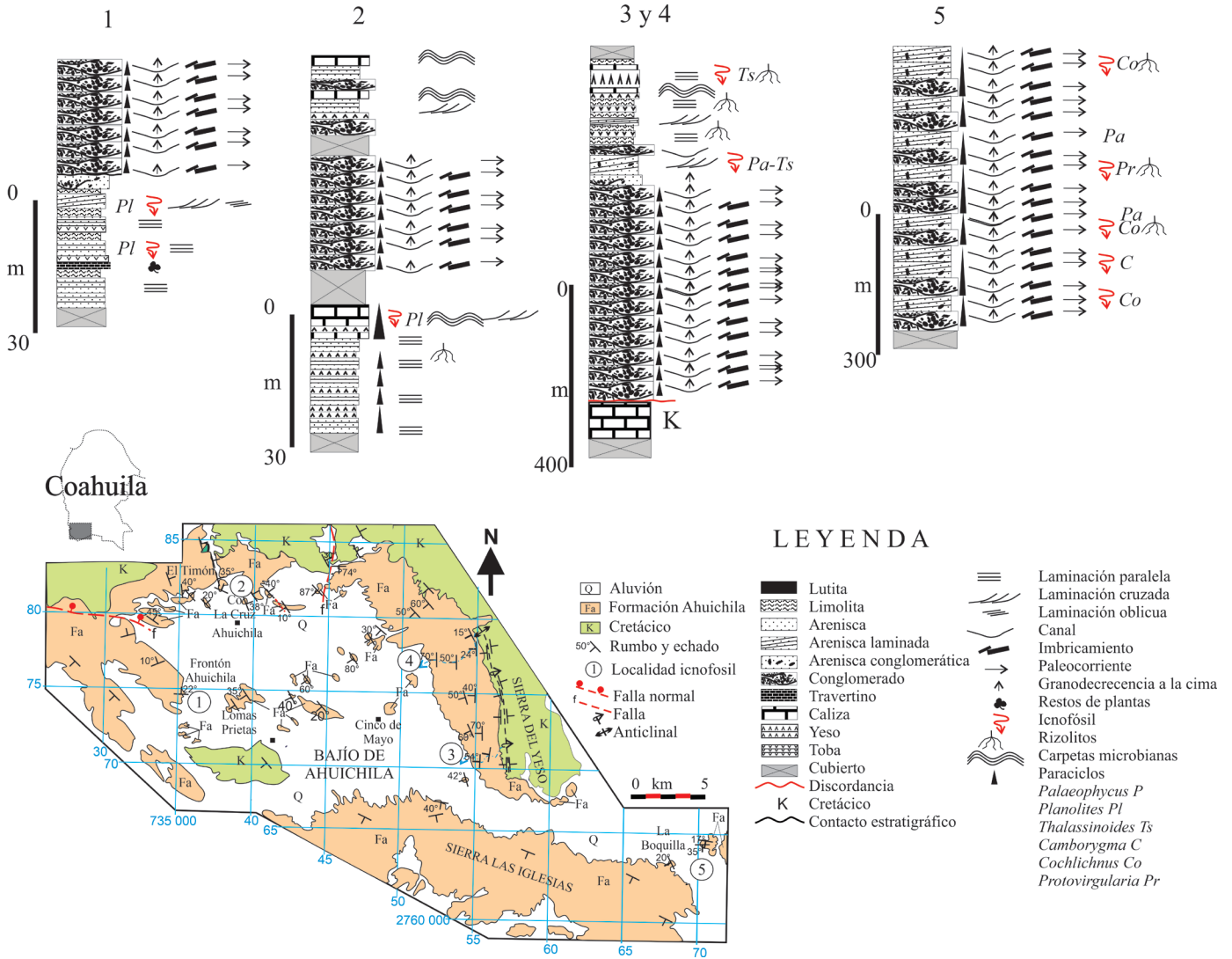


Figura 1. Localización del área en el estado de Coahuila. Mapa geológico con la ubicación de las secciones estratigráficas estudiadas: el Frontón de Ahuichila (1), cerro La Cruz (2), arroyos Colorado (3), El Yeso (4) y puerto La Boquilla (5). Iconógenos presentes en las secciones estratigráficas: *Planolites* (Pl), *Palaeophycus* (Pa), *Thalassinoides* (Ts), *Camborygma* (C), *Cochlichnus* (Co), ?*Protovirgularia* (Pr).

trazas varía de escasa a moderada, por lo que no fueron recuperados ejemplares físicos con objeto de dejar los iconofósiles *in situ* para estudios futuros más detallados.

Las características litológicas (con énfasis en las estructuras sedimentarias), aquí son interpretadas como indicadores de energía hidrodinámica y consolidación del sustrato, que, aunado al conjunto icnológico, dieron la pauta para interpretar parámetros paleoecológicos, que conducen a considerar que los iconógenos se relacionan con la icnofacies *Scoyenia* (Seilacher, 1987; Bua-tois y Mángano, 1995, 1996), como se describirá más adelante.

2.1. Litofacies de ortoconglomerado

Esta litofacies (Figura 1) está formada por ortoconglomerado y escasa ortobrecha, en donde dominan

clastos de caliza y arenisca. Estos ortoconglomerados tienen espesor de ~400 m cuando están en la base de la sección, o más de 200 m cuando están en la cima (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2022a). En esta litofacies no se observaron trazas fósiles.

2.2. Litofacies de litarenita -limolita- lutita

La sucesión de ortoconglomerado que está en la base, cambia de forma gradual, en corto espacio, a litarenita de grano grueso a grano mediano (Figura 1). La sucesión de litarenita, limolita y lutita tiene capas bien definidas, delgadas a medianas lateralmente continuas, con estratificación laminar y estratificación cruzada de ángulo bajo, sin embargo, existen estratos con estratificación festonada y diversas marcas de flujo (*flute marks*, *flute casts* y saltación de granos). Las coloraciones gris

Tabla 1. Localización de icnogéneros por localidad. En X y Y están las coordenadas Universal Transversa Mercator DATUM WGS84, carta topográfica INEGI G13D48. Con las estructuras sedimentarias se interpreta el flujo hidrodinámico de depósito. Explicación en el texto.

Localidad	X	Y	Icnogénero	Estructuras sedimentarias	Flujo
1 Frontón Ahuichila	735076	2774625	<i>Planolites</i>	Rizaduras de corriente, estratificación cruzada, canales	turbulento
2 Cerro La Cruz	739382	2780890	<i>Planolites</i>	Estratificación cruzada en <i>packstone</i>	turbulento
3 Arroyo Colorado	755453	2771092	<i>Palaeophycus</i> , <i>Thalassinoides</i>	Estratificación festonada	turbulento
4 Arroyo El Yeso	753910	2774730	<i>Thalassinoides</i>	Estratificación laminar paralela	laminar
5 Puerto La Boquilla	770452	2765404	<i>Camborygma</i>	Estratificación laminar paralela	laminar
			<i>Palaeophycus</i>	Estratificación cruzada, <i>flute casts</i>	turbulento
			<i>Cochlichnus</i>	Estratificación cruzada, <i>flute casts</i>	turbulento
			<i>Planolites</i>	Estratificación cruzada, <i>flute casts</i>	turbulento
			? <i>Protovirgularia</i>	Estratificación laminar paralela	laminar

claro, beige y verde claro, así como la ausencia de pirita en las rocas aquí descritas sugieren oxigenación en la sedimentación. Esta litofacies tiene variaciones, tanto vertical, como lateral, en donde se intercalan capas delgadas de caliza y yeso, o bien, ocurre la intercalación de capas gruesas de ortoconglomerado. En esta litofacies hay numerosas estructuras convolutas atribuidas a deformación de sedimento blando durante su depósito (Figura 2). En esta litofacies hay tobas de caída, de color verde o blanco descritas en trabajos previos (v.g. Rogers *et al.*, 1956). El aporte volcánico de extracuenca permite diferenciar a los afloramientos de la Formación Ahuichila, con otros conglomerados continentales en el centro y norte de México que tienen vulcanismo intracuenca (Schulze, 1953; Aranda-Gómez y McDowell, 1998).

En esta asociación de litofacies existen varios icnogéneros. *Planolites* isp. (Nicholson, 1873), se presenta en corte transversal con forma cilíndrica o subelíptica simple, con 5 mm a 10 mm de diámetro, sin revestimiento externo y la litología del relleno es diferente al entorno litológico que le rodea como característica potestativa de este icnogénero. Hay varias trazas rectilíneas con 100 mm a 200 mm de longitud con morfología conservada en epirrelieve (Figura 3a - d). La superficie de la pared es lisa y homogénea. Hay trazas entrecruzadas que no tienen bifurcaciones y su acomodo es paralelo o suavemente inclinado al plano del estrato. Estas características concuerdan con descripciones realizadas para este icnogénero por Pemberton y Frey (1982), Buckman (1994) y Keighley y Pickerill (1995). Estas trazas también se reconocen en la asociación de facies de caliza lacustre. Las capas de litarenita en donde hay trazas son de grano fino y grano medio, con rizaduras de corriente, estratificación cruzada de ángulo bajo y canales pequeños. A escala de observación, el índice cualitativo de bioturbación IB varía de 2 a 3 (Taylor y Goldring, 1993). En capas de caliza de textura *wackestone* y *packstone* las

trazas están asociadas a estratificación cruzada y con tapetes microbianos. Esta traza se identificó en el Frontón de Ahuichila y en cerro La Cruz (Figura 1).

Pemberton y Frey (1982), comentan que *Planolites*, “puede considerarse un sinónimo menor de *Palaeophycus*, pero se mantiene como un icnotaxón válido sobre la base de la estabilidad de la nomenclatura”. Este icnogénero está en ambientes marinos, fluviales, lacustres y eólicos (Pieńkowski, 2004; Ekdale *et al.*, 2007). La traza es producida por tránsito de anélidos e insectos en busca de alimento y domicilio (Fillion y Pickerill, 1984; Seilacher, 1987). El icnogénero está asociado a la icnofacies *Scoyenia* (Buatois y Mángano, 1995, 1996, 2002) y está presente en rocas sedimentarias del Precámbrico al Holoceno.

Palaeophycus isp. (Hall, 1847), se encuentra en litarenita de grano medio fino a grueso, con estratificación cruzada de ángulo bajo, así como estratificación festonada. La morfología de la traza se conserva en epirrelieve tubular con ~5 mm de diámetro, con curvatura en las puntas, su longitud subhorizontal tiene ~100 mm (Figura 3 d y e) y el relleno de las trazas es diferente a la matriz envolvente, característica potestativa de este icnogénero. El índice cualitativo de bioturbación IB es de 2 a 3 (Taylor y Goldring, 1993), en estratos de 20 cm a 30 cm de espesor y solo se reconoce en flujo hidrodinámico turbulento de la asociación de litofacies arenisca-limolita-lutita. Esta traza se encontró en el arroyo Colorado y puerto La Boquilla (Figura 1).

La identificación del icnogénero *Palaeophycus* es imprecisa. Hall (1847) no propuso un ejemplar tipo específico. Andrews (1955) es quien propone el material tipo de referencia para su designación original. El icnogénero *Palaeophycus* se considera como una estructura de alimentación de organismos suspensívoros o de detritus (Pemberton y Frey, 1982). Se registra en ambientes lacustre y fluvial (Melchor, 2004; Barras y Twitchett, 2016). Se asocia a la icnofacies *Scoyenia* (Buatois y

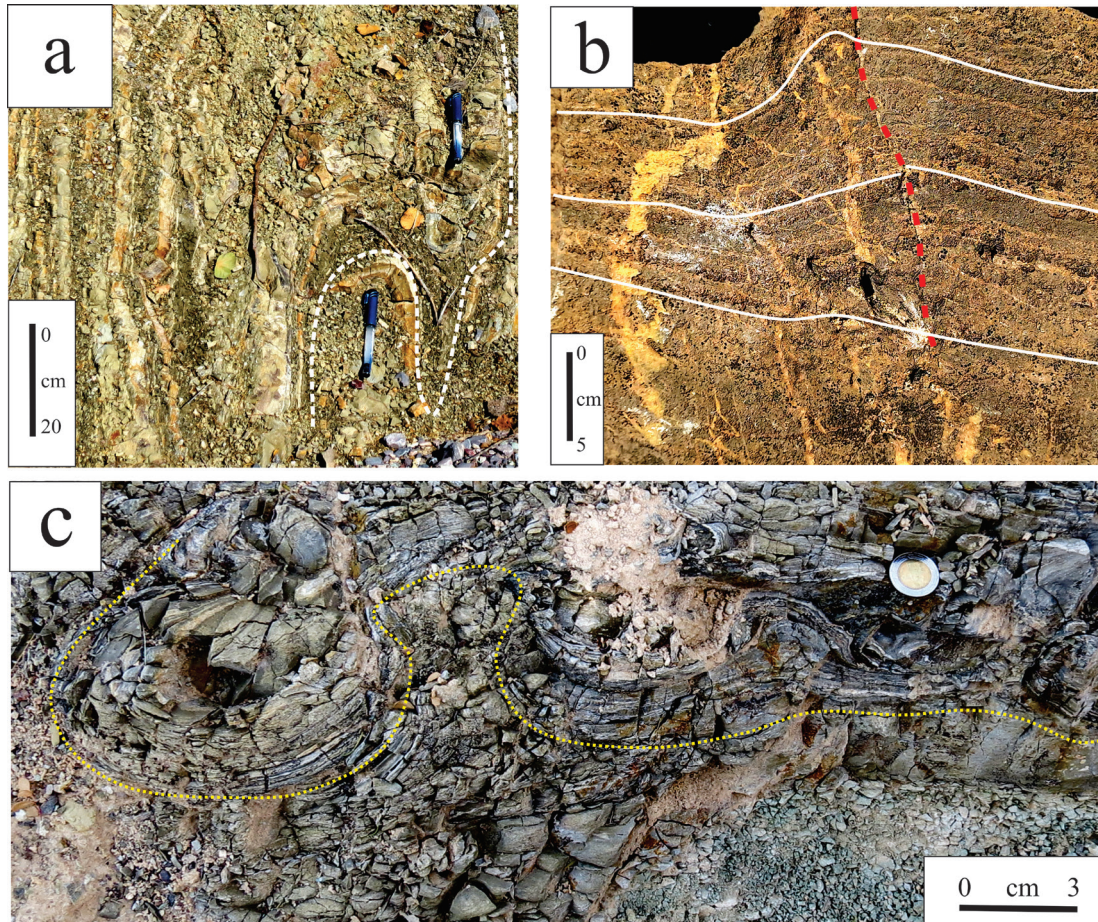


Figura 2. Deformación de sedimento blando en estratos de la Formación Ahuichila: litofacies arenisca-limolita-lutita en el arroyo Colorado (a). Pliegue y falla oblicua (línea roja cortada) en caliza con carpetas microbianas en la localidad Lomas Prietas (b). Capas de limolita y toba con pliegues convolutos en el arroyo Colorado (c).

Mángano, 2011). Su alcance estratigráfico se ha reportado desde el Precámbrico al Reciente.

Cochlichnus (Hitchcock, 1858), solamente se observó en la litofacies de litarenita -limolita- lutita y se presenta como relieves epi o hemi-cilíndricos y horizontales, con ~2 mm de espesor como promedio y unos pocos centímetros de largo, con pared lisa y no se observan estrías anulares ni ramificaciones. Su desplazamiento tiene morfología ligeramente curva a sinusoidal, así como rectilínea (Figura 3f y g). Este icnogénero se reconocen en la base del estrato. El índice de bioturbación IB de esta traza es 1 (Taylor y Goldring, 1993). Las estructuras sedimentarias (estratificación laminar cruzada de ángulo bajo y marcas *flute cast*) vinculan estas trazas fósiles con un régimen de flujo hidrodinámico parcialmente laminar. Estas trazas son moderadamente abundantes y se reconocieron únicamente en el puerto La Boquilla (Figura 1).

La principal característica descrita en la literatura para *Cochlichnus* es su morfología regularmente serpenteante, con amplias curvas sinusoidales. El icnogénero tiene paredes lisas o con estrías anulares, según la especie y nunca presenta ramificaciones o meniscaciones internas (Buatois y Mángano, 1995; Buatois

et al., 1997). Se interpreta como un rastro de alimentación (*Pascichnia*), pastoreo (*Agrichnia*) o locomoción (*Repichnia*) de un nemátodo, anélido o una larva de insecto (Moussa, 1970; Metz, 1992; Buatois *et al.*, 1997; Buatois y Mángano, 1995, 2004; Pazos *et al.*, 2007). En la actualidad se conocen varios organismos pertenecientes a estos grupos que realizan trazas similares en aguas superficiales (Metz, 1992). La corta longitud del trazo y su disposición ampliamente serpenteante sugieren que el organismo productor no estaba en contacto continuo con el sustrato, sino que se movía a través del agua tocando brevemente el fondo.

Camborygma (Hasiotis y Mitchell, 1993), en el área de estudio tiene morfología constituida por un conducto tubular robusto y relativamente corto, dispuesto verticalmente, inclinado, o puede ser subhorizontal. Está ornamentado con nódulos, pero no anillado, con ~20 mm de diámetro y ~50 mm de longitud. La pared de la traza está rodeada por arenisca de grano mediano y el relleno tubular tiene arenisca de grano grueso (Figura 4a y b). En la parte inferior del conducto hay una cámara subglobular con pared irregular, que mide aproximadamente 40 mm de diámetro. Concurren varias estructuras similares aledañas entre sí, con un

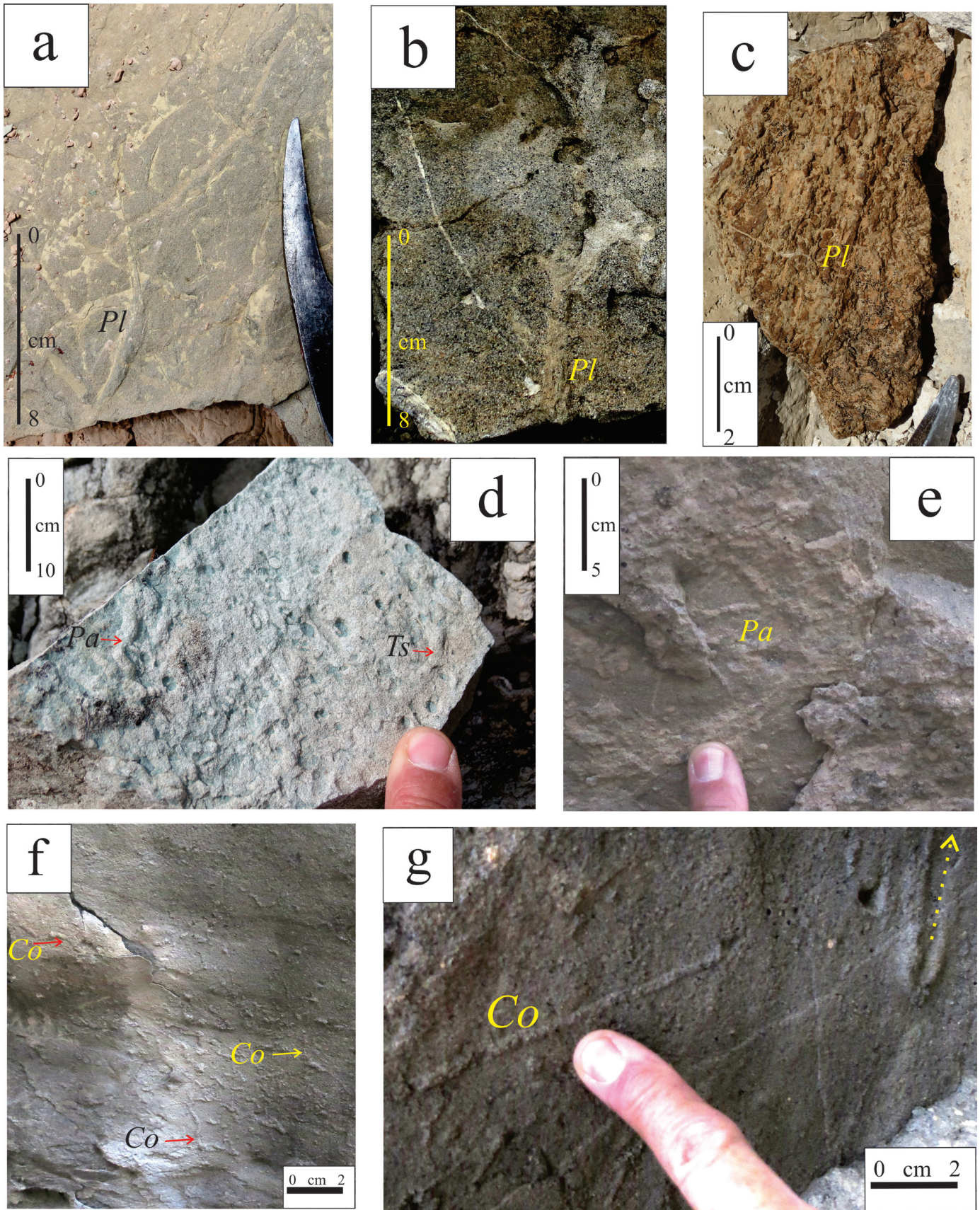


Figura 3. *Planolites* isp. (*Pl*) en las litofacies arenisca-limolita-lutita en el Frontón de Ahuichila (a), en puerto La Boquilla (b) y en litofacies de caliza en cerro La Cruz (c). *Thalassinoides* (*Ts*) y *Palaeophycus* (*Pa*) asociados en arroyo Colorado (d) y *Palaeophycus* en puerto La Boquilla (e). *Cochlichnus* (*Co*) con traza sinuosa en la base de estratos de litofacies arenisca-limolita-lutita (f). *Cochlichnus* de forma rectilínea (g), en puerto La Boquilla (Tabla 1), con flujo de corriente indicado con línea cortada en flecha.

índice de bioturbación relativo IB 2 (Taylor y Goldring, 1993). Esta traza sólo se reconoció en el puerto La Boquilla (Figura 1).

Genise (2017) y Smith *et al.* (2008), describen el icnogénero *Camborygma* con dimensiones variables de longitud y diámetro. Los conductos tubulares simples o complejos con eje vertical, subvertical o subhorizontal y una cámara en la base de la galería, con rasguños y marcas de los organismos productores. Según la arquitectura de la estructura perforante, Hasiotis y Mitchell (1993) reconocen cuatro icnoespecies: *Camborygma lironomus*, *Camborygma araioklados*, *Camborygma symplokononum* y *Camborygma eumekenomus*. Los tres primeros tienen un conducto de comunicación corto (como las trazas observadas en este trabajo) y la cámara de habitación se instala en la zona freática somera, mientras que la última icnoespecie construye un conducto largo para situar a la cámara de habitación en la zona freática, más profunda a la superficie, lo cual, no se aprecia en el material observado. El material estudiado en este trabajo no tiene elementos para identificar una icnoespecie particular. *Camborygma* se encuentra aledaño a depósitos de canal, dique, desborde de canal y planicie de inundación proximal, Keighley y Pickerill (1995) lo reportan en depósitos de paleosuelo, con niveles freáticos fluctuantes en bosques, matorrales y vegetación herbácea abierta. Hasiotis y Mitchell (1993) y Hasiotis y Honey (2000) y asocian a este icnogénero con la actividad de crustáceos decápodos (Cambaridae) de ambiente fluvial. Se interpreta como trazas de domicilio (*Domichnia*) en donde los organismos tratan de alcanzar el nivel freático para alojar su morada (Do Nascimento *et al.*, 2017). Este icnogénero da nombre a la icnofacies *Camborygma*. Su edad abarca del Paleozoico Superior al Reciente, pero es muy abundante en el Mesozoico (Hembree y Swaninger, 2018).

En la Formación Ahuichila la traza ?*Protovirgularia* (McCoy, 1850) presenta mala preservación (Figura 4c). Su reconocimiento es dudoso; sin embargo, se presenta como estela bilobada en forma de quilla, con 2 cm de amplitud. La traza es horizontal a subhorizontal con ~15 cm de longitud, compuesta por costillas en forma de chevrón dispuestas para formar un patrón carinado. La sección transversal del sendero es descrita trapezoidal, amigdaloidal a triangular y se conserva como epirrelieve convexo/cóncavo e hiporelieve positivo (Han y Pickerill, 1994; Uchman, 1998). Sólo una traza se observó en la litofacies de arenisca-limolita-lutita en el puerto La Boquilla.

De acuerdo con su etología, *Protovirgularia* pertenece a *Repichnia* como forma de desplazamiento de bivalvos protobranquios vágiles (Gibert y Domenèch, 2008), artrópodos o anélidos; es cosmopolita en ambiente marino y continental (Knaust, 2022). Las características morfológicas de *Protovirgularia* son similares a varias estelas horizontales (Knaust, 2022), como *Cruziana*, *Scolicia*, *Nereites* y *Psammichnites*. *Cruziana bilobada* tiene numerosas marcas de arañazos a ambos

lados del surco, una característica no observada en ?*Protovirgularia*. *Scolicia* es bilateralmente simétrico y carece de costillas en chevrón que se desarrollan típicamente en *Protovirgularia*. *Nereites* tiene un surco mediano más ancho en lugar de una cuerda central, los lóbulos estrechamente espaciados a cada lado del surco y nunca son chevrón en comparación con *Protovirgularia*. La falta de una estructura dorsal mediana (p. ej., una cresta/surco recto) distingue a *Protovirgularia* de *Psammichnites*.

2.3. Litofacies caliza lacustre

Hay caliza lacustre con texturas *wackestone* y *packstone* de peloides y ostrácodos (Figura 4), las capas son delgadas y lateralmente continuas, con laminación paralela y laminación cruzada, esporádicamente hay deformación sinsedimentaria (Figura 2). En varios estratos hay microbialitas con morfologías diversas (Chacón-Baca *et al.*, 2022), como desarrollo laminar (Figura 4), crecimiento botroidal y posibles trombolitos. La presencia de *Planolites* isp., en el cerro La Cruz (descrito con anterioridad), aunado a rizolitos, apoya la idea de un ambiente lacustre (Figura 3c).

Estructuras sinsedimentarias deformadas observadas en la localidad de Lomas Prietas, constatan un régimen inestable en su depósito. En la sucesión estratigráfica de la Formación Ahuichila no se reconocen facies que sugieran la presencia de depósitos fluviales que haya alimentado a un lago perenne, de lo que se infiere que la asociación de carbonatos se acumuló en una cuenca cerrada (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2022a).

2.4. Litofacies evaporita-dolomía-con detritos finos

Esta litofacies en la Formación Ahuichila tiene un espesor mayor a 500 m. La evaporita se identifica como yeso y anhidrita, las cuales se caracterizan por presentar estructuras de tela de gallinero (*chicken wire*), enterolíticas, tipi (*teepee structure*) y/o polígonos de desecación. La evaporita tiene laminaciones paralelas de limolita y se intercala con capas delgadas de dolomía y microdolomía. En estos afloramientos hay rizolitos y *Thalassinoides* isp., así como carpetas microbianas con aspecto laminar, dendrítico y ondulado, las cuales interrumpen a los estratos de yeso (Eguiluz-y de Antuñano *et al.*, 2022a). *Thalassinoides* (Ehrenberg, 1944), se describe en la literatura como un sistema de galerías amplias con elementos tanto verticales como horizontales, galerías cilíndricas, ramificación regular, caracterizada por bifurcaciones en forma de Y, así como ensanchadas en el punto de bifurcación. Los elementos horizontales se unen para formar polígonos con galerías y las dimensiones son variables (Yanin y Baraboshkin, 2013). Esta traza se identifica en la Formación Ahuichila, tanto en las litofacies arenisca-limolita-lutita (Figura 3d), como en la litofacies evaporita-dolomía-detritos finos (Figura 4d). Se presenta en galerías horizontales pobremente

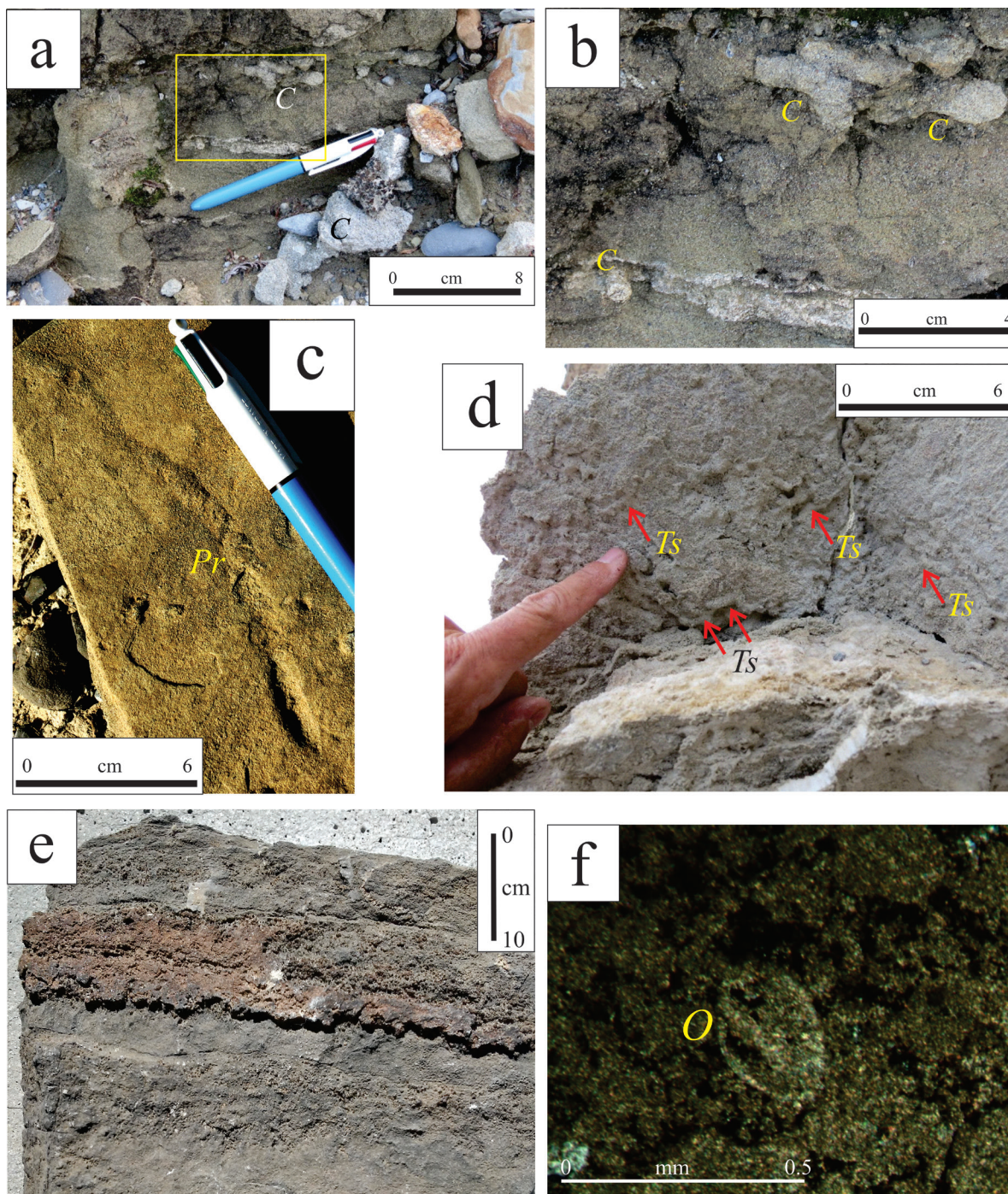


Figura 4. *Camborygma* isp. (C) en estratos de arenisca conglomerática en puerto La Boquilla (a), detalle en recuadro (b). *?Protovirgularia* isp. (Pr) en estratos de arenisca de grano mediano en puerto La Boquilla (c). *Thalassinoides* isp. (Ts) en estratos de terrígenos finos y evaporita en el arroyo del Yeso (d). Capas de tapetes microbianos en caliza en el cerro La Cruz (e). Ostrácodos (O) observados con luz polarizada al microscopio petrográfico en cerro La Cruz (f).

definidas, con ramificaciones en forma de Y, con pared lisa que forman un sistema de galerías simple con 1 cm de diámetro y ramificaciones. La longitud es variable (de 2 cm a 20 cm), se conservan en epirrelieve intercalado entre yeso, anhidrita y detritos finos, con rastros horizontales que se conectan a la superficie mediante ejes verticales o muy inclinados. *Thalassinoides* se encuentra asociado con *Palaeophycus* y posibles rizolitos.

Imágenes de los ejemplares se obtuvieron en los arroyos Colorado y El Yeso (Figura 1).

3. Discusión

La icnofacies *Scoyenia* se identifica por presentar icnodiversidad baja, en ocasiones monoespecífica o

pocos icnogéneros y similitud con icnoasociaciones marinas (Frey *et al.*, 1984). Esta icnofacies se presenta en una diversidad de subambientes continentales, periódicamente expuestos e inundados (v. gr. llanuras de inundación, lagos efímeros, zonas de transición entre áreas fluviales y lacustres) y áreas en márgenes de lagos (Buatois y Mángano, 1996; Melchor *et al.*, 2006; Wang *et al.* 2016). Generalmente *Scoyenia* también se asocia con *Skolithos*, *Cruziana*, *Palaeophycus* y formas comunes en ambientes marinos (Buatois y Mángano, 1996). Melchor (2004) tipifica a la icnofacies *Scoyenia* en sedimentos detríticos bien oxigenados de planicies de inundación y litoral lacustre. Las condiciones paleoambientales arriba enunciadas se ven reflejadas en las litofacies y la asociación de icnogéneros que tiene la Formación Ahuichila, por lo que estas condiciones se vinculan con la icnofacies *Scoyenia* (Seilacher, 1987), relacionada con llanuras de inundación y zonas de transición entre ambientes subaéreos y subacuáticos, con trazas horizontales de alimentación, trazas de habitación y de desplazamiento en donde hay diversos icnotaxones (*Scoyenia*, *Beaconites*, *Taenidium*, *Skolithos*, *Camborygma*, *Cruziana*, *Diplichnites* y *Umfolozia*), icnotaxones que son parcialmente reconocidos en este trabajo.

Las asociaciones de litofacies de la Formación Ahuichila muestran cambios substanciales de granulometría, fábrica con texturas y estructuras diversas, así como coloración particular que individualizan sistemas de depósito. Las características litológicas para la litofacies de paraconglomerados presentan poco transporte relativo e inmadurez (Eguiluz-y de Antuñano *et al.*, 2022a). Se interpreta como depósito de relleno de canal y de abanicos aluviales proximales (Miall, 1978, 2010), con ausencia de iconofósiles. La litofacies arenisca-limolita-lutita tienen estructuras sedimentarias que se interpretan como flujo hidrodinámico predominantemente turbulento sobre el flujo laminar. Esta litofacies posee el mayor contenido y diversidad de trazas, comparada con las litofacies de evaporita, caliza y detritos finos con menor diversidad. Los icnogéneros *Palaeophycus*, *Planolites* y *Thalassinoides*, se reconocen en tres conjuntos de litofacies, mientras que hay concentraciones de *Camborygma*, *Cochlichnus* y una aislada traza de posible *Protovirgularia*, en sólo una litoasociación en puerto La Boquilla. El conjunto iconofosilífero apoya la interpretación de condiciones paleoambientales fluviales y de planicie aluvial, con flujo laminar a turbulencia variable expresadas por estratificación cruzada, canales pequeños y diversas marcas de flujo (*flute casts* y saltación de granos), ambiente sugerido anteriormente (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2022a). Las características litológicas de las rocas carbonatadas y sus relaciones estratigráficas, verticales y laterales, se interpreta que su depósito es un ambiente lacustre somero, con inundaciones efímeras (Talbot y Allen, 1996) y lapsos con evaporación con la formación de salmueras (Lowenstein y Hardie, 1985) y/o formación de horizontes de suelo en un clima cálido

y aporte hídrico intermitente. En la litofacies evaporita -dolomita- los detritos finos sugieren flujo laminar, medios en donde se reconoce *Thalassinoides* y rizolitos. Las grietas de desecación representan un ambiente con periodos húmedos alternos con sequía y exposición subaérea, lo cual ocurre en depósitos de planicie fluvial y lacustre en ambientes de oxidación, con energía baja a moderada (MacEachern *et al.*, 2010).

Estas características litológicas inducen a interpretar en su conjunto que el ambiente de depósito de esta asociación está relacionado con una cuenca cerrada, con uno o más lagos hipersalinos. Las estructuras tipi y polígonos de desecación que sugieren condiciones de evaporación y deshidratación, aunado a superficies irregulares contorsionadas originadas por posibles superficies de disolución (Lowenstein y Hardie, 1985; Boggs, 1995; Bohacs *et al.*, 2000; Renaut y Gierlowski-Kordesch, 2010), así como capas plegadas por probable proceso de deformación sinsedimentario, con esporádicas brechas de dolomita y yeso que sugieren erosión y transporte local y efímero.

El potente espesor de la sucesión sedimentaria (con más de 1000 m), aunado a numerosas estructuras convolutas en siliciclastos, con pliegues y fallas discretas en rocas carbonatadas, se conciben como deformación de sedimento blando, no reportado con anterioridad. Estos datos sugieren que la subsidencia estuvo sujeta a tectónica activa durante el depósito de la Formación Ahuichila.

4. Conclusiones

Este trabajo es el primer registro en el noreste de México que describe la morfología de los icnogéneros *Planolites*, *Palaeophycus*, *Cochlichnus*, *Protovirgularia*, *Camborygma* y *Thalassinoides*, relacionados a la icnofacies *Scoyenia*, en facies continentales del Paleógeno. Los iconofósiles en la Formación Ahuichila (Oligoceno) se encuentran en diferentes asociaciones litológicas y permiten corroborar la interpretación del ambiente fluvial y lacustre previamente propuesto.

El contenido iconofósil se asocia a regímenes de flujo hidrodinámico, tanto turbulento, como laminar. Las estructuras sedimentarias con deformación de sedimento blando reportadas en este depósito y su potente espesor sugieren que su génesis se vincula a un régimen tectónicamente inestable, en una cuenca con subsidencia activa, lo cual, aporta información adicional que apoya interpretaciones previas al estudio de esta formación.

Agradecimientos

Se agradece a los revisores anónimos que contribuyeron con acertadas opiniones para publicar lo aquí expresado.

Referencias

- Andrews, H. bN. Jr. (1955). Index of generic names of fossil plants, 1820-1950: *United States Geological Survey Bulletin*, 1013, 262 p. <https://doi.org/10.3133/b1013>
- Aranda-Gómez, J. J., & McDowell, F. W. (1998). Paleogene extension in the southern Basin and Range Province of Mexico; syndepositional tilting of Eocene Red Beds and Oligocene volcanic rocks in the Guanajuato Mining District. *International Geology Review*, 40 (2), 116–134. <http://dx.doi.org/10.1080/00206819809465201>.
- Barras, C., & Twitchett, R. J. (2016). The Late Triassic Mass Extinction Event. In Mángano, M. G., & Buatois, L. A. (eds.), *The Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events* (pp. 1–17). Springer, Dordrecht 2: Mesozoic and Cenozoic.
- Boggs, S. (1995) *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Prentice Hall, New Jersey, 774 p. <https://lib.hpu.edu.vn/handle/123456789/28988>
- Bohacs, K. M., Carroli, A. R., Neal, J. E., & Mankiewicz, P. J. (2000). Lake basin type, source potential and hydrocarbon character: an integrated sequence-stratigraphic-geochemical framework. In Gierlowski-Kordesch, E. H., & Keits, K. R. (eds.), Lake basins through space and time. *American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology*, 46, 3–33. <http://www.geology.wisc.edu/~carroll/publications/pdf/Bohacs%20et%20al,%202000.pdf>
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (1995). The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine *Mermia* ichnofacies: An archetypical subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. *ICHNOS*, 4 (2), 151–161.
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (1996). Icnología de ambientes continentales: problemas y perspectivas. III Reunión Argentina Icnológica, 5–30.
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2002). Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: Implications for ichnofacies models of continental environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183, 71–86. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00459-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00459-X)
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2004). Animal-substrate interactions in freshwater environments: applications of ichnology in facies and sequence stratigraphic analysis of fluvio-lacustrine successions. En McIlroy, D. (ed.), *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. *Geological Society London Special Publication*, 228, 311–333. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2004.228.01.14>
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2008). Trazas fósiles de invertebrados. En Camacho, H. H., & Longobucco, M. (eds.), *Los Invertebrados Fósiles* (pp. 751–785). Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Vázquez Mazzini. Buenos Aires.
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2011). *Ichnology, Organism-Substrate Interactions in Space and Time*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0016756811001038>
- Buatois, L. A., Jalfin, G., & Aceñolaza, F. G. (1997). Permian Non-marine Invertebrate Trace Fossils from Southern Patagonia, Argentina: Ichnologic Signatures of Substrate Consolidation and Colonization Sequences. *Journal of Paleontology*, 71 (2), 324–336. <https://doi.org/10.1017/S0022336000039238>
- Buckman, J. O. (1994). *Archaeonassa* Fenton and Fenton 1937 reviewed. *ICHNOS*, 3, 185–192.
- Chacón-Baca, E., Eguiluz de-Antuñano, S., & Ramírez Peña, C. F. (2022). Diversidad microtextural preservada en la Formación Ahuichila (Paleoceno), un ejemplo del registro paleontológico microbiano en el noreste de México. *XVII Congreso Nacional de Paleontología*, Sonora, México, Resúmenes, p 18.
- Do Nascimento, D. L., Batezelli, A., & Ladeira, F. S. B. (2017). Freshwater decapoda trace fossils in floodplain paleosols of Marília Formation in Minas Gerais State (SE Brazil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 20 (3), 287–298. <https://doi.org/10.4072/rbp.2017.3.02>
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks. American Association of Petroleum Geologist, Memoir*, 1, 108–121. <https://archives.datapages.com/data/spec-pubs/carbona2/data/a038/a038/0001/0100/0108.htm>
- Eguiluz-de Antuñano, S., Aranda-Gómez, J., & Juárez Arriaga, E. (2022a). Estratigrafía y ambientes de depósito de la Formación Ahuichila en el Sector Transversal de Parras, Sierra Madre Oriental. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74 (1), 1–41. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2022v74n1a111121>.
- Eguiluz-de Antuñano, S., Juárez Arriaga, E., Chávez-Cabello, G., Ramírez-Peña, C., & Aranda-Gómez, J. (2022b). Geochronology and deformation of the Ahuichila Formation in Coahuila, Durango and Zacatecas states, Mexico. *Joint 118th Annual Cordilleran/72nd Annual Rocky Mountain Section Meeting - 2022*, Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/abs/2022CD-373337>.
- Edwards, J. D. (1955). Studies of some early Tertiary red conglomerates of Central Mexico. *U.S. Geology Survey Professional*, 264, 153–185. <https://doi.org/10.3133/pp264H>
- Ehrenberg, K. (1944). Ergänzende Bemerkungen zur den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. *Paläontologische Zeitschrift*, 23, 345–359.
- Ekdale, A., Bromdley, R. G., & Loope, D. B. (2007). Ichnofacies of an ancient erg: A climatically influenced traces fossil association in the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA. In W. Miller (Ed.), *Trace Fossils* (pp. 562–574). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452949-7/50161-3>
- Fillion, D., & Pickerill, R. K. (1984). Systematic ichnology of the Middle Ordovician Trenton Group. St. Lawrence Lowland, eastern Canada. *Maritime sediments and Atlantic Geology*, 20 (1), 1–40.
- Frey, R. W., Pemberton, S. G., & Fagerstrom, J. A. (1984). Morphological, ethological, and environmental significance of the ichnogenera *Scovenia* and *Ancorichnus*. *Journal of Paleontology*, 58, 511–528.
- Fries, C., Jr., Hibbard, C. W., & Dunkle, D. H. (1955). Early Cenozoic vertebrates in the red conglomerate at Guanajuato, Mexico. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 123 (7), 1–25.
- Genise, J. F. (2017). *Ichnoentomology Insect Traces in Soils and Paleosols*. Springer.
- Gibert, J. M., & Domènech, R. (2008). Trazas fósiles de nuculoideos (Protovirgularia) del Mioceno marino de la Cuenca del Vallès Penedès. *Revista Española de Paleontología*, 23 (2), 129–138. <https://doi.org/10.7203/sjp.23.2.20401>
- Hall, J. (1874). *Paleontology of New York*. C. Van Benthuyssen.
- Han, Y., & Pickerill, R. K. (1994). *Phycodes templus* isp. nov. from the Lower Devonian of northwestern New Brunswick, eastern Canada. *Atlantic Geology*, 30, 37–46. <https://doi.org/10.4138/2118>
- Hasiotis, S. T., & Mitchell, C. E. (1993). A Comparison of Crayfish Burrow Morphologies: Triassic and Holocene Fossil, Paleo- and Neoichnological Evidence, and the Identification of their Burrowing Signatures. *ICHNOS*, 2 (4), 291–314. <https://doi.org/10.1080/10420949309380104>
- Hasiotis, S. T., & Honey, J. (2000). Paleohydrologic and Stratigraphic Significance of Crayfish Burrows in Continental Deposits: Examples from Several Paleocene Laramide Basins in the Rocky Mountains. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, 70 (2). <https://doi.org/10.1306/D4268BA8-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Hembree, D. I., & Swaninger, E. S. (2018). Large *Camborygma* isp. in fluvial deposits of the Lower Permian (Asselian) Dunkard Group, southeastern Ohio, U.S.A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 491, 137–151. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.12.003>
- Hitchcock, E. (1858). *Ichnology of New England. A report on the sandstone of the Connecticut Valley, especially its fossil footmarks*. W. White, Boston.
- Keighley, D. G., & Pickerill, R. K. (1995). The ichnotaxa *Palaeophycus* and *Planolites*, Historical perspectives and recommendations. *ICHNOS*, 30, 301–309.

- Kellum, L. B. (1932). Reconnaissance studies in the Sierra de Jimulco, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 43, 541–564.
- Kellum, L. B. (1936). Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico, Part III, Geology of the mountains west of the Laguna District. *Bulletin of the Geological Society of America*, 47, 1039–1090.
- Knaust, D. (2022). Who were the trackmakers *Protovirgularia*-Mollusks, arthropods, or annelids? *Gondwana Researchs*, 111, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.07.009>.
- Lowenstein, T. K., & Hardie, L. A. (1985). Criteria for the recognition of salt-pan evaporites. *Sedimentology*, 32, 627–644. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1985.tb00478.x>
- MacEachern, J. A., Pemberton, G., & Bann, K. L. (2010). Ichnology and Facies Models. In James, N. P., & Robert W. Dalrymple (eds.), *Canadian Sedimentology* (pp. 19–58). Geological Association of Canada.
- McBride, E. F. (1963). Classification of common sandstones. *Journal of Sedimentary Research*, 33, 664–669. <https://doi.org/10.1306/74D70EE8-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- McCoy, F. (1850). On some genera and species of Silurian Radiata in the collection of the University of Cambridge. *Annals and Magazine of Natural History*, 6, 270–290.
- Melchor, R. N. (2004). Trace fossil distribution in lacustrine deltas: examples from the Triassic rift lakes of the Ischigualasto-Villa Unión Basin, Argentina. In McIlroy, D. (ed.), *The Application of Ichnology to Paleoenvironmental and Stratigraphic Analysis* (pp. 335–354). Geological Society London Special Publications. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.228.01.1>
- Melchor, R. N., Bedatou, E., de Valais, S., Genise, J. F. (2006). Lithofacies distribution of invertebrate and vertebrate trace-fossil assemblages in an Early Mesozoic ephemeral fluvio-lacustrine system from Argentina: Implications for the Scoyenia ichnofacies, Elsevier, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, 253285.
- Metz, R. (1992). Trace fossils from the Lower Jurassic nonmarine Towaco Formation, New Jersey. *Northeastern Geology Incorporating Northeastern Environmental Science*, 14, 29–34.
- Miall, A. D. (1978). Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In Miall A. D., (ed.), *Fluvial Sedimentology: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 5, 597–604.
- Miall, A. D. (2010). Alluvial deposits. In James N. P., & Dalrymple R. W. (eds.), *Facies Models 4* (105–137). Canadian Sedimentology, Geological Association of Canada.
- Moussa, M. T. (1970). Nematode fossil trails from the Green River Formation (Eocene) in the Uinta Basin, Utah. *Journal of Paleontology*, 44, 304–307.
- Nicholson, H. A. (1873). Contribution to the study of errant annelids of the Older Paleozoic rocks. *Proceedings of the Royal Society of London*, 21, 288–290.
- Pazos, P. J., Di Pasquo, M., & Rodríguez-Amenabar, C. (2007). Trace Fossils of the Glacial to Postglacial Transition in the El Imperial Formation (Upper Carboniferous), San Rafael Basin, Argentina. In Bromley, R. G., Buatois, L. A., Mángano, M. G., Genise, J. F., & Melchor, R. N. (eds.), *Sediment-Organism Interactions: A Multifaceted Ichnology. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, 88, 137–147.
- Pemberton, S. G., & Frey, R. W. (1982). Trace Fossil Nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* Dilemma. *Journal of Paleontology*, 56 (4), 843–881.
- Pieńkowski, G. (2004). Sołtyków, Poland an unique palaeoecological record of the Early Jurassic continental deposits. *Volumina Jurassica*, 2, 1–16.
- Renaut, W. R., & Gierlowski-Kordesch, E. H. (2010). Lakes. In James N. P., & Dalrymple R.W. (eds.), *Facies Models 4* (pp. 451–575). Canadian Sedimentology, Geological Association of Canada.
- Ramírez-Peña C. S., Chávez-Cabello, G., Fitz-Díaz, E., Aranda-Gómez, J. J., & Sosa, R. (2019). Uplift and syn-orogenic magmatism in the Concepción del Oro Block: A thick skinned (Lamaride-style?) contractional structure in the Mexican Fold and Thrust Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 93, 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.012>
- Rogers, C. L., de Cserna, Z., Tavera-Amezcu, E., & Ulloa, S. (1956). Geología general y depósitos de fosfatos del distrito de Concepción del Oro, Estado de Zacatecas. *Instituto Nacional de Investigación de los Recursos Minerales Boletín*, 38, 129 p.
- Schulze, G. (1953). Conglomerados terciarios continentales en la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila y sus relaciones con fenómenos ígneos, geomorfológicos y climatológicos. *Instituto Nacional Para la Investigación de Recursos Minerales Boletín*, 30, 52 p.
- Seilacher, A. (1987). *Trace Fossil Analysis*. Heilderberg, Springer.
- Smith, J. J., Hasiotis, S. T., Kraus, M. J., & Woody, D. T. (2008). Relationship of floodplain ichnocoenoses to paleopedology, paleohydrology, and paleoclimate in the Willwood Formation, Wyoming, during the Paleocene–Eocene thermal maximum. *PALAIOS*, 23, 683–699. <https://doi.org/10.2110/palo.2007.p07-080r>
- Talbot, M. R., & Allen, P. A. (1996). Lakes. In Reading, H. G. (ed.), *Sedimentary environments: Processes, Facies and Stratigraphy* (3rd ed., pp. 83–124). Blackwell, Oxford.
- Tardy, M. (1980). *Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique* [Tesis doctoral]. Université Pierre et Marie Curie.
- Taylor, A. M., & Goldring, R. (1993). Description and analysis of bioturbation and Icnofabric. *Journal of the Geological Society of London*, 150, 141–148. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.150.1.0141>
- Uchman, A. (1998). Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: revision of the Marian Książkiewicz collection and studies of complementary material. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 68, 105–218.
- Wang, C., Wang, J., Hu, B., Lu, X., Wang, J., Hu, B., & Trace, X. L. (2016). Trace fossils and sedimentary environments of the upper cretaceous in the Xixia Basin, Southwestern Henan Province, China. *Geodinamica Acta*, 28 (1–2), 53–70. <http://www.tandfonline.com/loi/tgda20>
- Yanin, B. T., & Baraboshkin, E. Y. (2013). *Thalassinoides* Burrows (Decapoda Dwelling Structures) in Lower Cretaceous Sections of Southwestern and Central Crimea. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 21 (3), 280–290. <https://doi.org/10.1134/S086959381303009X>

Fossil names and a mineral dedicated to Carl Burckhardt

Taxa fósiles y un mineral dedicados a Carl Burckhardt

Ana Bertha Villaseñor^{a,*}; Federico Olóriz^b

^a Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, C. P. 04510, Coyoacán, Ciudad de México, Mexico.

^b Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus Universitario de Fuente Nueva, 18071, Granada, Spain.

* anab@unam.mx

Abstract

At least thirty-seven fossil taxa and one mineral have been published in honor of Carl Burckhardt (1869-1935), who was a swiss paleontologist mainly dedicated to the study of ammonite and bivalve faunas from Jurassic and Cretaceous ages. There are three genera (*Burckhardtites* Humprey, 1949, *Burckhardticerias* Olóriz, 1978; *Burckhardtieia* Villaseñor and Olóriz, 2019); one subgenus (*Burckhardtia* Frech, 1907); thirty-one species and one subspecies denominated *burckhardti* from different taxonomic groups—radiolaria, coelenterata, brachiopoda, mollusca (gastropoda, cephalopoda, bivalvia), echinodermata, crustacea—and one mineral named Burckhardtite. Here, we present the original diagnosis (or description), data from the type, age and localities for all these fossils and the mineral.

Keywords: Burckhardt, coelenterata, brachiopoda, mollusca, echinodermata, mineral.

Resumen

Se han publicado al menos treinta y siete taxones fósiles y un mineral en honor a Carl Burckhardt (1869-1935), paleontólogo suizo dedicado principalmente al estudio de las faunas de ammonites y bivalvos del Jurásico y Cretácico. Existen tres géneros (*Burckhardtites* Humprey, 1949, *Burckhardticerias* Olóriz, 1978; *Burckhardtieia* Villaseñor y Olóriz, 2019); un subgénero (*Burckhardtia* Frech, 1907); treinta y una especies y una subespecie denominadas *burckhardti* pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos —radiolaria, coelenterados, braquiópodos, moluscos (gasterópodos, cefalópodos, bivalvos), equinodermos, crustáceos— y un mineral llamado Burckhardtita. Aquí presentamos la diagnosis original (o descripción), los datos del holotipo, la edad y las localidades de todos estos fósiles y el mineral.

Palabras clave: Burckhardt, coelenterata, brachiopoda, mollusca, echinodermata, mineral.

Cómo citar / How to cite: Villaseñor, A. B. & Olóriz, F. (2024). Fossil names and a mineral dedicated to Carl Burckhardt. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 57–75.

Manuscript received: October 24, 2023.

Manuscript corrected: January 7, 2024.

Manuscript accepted: January 8, 2024.



1. Introduction

In biology, geology and in paleontology, it is a regular practice to name taxa or mineral species in honor of people, normally great researchers in related areas of study. Such is the case of Carl Burckhardt, a Swiss paleontologist who spent most parts of his productive life in the Americas (Argentina and Mexico). Burckhardt began his research in Argentina from 1989 to 1903, and in 1904 arrived at the Geological Institute of Mexico, to conduct research on Mesozoic faunas, mainly Jurassic. In this country, he developed the most valuable geological-paleontological contributions of the 20th century.

Three genera (*Burckhardtites* Humphrey, 1949, *Burckhardticerias* Olóriz, 1978; *Burckhardtieia* Villaseñor and Olóriz, 2019), one subgenus (*Burckhardtia* Frech, 1907), 31 species and one subspecies (all denominated *burckhardti*, except one named *cburckhardti*) and the mineral Burckhardtite, were named in honor of this researcher. Maybe this has been the major number of taxa dedicated to one person, including a great variety of invertebrate taxonomic groups, for example: radiolarian, brachiopods, mollusc (bivalves, gastropods, ammonoids, belemnites), echinoids, crustacean and one tellurian mineral.

To honor the great work of Burckhardt a compilation of all these taxa and a mineral is presented here, including the original diagnosis or description, synonyms are included, the holotype catalog number, age and locality. Likewise, we evaluated the permanence in years of each taxon (Figure 1).

2. Genera

2.1. Mollusca - Cephalopoda

Genus *Burckhardtites* Humphrey, 1949

Type species: *Neocomites nazasensis* Burckhardt, 1925.

Original diagnosis: “The name *Burckhardtites* is here introduced as a generic term for the form described by Burckhardt (1925, p. 14) as *Neocomites nazasensis* Burckhardt from the upper Aptian of Rio Nazas, Durango, Mexico. As the writer understands the genus *Neocomites*, it is characterized by very involute, much compressed forms with ribs inclined forward and equally spaced and which bifurcate, both from umbilical tubercles and at mid flanks. According to Sayn

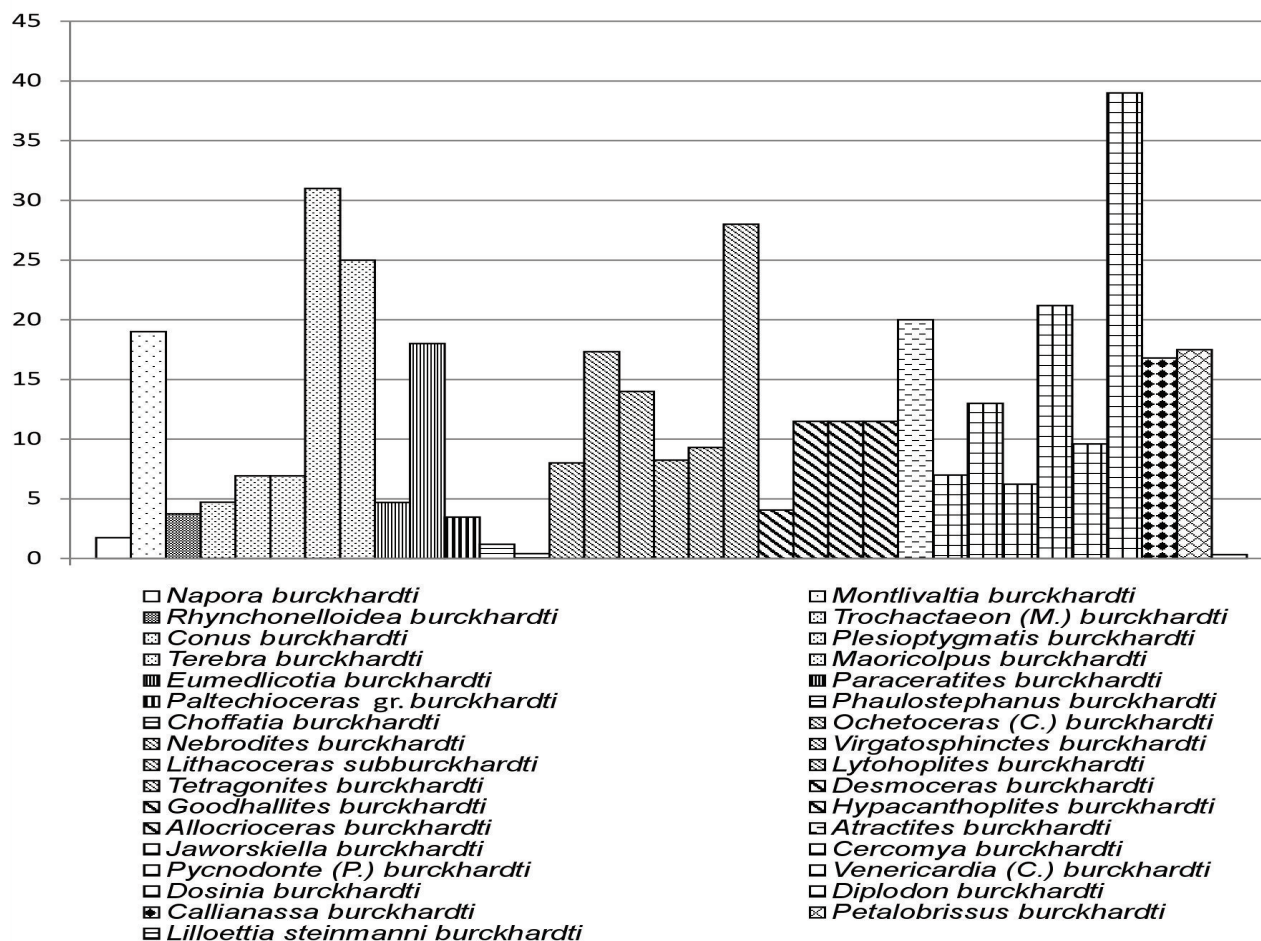


Figure 1. Relation between half-life (last minus first date citation) and number of citations in the synonym list of species.

(1907) the genus disappears in the Hauterivian. Spath (1923b, p. 31) has restricted *Neocomites* to include only the group of *Ammonites neocomiensis* D'Orbigny, as represented by the Drome forms figured by Sayn (1907, pl. VII, figs. 4-11). In any case the example referred by Burckhardt to *Neocomites* is an upper Aptian ammonite, as proved by the occurrence in beds with *Dufrenoya*, *Chelonicer*, and *Colombicer*. It is closer to *Dufrenoya* than it is to *Neocomites*, but it is distinguished from the former by its more irregular ribbing, by the double curve of the ribs across the flanks, and by the characteristic sudden increase in height seen in the body whorl of most of the species. Included in the genus are five other species, described as new from various Gargasian (upper Aptian) localities in northern Mexico. The writer believes the six species, here assigned to *Burckhardtites*, represent at least three groups, each of which would perhaps have generic ranking, were more and better-preserved material available for study.

Features common to all the species included a more or less compressed discoidal form, flattened venter with prominent ventro-lateral angles, and characteristic curving of the ribs across the flanks. Ribs convex backward or radial on lower part of flanks, convex forward near mid flanks, and convex backward again on upper third flanks. Characteristic of most of the species here described is rapid increase in whorl height, which may or may not be accompanied by crowding or change in sculpture an anterior portion of living chamber. Where known, imperfectly preserved sutures seem to be of parahoplitid type" (taken from Humphrey, 1949, p. 130). *Burckhardtites nazasensis* (Burckhardt) is designated as the genotype (see Barragán and Maurasse, 2008).

Genus *Burckhardticer* Olóriz, 1978 *nomen protectum*

(*Burckhardticer* Flores-López, 1967 *nomen oblitum*)

It is worth mentioning that Flores-López (1967, p. 28) proposed the new genus *Burckhardticer* for a very rare *Arnioceras* with falciform ribs without tubercles from the Lower Jurassic of Mexico. Donovan *et al.* (1981, p. 136) included this new genus as a synonym of *Arnioceras*. Later, Olóriz (1978) proposed the same name for Upper Jurassic ammonites from Spain. In accordance with Article 23.9, Reversal of precedence in the ICZN Code, *Burckhardticer* de Flores-López (1967 senior homonym) has not been used as a valid name since 1967, and the junior homonymous (*Burckhardticer* Olóriz, 1978) has been used in at least 25 works published by at least 10 authors in the immediately preceding 55 years, encompassing a span of not less than 10 years. All these support *Burckhardticer* Olóriz, 1978, as a valid genus. In Zoobank this genus has been accepted (Global Names Verifier).

Type species: *Himalayites* (*Micracanthoceras*) *peroni* Roman 1936.

Original diagnosis: "Tamaño pequeño (55 mm?), evolutivo, sección subredondeada más o menos deprimida y peristoma pedunculado. Ornamentación de costillas bifurcadas y agudas con espacios intercostales excavados. Existen algunos elementos simples y, en ciertas variedades, divisiones trifurcadas,

poligiradas y RES. La densidad suele mantenerse uniforme, aunque hay variedades que presentan, comparativamente, mayor densidad en el núcleo. El recubrimiento es débil pero variable, de manera que pueden, o no, observarse las bifurcaciones de las espiras más internas. Las constricciones no alcanzan un desarrollo considerable y ligadas a ellas se encuentran costillas simples ó falsas divisiones poligiradas. La RV resulta aplanada y ancha en las formas más típicas de manera que en su línea media presenta, en diferente grado, una tendencia hacia la discontinuidad sifonal, más bien debilitamiento o entalladura, pero nunca un surco bien excavado que interrumpa la costulación. En algunas formas, facilitada por el carácter agudo de la costulación, se observa cierta inclinación hacia la 'tuberculación lameliforme' en RV sobre las costillas primarias. En ningún momento se realizan tubérculos s. str. La línea de sutura, aunque conservada, no facilita su estudio debido al deterioro de sus elementos" (taken from Olóriz, 1978, p. 624).

Genus *Burckhardtia* Villaseñor and Olóriz, 2019

Type species: *Hoplites mexicanus* Aguilera (in Del Castillo and Aguilera, 1895).

1895 *Hoplites mexicanus* Aguilera; Del Castillo and Aguilera, p. 41, pl. 15.

1895 *Hoplites bifurcatus* Aguilera; Del Castillo and Aguilera, p. 42, pl. 20, fig. 1.

1895 *Hoplites* sp.? Aguilera; Del Castillo and Aguilera, p. 42, pl. 18.

1973 *Kosmatia bifurcata* (Aguilera); Verma and Westermann, p. 215, pl. 41, fig. 2, pl. 40, fig. 4a-b.

Original diagnosis: "Planulate to discoid shells. Coiling degree changing progressively from colubrinoid nuclei to moderately and, lesser common, widely umbilicate adults. Coiling degree stability higher in shells greater than 60 mm. Whorl-section progressively higher during growth, with an early, comparatively accelerated change to rather flattened flanks, and slightly rounded to tabulate venter. Occasional occurrence of small, local protuberances on the innermost whorls, just after a short initial stage of smooth-shell nuclei, and before development of the regular ribbing, as well as on the points of furcations short after the first apparition of ribs, but their occurrence is brief and belongs to an early phase of growth showing instability of phenotype traits. Typical sculpture is made of mainly bifurcate ribs on the inner and intermediate whorls, with possible addition of polygyrate to subpolyclad ribs in outer whorls; variable occurrence of simple ribs and intercalatories. Occurrence of complex ribbing on the inner whorls is a rarity, except for shells with high-crowded ribbing showing even subpolyclad, and some particular case with slightly lesser than normal crowding of ribs and the inclusion of polygyrates. Primary ribs number more variable at less than 50-60 mm, showing a persistent but variable increase at greater shell-size. When present, peripheral ribs number-secondaries plus intercalatories—commonly increasing throughout growth. Ventral ribs projected forwards, with variable occurrence of weakening of the mid-venter line, but without development of

a true smooth band. Constrictions slightly oblique to ribs and better developed on planulate, loose-coiled shells. Dimorphic, with wide and very short lappets in accordance with the pre-apertural pattern of ribbing, gently concave-to-flexuous at the middle of the flank, and ventral rostrum (Fig. 7). The latter is assumed to be more or less projected in accordance with the lower or wider angle of the ventral chevron, respectively –colubrinoïd to planulate microconchs vs. planulate to discoid specimens, macroconchiates included. Macroconch: maximum adult size about 160 mm, evolute to very evolute (37–52%) with subrectangular whorl section. Constrictions common, narrow and shallow. Scarce subpolyplocoid ribs on the phragmocone and more frequent on the body–chamber. Rib curves per complete whorl and per half–a–whorl decrease in shells smaller than 40 mm. The body–chamber is about a whorl long; peristome simple” (taken from Villaseñor and Olóriz, 2019, p. 34).

An extensive analysis of the Mexican *Kossmatia* and the introduction of the new genus name *Burckhardtia* was given by Villaseñor and Olóriz (2019). Furthermore, they would later underline the species *Hoplites bifurcatus* Aguilera (in Del Castillo and Aguilera, 1895) as the type species for the genus (Villaseñor and Olóriz, 2020).

Types: Holotype, IGM 5, Syntype IGM 6; IGM 3345, IGM 3353.

Age and locality: The age of *Burckhardtia* range from the upper-lower Tithonian to lower-middle Berriasian. Rancho Los Alamitos, Sierra de Catorce, San Luis Potosí.

3. Subgenus

3.1. Mollusca - Bivalvia

Genus *Cassianella* Beyrich, 1862
Subgenus *Burckhardtia* Frech, 1907

Type species: *Cassianella* (*Burckhardtia*) *boesei* Frech, 1907.

Original diagnosis: “Wie *Cassianella*, aber mit zwei gleichmässig gewölbten Klapen, die beide vorn ein Querseptum besitzen. Von den alpinen Zweischalern der *Cassianer* und *Raibler* Schichten zeigen die beiden nahe verwandten Gattungen *Cassianella* und *Hoernesia* eine gewölbte linke und eine concave rechte Klappe; die letztere fungirt demnach als Deckel. Das Vorhandensein zweier gleichartig gewölbter Schalen deutet auf verschiedene morphologische Beschaffenheit und abweichende Lebensweise hin. Von den drei zu *Burckhardtia* gehörenden Formen erinnert die eine ganz auffallend an *Cassianella decussata*, eine zweite an *Cassinella euglypha* bzw. *Euglyphiodes*, die dritte, häufigste, mit stärker und schwächer entwickelten Rippen, steht zwischen den beiden Formen. Die Aehnlichkeit mit der altweltlichen *Cassianella* bezieht sich somit sowohl auf die Skulptur wie auf die Innenseite. Nur die Ligamentgrube konnte bei den mexikanischen Exemplaren nicht beobachtet werden.

Die Muscheln befinden sich in demselben braunen, grauackentartigen Sandstein wie *Avicula Hofmanni*

und erinnern ebenfalls an unterdevonischen Formen, so *Burckhardtia aguilarae* an *Pterinaea costata* und *Burckhardtia* n. sp. an *Pterinaea decussata*. Da die Furche des Septums auf dem Steinkern einigermaßen an einen Schossezahn erinnert wird die Aehnlichkeit noch auffälliger” (taken from Frech, 1907, p. 334).

Types: Syntypes IGM 101 to IGM 103.

Age and locality: Carnic, Triassic; Arroyo Calavera, Zacatecas, Mexico.

4. Species

4.1. Protozoa - Radiolaria

Napora burckhardti Pessagno, Whalen and Yeh, 1986

1986 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh, pl. 10, figs. 2-5, 15, 16, 21-23.

1989 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Pessagno et al., p. 196.

1991 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Pessagno et al., p. 396.

1995 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Meyerhoff, fig-text 3.

1993 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Pessagno et al., p. 94.

1994 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Pessagno et al., p. 396.

1997 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Meyerhoff, p. 4, 10.

1999 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Kiessling, p. 4, 11.

2000 *Napora burckhardti* Pessagno, Whalen and Yeh; Matsuoka and Yan, p. 123.

Original diagnosis: “*Cephalis* relatively large, hemispherical, with medium-length horn. Proximal half of horn triradiate in axial section with three wide, rounded ridges alternating with three narrow, deep grooves; distal one-half of horn circular in axial section, rapidly tapering to pointed tip. Medial portion of horn swollen due to thickening of ridges. Cephalis and proximal half of horn frequently covered with layer of microgranular silica that may obscure triradiate structure. Thorax subcylindrical in shape with medium-sized, slightly nodose tetragonal and pentagonal pore frames; pore frames arranged in poorly-defined transverse rows. Feet of moderate length, curved inwards towards long axis of test; with three wide grooves alternating with three narrow, rounded ridges. Mouth circular in outline, bounded by imperforate rim” (taken from Pessagno et al., 1986, p. 37).

Types: Holotype USMN 379308, paratype 379309.

Age and locality: Upper Jurassic, lower Tithonian, Tamán Formation; Central-East Mexico, Tamán region, San Luis Potosí. Federal highway 85 (Mexico-Nuevo Laredo).

4.2. Coelenterata - Anthozoa

Montlivaltia burckhardti Wells, 1946

1946 *Montlivaltia burckhardti* Wells, 1946, pl. 2, fig. 7-14.

1989a *Montlivaltia burckhardti* Wells; Perrilliat, p. 94-95, fig. 32f.

2003 *Montlivaltia burckhardti* Wells; Filkorn, p. 55, 62.

Diagnosis original: “*Corallum solitary, turbinate, curved, fixed by a small expanded basem above which the corallum flares rapidly. Complete, wrinkled epitheca originally present but commonly eroded away by postmortem abrasion. Calyx shallow, axial depression or fosa elongate. Septa exerts, numerous, relatively thin, strongly dentate, no uniting, more or less regularly arranged in at least five complete cycles (24/24/48) with the sixth cycle septa present in as many as half the systems (96 + 48 = 144). Septa of first three cycles extending to and bordering the axial depression, those of the first two (12) with strongly swollen inner margins. Other cycles successively shorter and thinner. Wall largely parathecal. Costae highly developed, strongly beaded on the edges, thin, subacute, unequal cyclically. Columella absent. Endotheca cellular, most abundant axial and peripherally*” (taken from Wells, 1946, p. 5).

Types: Cotypes UMMP 23342 (fig 7, 8), UMMP 23343 (fig. 12).

Age and locality: Hauterivian, Lutita Barril Viejo; Potrero de Oballos, Coahuila, Mexico.

4.3. Brachiopoda - Articulata

Rhynchonelloidea burckhardti Manceñido, 1990

1990 *Rhynchonelloidea burckhardti* Manceñido, p. 389.

1991 *Rhynchonelloidea burckhardti* Manceñido; Manceñido, p. 402, fig. 2.1.

1991 *Rhynchonelloidea burckhardti* Manceñido; Ricciardi et al., 1991, p. 167

2004 *Rhynchonelloidea burckhardti* Manceñido; Manceñido, R47.

2005 *Rhynchonelloidea burckhardti* Manceñido; Damboranea and Manceñido, p. 166.

Original diagnosis: “*Small, globose, subsphaeroidal Rhynchonelloidea, up to about 18 mm long, 19 mm wide and 18 mm thick; with well-developed fold and sulcus, but not subcynocephalous in overall shape (maximum thickness located subanteriorly); fold with convergent sides (often acuminate), normally bicostate, seldom uni-or tricostrate; paucicostate flanks with 2 to 5 (average 3-4) costae. Very similar to *R. senokosiensis* Suc. –Pr. and its allies, which differ for their narrower, sharper; more numerous ribs*” (taken from Manceñido, 1991, p. 389).

Types: Holotype: MLP 24487.

Age and locality: Lower Jurassic, Hettangian-Sinemurian; Puesto Araya section, Neuquén, Mendoza, Argentina.

4.4. Mollusca - Gastropoda

Trochactaeon (Mexicotrochactaeon) burckhardti (Böse, 1923).

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) gigantea* Sowerby sp. n. var. *mexicana* Böse, pl. 14, figs. 3-8.

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) burckhardti* Böse, pl. 14, figs. 9-14, pl. 15, figs. 1-11.

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) burckhardti* Böse n. var. *obliqueplicata* Böse, pl. 16, figs. 1-6.

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) pruniformis* Böse, pl. 16, figs. 7-15, pl. 17, figs. 1-5.

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) humboldti* Böse, pl. 17, figs. 6-11.

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) sp.* Böse, pl. 17, figs. 12-14.

1923 *Actaeonella (Trochactaeon) quadraplicata* Böse, pl. 17, figs. 15-17.

1930 *Actaeonella luciano* Maury, pl. 10, figs. 1, 2, 6.

1930 *Actaeonella pompeii* Maury, pl. 10, fig. 7.

1930 *Actaeonella cf. silvai* Maury, p. 263.

1976 *Neotrochactaeon burckhardti* (Böse); Hacobjan, not pl. 15, figs 3.5, 7-10, and pl. 14, figs 12, 13.

1976 *Trochactaeon obliqueplicatus* Böse; Hacobjan, (included is *T. impressus* Pchelinstsev, 1954, as a synonym).

1985 *Trochactaeon (Mexicotrochactaeon) burckhardti* (Böse); Sohl and Kollmann, pl. 12, figs. 7-13; pl. 13, figs. 7-9.

1989b *Actaeonella (Trochactaeon) burckhardti* Maury; Perrilliat, p. 119, fig. 42 d.

Original diagnosis: “*Concha de testo grueso, de forma suboval con espira corta, compuesta de unas 7 a 8 vueltas; la espira es cónica, escalonada en su parte anterior, de flanco liso en la parte posterior. Los flancos de las vueltas en la espira son planos. La última vuelta es muy grande y ocupa aproximadamente ocho décimos de la altura total; esta última vuelta es bastante convexa, encontrándose la mayor convexidad en la mitad posterior de la vuelta. La altura de las vueltas disminuye en la espira de una manera no constante, disminuyendo en las tres vueltas anteriores mucho más rápidamente que en las siguientes. La faja sutural es muy ancha, plana y en posición perfectamente perpendicular al eje de la concha o muy ligeramente inclinada hacia afuera, pero nunca hacia adentro. Una arista bien marcada separa la faja sutural del flanco de la vuelta, produciéndose así el escalonamiento de la espira. En la columela se observan tres pliegues bastante oblicuos, de los cuales el posterior es mucho más fuerte que los otros dos y está separado del segundo por un intersticio un poco más ancho que él entre el segundo y el anterior. La superficie de la concha es completamente lisa, sólo se observan en ella estriás finas de crecimiento. La boca no está conservada, pero debe haber sido semilunar, muy alargada y estrecha. La parte anterior de la concha está arredondada y algo obtusa, como se ve en los ejemplares más completos; los pliegues columelares no llegan hasta la apertura*” (taken from Böse, 1923, p. 202).

Subsequent diagnosis: “*Body whorl strongly inflated in upper quarter, lower half tapering to slender base; columella proportionally short, parietal lip with a weak ridge on lower part*” (taken from Sohl and Kollmann, 1985, p. 58).

Types: Syntypes IGM 1863, IGM 1864.

Age and locality: Emscheriano, Beds with *Peroniceras*; Tenantitlán, near Zumpango del Río, Guerrero, Mexico.

Conus burckhardti burckhardti Böse, 1906a

1906a *Conus burckhardti* Böse, pl. 5, figs. 39, 40.

1922 *Conus burckhardti* Böse; Olsson, pl. 3, figs. 4, 5.

1922 *Conus tortuosopunctatus* Toulou; Olsson, pl. 3, figs. 6, 11.

1925 *Conus burckhardti* Böse; Maury, pl. 34, fig. 5.

1928 *Conus burckhardti* Böse; Woodring, p. 211, 217.

1929 ? *Conus burckhardti* Böse; Anderson, p. 110.

1934 *Conus burckhardti* Böse; Rutsch, pl. 4, figs. 3, 4.

1951-53 ? *Conus burckhardti* Böse; Alencáster-Ibarra, p. 210, fig. 25.

1960 ? *Conus (Leptoconus) burckhardti* Böse; Perrier, p. 26, pl. 3, figs. 20, 21.

1970 *Conus burckhardti burckhardti* Böse; Woodring, pl. 57, figs. 19, 20.

1973 *Conus burckhardti burckhardti* Böse; Perrilliat, pl. 16, figs. 7-12.

1989b *Conus burckhardti* Böse; Perrilliat, p. 135-136, fig. 47c.

Original diagnosis: “Concha alargada, forma de huso, compuesta de 9 vueltas y un núcleo de 2 vueltas, con espira medianamente elevada y cónica. La espira no tiene más adorno que una línea apenas visible casi en el centro entre la quilla y la sutura. Las primeras tres vueltas de la espira están adornadas con pequeños gránulos ó costillas transversales, las otras son lisas con excepción de finas estrias de crecimiento; la quilla es marcada y está granulada en las primeras 4 vueltas mientras que en las otras está lisa. La última vuelta está cubierta de 20 a 25 costillas planas separadas por surcos angostos, en los cuales se ven perfectamente las estrias de crecimiento; en la mitad anterior de esta vuelta se ven en la margen posterior de cada costilla un gran número de granulaciones. La abertura no está conservada, pero debe haber sido alargada y angosta” (taken from Böse, 1906a, p. 50).

Types: Syntype IGM 170, hypotype IGM 793.

Age and locality: Miocene-Pliocene Agueguexquite Formation; Paso Real near Tuxtepec, Oaxaca, Mexico.

Plesioptygmatis burckhardti Böse, 1906b

1906b *Nerinea (Plesioptygmatis) burckhardti* Böse, pl. 15, fig. 3-13.

1928 *Nerinea (Plesioptygmatis) burckhardti* Böse; Whitney, p. 243.

1955 *Nerinea (Plesioptygmatis) burckhardti* Böse; Allison, p. 423.

1957 *Nerinea burckhardti* Böse; Von Der Osten, p. 587.

1959 *Nerinea (Plesioptygmatis) burckhardti* Böse; Kaye, p. 14.

1989b *Nerinea (Plesioptygmatis) burckhardti* Böse; Perrilliat, p. 152, 154., fig. 52t.

1994 *Plesioptygmatis burckhardti* Böse; Barker, p. 94.

Original diagnosis: “Concha cónica muy alargada y turriiforme, compuesta probablemente de cerca de 14 vueltas excavadas. La última vuelta es considerablemente más grande que la penúltima. El tamaño de las vueltas disminuye de una manera constante; los flancos de las vueltas son cóncavos, la parte más profunda se encuentra en el centro de cada vuelta; cerca de la sutura de la parte anterior está la vuelta espiralmente hinchada, cerca de la parte posterior también, pero algo más fuerte; en esta última región se distingue una banda de incisión sumamente delgada pero siempre distinguible donde la superficie está bien conservada. La sutura está algo hundida. La superficie de la concha es lisa, sólo estrias sumamente finas de crecimiento se notan en ella. La periferia de la base muestra una cresta bien marcada, el canal es relativamente largo. La columela tiene dos pliegues de los cuales el posterior es el más fuerte. El labro parece haber sido sencillo, imitando el corte de la vuelta, pero no está bien conservado. En el interior tiene el labro un pliegue cerca de la arista basal y un hinchamiento más arriba. Además, hay un pliegue en el techo y otro en la base de cada vuelta. Las dimensiones no se pueden medir porque no existe un solo ejemplar completo” (taken from Böse, 1906b, p. 66-67).

Types: Syntypes IGM 2305, IGM 2306, IGM 2307, IGM 2308, IGM 2309, IGM 2711, IGM 2712.

Age and locality: Lower Senonian, beds with *Actaeonella*, horizon with *Coralliochama* gr. *boehmi*; between km 418 and 419 Railway to Tampico and San Luis Potosí, between Cárdenas and Esconrí towns, Mexico.

Terebra burckhardti Hertlein and Jordan, 1927

1927 *Terebra burckhardti* Hertlein and Jordan, pl. 21, fig. 6.

1989b *Terebra burckhardti* Hertlein and Jordan; Perrier, p. 165, 168, fig. 56e.

Original diagnosis: “Shell moderately slender, spire missing, four and one-half whorls present in type specimen; outline of whorls straight on sides; below suture each whorl possesses a somewhat convex projecting sutural band which is set off from remainder of whorl by a sharp, incised line; each whorl sculptured by about 18 longitudinal plications which run slightly oblique and offset slightly on crossing to the sutural band where they are coarser; on body whorl, plications bend slightly anteriorly at top of whorl and lightly posteriorly at base of whorl; canal unornamented” (taken from Hertlein and Jordan, 1927, p. 632).

Types: Holotype L.S.J.U. type collection, paratype CAS 2678.

Age and locality: Lower Miocene, San Isidro Formation; Arroyo San Ignacio, 8 km SW San Ignacio, Baja California Sur, Mexico.

Turritella burckhardti Ihering, 1903

1901 *Turritella* aff. *sylviana* Burckhardt, pl. 1, fig. 15-16.

1903 *Turritella burckhardti* Ihering, p. 208, fig. 9.

- 1955 *Turritella burckhardti* Ihering; Groeber, p. 238
 2003 *Maoricolpus burckhardti* (Ihering); Stilwell, p. 351.
 2011 *Turritella burckhardti* Ihering; Río del et al., fig. 11.3

Original diagnosis: “*Turritella testa turrato—cónica, anfractibus concavis ad suturam constrictis, post mturam in cingulum elevatis, transversim costis numeroiis tenuibus aequalibus striatis; sutura lineari*” (taken from Ihering, 1903, p. 208).

Types: No type originally assigned, subsequent designation holotype MACN-Pi 5218 (Río del et al., 2011).

Age and locality: Upper Cretaceous, Río Negro, Patagonia, Argentina.

4.5. Mollusca - Cephalopoda (Ammonoidea)

Eumedlicotia burckhardti (Böse, 1917)

- 1917 *Medlicottia burckhardti* Böse, pl. 1, fig. 46-52, pl. 2, fig. 1-3.
 1932 *Medlicottia burckhardti* Böse; Frebold, textfig. 2.
 1937 *Eumedlicottia burckhardti* Böse; Plummer and Scott, pl. 5, fig. 10, 11.
 1937 *Eumedlicottia guadalupensis* Böse; Plummer and Scott, pl. 40, fig. 15, 16.
 1940 *Medlicottia burckhardti* Böse; Miller and Furnish, pl. 3, fig. 4-6, pl. 7 fig. 1, pl. 8, fig. 1-3, pl. 9 fig. 1, 2, 4, pl. 10 fig. 3.
 1943 *Medlicottia burckhardti* Böse; Miller and Unklesbay, textfig. 4J, 6E, F.
 1944 *Medlicottia burckhardti*. Böse; Miller in King et al., figs. 7A,b, pl. 22, fig. 1, 2. pl. 23 fig. 3-9.
 1945a *Medlicottia burckhardti* Böse; Miller, p. 15.
 1945b *Medlicottia burckhardti* Böse; Miller, p. 346.
 1949 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Ruzhentsev, textfig. 77b, 78, pl. 17 fig. 1-4.
 1977 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Nassichuk, p. 561.
 1979 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Zheng and Chen, text-fig. 2, pl. 1 fig. 22.
 2000 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Lambert et al., pl. 8-3 fig. 14, 15.
 2001 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Dimichele et al., p. 450.
 2003 *Eumedlicotia burckhardti* (Böse); Henderson and Mei, p. 320.
 2004 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Lucas, p. 49.
 2022 *Eumedlicottia burckhardti* (Böse); Ruiz-Naranjo and Torres-Martínez, p. 75.

Original diagnosis: “*Shell discoidal, very involute, flattened on the flank, and with sharp keel on both sides of the very narrow venter and deep median groove between them. The cross-section is sagittate, slightly excavated and truncated at the ventral portion and profoundly incised at the dorsal side by the next smaller whorl. The flanks are not completely flat but very slightly and evenly convex; keels on the venter are very sharp in younger individuals. Their highest part is at the ventral shoulder and from there the shell slopes in a slight curve down to the border of the median groove. In the largest*

specimens the keels become entirely rounded. The whorls are deeply embracing. The umbilicus is very small, the umbilical border is slightly rounded, and the umbilical wall is narrow but steep” (taken from Böse, 1917, p. 76).

Types: No type originally assigned.

Age and locality: Permian, Word Formation; near the crossway of Road and Gilliam Canyons, Hills of the Mountain Leonard, Glass Mts.

Paraceratites burckhardti Smith, 1914

- 1914 *Ceratites* (*Paraceratites*) *burckhardti* Smith, p. 90, pl. 52, figs. 19-21.
 1962 *Ceratites* (*Paraceratites*) *burckhardti* Smith; Silberling, p. 156, Tab 1.
 1928 *Paraceratites burckhardti* Smith; Whitney, p. 77.
 1982 *Paraceratites burckhardti* Smith; Silberling and Nichols, pl. 15, figs. 6.18.

Original diagnosis: “*Whorls high, robust, increasing rapidly in height, trapezoidal in cross section, deeply embracing. The umbilical shoulders are abruptly rounded, the flanks slightly convex, the ventral shoulders nearly rectangular. The venter is rather broad and surmounted by a strong rounded keel ridge. At maturity the surface is ornamented with weak dichotomous ribs and three rows of tubercles. The umbilical row is weak and numbers 14 to a revolution; the lateral row is much stronger, is situated one-third of the distance up the flanks, and numbers 12 to a revolution; the tubercles on the ventral shoulders are elongated obliquely forward, weaker than the lateral row, and number 23 to a revolution. The height of the whorl is slightly more than half the diameter of the shell, and the width is half the height. The width of the umbilicus is less than one-fourth of the diameter of the shell. The outer whorl embraces about two-thirds of the inner and is indented by it to one-fourth of the height. The septa are ceratitic but could not be exposed sufficiently for illustration*” (taken from Smith, 1914, p. 90).

Types: Holotype Fig. 19-21 in Smith (1914), Plesiotypes USNM 248742 – 248747.

Age and locality: Middle Triassic, Daonella dubia Zone, *Ceratites trinodosus* Subzone; Fossil Hill, American Canyon, West Humboldt Range, Nevada, USA.

Paltechioceras gr. *burckhardti* (Erben, 1956)

- 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *burckhardti* Erben, pl. 39, fig. 2.
 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *subsulcatum* Erben, pl. 39, fig. 1.
 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *latisulcatum* Erben, pl. 39, fig. 3.
 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *densicosta* Erben, pl. 39, fig. 4.
 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *obesicosta* Erben, pl. 39, fig. 5.
 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *angustisulcatum* Erben, pl. 39, fig. 6, 11, 12.
 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *huastecae* Erben, pl. 39, fig. 7.

- 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *goticum* Erben, pl. 39, fig. 8, 9.
- 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *aplanatum* Erben, pl. 39, fig. 10.
- 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *acuticosta* Erben, pl. 39, fig. 14.
- 1956 *Echioceras* (*Echioceras*) *sphenoverter* Erben, pl. 39, fig. 15, 16, (cf.) 17, (aff.) 18.
- 1989 *Echioceras* (*Echioceras*) *burckhardti* Erben; González-Arreola and Perrilliat, p. 210, fig. 74b.
- 2005 *Paltechioceras* gr. *burckhardti* Erben; Meister et al., pl. 3, figs. 2-4, 6, 11, 12.
- 2008 *Paltechioceras* gr. *burckhardti* Erben; Blau et al., p. 406, Figure 30-q.
- 2009 *Paltechioceras burckhardti* Erben; Arenas-Islas et al., p. 190.
- Original diagnosis:** “*Se trata de una especie de Echioceras (Echioceras) Bayle, caracterizada por la combinación de los rasgos siguientes: la sección ovalada de vuelta algo más alta que ancha; la posición del ancho mayor de la vuelta muy poco debajo de la mitad de la altura de los flancos; la falta de surco o banda de quilla*” (taken from Erben, 1956, p. 295).
- Subsequent diagnosis:** “*P. burckhardti* (Erben) represents the average morphology of a large population of small [maximum (?) adult diameter = 40 mm] *Paltechioceras* related to the “*Echioceras burckhardti* unit” sensu Erben” (taken from Blau et al., 2008, p. 406).
- Types:** Holotype IGM 756.
- Age and locality:** Upper Sinemurian, Huayacocotla Formation Unite with *Echioceras burckhardti*, locality P. 11 (Erben, 1956), Huayacocotla region, Veracruz, Mexico.
- Phaulostephanus burckhardti* Sandoval and Westermann, 1986
- 1927 *Stephanoceras* cf. *Bigoti* Munier-Chalmas.- Burckhardt, pl. 11, fig. 11.
- 1983 ?*Leptosphinctinae* (or ?*Bigotitinae* Westermann, 1956) gen. et. sp. nov. A, Westermann, pl. 4, fig. 3.
- 1984 *Oecoptychiinae* n. sp. Westermann et al., pl. 1, fig. 3.
- 1986 *Phaulostephanus burckhardti* Sandoval and Westermann, figs. 26.26, 26.17, 29, 30.4.
- 1992 *Phaulostephanus burckhardti* Sandoval and Westermann; Salvador et al., pl. 47, figs. 7a-b.
- Original diagnosis:** “*A serpenticonic species of Phaulostephanus with subrounded whorl-section; prominent and moderately spaced primary ribs; tubercles reduced to obsolete bullae; prominent secondaries slightly convex crossing venter*” (taken from Sandoval and Westermann, 1986, p. 1256).
- Types:** Holotype IGM 3932, Paratype IGM 3933.
- Age and locality:** Upper lower Bajocian (Upper Humphriesianum Zone) to lowermost upper Bajocian (lower part of Subfurcatum Zone), Taberna, Oaxaca, Mexico.
- Choffatia burckhardti* Sandoval, Westermann and Marshall, 1990
- 1927 *Reinekeia aberrans* Burckhardt, pl. 29, figs. 3.5, pl. 30, fig. 1.
- 1989 *Reinekeia aberrans* Burckhardt; González-Arreola and Perrilliat, p. 271, fig. 101a.
- 1990 *Choffatia burckhardti* nom. nov. Sandoval, Westermann and Marshall, pl. 11, figs. 1a-b.
- 1990 *Choffatia aberrans* Burckhardt; Sandoval, Westermann and Marshall, p. 129.
- 1992 *Choffatia burckhardti* Sandoval, Westermann and Marshall; Salvador et al., p. 99.
- Original diagnosis:** “*Very evolute, with depressed, subovate whorl-section; prominent radial, blade-like primary ribs; and deep constrictions*” (taken from Sandoval et al., 1990, p. 129).
- Types:** Holotype IGM 1955 by monotypia, Hypotype IGM 4257.
- Age and locality:** Upper Bathonian, Lilloettia assemblage, Yucuñuti Formation; Otatera, Unite 2-6 of C1 Arroyo del Rincón. Cualac, Guerrero, Mexico.
- Ochetoceras* (*Cubaochetoceras*) *burckhardti* O’Connell, 1920
- 1920 *Ochetoceras canaliculatum* (V. Buch) var. *burckhardti* O’Connell, pl. 37, figs. 1-3.
- 1922 *Ochetoceras canaliculatum* (V. Buch) var. *burckhardti* O’Connell; O’Connell, p. 400.
- 1928 *Ochetoceras canaliculatum* (V. Buch) var. *burckhardti* O’Connell; Whitney, p. 302.
- 1940 *Ochetoceras canaliculatum* (V. Buch); Jaworski, p. 93.
- Non 1951 *Ochetoceras canaliculatum* var. *burckhardti* O’Connell; Sánchez-Roig, pl. 5, fig. 3.
- 1968 *Ochetoceras canaliculatum* (V. Buch) var. *burckhardti* O’Connell; Judoley and Furrázola-Bermúdez, pl. 5, figs. 1a-d.
- Non 1968 *Ochetoceras burckhardti* (O’Connell); Judoley and Furrázola-Bermúdez, pl. 5, fig. 2a-d; pl. 7, fig. 2 a-b.
- 1976 *Cubaochetoceras burckhardti* (O’Connell); Wierzbowski, pl. 8, figs. 4-5.
- 1976 *Cubaochetoceras* aff. *burckhardti* (O’Connell); Wierzbowski, p. 244.
- 2002 *Ochetoceras* (*Cubaochetoceras*) *burckhardti* (O’Connell); López-Palomino, p. 29, Lám. 2, Figs. 5-8.
- 2008 *Ochetoceras* (*Cubaochetoceras*) *burckhardti* (O’Connell); Olóriz et al., figs. 5a-u.
- Original diagnosis:** “*There is a single well-preserved representative of this species (holotype, A.M.N.H. No. 18561) showing practically all of the shell intact which is unusual in this material. The specimen, judging from its comparatively small size and the fact that there are only about two and a half volutions present, is probably only a sub-mature individual, so that the characters and proportions which it shows are not to be considered wholly diagnostic for the species but only for the stage of development represented.*
- The conch is compressed and discoidal. The whorls increase rapidly so that involution is almost complete, giving, with increased diameter, a proportionally smaller and smaller*

umbilicus. In cross-section the whorls are about two and a half times as high as broad, the ratio decreasing with the age of the conch, as may be seen from the Table 6 (columns 2,8, 10).

In shell proportions the Cuban form approaches so closely to the specimens described by Burckhardt from the upper beds of the Upper Oxfordian of Cerro del Volcán, Mexico, that there is no doubt that all belong to the same species, but each shows a greater or less degree of acceleration over D'Orbigny's holotype, not only in proportions but in all other characters, for which reason I have given the Cuban form a distinct varietal name and have included here Burckhardt's specimens for reasons more fully given below. A comparison of the more important shell ratios will bring out the relations existing between the European, Mexican, and Cuban species (Table 7)" (taken from O'Connel, 1920, p. 682-683).

Types: Holotype AMNH 18561.

Age and locality: Upper Oxfordian from Cuba, Viñales, Pinar del Río, Cuba.

Nebroditites burckhardti Imlay, 1939

1939 *Nebroditites burckhardti* Imlay, pl. 2, fig.

1989 *Nebroditites burckhardti* Imlay; González-Arreola and Perrilliat, p. 241, fig. 87a.

1991 *Nebroditites burckhardti* Imlay; Contreras y Montero et al., parte 1.

Original diagnosis: "Form fairly large, discoidal, flattened; whorl section subrectangular, much higher than wide; greatest thickness on lower third of flanks; whorls embracing about one-fifth; flanks flattened; venter narrow, flattened on outer whorl. Umbilicus fairly wide, shallow; wall low, vertical on inner whorls, becoming steeply inclined on outer whorl.

The inner whorls, shown in the umbilicus, bear strong, wide ribs which start from the line of involution and cross the flanks nearly radially but incline slightly forward. Most of the ribs bifurcate at or a little below the middle of the flanks. On the penultimate whorl intercalary ribs appear on the upper part of the flanks and the branching points of the ribs tend to become indistinct. About seven or eight faint constrictions per whorl.

On the outer whorl, which is part of the body chamber, the ribs are strong and broad on the flanks but weakened appreciably along the venter. Their cross-section tends to be triangular rather than rounded. They originate at the line of involution and pass radially onto the flanks where they curve forward slightly, especially near the venter. Most ribs bifurcate below the middle of the flanks, but commonly the bifurcation point is indistinct. Simple ribs and intercalary ribs likewise are present. The ribbing becomes markedly coarser anteriorly on the outer whorl" (taken from Imlay, 1939, p. 30-31).

Types: Holotype UMPP 19156.

Age and locality: Kimmeridgian, La Casita Formation, around 4 ½ km to the north of San Pedro del Gallo, Durango, Mexico.

"*Virgatospinctes*" *burckhardti* (Douvillé, 1910)

1903 *Virgatites* aff. *Quenstedti* Roulier; Burckhardt, pl. 6, figs. 1-4.

1910 *Virgatites burckhardti* Douvillé, p. 10.

Non 1910 *Perisphinctes* (*Virgatospinctes*) *Burckhardtii* Uhlig, pl. 62, figs. 3a-c.

1954 *Virgaosphinctes* (*Lithacoceras*?) *burckhardti* (Douvillé); Indans pl. 13, figs. 4.5.

Non 1981 *Virgathospinctes burckhardti* (Douvillé); Leanza, pl. 5, fig. 2.

1999 "*Virgatospinctes*" gr. *Mendozanus* (m)-*burckhardti* (M). (Douvillé); Enay and Cariou, p. 839.

2003 *Virgathospinctes burckhardti* (Douvillé); Parent, p. 148.

2008 *Virgathospinctes burckhardti* (Douvillé); Riccardi, p. 33.

Original diagnosis: "*Burckhardt* a rapporté à l'adulte de *V. quenstedti* une forme à ornementation virgatique uniformément fine dans le jeune comme dans l'adulte, à section élevée, qui nous paraît plutôt être du groupe de *V. mexicanus* Burckh. L'ombilic est également abrupt, le jeune, comme celui de *mexicanus* rappelé seul *V. quenstedti*.

Je propose d'appeler *V. burckhardti* cet échantillon de *Virgatites* rapporté avec doute par Burckhardt à *V. quenstedti*" (taken from Douvillé, 1910, p. 10).

Types: Not original designation of type but in accordance with Douvillé (1910, p. 10) "*la figure type sera donc: Burckhardt, 1903, pl. 4, fig. 1-4*".

Age and locality: Lower to Middle Tithonian, *Virgatospinctes mendozanus* Assemblage Zone; Vaca Muerta Formation, Neuquén, Mendoza, Argentina.

Lithacoceras subburckhardti Donze and Enay, 1961

1948 *Lithacoceras* aff. *geron* Zittel; Donze, p. 183.

1958 *Lithacoceras* aff. *geron* Zittel; Donze, p. 40.

1961 *Lithacoceras subburckhardti* Donze and Enay, pl. 5, fig. 1.

1994 *Lithacoceras subburckhardti* Donze and Enay; Zeiss et al., p. 371.

Original diagnosis: "Espèce moyennement involute; les tours se recouvrent sur la moitié de leur hauteur. Flancs plats ou légèrement convexes avec maximum d'épaisseur au bord de l'ombilic sur les tours jeunes et le début de la loge; puis il se déplace vers le milieu du flanc. Ventre étroit et arrondi. L'ombilic est profond; la paroi ombilicale élevée, abrupte est nettement délimité par un rebord arrondi, bien marqué. La section est trapézoïdale élevée, puis elliptique, toujours nettement plus haute que large.

L'ornementation est très fine et très serrée; on compte 91 côtes à 95 mm et 82 à 75 mm. Les côtes primaires naissent sur la muraille ombilicale où elles sont dirigées radialement. Au passage du rebord ombilical elles se renforcent et prennent une direction proverse. La plupart se bifurquent régulièrement un peu au-dessus de la moitié du flanc; les côtes secondaires, moins saillantes, passent sur le ventre sans modification de direction, ni affaiblissement. Les côtes polyfurquées apparues dès le début de la loge deviennent plus nombreuses sur la fin de celle-ci.

Les faisceaux sont formés d'un nombre de côtes secondaires toujours faible (3-4).

Les constrictions larges mais peu profondes sont nettes sur le dernier tour où l'on peut en compter 5 ou 6; en outre, un sillón plus large précède le bord péristoméal.

La ligne cloisonnaire permet de repérer le début de la loge qui occupe trois quarts de tour environ; mais elle est trop mal conservée pour être étudiée" (taken from Donze and Enay, 1961, p. 69).

Types: Holotype no A. 4667.

Age and locality: Lower Tithonian; La Croix de Saint-Concours, France.

Lytohoplites burckhardti (Mayer-Eymar, 1900 in Burckhardt, 1900b)

1900b *Hoplites burckhardti* Mayer-Eymar in Burckhardt, pl. 26, fig. 1.

1903 *Hoplites burckhardti* Mayer-Eymar.- Burckhardt, pl. 10, figs. 17-20.

1925 *Kilianella burckhardti* (Mayer-Eymar), Gerth, p. 98, figtext. 10.

1934 *Kilianella burckhardti* (Mayer-Eymar); Spath, p. 18.

1936 *Berriasella alternans* Gerth; Feruglio, pl. 8, fig. 6.

1945 *Hoplites burckhardti* Mayer-Eymar; Leanza, p.13

1989 *Lytohoplites burckhardti* (Mayer-Eymar); Howlett, pl. 4, fig. 3.

1992 *Lytohoplites cf. burckhardti* (Mayer-Eymar); Riccardi et al., p. 153.

1993 *Lytohoplites burckhardti* (Mayer-Eymar), Leanza, p. 67.

2009 *Lytohoplites burckhardti* (Mayer-Eymar); Cantú-Chapa, p. 203, fig. 71, 7m.

Original diagnosis: "*Testa subdisciformis, compressiuscula; afractus sex ad septem, per quartam partem involuti, ad suturam abrupti, in lateribus oblique planulati, dorsum versus compressi. Dorsus angustiusculus, inter costas totundatus. Costae tenues, aetate distantes, lateribus simplices, rectae vel subrectae, in compressus initio, dorso satis procul plerumque nodoso-spinosae, dorsum versus leviter retro-arcuatae, interdum dichotomae, in angulo dorsali plus minusve tuberculoso-spinosae, in dorso leviter prone, a sulco dorsali lato, humili, plus minusve affectae*" (taken from Mayer-Eymar in Burckhardt, 1900b. p. 17).

Subsequent diagnosis: "*Evolute, moderately inflated, subquadrate whorls. The ribs are distant, prominent and either single or biplicate, with the anterior secondary rib being less strong than the posterior. At the point of division, weak tubercles may be present, and on either side of the venter are more prominent tubercles. Feeble intermediate ribs may be present*" (taken from Howlett, 1989, p. 23).

Types: Not original designation of type.

Age and locality: Upper Tithonian to Berriasian, Argentina.

Tetragonites cburckhardt Mülleried, 1933.

1933 *Tetragonites C. Burckhardt* Mullerried, p. 91-92, fig. 13, 14.

1989 *Tetragonites cburckhardt* Mülleried; González-Arreola and Perrilliat, p. 293, fig. 110e.

Original diagnosis: "*Varios ejemplares, casi todos fragmentarios,*

bastante bien conservados, en parte desgraciadamente cubiertos por roca; la cámara que ocupó el animal no está conservada.

De tamaño bastante pequeño, hasta 5.8 cms. de diámetro, en un ejemplar sin la cámara que ocupó el animal.

Es evolutivo, siendo las vueltas un poco más anchas que altas; el lado lateral es algo convexo hacia afuera, el lado exterior poco convexo, casi comprimido

Las vueltas aumentan bastante su diámetro, por ejemplo, en un ejemplar de 1.6 cms. a 2.3 cms., después de media vuelta.

*La ornamentación consiste en pliegues, transversales, en forma de crestas, a distancia algo irregular, entre 1 y 2 mms.; en ejemplares grandes son bastante numerosos; al corroerse los pliegues se notan ondulaciones suaves, siendo una onda de medio milímetro de largo. A distancia de 1.5 a 3 cms. se nota un pliegue extraordinario (*stehengebliebener Mundrand?*), también en forma de cresta, como los pliegues ordinarios, y transversales.*

La sutura no es visible; sólo en fracturas de las vueltas se nota parte de las paredes transversales" (taken from Müllerried, 1933, p. 91-92).

Type: Syntype unallocated depositary.

Age and locality: Cretaceous, 1.5 km to the north of San Juan Raya, Cerro Salitrillo, San Juan Raya, Puebla, Mexico.

Desmoceras burckhardti Böse, 1923

The referred species was included into the synonymy list of *Pseudohaploceras liptoviense* (Zeuschner, 1856) by González-Arreola et al. (1996).

1856 *Ammonites liptoviense* Zeuschner, pl. 2, fig. 1-3.

1883 *Haploceras liptoviense* (Zeuschner); Uhlig, pl. 17, fig. 9, 16-18; pl. 18, fig. 1-3.

1902 *Desmoceras liptoviense* (Zeuschner); Koenen, pl. 43, fig. 1a-b.

1923 *Desmoceras aguilerae* Böse, pl. 7, fig. 8-1.

1923 *Desmoceras alzatei* Böse, pl. 8, fig. 15-18.

1923 *Desmoceras burckhardti* Böse, pl. 8, fig. 10-14.

1923 *Desmoceras durangense* Böse, pl. 7, fig. 14-16.

1923 *Desmoceras flexicostata* Böse, pl. 7, fig. 4-7.

1923 *Desmoceras sparcicostata* Böse, pl. 7, fig. 1-3.

1923 *Desmoceras symonense* Böse, pl. 6, fig. 9-13.

1923 *Desmoceras tenuicostatum* Böse, pl. 8, fig. 1-4.

1923 *Desmoceras wielandi* Böse, pl. 8, fig. 5-9.

1930 *Puzosia burckhardti* (Böse); Burckhardt, p. 133.

1940 *Pseudohaploceras burckhardti* (Böse); Imlay, p. 135.

1972 *Pseudohaploceras liptoviense* (Zeuschner); Vasicek, pl. 14, fig. 4.

1981 *Pseudohaploceras liptoviense* (Zeuschner); Memmi, p. 181.

1992 *Pseudohaploceras burckhardti* (Alencáster-Ibarra); Contreras y Montero et al., part 3.

1996 *Pseudohaploceras liptoviense* (Zeuschner); González-Arreola et al., pl.4, figs. 1-9.

Original diagnosis: "*Entre los Desmoceras del Cañón de las Aguillillas se encuentra una forma bastante diferente de las otras, cuyos caracteres son:*

La concha es discoidal, bastante involuta, la sección transversal de la vuelta es oval, mucho más alta que ancha en las vueltas anteriores, menos en la exterior, es decir, la vuelta crece un poco más en ancho que en altura. La vuelta exterior cubre más o menos la mitad anterior; de modo que las costillas quedan bien visibles. Los flancos son poco convexos, poco aplanados y pasan paulatinamente al vientre muy convexo. El ombligo es medianamente angosto y no muy profundo, bastante bien limitado, sin que se observe una arista umbilical. La pared umbilical es perfectamente vertical. En la última vuelta se encuentran costillas principales y prominentes, bastante flexuosas; éstas comienzan muy débiles en la pared umbilical, al principio se inclinan fuertemente hacia adelante, en el comienzo del segundo cuarto de la altura se pliegan ligeramente hacia adelante al principio del último cuarto de la altura; en el vientre no están dirigidas hacia adelante, sino pasan en línea recta. Entre cada par de estas costillas principales se observan unas seis costillas intermedias en la parte externa; éstas se forman por bifurcación; cerca del borde umbilical vemos 2-3 costillas bien definidas, pero mucho más débiles que las principales; éstas se bifurcan dos veces de modo que en el vientre se ven siempre unas seis costillas intermedias. Las dos o tres costillas en el flanco no son siempre igualmente fuertes, sino en lo general uno o dos son más pronunciadas que el resto. De modo que a veces hay una costilla bastante prominente y dos apenas visibles. Las costillas intermedias son en lo general todavía más flexuosas que las principales. Las costillas principales están bien limitadas en el lado posterior de una constricción bastante clara, en el lado anterior por una depresión no muy bien definida. En nuestro ejemplar está conservada una parte de la boca, el borde de ésta va en curva sencilla hasta el principio del último tercio de la altura de la vuelta; el resto falta; detrás del borde hay una costilla baja y relativamente ancha; después de ésta sigue una depresión o constricción ancha y bastante profunda, limitada en su lado posterior por una costilla intermedia” (taken from Böse, 1923, p. 113).

Types: Syntypes IGM 1750, IGM 1751.

Age and locality: Barremian-Aptian, *Desmoceras* horizon, La Peña Formation, beds with *Desmoceras*; West part of Las Aguilillas Cañón, Sierrita de Symon, Zacatecas-Durango, Mexico.

Goodhallites burckhardti (Böse, 1910)

1910 *Schloenbachia burckhardti* Böse, pl. 1, fig. 1, 2, 4, 5.

1928 *Schloenbachia burckhardti* Böse; Whitney, p. 365.

1944 *Prohysterocheras burckhardti* (Böse); Imlay, p. 1186.

1947 *Neoharpoceras* (*Goodhallites*) *burckhardti* (Böse); Breistroffer, p. 66.

1957 *Goodhallites burckhardti* (Böse); Young, p. 13.

1989 *Schloenbachia burckhardti* Böse; González-Arreola and Perrilliat, p. 280, fig. 105b.

1993 *Goodhallites burckhardti* (Böse); Contreras y Montero et al., part 3.

2002 *Goodhallites burckhardti* (Böse); Henderson and Kennedy, p. 238.

Original diagnosis: “Sólo poseemos un fragmento de esta

especie, pero es tan característico que bien se puede fundar sobre él una especie nueva. Concha discoidal, comprimida. Ombligo mediano de paredes verticales, claramente separado de los flancos por un borde anguloso. Borde externo aplanado con una quilla en el centro, continua y bien perceptible. Flancos casi planos ó ligeramente convexos. La sección transversal de las vueltas casi rectangular, mucho más alta que ancha, y más angosta en el borde externo. La concha está adornada con costillas que tienen su origen generalmente en pares en el borde umbilical en unos pequeños tubérculos, radialmente alargados. Las costillas son obtusas, poco prominentes, delgadas en la proximidad de los tubérculos, se van ensanchando gradualmente hacia el borde externo. A partir del borde umbilical se dirigen primero las costillas oblicuamente hacia adelante hasta cerca del centro de los flancos para encorvarse después hacia atrás en el segundo tercio de la anchura de la vuelta y encorvarse nuevamente hacia adelante en el tercio externo, en cuyo borde se desvían más fuertemente hacia adelante; en el hombro externo las costillas se hinchon formando una especie de nódulos obtusos, oblicuos y alargados; entre estos nódulos y la quilla se encuentra una faja angosta, lisa y ligeramente cóncava. La sutura es bastante sencilla; el lóbulo externo es profundo y angosto, la silla externa es ancha y está dividida en dos partes casi iguales por un lóbulo secundario, el primer lóbulo lateral es muy alargado y angosto y más profundo que el lóbulo externo; la primera silla lateral es más angosta que la silla externa y está dividida en dos partes muy desiguales por un pequeño lóbulo secundario, la porción más pequeña de la silla quedando del lado del primer lóbulo lateral; el segundo lóbulo lateral es mucho más pequeño que el primero y relativamente más ancho; la segunda silla lateral está también dividida en dos partes desiguales por un lóbulo secundario y es mucho más baja que la primera; un lóbulo auxiliar visible es ancho y sencillo” (taken from Böse, 1910, p. 61).

Type: Syntype IGM 309.

Age and locality: Lower Cenomanian, *Schloenbachia trinodosa* horizon; Cerro de Muleros, Chihuahua, Mexico.

Hypacanthoplites burckhardti Breistroffer, 1947

1925 *Parahoplites* aff. *milletianus* D'Orbigny in Burckhardt, pl. 3, figs. 17-19.

1947 *Hypacanthoplites*(?) gr. *burckhardti* Breistroffer, p. 34 and 68.

1963 *Hypacanthoplites burckhardti* Breistroffer; Cantú-Chapa, pl. 6, fig. 4, 4a.

1993 *Hypacanthoplites burckhardti* Breistroffer; Contreras y Montero et al., parte 5.

Original diagnosis: Without original diagnosis.

Subsequent description: “La primera de las dos formas (pl. 3 fig. 17-19) tiene una concha discoidal aplanada. Las vueltas se abrazan hasta un tercio más o menos y se acrecientan más bien rápidamente. El ombligo es bastante abierto y poco profundo. Flancos y parte externa algo convexos; los primeros pasan en una pared umbilical oblicua y no muy alta. Haré notar que la pared del ombligo es más alta y más abrupta en un lado de nuestro ejemplar que en el otro. Sección transversal arredondada, tan ancha como alta.

Costillas bastante apretadas y fuertes, pero poco salientes, cubren los flancos. Las unas, principales, nacen sobre la pared umbilical, las otras se intercalan entre ellas y aparecen hacia el tercio inferior de los flancos en los intersticios entre las costillas principales. Costillas principales e intercaladas, no alternan siempre con regularidad, observándose a veces dos costillas principales que se siguen.

Las costillas principales forman casi siempre ligeros tubérculos o más bien hinchamientos, en el borde del ombligo, y se bifurcan a veces en dos ramas a partir de estos tubérculos. Las costillas pasan en línea casi rectas, oblicuamente inclinadas hacia adelante por los flancos. Sobre la parte externa no se alteran, siendo algo arqueadas hacia adelante" (taken from Burckhardt, 1925, p. 21, 22).

Type: No type originally assigned.

Age and locality: Upper Aptian, beds with *Douvilléceras*, Río Nazas, Loma Verde, Durango, Mexico.

Allocrioceras burckhardti Kennedy and Cobban, 1991

1919 *Crioceras* sp. ind. Burckhardt, pl. 24, figs. 1, 2.

1991 *Allocrioceras burckhardti* Kennedy and Cobban, pl. 10, figs. 14, 16.

1995 *Allocrioceras* aff. *burckhardti* Kennedy and Cobban; Kennedy *et al.*, pl. 27, fig. 18, 19.

Original diagnosis: "*A large species of Allocrioceras with ventral tubercles and all ribs and periodic constrictions*" (taken from Kennedy and Cobban, 1991, p. 58).

Types: Holotype USNM 433834.

Age and locality: Middle Coniacian, Scaphites ventricosus Zone, Kevin Member of the Marias River Shales, 21.5 km southeast of Shelby in the SE, Toole County, Montana US.

4.6. Cephalopoda - Belemnoidea

Atractites burckhardti Smith, 1914

1914 *Atractites burckhardti* Smith, pl. 96, figs. 6, 7.

1933 *Atractites burckhardti* Smith; Crickmay, p. 15.

1970 *Atractites burckhardti* Smith; Zullo and Hertlein, p. 18.

1994 *Atractites burckhardti* Smith; Stanley *et al.*, p. 26.

Original diagnosis: "*Form, long slender, with long phragmocone and conical, somewhat club-shaped guard. The cross section of the guard is elliptical, with the major diameter much greater than the minor, especially toward the lower part of the shell, where the guard is prolonged in a flattened dart-shaped apex*" (taken from Smith, 1914, p. 138).

Types: Plasto-Holotype 11755.

Age and locality: Middle Triassic, Daonella dubia Zone, Ceratites trinodus Subzone; Nevada, USA.

4.7. Mollusca - Bivalvia

Jaworskiella burckhardti (Jaworski, 1916)

1902b *Trigonia gryphitica* Burckhardt non Steinmann; Burckhardt, pl. 4, fig. 4.

1916 *Trigonia Burckhardti* Jaworski; Jaworski, pl. 5, fig. 3 (=1925, pl. 1, fig. 3).

1942 *Trigonia (Jaworskiella) burckhardti* (Jaworski); Leanza, pl. 6, figs. 2, 3.

1969 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski); Cox *et al.*, p. N481, fig. D68,6.

1977 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski); Pérez and Reyes, pl. 2, figs. 1, 3, 6.

1987 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski); Leanza and Garate-Zubillaga, pl. 1, figs. 1, 2.

1980 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski); Hillebrandt, pl. 2, figs. 5a, b.

1993 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski); Leanza, pl. 1, figs. 1, 6-7, 10.

1997 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski); Pérez and Reyes, p. 574, 576.

2008 *Jaworskiella burckhardti* (Jaworski).- Pérez *et al.*, pl. 6, figs. 2, 8-9; pl. 7, figs. 1-3, 6-7; pl. 8, fig. 3.

Original diagnosis: Without original diagnosis.

Subsequent genus diagnosis: "*Oblong, strongly inequivalve. Area with strong, transverse ridges; marginal carina well marked; area with strong transverse ridges, flank with narrow, more or less sinuous, simple costae which are subcentric except near their well-upcurved posterior end*" (taken from Cox *et al.*, 1969, p. N481).

Types: Hypotypes MOZ P3043, MOZ P3044.

Age and locality: Lower Jurassic, Liassic (Pliensbachian), Zone of Otapiria neuquenensis and Zone of Radulonectites sosneadensis. Piedra Pintada Formation; Cerrito Roth, Cañadón de la Piedra Pintada, Neuquén, Argentina.

Cercomya burckhardti Alencáster, 1963

1963 *Anatina (Cercomya) burckhardti* Alencáster, pl. 8, figs. 4-9.

1989c *Anatina (Cercomya) burckhardti* Alencáster; Perrilliat, p. 303, fig. 114l.

Original description: "*Concha oval, alargada transversalmente, ligeramente convexa, inequivalva (la valva derecha ligeramente mayor), y muy inequilateral, con el extraño anterior menos prolongado y más alto que el posterior, que es largo y angosto. Umbones opistogiros, pequeños y agudos, poco elevados, situados en el tercio anterior de la concha. Margen dorsal post-umbonal ligeramente cóncavo y largo, margen dorsal pre-umbonal recto e inclinado, extremo anterior prolongado, pero menos que el posterior, y ensanchado, en el margen fuertemente redondeado; extremo posterior muy prolongado en un rostro adelgazado gradualmente, con margen redondeado, margen ventral casi recto.*

Ornamentación de costillas redondeadas, en número de 20 en los ejemplares grandes, concéntricas en la región umbonal y en el primer tercio anterior de la concha, adelgazadas y dobladas hacia abajo en la parte central de la concha, desaparecen en la mitad posterior. Líneas de crecimiento cubren toda la superficie e intersectan a las costillas en la parte central de la concha. Dos surcos radiales se extienden atrás de los umbones hacia el extremo posterior a lo largo del borde cardinal, ligeramente divergentes, el más dorsal es más profundo. En la parte media de los flancos hay una depresión

débil, oblicua, extendida de los umbones a la margen medio ventral" (taken from Alencáster, 1963, p. 45).

Types: Holotype IGM 1157-3, paratypes IGM 1157-4, 1157-6, IGM 1157-9, IGM 1157-10, 1157-14, IGM 7308, IGM 7309, IGM 7310, IGM 7311, IGM 7312.

Age and locality: Middle Jurassic, Taberna Formation; localities: Ca-5, Ca-7, Ca-9, Rosario-San Juan Diquiyú, Oaxaca, and localities A-1, A-2 Tezoatlán-Consuelo, Oaxaca, Mexico.

It is important to mention that in our research of Burckhardt's dedicated species, we evaluated the availability of taxa, and we found that an alternative spelling of *Cercomya* was *Anatina* (*Cercomya*), but actually *Cercomya* is considered a separate genus (Cox *et al.*, 1969, Paleobiology data base, Aberhan, 2004).

Pycnodonte burckhardti (Böhm, 1903)

- 1901 *Gryphaea vesicularis* Lamarck; Burckhardt, pl. 3, figs 4 – 9.
- 1901 *Gryphaea* aff. *pitcheri* Morton; Burckhardt, pl. 3, figs 4 – 9.
- 1903 *Gryphaea rothi* Böhm, p. 71.
- 1903 *Gryphaea burckhardti* Böhm, p. 72.
- 1903 *Gryphaea rocana* Ihering; Ihering, p. 198.
- 1907 *Gryphaea burckhardti* Böhm; Ihering, pl. 1, fig. 4a, 4b, 4c.
- 1907 *Gryphaea rothi* Böhm; Ihering, pl. 1, fig. 5a-b.
- 1918 *Gryphaea burckhardti* Böhm; Windhausen, p. 45.
- 1921 *Gryphaea burckhardti* Böhm; Wilckens, pl. 3, figs. 2a-b, 3a-b.
- 1928 *Gryphaea burckhardti* Böhm; Marwick, p. 436.
- 1955 *Gryphaea burckhardti* Böhm; Groeber, p. 238
- 1995 *Odontogryphaea burckhardti* (Böhm); Feldmann *et al.*, p. 1.
- 1998 *Pycnodonte* (*Phygraea*) *burckhardti* (Böhm); Casadío, figs 2.1 – 2.2; pl. 2; figs 16 – 19.
- 2003 *Pycnodonte* (*Phygraea*) *burckhardti* (Böhm); Gasparini *et al.*, p. 160.
- 2006 *Pycnodonte burckhardti* (Böhm); Kiessling *et al.*, p. 186.
- 2007 *Pycnodonte* (*Phygraea*) *burckhardti* (Böhm); Río del *et al.*, fig. 4A – C.
- 2008 *Pycnodonte* (*Phygraea*) *burckhardti* (Böhm); Fernández *et al.*, p. 179.
- 2009 *Pycnodonte* (*Phygraea*) *burckhardti* (Böhm); Rougier *et al.*, p. 225.
- 2011 *Pycnodonte burckhardti* Ihering; Río del *et al.*, fig. 10.1-10.2.

Original diagnosis: Without original diagnosis.

Subsequent diagnosis: "*Valva derecha muy curvada y con región umbonal muy acuminada; chomata continua a lo largo de todo el perímetro de las valvas*" (taken from Casadío, 1998, p. 451).

Type: No type assigned, subsequent designation holotype MACN-Pi 5219 (Río del *et al.*, 2011).

Age and locality: Campanian to Danian, Río Negro, Neuquén, Mendoza, Argentina

Venericardia burckhardti (Ihering, 1903)

1900a *Cardita morganiana* Burckhardt, pl. 28, fig. 10-13.

1902a *Cardita morganiana* Burckhardt; Burckhardt, pl. 4, fig. 1-7.

1903 *Cardita burckhardti* Ihering, p. 205.

1907 *Venericardia Burmeisteri* Böhm; Ihering, p. 22.

2009 "*Venericardia*" *iheringi* var. *burckhardti* (Ihering); Río del *et al.* p. 73R.

2011 "*Venericardia*" *iheringi* var. *burckhardti* (Ihering); Río del *et al.*, fig. 10.5, 10.6.

Original diagnosis: "*Cardita, C. morganiana affinis testa maiore et minus turgida differente nec non umbonibus minus elevatis, costarum interstitiis latioribus et carina obtusa in concha adulta, ab umbone decurrente.*"

Il en résulte que l'exemplaire examiné par White est bien plus ventru. De plus les espaces intercostaux sont plus étroits dans l'exemplaire de White et bien plus larges dans ceux de Burckhardt. Pour cette raison je crois l'espèce de Roca différente de celle du Brésil et je propose pour elle le nom de C. burckhardti, en la dédiant à mon collègue Mr. Carl Burckhardt qui a si bien mérité de l'exploration géologique de l'Argentine. Evidemment les exemplaires de Malargue, figures par Burckhardt, appartiennent à la même espèce que ceux de Roca, mais l'espèce de Maria Farinha au Brésil ne me paraît pas être identique avec elle.

Dans les moules des exemplaires adultes de C. burckhardti on observe une cote radiaire peu marquée venant du crochet presque au milieu de la coquille, caractère qui est remarquable aussi dans les exemplaires de Malargue, mais non dans l'espèce de Maria Farinha region" (taken from Ihering, 1903, p. 205).

Type: No type assigned, subsequent designation holotype MACN-Pi 356 (Río del *et al.*, 2011).

Age and locality: Upper Maastrichtian Jagüel and Roca Formations; General Roca área, Río Negro, Argentina.

Dosinia burckhardti Ihering, 1907

1902a *Dosinia brasiliensis* Burckhardt, pl. 4, figs. 8-12.

1903 *Dosinia* aff. *brasiliensis* Ihering, p. 206.

1907 *Dosinia burckhardti* Ihering, p. 26.

1918 *Dosinia burckhardti* Ihering; Windhausen, tab. 1.

1955 *Dosinia burckhardti* Ihering; Groeber, p. 238.

2011 "*Dosinia*" *burckhardti* Ihering; Río del *et al.*, fig. 11.9.

Original diagnosis: "*Divers moules provenant du Río Negro et de Roca permettent de compléter la description originale de Burckhardt. L'espèce est différente de D. brasiliensis White par sa sculpture beaucoup plus fine, par l'extrémité postérieure qui, au lieu d'être arrondie, est triangulée, par l'extrémité antérieure moins saillante et moins arrondie et par le bord dorsal très long et presque rectiligne.*"

Cette espèce est distinguée dans le moule par une crête obtuse descendant du crochet et par la direction du sinus de la ligne palléale. Le prolongement de la ligne postérieure du sinus, qui est triangulaire, passe par la lunule tandis que dans presque toutes les autres espèces du genre cette ligne passe par l'impression de l'adducteur antérieur; la crête décourante traverse l'angle supérieur du sinus.

Il est pourtant évident que cette espèce n'est identique ni avec D. brasiliensis ni avec les autres espèces tertiaires de la Patagonie" (taken from Ihering, 1907, p. 26).

Type: No type assigned, subsequent designation holotype MACN-Pi 415 (Río del et al., 2011).

Age and locality: Paleocene, Patagonia, Argentina.

Diplodon burckhardti (Mayer-Eymar, 1900 in Burckhardt, 1900b)

1900b *Unio Burckhardti* Mayer-Eymar, in Burckhardt, pl. 26, figs. 7, 8.

1978 *Diplodon burckhardti* (Mayer-Eymar); Chang et al., p. 727.

Original diagnosis: "Teste ovato-trapezoides, modice ventricosa, crassula, valde inaequilateralis, irregulaiter rugulosa. Umbo tumidiusculus. Latus anticum breviusculum, ad umbonem leviter concavum, rotundatum; posticum elongatum, oblique compressum, subtus leviter arcuatum, oblique truncatum; inferum longum, subrectum vel leviter sinuosum, cardo crassulo dente in valva sinistra unico, crasso, subtriangulari. Long. 60, lat. 43, crass. circ. 25 mm" (taken from Burckhardt, 1900b, p. 24).

Type: No type assigned.

Age and locality: Tertiary, Lower Eocene, bed with *Bythinia capitata*; Cordillera between Las Lajas and Curacautin, Neuquén, Argentina.

4.8. Arthropoda - Crustacea

Callianassa burckhardti Böhm, 1911

1911 *Callianassa burckhardti* Böhm, fig. a-e.

1979 *Protocallianassa* (*Callianassa*) *burckhardti* Böhm; Taylor, p. 22.

1985 *Callianassa burckhardti* Böhm; Aguirre-Urreta, pl. 2, fig. L-M.

1989 *Callianassa burckhardti* Böhm; Aguirre-Urreta, pl. 60, nums. 12-17.

1995 "Callianassa" *burckhardti* Böhm; Feldmann et al., fig. 4.2, 4.3.

Original diagnosis: Not original diagnosis.

Subsequent diagnosis: "Medium to large palms of callianassids. Articulation with carpus straight. Carpus large, subrectangular, with parallel margins. Cross-section oval, with curved outer and inner surface, margins acute. Small specimens sub-rectangular; longer than wide (L/W: 1-11-1-37), with parallel margins and oval cross-section. Large specimens with square palms, with oval but flattened cross-section. External surface rounded, ornamented with pits evenly spread over whole surface. On the internal moulds these pits appear as granules. Internal surface flattened, smoother. Inferior margin acute, slightly serrated. Upper margin also sharp, narrow, with at least 8 small spines visible on well-preserved specimens. Fixed finger short, with triangular crosssection; two lines of pits bound the cutting edge. Dactylus unknown, but its base is large, oval, elevated, with a collar rim" (Aguirre-Urreta, 1989, p. 540).

Types: Holotype. GHUNLPan 7035 a y b.

Age and locality: Upper Cretaceous to Neogene, Maastrichtian to Danian, Roca Formation; Neuquén, Mendoza, Argentina.

4.9. Echinodermata - Echinoidea

Petalobrissus burckhardti Lambert, 1936

1936 *Petalobrissus burckhardti* Lambert, pl. 1, fig. 7, 8.

1968 *Petalobrissus burckhardti* Lambert; Buitrón, p. 22.

1989d *Petalobrissus burckhardti* Lambert; Perrilliat, p. 409, 411, fig. 1611.

2006 *Petalobrissus burckhardti* Lambert; Nieto-López and García-Barrera, p. 108.

Original diagnosis: "Test allongé mesurant 26 mm. de longueur, sur 20 de largeur et 13 de hauteur, arrondi en avant, un peu plus large et subtronqué en arrière; face supérieure assez haute, déclive sur les flancs, ayant son sommet vers l'apex qui est très excentrique en avant; pétales à peu près égaux, à fleur de test, étroits, lancéolés, rétrécis sans être complètement fermés à leur extrémité. Périprocte dans un sillon postérieur étroit, qui s'atténue au-dessus de l'ambitus et remonte assez haut, sans atteindre le niveau des pétales postérieurs. Face orale déprimée vers le péristome, qui est excentrique en avant, subpentagonal, entouré de bourrelets et de phylloides peu développés pour le genre; une zone sternale granuleuse.

En raison de ses pétales à fleur de test, étroits, lancéolés, relativement courts, cette espèce ne saurait être confondue avec aucune autre" (taken from Lambert, 1936, p. 5).

Types: Holotype by monotype Lambert (1936, pl. 1, fig. 7,8, Syntype DND).

Age and locality: Upper Cretaceous, Maastrichtian, bed with *Conulus chiapasensis*; Ocozocuahtla, Chiapas, Mexico.

5. Subspecies

5.1. Mollusca - Cephalopoda - Ammonoidea

Lilloettia steinmanni burckhardti Riccardi and Westermann, 1991

1927 *Macrocephalites* aff. *macrocephalus* Burckhardt, pl. 16, figs. 1-3; pl. 17, fig. 7.

1984 *Eurycephalites* (*Lilloettia*) ex. gr. *steinmanni* Spath and Tipper Frebold; Westermann et al., pl. 3, fig. 1 a-b.

1991 *Lilloettia steinmanni burckhardti* Riccardi and Westermann, text-fig. 19.

Original diagnosis: "The "Macrocephalites aff. *macrocephalus*" of Burckhardt (1927, p. 32, pl. 16, figs. 1-3; pl. 17, fig. 7; here Text-fig. 19) from Cualac in Guerrero State, southern Mexico, closely matches the lectotype of *E. steinmanni* in size, coiling and density of secondaries; but it differs in the stouter whorl section with subparallel flanks which seem to be smooth, and in the smaller size (complete body chamber). Additional material (see Westermann et al., 1984, pl. 3, fig. 1a-b; Sandoval et al., 1990, pl. 5, figs. 1a-b; pl. 6, figs 1a-b) supports the constancy of

these slight differences. We, therefore, believe that the Mexican material belongs to a geographic subspecies, here named *L. steinmanni* Burckhardt subsp. nov.” (taken from Riccardi and Westermann, 1991, p. 55).

Types: Holotype IGM 1927.

Age and locality: Lower Callovian, Steinmanni Zone; Cualac, Guerrero, Mexico.

6. Minerals

6.1. Burckhardtite

Burckhardtite occurs as crystalline rosettes less than 0.2mm across, and rarely as single hexagonal or pseudohexagonal crystal sup to 50p with dickite in quartz breccia on the third and second levels of the mine (Gaines *et al.*, 1979).

“Minor associated minerals include moctezumite, $Pb(UO_2)(TeO_3)_2$, zemannite, $(Zn,Fe)_2(TeO_3)_3Na_xH_{2-x}.nH_2O$, and barite. Microprobe analysis gave, in weight percent, SiO₂ 20.28, TeO₂ 17.03, Al₂O₃ 5.44, Fe₂O₃ 7.25, Mn₂O₃ 1.18, PbO 45.23, H₂O (by difference) 3.59, corresponding to $Pb_2(Fe,Mn)_3 + AlTeSi_3O_{10}(OH)_2O_2.H_2O$.

Most of the crystalline rosettes have centers of dickite, suggesting an oriented overgrowth. Burckhardtite is inferred to have a sheet structure, and is believed to be monoclinic, pseudohexagonal. X-ray powder diffraction data can be indexed quite well on a C-centered cell with $a = 5.21$, $b = 9.04$, $c = 12.85A$, $\beta = 90^\circ$, although a number of minor lines fail to index readily. The principal X-ray diffraction lines, with intensities and Miller indices, are 12.8(9)001; 4.51(2)020,110; 4.26(2)111,003,021; 3.70(9)112,022; 3.11(10)113,023; 2.60(7)200,130; 2.26(3b)040,220; 2.24(3b)113,025,115; 2.13(3)222,006,042; 2.00(2)223; 1.840(6)007; 1.590(5)243,153; plus 33 others to 0.793.

Color violet red to pale pink when finely disseminated in clays, streak same but paler. Luster of crystals adamantine to slightly pearly. Cleavage perfect [001]; hardness about 2. Density of crystals rosettes inter grown with clay about 3.2; calculated density, with $Z = 2$, 4.96. Paramagnetic. Insoluble in hot dilute or concentrated HCl. Optically negative uniaxial or nearly so; $\alpha = 1.82$, $\beta = \gamma = 1.85$; $\chi = c$. Pleochroism α pale magenta, β and γ carmine red, somewhat variable” (taken from Gaines *et al.*, 1979, p. 355).

Type: Deposited in the Smithsonian Institution (NMNH 144110).

Type locality: Moctezuma Mine, Moctezuma, Sonora, Mexico.

Conclusion

The present recompilation of taxa and a mineral dedicated to Burckhardt, includes thirty-seven taxa of different taxonomic groups—radiolaria, coelenterata, brachiopoda, mollusca (gastropoda, cephalopoda, bivalvia), echinodermata, crustacea—and a mineral. The authors try to honor the magnificent Burckhardt’s paleontological work with the accurate gathering of cited taxa.

Acknowledgements

The authors are in debt with all researchers who study the fossil fauna included in this revision. Also, we thank the University of Granada (UGR) and the National Autonomous University of Mexico (UNAM), who have supported our investigation for a long time. We are also in debt with the reviewers who contributed with precise observations to improve this paper.

Declarations of interest: none.

References

- Aberhan, M. (2004). Early Jurassic Bivalvia of northern Chile, part II, Subclass Anomalodesmata. *Beringeria*, 34, 117–154.
- Aguirre-Urreta, M. B. (1985). Ancylocerátidos (Ammonoidea) Aptianos de la Cordillera Patagónica Austral. Provincia de Santa Cruz, Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 56, 135–235.
- Aguirre-Urreta, M. B. (1989). The Cretaceous decapod crustacea of Argentina and the Antarctic Peninsula. *Palaeontology*, 32(3), 499–552.
- Alencáster-Ibarra, G. (1951-53). Moluscos del Mioceno de la región de El Juile, Veracruz, México. *Memorias Congreso Científico Mexicano, Ciencias Físicas y Matemáticas, Geología* 3, 62–74.
- Alencáster, G. (1963). Pelecípodos del Jurásico medio del noroeste de Oaxaca y noreste de Guerrero. *Paleontología Mexicana*, 15, 1–52.
- Allison, E. C. (1955). Middle Cretaceous Gastropoda from Punta China, Baja California, Mexico. *Journal of Paleontology*, 29(3), 400–432.
- Anderson, F. M. (1929). Marine Miocene and related deposits of north Colombia. *California Academy of Science Proceedings*, 4th series, 18(4), 73–213.
- Arenas-Islas, D., Esquivel-Macias, C., & Flores-Castro, K. (2009). Ammonoideos y bivalvos del Sinemuriano Superior en un nuevo afloramiento de la Formación Huayacocotla, Hidalgo, México, algunas consideraciones paleoambientales. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(2), 185–197. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2009v61n2a5>
- Barker, M. J. (1994). The biostratigraphic potential of Nerineacean Gastropods—case studies from the Middle Jurassic of England and the Upper Jurassic of France. *Geobios Mémoire Spécial*, 27, 93–101. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(94\)80128-2](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(94)80128-2)
- Barragán, R., & Maurrasse, F. (2008). Lower Aptian (Lower Cretaceous) ammonites from the basal strata of the La Peña Formation of Nuevo León State, northeast Mexico: biostratigraphic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(1), 145–157. <http://www.rmcmg.unam.mx/index.php/rmcmg/article/view/677>
- Beyrich, H. E. (1862). Zwei aus deutschem Muschelkalk noch nicht bekannte Avicula-artige Muscheln. *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft* 14(1), 9–10.
- Blau J., Meister, C., Schmidt-Effing, R., & Villaseñor, A. B. (2008). A new fossiliferous site of Early Liassic (Late Sinemurian) marine sediments from the southern Sierra Madre Oriental (Puebla, Mexico): ammonite fauna, biostratigraphy, and description of *Ectocentrites hillebrandtii* new species. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(3), 402–407. <http://www.rmcmg.unam.mx/index.php/rmcmg/article/view/683>
- Böhm, J., (1903). Über Ostreen von General Roca am Río Negro. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 55, 71–72.
- Böhm, J. (1911). *Callianassa Burckhardti* n. sp. nebst einer Zusammenstellung der fossilen Arten der Gattung *Callianassa* (Abstract). *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 63, 37–46.
- Böse, E. (1906a). Sobre algunas faunas terciarias. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 22, 1–97.
- Böse, E. (1906b). La fauna de moluscos Senoniano de Cárdenas, San Luis Potosí. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 24, 1–95.
- Böse, E. (1910). Monografía Geológica y Paleontológica del Cerro de Muleros cerca de Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua y

- descripción de la fauna Cretácea de La Encantada, placer de Guadalupe, estado de Chihuahua. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 25, 1–61.
- Böse, E. (1917). The Permo-Carboniferous ammonoids of the Glass Mountains, west Texas, and their stratigraphical significance. *University of Texas Bulletin*, 1762, 5–214. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.55035>
- Böse, E. (1923). Algunas faunas cretácicas de Zacatecas, Durango y Guerrero. *Boletín del Instituto de Geología*, 42, 1–219.
- Breistroffer, M. (1947). Sur les zones d'Ammonites dans l'Albien de France et d'Angleterre. *Travaux Laboratoire Géologique France, Grenoble*, 26, 17–104.
- Buitrón, B. (1968). Catálogo de equinoides fósiles de México. *Paleontología Mexicana*, 26, 5–50.
- Burckhardt, C. (1900a). Profils géologiques transversaux de la Cordillere Argentino-Chilienne. *Anales del Museo de La Plata. Sección geológica y mineralógica*, 2, 1–136.
- Burckhardt, C. (1900b). *Coupe Géologique de la Cordillère entre Las Lajas et Curacautin* (Serie Anales del Museo de La Plata. Sección geológica y mineralógica, 3). Talleres de Publicaciones del Museo.
- Burckhardt, C. (1901). Le gisement supracrétacique de Boca (Río Negro). *Revista del Museo de La Plata*, 10, 1–207.
- Burckhardt, C. (1902a). Le gisement supracrétacique de Roca (Río Negro). *Revista del Museo de La Plata*, 10, 209–222.
- Burckhardt, C. (1902b). Sur les fossiles marines du Lias de la Piedra Pintada. *Revista del Museo de La Plata*, 10, 243–249.
- Burckhardt, C. (1903). Beiträge zur kenntniss der jura- und kreideformation der cordillere. *Palaeontographica, Beitrage zur Naturgeschichte der Vorzeit*, 3 parts, 1–144.
- Burckhardt, C. (1919–21). El Cretáceo Superior de Zumpango del Río (Estado De Guerrero). *Boletín del Instituto de Geología*, 33, 81–135.
- Burckhardt, C. (1925). Faunas del aptiano de Nazas (Durango). *Boletín del Instituto de Geología*, 45, 1–71.
- Burckhardt, C. (1927). Cefalópodos del Jurásico Medio de Oaxaca y Guerrero. *Boletín del Instituto de Geología*, 47, 1–106.
- Burckhardt, C. (1930). Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain. *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, 49–50, 1–280.
- Cantú-Chapa, A. (1963). Étude biostratigraphique des ammonites du centre et de l'est du mexique (Jurassique supérieur et Crétacé). *Mémoires de la Société Géologique de France (Nouvelle Série), Mémoire*, 99, 1–99.
- Cantú-Chapa, A. (2009). Ammonites of the Cretaceous Taraisas and lower Tamaulipas formations in eastern Mexico. In C. Bartolini, J.R. Román Ramos, (Eds.). *Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico*, (vol. 90, pp. 191–216). American Association of Petroleum Geologist Memoir. <https://doi.org/10.1306/13191084M902804>
- Casadío, S. (1998). Las ostras del límite Cretácico-Paleógeno de la Cuenca neuquina (Argentina). Su importancia bioestratigráfica y paleobiogeográfica. *Ameghiniana*, 35(4), 449–471.
- Contreras y Montero, B., Gómez-Luna, M. E., Martínez-Cortes, A., & González-Casildo, V. (1991). *Catálogo de amonitas de México, parte 1. Jurásico Superior. Proyecto CAO-5508*. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Contreras y Montero, B., Gómez-Luna, M. E., Martínez-Cortes, A., & González-Casildo, V. (1992). *Catálogo de amonitas de México, parte 3. Cretácico Inferior (Barremiano-Aptiano). Proyecto CAO-1404*. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Contreras y Montero, B., Martínez-Cortes, A., & Gómez-Luna, M. E. (1993). *Catálogo de amonitas de México, parte 5 (Cretácico Inferior (Albiano). Proyecto CAC-3104*. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Cox, L.R. & 24 more co-authors (1969). *Treatise on Invertebrate Paleontology, part. N, Mollusca 6 Bivalvia* (1–3, 1–1224). The Geological Society of America, Inc. and The University of Kansas Press, Boulder.
- Crickmay, C. H. (1933). The genotype of *Belemnites*; with a synopsis of North American species of Belemnoidea. *The Canadian Field-Naturalist*, 47, 12–15.
- Chang, A., Arratia G., & Alfaro, G. (1978). *Percichthys lonquimayi*ensis n. sp. from the Upper Paleocene of Chile (Pisces, Perciformes, Serranidae). *Journal of Paleontology*, 52(3), 727–736.
- Damboranea, S. E. & Manceñido, M. O. (2005). Biofacies analysis of Hettangian-Sinemurian bivalve/brachiopod associations from the Neuquén Basin (Argentina). *Geologica Acta*, 3(2), 163–178. <https://doi.org/10.1344/105.000001405>
- Del Castillo, A., & Aguilera, J. G., (1895). Fauna fosil de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí. *Boletín de la Comisión Geológica de México*, 1, 1–55.
- Dimichele, W. A., Mamay S. H., Chaney D. S., Hook R. W., & Nelson W. J. (2001). An Early Permian flora with Late Permian and Mesozoic affinities from north-central Texas. *Journal of Paleontology*, 75(2), 449–460. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2001\)075%3C0449:AEFWL%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2001)075%3C0449:AEFWL%3E2.0.CO;2)
- Donovan, D. T., Callomon, J. R., & Howart, M. K. (1981). Classification of the Jurassic Ammonitina. In M. R. House & J. R. Senior, (Eds.), *The Ammonoidea. The evolution, classification, mode of life and geological usefulness of a major fossil group* (Special Volume 18, pp. 101–155). Academic Press Systematic Association.
- Donze, P. (1948). Les Périssphinctidés du Tithonique inférieur de la Croix de Saint-Concours près Chambéry (Savoie). *Compté Rendu Sommaire Société Géologique France*, 1–183.
- Donze, P. (1958). Les couches de passage du Jurassique au Crétacé dans le Jura français et sur les pourtours de la “fosse vocontienne” (Massifs subalpins septentrionaux, Ardèche, Grands Causse, Provence, Alpes-Maritimes). *Travaux du laboratoire de géologie de la Faculté de Sciences de Lyon, Nouvelle Série*, 3, 1–221.
- Donze, P., & Enay, R. (1961). Les céphalopodes du Tithonique Inférieur de la Croix-de-Saint-Concours près Chambéry (Savoie). *Travaux du laboratoire de géologie de la Faculté de Sciences de Lyon, Nouvelle Série*, 7, 1–278.
- Douvillé, R. (1910). Céphalopodes Argentins. Mémoires de la Société Géologique de France. *Paléontologie Memoir*, 43, 17(4), 1–24.
- Enay, R., & Cariou, E. (1999). Jurassic ammonite faunas from Nepal and their bearing on the palaeobiogeography of the Himalayan belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, 829–848. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(99\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(99)00012-7)
- Erben, H. K. (1956). El Jurásico Inferior de México y sus amonitas. In XX Congreso Geológico Internacional. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1–393.
- Feldmann, R. M., Casadio, S., Chirino-Galvez, L., & Aguirre-Urreta, M. B. (1995). Fossil Decapod Crustaceans from the Jagüel and Roca Formations (Maastrichtian–Danian) of the Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Paleontology*, 69(S43), 1–22. <https://doi.org/10.1017/S0022336000061060>
- Fernández, M., Martin, J., & Casadio, S. (2008). Mosasaurs (Reptilia) from the late Maastrichtian (Late Cretaceous) of northern Patagonia (Río Negro), Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.07.005>
- Feruglio, E. (1936). *Palaeontographia patagónica. Memorie dell' Istituto Geologico della (R) Università di Padova*, 1, 1–90.
- Filkorn, H. F. (2003). The Cretaceous corals of Mexico: occurrences and history of research. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(1), 52–78.
- Flores-López, R. (1967). La fauna liásica de Mazatepec. *Instituto Mexicano de Petróleo, Sección Geología*, 1, 25–30.
- Frebold, H. (1932). Marines Unterperm in Ostgrönland und die Frage der Grenzziehung zwischen dem pelagischen Oberkarbon und Unterperm Medd. *Grönland und Komm. vid.*, 84(4), 1–35.
- Frech, F. (1907). Über Aviculiden von paläozoischen Habitus aus der trias von Zacatecas. X Congreso Geológico Internacional: México, D.F., 327–340.
- Gaines, R. V., Leavens, P., & Nelen, J. (1979). *Burckhardtite*, a new silicate-tellurite from Mexico. *American Mineralogist*, 64, 355–358.
- Gasparini, Z., Salgado, L., & Casadio, S. (2003). Maastrichtian plesiosaurs from northern Patagonia. *Cretaceous Research*, 24(2), 157–170. [https://doi.org/10.1016/S0195-6671\(03\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0195-6671(03)00036-3)
- Gerth, E. (1925). La Fauna Neocomiana de la Cordillera Argentina en la parte meridional de la provincia de Mendoza. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias República Argentina*, 9, 57–132.
- Global Names Verifier (Data Base). <http://gmi.globalnames.org/?capitalize=on&format=html&names=Burckhardticerias> Accessed in January 2024.
- González-Arreola, C., Pantoja-Alor, J., Olóriz F., Villaseñor, A. B., & García-Barrera, P. (1996). Lower Aptian Ammonitina

- Pseudohaploceras lptoviense* (Zeuschner) in the Cumburindio Formation (Southwestern Mexico). *Geobios*, 29(1), 35–43. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(96\)80069-6](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(96)80069-6)
- González-Arreola, C., & Perrilliat, M. C. (1989). Ammonoidea. In M. C. Perrilliat (Ed.), *Fósiles Tipo Mexicanos. Centenario del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México* (179–300). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Groeber, P. (1955). Anotaciones sobre el Cretácico, Supracretácico, Paleoceno, Eoceno y Cuaternario. *Revista de la Asociación geológica Argentina*, 10(4), 234–261.
- Hacobjan, V. T. (1976). Late Cretaceous gastropods from the Armenian SSR Erevan. *Izd-vo Akademii Nauk Armyanskoy SSR*, 1–439.
- Henderson, R. A., & Kennedy, W. J. (2002). Occurrence of the ammonite *Goodhallites goodhallites* (J. Sowerby) in the Eromanga Basin, Queensland: an index species for the late Albian (Cretaceous). *Alcheringa*, 26(2), 233–247. <https://doi.org/10.1080/03115510208619254>
- Henderson, C. M., & Mei, S. (2003). Stratigraphic versus environmental significance of Permian serrated conodonts around the Cisuralian, Guadalupian boundary: new evidence from Oman. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191, 301–328. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00669-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00669-7)
- Hertlein, L. G., & Jordan, E. K. (1927). Paleontology of the Miocene of Lower California. *Proceedings California Academic Science, serie 4*, 16(19), 605–647.
- Hillebrandt, A. von. (1980). Paleozoogeografía del Jurásico marino (Lías hasta Oxfordiano) en Sudamérica. In Zeil, W. (Ed.), *Nuevos Resultados de la Investigación Geocientífica Alemana en Latinoamérica*, (pp. 123–134). Bonn (Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn and Instituto de Colaboración Científica).
- Howlett, P. J. (1989). Late Jurassic-early Cretaceous cephalopods of eastern Alexander Island, Antarctica. *Special Papers in Palaeontology*, 41, 1–72.
- Humphrey, W. E. (1949). Geology of the Sierra de los Muertos area, Mexico (with descriptions of Aptian cephalopods from the La Peña Formation). *Bulletin of the Geological Society of America*, 60(1), 89–175. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1949\)60\[89:GOTS DL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1949)60[89:GOTS DL]2.0.CO;2)
- Ihering, H. von. (1903). Les mollusques des Terrains Crétaciques Supérieurs de l'Argentine orientale. *Anales del Museo de Nacional de Buenos Aires*, 9, 198–230.
- Ihering, H. von. (1907). Les Mollusques fossiles du Tertiaire et du Crétacé Supérieur de l'Argentine. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires, Serie 3*(7), 1–611.
- Imlay, R. W. (1939). Upper Jurassic ammonites from México. *Bulletin of the Geological Society of America*, 50(1), 1–77. <https://doi.org/10.1130/GSAB-50-1>
- Imlay, R. W. (1940). Neocomian faunas of the Northern Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America*, 51(1), 117–190. <https://doi.org/10.1130/GSAB-51-117>
- Imlay, R. W. (1944). Cretaceous formations of central America and Mexico. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 28(8), 1077–1195. <https://doi.org/10.1306/3D9336A8-16B1-11D7-8645000102C1865D>
- Indans, J. (1954). Eine Ammonitenfauna aus dem Untertothoth der argentinischen Kordillere in Süd-Mendoza. *Paläontographica*, 105, Abteilung A, 96–132.
- Jaworski, E. (1916). Beiträge zur Kenntniss der Jura in Süd Amerika. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 40, 364–456.
- Jaworski, E. (1940). Oxfordian-Ammoniten von Cuba. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage Band 83, Abteilung B*, 87–137.
- Judoley, C.M., & Furrázola-Bérmudez, G. (1968). *Estratigrafía y fauna del Jurásico de Cuba*, (Publicación Especial). Instituto Cubano de Recursos Minerales, Departamento Científico de Geología.
- Kaye, C. (1959). Geology of the San Juan Petropolitan Puerto Rico. *United States Geological Survey Professional Paper*, 317A, 1–38. <https://doi.org/10.3133/pp317A>
- Kennedy, W. J., Bilotte, M., & Melchior, C. (1995). Ammonite faunas, biostratigraphy and sequence stratigraphy of the Coniacian-Santonian of the Corbières (N.E. Pyrénées). *Bulletin du Centres Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 19, 377–499.
- Kennedy, W. J., & Cobban, W. A. (1991). Coniacian Ammonite faunas from the United States Western Interior. *Special Papers in Palaeontology*, 45, 5–90.
- Kiessling, W. (1999). Late Jurassic Radiolarians from the Antarctic Peninsula. *Micropaleontology*, 45(Supplement 1), 1–96. <https://doi.org/10.2307/1486097>
- Kiessling, W., Scasso, R., Aberhan, M., Ruiz, L., & Weidemeyer, S. (2006). A Maastrichtian microbial reef and associated limestones in the Roca Formation of Patagonia (Neuquén Province, Argentina). *Fossil Record*, 9(2), 183–197. <https://doi.org/10.1002/mmng.200600007>
- King, R. E., Dunbar, C. O., & Cloud, P. (1944). Geology and Paleontology of the Permian area northwest of Las Delicias, southwestern Coahuila, Mexico. *Geological Society of America Special Papers*, 52, 1–172. <https://doi.org/10.1130/SPE52-p1>
- Koenen, A. von. (1902). *Die Ammonitiden des Norddeutschen Neocom (Valanginien, Hauterivien, Barremien und Aptien)*. Abhandlungen der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie, neue folge, 24, 1–451.
- Lambert, J. (1936). Quelques nouveaux Échinides fossiles du Crétacé du Mexique. *Bulletin de la Société Géologique de France, serie 5*(9), 3–6.
- Lambert, L. C., Lehrmann, D. J., & Harris, M. T. (2000). Correlation of the Road Canyon and Cutoff Formations, West Texas, and its relevance to establishing an international Middle Permian (Guadalupian) Series. In B. R. Wardlaw, R. E. Grant & D. M. Rohr, (Eds.) *The Guadalupian Symposium*, (pp. 153–183). Smithsonian Contributions to the Earth Sciences.
- Leanza, A. F. (1942). Los Pelecípodos del Lias de Piedra Pintada en el Neuquén. *Revista del Museo de La Plata, nueva serie, Paleontología*, 2, 145–206.
- Leanza, A. F. (1945). Ammonites del Jurásico superior y del Cretáceo inferior de la Sierra Azul, en la parte meridional de la provincia de Mendoza. *Anales del Museo de la Plata, nueva serie*, 6(1), 5–145.
- Leanza, H. A. (1981). Faunas de ammonites del Jurásico superior y Cretácico inferior de América del Sur con especial consideración de la Argentina. In Volkheimer von, & W., Musacchio, E. (Eds.), *Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur* 2, 59–597.
- Leanza, H. A. (1993). Jurassic and Cretaceous Trigoniid Bivalves from West-Central Argentina. *Bulletins of American Paleontology*, 105(343), 5–95.
- Leanza, H. A., & Garate-Zubillaga, J. L. (1987). Faunas de Trigonias (Bivalvia) del Jurásico y Cretácico inferior del Neuquén, Argentina, conservadas en el Museo Juan Olsacher de Zapala. In Volkheimer, W. (Ed.), *Bioestratigrafía de los Sistemas Regionales del Jurásico y Cretácico de América del Sur*, 1, 201–255.
- López-Palomino, I. (2002). *Análisis bioestratigráfico basado en fauna de ammonites del Oxfordiano (Jurásico Superior) en la región de Tamán, San Luis Potosí*. [Tesis Maestría, no publicada], Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lucas, S. (2004). A global hiatus in the Middle Permian tetrapod fossil record. *Stratigraphy* 1(1), 47–64.
- Manceñido, M. O. (1990). Braquiópodos del Jurásico inferior de Argentina: Bioestratigrafía y correlación. *Ameghiniana*, 27(3–4), 389.
- Manceñido, M. O. (1991). The succession of Early Jurassic brachiopod faunas from Argentina: Correlations and affinities. In Mackinnon, D. I., Lee, D. E., & Campbell J. D. (Eds.), *Brachiopods through time*, 397–415.
- Manceñido, M. O. (2004). El desmembramiento del género *Spiriferina* d'Orbigny, y su registro en el Jurásico Inferior del oeste argentino. *Ameghiniana*, 42(2) Suplemento, 47R.
- Marwick, J. (1928). The Tertiary Mollusca of the Chatham Islands including a generic revision of the New Zealand pectinidae. In *Transactions and Proceedings of the Royal Society of New Zealand*, 58(4), 431–506.
- Matsuoka, A., & Yang, Q. (2000). A direct correlation between North American and Japan-Pacific Radiolarian Zonal schemes for the Upper Jurassic. In R. L. Hall, & P.L Smith (Eds.), *Advances in Jurassic research*, (Georesearch Forum, 6, pp. 119–128). Trans Tech Publications.

- Maury, C. J. (1925). A further contribution to the paleontology of Trinidad (Miocene horizons). *Bulletin of American Paleontology*, 10(42), 1–250.
- Maury, C. J. (1930). O Cretaceo da Parahyba do Norte Brazil. *Serviço Geológico e Mineralógico Monographia*, 8, 305 p.
- Meister, C., Blau, J., Dommergues, J. L., Schlatter, R., Schmidt-Effing, R., & Burk, K. (2005). Ammonites from the Lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, Mexico). Part IV: Biostratigraphy, Palaeobiogeography and taxonomic addendum. *Revue de Paléobiologie*, 24(1), 365–384.
- Memmi, L. (1981). Biostratigraphie du Cretaceo inferieur de la Tunisie nord-orientale. *Bulletin de la Societé geologique de France*, 7(23-2), 175–183.
- Meyerhoff, D. H. (1995). Morphologic Diversity and Paleogeographic Significance of the Family Parvicingulidae (Radiolaria). *Micro-paleontology*, 41(1), 1–48. <https://doi.org/10.2307/1485880>
- Meyerhoff, D. H. (1997). Upper Jurassic Tethyan and Southern Boreal Radiolarians from Western North America. *Micropaleontology*, 43, Supplement 2, 1–202. <https://doi.org/10.2307/1486020>
- Miller, A. K. (1945a). Some Exceptional Permian Ammonoids from West Texas. *Journal of Paleontology*, 19(1), 14–21.
- Miller, A. K. (1945b). Late Paleozoic Ammonoids from the Chinati Mountains of West Texas. *Journal of Paleontology*, 19(4), 341–346.
- Miller, A. K., & Furnish, W. M. (1940). Permian ammonoids of the Guadalupe Mountain Region and adjacent areas. *Special Papers of the Geological Society of America*, 26, 1–242.
- Miller A. K., & Unklesbay, A. G. (1943). The Siphuncle of Late Paleozoic Ammonoids. *Journal of Paleontology*, 17(1), 1–25.
- Müllered, F. K. W. (1933). Estudios paleontológicos y estratigráficos de la región de Tehuacán, Puebla, Universidad Nacional Autónoma de México. *Anales del Instituto de Biología*, 4(2), 79–93.
- Nassichuk, W. W. (1977). Upper Permian Ammonoids from the Cache Creek Group in Western Canada. *Journal of Paleontology*, 51(3), 557–590.
- Nieto-López, I., García-Barrera, P. (2006). Cretaceous Echinoids of Mexico. In F. J. Vega-Vera, G. Nyborg, M.C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S. R. S. Cevallos-Ferriz & S. A. Quiroz-Barroso (Eds.) *Studies on Mexican Paleontology*, (pp. 101–114). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3985-9_6
- O'Connell, M. (1920). The Jurassic ammonite fauna of Cuba. *Bulletin American Museum Natural History*, 42(16), 643–692. <http://hdl.handle.net/2246/1772>
- O'Connell, M. (1922). Phylogeny of the ammonite genus *Ochetoceras*. *American Museum of Natural History Bulletin*, 46, 387–411.
- Olóriz, F. (1978). *Kimmeridgiense-Tithónico inferior en el sector central de las Cordilleras Béticas (zona Subbética): Paleontología, Bioestratigrafía* (Tesis doctoral). Universidad de Granada, España.
- Olóriz, F., Villaseñor, A. B., & López-Palomino, I. (2008). Oxfordian ammonites from the lower part of the Santiago Formation at the type-section, Moctezuma river, Tamán, San Luis Potosí (Mexico). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(2), 261–283.
- Olsson, A. A. (1922). The Miocene of northern Costa Rica. *Bulletins of American Paleontology*, 9(39), 1–309.
- Paleobiology database*. https://paleobiodb.org/classic/basicTaxonInfo?taxon_no=18714. Accessed in January 2024.
- Parent, H. (2003). The ataxioceratid ammonite fauna of the Tithonian (Upper Jurassic) of Casa Pincheira, Mendoza (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 143–165. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00050-6](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00050-6)
- Pérez, E., & Reyes, R. (1977). Las Trigonias Jurásicas de Chile y su valor cronoestratigráfico. *Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile*, 30, 1–58.
- Pérez, E., & Reyes, R. (1997). Nuevos antecedentes acerca de la sistemática y cronoestratigrafía del Orden Trigonioidea en el Triásico y Jurásico de Chile. *8o Congreso Geológico Chileno, Actas 1*, 573–577.
- Pérez, E., Aberhan, M., Reyes R., & Hillebrandt, A. von (2008). Early Jurassic Bivalvia of northern Chile. Part III. Order Trigonioidea. *Beringeria*, 39, 51–102.
- Perrilliat, M. C. (1960). Moluscos del Mioceno de la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec, México. *Paleontología Mexicana*, 8, 1–38.
- Perrilliat, M. C. (1973). Monografía de los Moluscos del Mioceno medio de Santa Rosa, Veracruz, México. Parte 2, Gasterópodos (Mitridae a Terebridae). *Paleontología Mexicana*, 35, 1–97.
- Perrilliat, M. C. (1989a). Coelenterata. In M.C. Perrilliat (Ed.), *Fósiles Tipo Mexicanos*, (Centenario del Instituto de Geología, pp. 87–102). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perrilliat, M. C. (1989b). Gastropoda. In M.C. Perrilliat (Ed.), *Fósiles Tipo Mexicanos*, (Centenario del Instituto de Geología, pp. 117–177). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perrilliat, M. C. (1989c). Bivalvia. In M.C. Perrilliat (Ed.), *Fósiles Tipo Mexicanos*, (Centenario del Instituto de Geología, pp. 301–370). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perrilliat, M. C. (1989d). Echinodermata. In M.C. Perrilliat (Ed.), *Fósiles Tipo Mexicanos*, (Centenario del Instituto de Geología, pp. 399–41). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pessagno, E. A., Whalen, P. A., & Yeh, K. (1986). Jurassic Nassellariina (Radiolaria) from North America geologic terranes. *Bulletins of America Paleontology*, 91(326), 1–75.
- Pessagno, E. A. Jr., Six, W. M., & Yang, Q. (1989). The *Xiphostylidae* Haeckel and *Parvivaccidae* n. fam., (Radiolaria) from the North American Jurassic. *Micropaleontology*, 35(3), 193–255. <https://doi.org/10.2307/1485682>
- Pessagno Jr., E. A., Hull, D. M. & Pujana, I. (1991). Correlation of Circum-Pacific upper Tithonian Boreal and Tethyan strata in Northern and Southern Hemispheres: Synthesis of radiolarian and ammonite biostratigraphic and chronostratigraphic data (abstract). In *3rd International Symposium on Jurassic Stratigraphy, Poitiers, France*, p. 97.
- Pessagno, E. A. Jr., Blome, Ch. D., Meyerhoff, D. H., & Six, W. N. (1993). Jurassic Radiolaria from the Josephine Ophiolite and Overlying Strata, Smith River Subterranean (Klamath Mountains), Northwestern California and Southwestern Oregon. *Micropaleontology*, 39(2), 93–166. <https://doi.org/10.2307/1485837>
- Pessagno, E. A. Jr., Meyerhoff, D. H., & Pujana, I. (1994). Correlation of Circum-Pacific Upper Tithonian Boreal and Tethyan strata: synthesis of Radiolarian and Ammonite biostratigraphic and chronostratigraphic data. *Geobios Mémoire Spécial*, 17, 395–399.
- Plummer, F. B., & Scott, G. (1937). Upper Paleozoic Ammonites in Texas. The Geology of Texas. *University of Texas Bulletins*, 3701, 1–515.
- Riccardi, A. (2008). The marine Jurassic of Argentina: a biostratigraphic framework. *Episodes*, 31(3), 326–335. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2008/v31i3/007>
- Riccardi, A., & Westermann, G. E. G. (1991). Middle Jurassic ammonoid fauna and biochronology of the Argentina-Chilean Andes. Part 3: Bajocian-Callovian Eurycephalitinae, Stephanocerataceae. *Palaeontographica*, A 216, 1–110.
- Riccardi, A., Damborenea, S. E., Manceñido, M. O., & Ballent, S. C. (1991). Hettangian and Sinemurian (Lower Jurassic) biostratigraphy of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 4(3), 159–170. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(91\)90028-J](https://doi.org/10.1016/0895-9811(91)90028-J)
- Riccardi, A., Gulisano, C. C., Mojica, J., Palacios, O., Schubert, C., & Thomson, M. R. A. (1992). Western south America and Antarctica. In G.E.G. Westermann (Ed.), *The Jurassic of the Circum-Pacific. World and regional Geology* 3, (pp. 122–155), Cambridge.
- Río del, C. J., Martínez, S. A., Stilwell, J. D., & Concheyro, A. (2007). Palaeontology of the Cerros Bayos section, Roca Formation (Danian), La Pampa Province, Argentina. *Alcheringa. An Australasian Journal of Palaeontology*, 31(3), 241–269. <https://doi.org/10.1080/03115510701484713>
- Río del, C. J., Concheyro, A., & Martínez, S. A. (2009). Bioestratigrafía de las Formaciones Jagüel y Roca en el área de General Roca (provincia de Río Negro). (Resumen) *Ameghiniana*, 46 (4) Suplemento, 24a Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados.
- Río del, C. J., Concheyro, A., & Martínez, S. A. (2011). The Maastrichtian-Danian at General Roca (Patagonia, Argentina): a reappraisal of the chronostratigraphy and biostratigraphy of a type locality. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 259(2), 129–156. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2011/0103>
- Roman, F. (1936). Le Tithonique du Massif du Djurjura. *Matériaux Cartographie Géologique Algérie, Serie Paleontologie*, 7, 1–554.

- Rougier, G. W., Chornogubsky L., Casadio, S., Paéz-Arango, N., & Giallombardo, A. (2009). Mammals from the Allen Formation, Late Cretaceous, Argentina. *Cretaceous Research*, 30(1), 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2008.07.006>
- Ruiz-Naranjo, M. & Torres-Martínez, M. A. (2022). El registro fósil de los ammonioideos del Carbonífero-Pérmico de México y sus aportes bioestratigráficos, paleobiogeográficos y paleoambientales: una revisión. *Paleontología Mexicana*, 11(2), 59–76.
- Rutsch, R. (1934). Beiträge zur Kenntnis tropisch-amerikanischer Tertiär-mollusken, II, Pteropoden und Heteropoden aus dem Mio-caen von Trinidad (Brit. Westindien). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 25, 299–326.
- Ruzhentsev, V. E. (1949). *Sistematika i evolyutsia semeystv Pronoritidae Frech i Medlicottiidae Karpinsky*, (v. 19). Trudy Paleontologicheskogo Instituta Akademii Nauk SSSR.
- Salvador, A., Westermann, G. E. G., Olóriz, F., Gordon, M.B., & Gursky, H. J. (1992). Meso-America. In G. E. G. Westermann (Ed.), *The Jurassic of the Circum-Pacific. World and regional Geology* 3, (pp. 93–121). Cambridge University Press.
- Sánchez-Roig, M. (1951). La fauna Jurásica de Viñales: La Habana, Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de la Habana*, 89, 46–94.
- Sandoval, J., & Westermann, G. E. G. (1986). The Bajocian (Jurassic) ammonite fauna of Oaxaca, Mexico. *Journal of Paleontology*, 60(6), 1220–1271. <https://doi.org/10.1017/S0022336000002985>
- Sandoval, J., Westermann, G. E. G., & Marshall, M. C. (1990). Ammonite fauna stratigraphy and ecology of the Bathonian–Callovian (Jurassic) Tecocoyunca Group, south México. *Palaeontographica Abteilung A, Palaeozoologie–Stratigraphie*, 210, 93–149.
- Sayn, G. (1907). Les ammonites pyriteuses des marnes valangiennes du sud-est de la France. *Société Géologique de France Mémoires*, 23(15), 1–69.
- Silberling, N. J. (1962). Stratigraphic Distribution of Middle Triassic Ammonites at Fossil Hill, Humboldt Range, Nevada. *Journal of Paleontology*, 36(1), 153–160.
- Silberling, N. J., & Nichols, K. M. (1982). Middle Triassic molluscan fossils of biostratigraphic significance from the Humboldt range, Northwestern Nevada. *United States Geological Survey Professional Paper*, 1207, 1–77. <https://doi.org/10.3133/pp1207>
- Smith, J. P. (1914). The middle Triassic marine invertebrate faunas of North America. *United States Geological Survey Professional Paper*, 83, 1–90.
- Spath, L. F. (1923). *A Monograph of the Ammonoidea of the Gault*. Palaeontographical Society of London.
- Spath, L. F. (1934). The Jurassic and Cretaceous Ammonites and Belemnites of the Attock District. *Palaeontologia Indica New Series* 20, *Memoir*, 4, 1–34.
- Stanley, G. D. Jr., González-León, C., Sandy, M. R., Senowbari-Daryan, B., Doyle, P., Tamura, M., & Erwin, D. H. (1994). Upper Triassic Invertebrates from the Antimonio Formation, Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology Memoir* 36, *Supplement* 68(4), 1–33. <https://doi.org/10.1017/S0022336000062284>
- Stilwell, J. D. (2003). Patterns of biodiversity and faunal rebound following the K-T boundary extinction event in Austral Palaeocene molluscan faunas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195(3–4), 319–356. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00364-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00364-X)
- Sohl, N. F., & Kollmann, H. A. (1985). Cretaceous actaeonellid gastropods from the Western Hemisphere. *United States Geological Survey Professional Paper*, 1304, 1–104.
- Taylor, B. J. (1979). Macrurous Decapoda from the Lower Cretaceous of south-eastern Alexander Island. *British Antarctic Survey, Scientific Reports*, 81, 1–39.
- Uhlig, V. (1883). Die Cephalopodenfauna der Wernsdorfen Schichten. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 46, 127–290. <http://dspace.bcu-iasi.ro/handle/123456789/33761>
- Uhlig, V. (1910). Himalayan fossils. The fauna of the Spiti shale. *Paläontologia Indica, Series* 15, 4(3), 307–395.
- Vašíček, Z. (1972). Ammonoidea of the Tesin-Hradiste Formation (Lower Cretaceous) in the Moravskoslezské Beskydy Mts. *Vydal Ustřední gtstavgeologicky, Praha, v Academii, nakladatelství Československé akademie věd*, 7–103.
- Verma, H. M., & Westermann, G. E. G. (1973). The Tithonian (Jurassic) ammonite fauna and stratigraphy of Sierra Catorce, San Luis Potosi, Mexico. *Bulletins of American Palaeontology*, 63, 107–314.
- Villaseñor, A. B., & Olóriz, F. (2019). Mexican *Kossmatia*—Historical review and revision proposal. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102195, 1–42. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.011>
- Villaseñor, A. B., & Olóriz, F. (2020). Reply to M. Rogov (2019). Comment on paper by Villaseñor, A.B., and Olóriz, F. “Mexican *Kossmatia*—historical review and proposed revision. *Journal of South American Earth Sciences* (2019), 102105 (online proofs), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.011>. *Journal of South American Earth Sciences*, 99, 102367, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102367>
- Von Der Osten, E. (1957). A Fauna from the Lower Cretaceous Barranquín Formation of Venezuela. *Journal of Paleontology*, 3(13), 571–590.
- Wells, J. (1946). Some Jurassic and Cretaceous corals from northern Mexico. *Journal of Paleontology*, 20, 1–7.
- Westermann, G. E. G. (1956). Phylogenie der Stephanocerataceae und Perisphinctaceae des Dogger. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 103, 233–279.
- Westermann, G. E. G. (1983). The upper Bajocian and lower Bathonian (Jurassic) ammonite faunas of Oaxaca, Mexico and West-Tethyan affinities. *Paleontología Mexicana*, 46, 1–42.
- Westermann, G. E. G., Corona, R., & Carrasco, R. (1984). The andean mid-jurassic Neuquenicerias ammonite assemblage of Cualac, Mexico. In G.E.G. Westermann (Ed.), *Jurassic-Cretaceous Biochronology and Biogeography of North America*, (vol. 27, pp. 99–112). Geological Association of Canada Special Paper.
- Whitney, M. A. (1928). Bibliography and index of North American Mesozoic invertebrata. *Bulletins of American Paleontology*, 12(48), 49–448.
- Wierzbowski, A. (1976). Oxfordian ammonites of the Pinar del Rio province (western Cuba); their revision and stratigraphical significance. *Acta Geologica Polonica*, 26, 137–260
- Wilckens, O. (1921). Beiträge zur Paläontologie von Patagonien. *Neues Jahrbuch für Mineralogie und Paläontologie*, 1, 1–14.
- Windhausen, A. (1918). The Problem of the Cretaceous-Tertiary Boundary in South America and the Stratigraphic Position of the San Jorge-Formation in Patagonia. *American Journal of Science*, 45(265), 1–71.
- Woodring, W. P. (1928). *Miocene Molluscs from Bowden, Jamaica. Part 2: Gastropods and discussion of results* (v. 385). Carnegie Institution Washington Publication. <https://doi.org/10.5962/t.165667>
- Woodring, W. P. (1970). Geology and paleontology of Canal Zone and adjoining parts of Panama. Description on tertiary Mollusk (Gastropoda: Eulimidae, Marginellidae to Helminthoglyptidae). *United States Geological Survey Professional Paper*, 306-D, 299–440. <https://doi.org/10.3133/pp306D>
- Young, K. (1957). Upper Albian (Cretaceous) Ammonoidea from Texas. *Journal of Paleontology*, 31(1), 1–33.
- Zeiss, A., Benetti, A., & Pezzoni, N. (1994). A new ammonite fauna from the Tithonian (Semiformiceras/Verruciferum Zone) of the Lessinian Alps, Verona Province, Northern Italy. *Palaeopelagos Special Publication* 1 (Roma. *Proceeding, of the 3rd Pergola International Symposium*), 367–381.
- Zeuschner, L. (1856). Geognostische Beschreibung des Liaskalkes in der Tatra und im den angrenzenden Gebirgen. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe*, 19, 135–182.
- Zheng, Z., & Chen, G. (1979). Upper Paleozoic Fossils. In *Fossil Atlas of Northwest China, Qinghai* [In Chinese] (v. 2, pp. 10–18).
- Zullo, V. A., & Hertlein, L. G. (1970). *Catalog of Specimens in the Type Collection of the Department of Geology, California Academy of Sciences, Cephalopoda*. Occasional Papers of the California Academy of Science.

Desarrollo y contexto histórico de la paleontología en Sonora, noroeste de México

Development and historical context of paleontology in Sonora, northwestern Mexico

Francisco J. Cuen-Romero^{1,*}; Josep A. Moreno-Bedmar²; Héctor A. Noriega-Ruiz¹; Pilar Navas-Parejo³; Blanca E. Buitrón-Sánchez²; Rogelio Monreal¹

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

²Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX, 04510, México.

³Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 83000, Hermosillo, México.

*francisco.cuen@ciencias.uson.mx

Resumen

El desarrollo histórico de la paleontología en el noroeste de México, particularmente en el estado de Sonora, es poco conocido. Mediante un análisis e investigación bibliográfica se han documentado para el estado las cuatro etapas históricamente identificadas del desarrollo de la paleontología en México. Lo anterior ha permitido conocer en detalle los antecedentes históricos y el contexto de las cuatro etapas en Sonora, las cuales permitieron la institucionalización de esta ciencia en el noroeste de México. La bibliografía paleontológica de Sonora es amplia, sin embargo, para este trabajo únicamente se han considerado aquellas investigaciones que por su novedad o área de estudio han sido relevantes y/o trascendentales para el desarrollo de esta ciencia. A través de los casi 160 años de estudios paleontológicos en el estado de Sonora, se transita desde un incipiente desarrollo por parte de paleontólogos extranjeros hasta la madurez alcanzada en la actualidad, mediante la institucionalización de esta disciplina.

Palabras clave: fósiles, historia, paleontología, Sonora.

Abstract

The historical development of paleontology in northwest Mexico, particularly in the state of Sonora, is little known. Through analysis and bibliographic research, the four historically identified stages of the development of paleontology in Mexico have been herein documented for the state. The above has allowed to know in detail the historical background of the four stages in Sonora, which developed the institutionalization of this science in the northwest of Mexico. The paleontological work of Sonora is extensive, however, for this work only the relevant and/or transcendental work were considered, because of their novelty or study area for the development of this science. Through almost 160 years of paleontological studies in the state of Sonora, and through the institutionalization of this discipline, the Mexican paleontology have gone from an incipient development by foreign paleontologists to the maturity reached today.

Keywords: fossils, history, paleontology, Sonora.

Cómo citar / How to cite: Cuen-Romero, F. J., Moreno-Bedmar, J. A., Noriega-Ruiz, H. A., Navas-Parejo, P., Buitrón-Sánchez, B. E., Monreal, R. (2024). Desarrollo y contexto histórico de la paleontología en Sonora, noroeste de México. *Paleontología Mexicana*, 13(1), 77-92.

Manuscrito recibido: Noviembre 28, 2023.

Manuscrito corregido: Enero 2, 2024.

Manuscrito aceptado: Enero 4, 2024.



1. Introducción

Durante el siglo XIX, el desarrollo de la paleontología en el centro y sur de México se caracterizó por diversos factores que propiciaron su consolidación, entre los cuales se incluyen: a) la intervención de paleontólogos extranjeros interesados en el estudio de los fósiles de México (Galeotti, 1839; Nyst y Galeotti, 1840); b) el impulso de esta ciencia debido al creciente desarrollo de la industria petrolera, principalmente en la parte sureste del país, y su relación con la micropaleontología; c) el interés del gobierno nacional en formar instituciones de investigación científica en México; d) la necesidad de explorar recursos naturales y la industria minera; e) la intervención de la Dra. Gloria Alencáster Ybarra, primera paleontóloga mexicana e impulsora de la investigación paleontológica moderna en México, consolidando esta ciencia a nivel académico y de investigación mediante la institucionalización de esta disciplina (Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005; Chacón-Baca et al., 2020).

Desde el punto de vista histórico, el desarrollo de la paleontología en México ha sido dividido en cuatro etapas (Alencáster-Ybarra, 2013). La primera etapa se desarrolló entre 1839 y 1900, caracterizándose por el estudio de fósiles de México, principalmente por paleontólogos extranjeros. La segunda etapa comprendió desde 1900 a 1950, con la fundación del Instituto Geológico Nacional (1888) y posteriormente el Instituto de Geología (1929) como parte de la Universidad Nacional Autónoma de México. Desde el punto de vista científico, esta etapa aún se caracteriza por los estudios de paleontólogos extranjeros en México, como lo demuestran los trabajos de *ex. gr.* Burckhardt (1912, 1925), Müelleried (1933), Imlay (1937, 1938, 1939), Müelleried et al. (1941), y Cooper y Arellano (1946). La tercera etapa comprendió aproximadamente desde 1950 hasta el 2000, y se caracterizó por: 1) la fundación de la Revista Paleontología Mexicana (1954); 2) el inicio del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (1959), del Instituto Mexicano del Petróleo (1965), y de la Sociedad Mexicana de Paleontología (1986); y 3) por la incursión de paleontólogos mexicanos en el estudio de fósiles de México. Finalmente, la cuarta etapa comprende desde el 2000 hasta la actualidad y se caracteriza por el estudio de fósiles por especialistas en paleontología tanto de México como del extranjero (Alencáster-Ybarra, 2013).

En comparación con el centro y el sur de México, el desarrollo de la paleontología en el estado de Sonora comenzó de forma tardía, con veinticinco años de diferencia. En el centro, Galeotti (1839) realizó los primeros estudios paleontológicos en el Cretácico de San Juan Raya, Puebla, mientras que, en Sonora, Gabb (1864a, 1864b; 1869) hizo las primeras determinaciones de invertebrados del Triásico de San Marcial, y los primeros estudios paleontológicos formales en el Cretácico del Cerro Las Conchas, municipio de Arivechi.

Debido a que el contexto y desarrollo histórico de la paleontología en Sonora es poco conocido, se ha realizado un análisis de los principales factores que impulsaron el avance de esta ciencia en el estado. Para lo anterior, se utilizarán las etapas antes mencionadas y establecidas por Alencáster-Ybarra (2013), con el fin de conocer la evolución de los estudios paleontológicos en Sonora.

2. El desarrollo histórico de la paleontología en el estado de sonora

El contexto histórico en el desarrollo de la paleontología en Sonora es importante debido a que esta disciplina se inició durante un período de transición e inestabilidad política tanto en el país como en el estado, teniendo como referente la venta de la Mesilla en 1854 y la Batalla de Caborca en 1857. Los estudios paleontológicos en Sonora iniciaron en 1864, en gran medida impulsados por el creciente interés de los Estados Unidos de América en conocer los recursos naturales y minerales del estado, lo cual también trajo consigo la generación de conocimiento paleontológico por la incursión a México de paleontólogos norteamericanos. En el estado de Sonora también es posible reconocer las cuatro etapas de la historia de la paleontología en México, que fueron propuestas por Alencáster-Ybarra (2013). En Sonora, la primera etapa se caracterizó por la descripción de las primeras localidades fosilíferas del estado (Triásico de San Marcial y Cretácico del Cerro Las Conchas), por paleontólogos extranjeros. La segunda etapa está constituida, nuevamente, por los estudios de paleontólogos extranjeros, pero con interés en el reconocimiento geológico general y la estratigrafía del estado, con el fin de correlacionar Sonora con el suroeste de los Estados Unidos de América, lo cual trajo consigo el nombramiento de diversas unidades litoestratigráficas. La tercera etapa se caracterizó por los primeros trabajos de paleontólogos mexicanos, algunos en colaboración con paleontólogos extranjeros. Esta etapa es relevante debido a la institucionalización de la paleontología en Sonora, surgiendo en la década de los años 70, la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora; hasta la fecha, bastiones de la paleontología en el estado. También en esta etapa, surge el Boletín del Departamento de Geología, como medio de publicación de estudios geológicos y paleontológicos inéditos. La cuarta etapa comprende el desarrollo de la paleontología, tanto desde el punto de vista de investigación como educativo, irradiando hacia la especialización en paleontología en diversos grupos fósiles, además de la formación de recursos humanos de alto nivel. Actualmente, en el estado de Sonora, se realiza investigación y docencia en paleontología, con esfuerzos enfocados hacia el entendimiento de la evolución geológica del

norroeste de México, el estudio de la paleobiota y su relación con los recursos naturales no renovables, así como la legislación y la puesta en valor del patrimonio paleontológico del país. A continuación, se presentarán con detalle cada una de las cuatro etapas mencionadas mediante un análisis e investigación bibliográfica.

2.1. Pre-primer etapa (Virreinato de la Nueva España)

Los primeros reportes geológico-paleontológicos en México, previos a la primera etapa, fueron realizados durante la época del Virreinato de la Nueva España (1535-1821). Estos reportes no han sido considerados como una etapa en sí mismos al no tener un carácter netamente científico sino descriptivo.

Las primeras descripciones sobre localidades fosilíferas en Sonora, sin embargo, fueron realizadas por exploradores y misioneros jesuitas. El misionero Eusebio Francisco Kino (Figura 1), entre 1687 y 1706, hizo las primeras descripciones geológicas de Sonora, mismas que se enviaron como cartas para los monarcas españoles Carlos II y Felipe V. Posteriormente, el Padre Ignaz Pfefferkorn (1795), describió la presencia de fósiles en la localidad de Arivechi, por lo que corresponde al primer registro paleontológico para Sonora (Pérez-Segura y Jacques-Ayala, 1991; Roldán-Quintana, 2011). Tales observaciones incluyen características de los afloramientos y la presencia de petrificaciones de ciertos animales congruentes con la localidad fosilífera del Cerro de las Conchas, en el municipio de Arivechi.

2.2. Primera etapa (1839 a 1900)

De acuerdo con Alencáster-Ybarra (2013), el desarrollo de la paleontología en México durante esta primera etapa fue impulsado principalmente por la intervención de paleontólogos extranjeros, los cuales mantuvieron su interés en explorar los recursos naturales como el petróleo. Por otra parte, el desarrollo de la paleontología en Sonora se inició por el interés en explorar los recursos naturales y por la importancia de los metales; también en exploraciones dirigidas por geólogos y paleontólogos extranjeros, como lo demuestran los trabajos de Gabb (1864a; 1864b; 1869) y Rémond (1866). En el primer trabajo geológico que se publicó para Sonora, denominado "Notice of Geological Explorations in Northern Mexico", Rémond (1866) estableció: "*Considering how celebrated this portion of Mexico has become for its mines and metalliferous veins, and how much has been written about it, it is surprising how little exact information has hitherto been obtained with regard to either its geography or geology*". Lo anterior pone de manifiesto el interés en los metales del estado, lo cual trajo consigo también la investigación paleontológica.

Posteriormente, geólogos y paleontólogos extranjeros provenientes del Servicio Geológico de California y de la Universidad de California realizaron los primeros reportes científicos sobre la geología de Sonora



Figura 1. Estatua al misionero jesuita Eusebio Francisco Kino, localizada en el centro de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Eusebio Francisco Kino es uno de los primeros misioneros en interesarse en las descripciones geológicas de las misiones con el fin de informar a la monarquía española.

(Roldán-Quintana, 2011). Entre estos investigadores, el geólogo francés Auguste Rémond de Corbineau llevó a cabo exploraciones al noroeste de México entre 1863 y hasta su muerte en 1867, donde recolectó ejemplares fósiles como corales, braquiópodos y crinoideos, asignando por primera vez edades relativas a las rocas de la región central de Sonora (Rémond, 1866). Basado en la presencia de crinoideos, reconoció el Carbonífero en la Sierra Santa Teresa y la Sierra Las Ánimas; también documentó el Triásico del área de Tecoripa y San Marcial, reportando la presencia de plantas fósiles; identificó el Cretácico en el área de Sahuaripa y Arivechi en el Cerro de Las Conchas, relacionándolo con los depósitos del Cretácico de Texas. En estas expediciones, Rémond recolectó fósiles del Triásico de la localidad de San Marcial, Sonora central, los cuales fueron entregados al paleontólogo estadounidense William More Gabb (1839-1878, Figura 2A) para su determinación. Las primeras determinaciones paleontológicas formales realizadas en Sonora le corresponden precisamente a Gabb (1864a), basado en el material proporcionado por Rémond, por ejemplo, el bivalvo *Panopea remondii* Gabb, 1864a. También, Rémond recolectó fósiles marinos del

Cerro Las Conchas, municipio de Arivechi, enviando nuevamente el material paleontológico a Gabb (1864b), quién identificó los ejemplares y los asignó al Cretácico; asimismo Gabb (1864b, 1869), basado en los trabajos de Roemer (1849, 1852), sugirió que los fósiles colectados por Rémond en esta localidad, correspondían a taxa identificados previamente en localidades del Cretácico de Texas y, además, corrigió la edad jurásica inicialmente asignada por Galeotti (1839) a la secuencia expuesta en la localidad de San Juan Raya, Puebla, asignándola al Cretácico. Muchos de los taxa del Cretácico del área del Cerro Las Conchas fueron descritos por primera vez por Gabb (Figura 2B). Entre estos se mencionan *Fusus mexicanus* Gabb, 1869, *Euspira tabulata* Gabb, 1869, *Chemnitzia zebra* Gabb, 1869, *Tylostoma mutabilis* Gabb, 1869, *Anchura monilifera* Gabb, 1869, *Cerithium mexicanum* Gabb, 1869, *Pholadomya sonorensis* Gabb, 1869 y *Remondia furcata* Gabb, 1869.

Posteriormente, Macomb y Newberry (1876), estudiaron los depósitos de grafito y documentaron las plantas fósiles de la región de Tónichi, recolectadas por Rémond, donde identificaron especies que fueron reportadas en el Triásico de Carolina del Norte, al este de Estados Unidos (Wilson y Rocha, 1949). También destacan los trabajos de Angelo Heilprin, quién en 1891 describió especies en honor al municipio de Arivechi, Sonora, como el bivalvo *Pseudocardia arivechensis* (Heilprin, 1891).

2.3 Segunda etapa (1900 a 1950)

La segunda etapa del desarrollo de la paleontología en Sonora también está caracterizada por la intervención de paleontólogos extranjeros. Edwin Theodore Dumble (Figura 3) realizó en 1900, exploraciones en la parte sur y centro de Sonora, donde reconoció rocas del

Paleozoico y recolectó fósiles de corales, braquiópodos y crinoideos. Los ejemplares fueron enviados al paleontólogo Charles Shuchert del U.S. National Museum (EUA) para su análisis taxonómico, quién identificó los corales *Cyathophyllum* y *Heliolites* del Paleozoico inferior (Dumble, 1900). Durante estas expediciones, Dumble (1900) describió una secuencia marina sedimentaria del Triásico en la región central de Sonora, a la cual definió como una nueva unidad litoestratigráfica denominada división Barranca.

A partir de este descubrimiento aumentó el interés paleontológico por diversos investigadores, realizando las primeras descripciones de manera formal sobre secuencias del Paleozoico de Sonora (Keller, 1928; Dunbar, 1939; Imlay, 1939) y Mesozoico (Keller, 1928; Jaworski, 1929; Taliaferro, 1933; King, 1939).

Angermann (1904), describió crinoideos, corales y braquiópodos en rocas del Paleozoico en la localidad de Rosario, al sur de Sonora. Keller (1928), reconoció fusulínidos y braquiópodos del Pérmico para el estado de Sonora. También identificó fósiles del Triásico y Jurásico en Sonora, presentes en el Grupo Antimonio en la región noroeste (Caborca) y en el Grupo Barranca de la región central. Los fósiles fueron identificados por Burckhardt (1930), quien también reportó una abundante fauna fósil para localidades como el Cretácico de Arivechi, Cretácico de la Cuenca de Cabullona y el Cañón de Guadalupe.

Jaworski (1929), estudió fósiles del Jurásico Inferior de la Sierra de Santa Rosa en el noroeste de Sonora y con base en el material de Keller (1928), identificó especies de bivalvos de la misma edad.

Flores (1929), realizó reconocimientos geológicos en la región central del estado de Sonora. Taliaferro (1933), hizo estudios estratigráficos y paleontológicos en el estado de Sonora, reportando la presencia de



Figura 2. A. William More Gabb, circa 1870, pionero de los estudios del Cretácico del noroeste de México y sur de los Estados Unidos de América; Imagen tomada y restaurada de Dall (1909). B. Láminas con moluscos determinados por Gabb (1869) del Cretácico del Cerro Las Conchas, modificado de Gabb (1869).



Figura 3. Edwin Theodore Dumble, fotografía tomada de Underwood (1964).

invertebrados y dinosaurios del Cretácico de la Cuenca de Cabullona, documentando, además, la presencia de los bivalvos *Unio* y *Exogyra*. Posteriormente Dunbar (1939), estudió fusulínidos del Pérmico de Sonora, determinando nuevas especies como *Parafusulina imlayi* Dunbar, 1939, *Parafusulina skinneri* Dunbar, 1939 y *Parafusulina sonoraensis* Dunbar, 1939. También, de esta etapa destacan los trabajos de Imlay (1939), quien documentó en sus estudios la presencia de braquiópodos del Carbonífero y Pérmico en la Sierra de Teras, El Tigre y Hachita Hueca; así como bivalvos y ammonites del Cretácico de la Sierra El Tigre y Sahuaripa.

King (1939), estudió los depósitos de carbón del Grupo Barranca y documentó abundantes plantas fósiles recolectadas y estudiadas previamente por Rémond, Newberry y Dumble, entre estas se mencionan a *Otozamites macombii* Newberry in Macomb y Newberry, 1876, *Pterophyllum fragile* Newberry in Macomb y Newberry, 1876, *Zamites occidentalis* Newberry in Macomb y Newberry, 1876, *Pecopteris mexicana* Newberry in Macomb y Newberry, 1876, entre otras. Además, documentó la presencia de invertebrados fósiles como *Panopea remondi*, *Pecten pradoanus* Verneuil y Collomb, 1853, y *Pecten* cf. *P. textorius* Schlotheim, 1820.

En 1941, Gómez y Torres-Izabal, descubrieron estromatolitos en las formaciones Gamuza y Papalote, además de trilobites del Cámbrico en la región de Caborca. El material recolectado fue enviado al profesor Alexander Stoyanow (1942) de la Universidad de Arizona, quien reportó por primera vez estromatolitos precámbricos para México y realizó el primer bosquejo paleogeográfico del estado para el Paleozoico temprano. Stoyanow (1942), también mencionó para el Cámbrico medio de Sonora la presencia de trilobites como *Glossopleura*, *Alokistocare* y *Anoria*. Posteriormente, Cooper y Arellano (1946), realizaron la estratigrafía a detalle del Cámbrico del área de Caborca, documentando por primera vez este sistema en México. En sus descripciones mencionan la presencia de braquiópodos como *Obolella* y trilobites como *Olenellus*, *Glossopleura* y *Clavaspidella*.

Lochman (1948) llevó a cabo el primer trabajo sistemático-taxonómico de trilobites del Cámbrico de la región de Caborca, donde describió géneros y especies nuevas en honor a México, como son *Sombrerella mexicana* Lochman, 1948, *Mexicaspis stenopyge* Lochman, 1948, *Mexicella mexicana* Lochman, 1948, *Provedoria starquistae* Lochman, 1948, *Arellanella caborcana* Lochman, 1948, *Caborcella arrojensis* Lochman, 1948, entre otras.

2.4. Tercera etapa (1950 a 2000)

La tercera etapa del desarrollo de la paleontología en Sonora es importante, porque es en este momento cuando la paleontología se institucionaliza con la fundación de instituciones de investigación y académicas en el estado, como lo son la Estación Regional del

Noroeste del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (1974) y el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora (1974).

En esta etapa, los trabajos paleontológicos continuaron bajo la dirección de investigadores extranjeros (ex. gr. Cooper *et al.*, 1952; Poole y Hayes, 1971; Weber *et al.*, 1979; Rangin, 1977; Stewart *et al.*, 1984; McMenamin, 1985; Lucas *et al.*, 1995) e investigadoras e investigadores mexicanos se incorporaron a estudiar la paleontología sonorense (ex. gr. Alencáster de-Cserna, 1961; Silva-Pineda, 1961; Brunner, 1975, 1976; Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1995; Villaseñor *et al.*, 2000). También, investigadores que pertenecían a instituciones como la Universidad de Sonora (ex. gr. Gamper y Longoria, 1978; Herrera *et al.*, 1984) y la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología de la UNAM (ex. gr. González-León, 1986; Almazán-Vázquez, 1989; Jacques-Ayala *et al.*, 1990) realizaron trabajos de manera formal, así como tesis y publicaciones sobre distintos yacimientos fosilíferos.

Cómo se mencionó anteriormente, el descubrimiento del Cámbrico en el país por Gómez y Torres-Izabal en 1941 y Stoyanow (1942), fue de relevancia nacional. Este acontecimiento captó la atención de investigadores del Instituto de Geología de la UNAM y el Smithsonian Institution de Washington D.C., quienes delegaron a Alberto Arellano y Arthur Cooper respectivamente para investigar los depósitos del Cámbrico de Sonora, así como otros depósitos del Paleozoico reportados en la región. El estudio detallado del Cámbrico de Sonora (Cooper *et al.*, 1952), trajo consigo la definición de seis unidades litoestratigráficas y además el reporte de una abundante biota fósil descrita por especialistas, por ejemplo, algas calcáreas (Johnson in Cooper *et al.*, 1952), arqueociatos (Okulitch in Cooper *et al.*, 1952), braquiópodos (Cooper in Cooper *et al.*, 1952) y trilobites (Lochman in Cooper *et al.*, 1952). Resulta interesante la descripción de 45 nuevas especies de trilobites como *Sonoraspis torresi* (Stoyanow in Cooper *et al.*, 1952), y *Sonoraspis gomezi* (Stoyanow in Cooper *et al.*, 1952), en honor de Sonora, así como de Lorenzo Torres-Izabal e Isauro G. Gómez, pioneros de los estudios del Cámbrico en México. También se asignaron nombres regionales como *Wanneria mexicana prima* (Lochman in Cooper *et al.*, 1952) y *Alokistocarella mexicana* (Lochman in Cooper *et al.*, 1952).

Cooper *et al.* (1953) describieron las faunas del Pérmico del área del Antimonio al noroeste de Sonora, donde reportaron la presencia de foraminíferos, braquiópodos, bivalvos y escafópodos. Entre la fauna documentada se tienen especies como *Derbyia arrellanoi* (Cooper in Cooper *et al.*, 1953), *Chonetes monosensis* (Cooper in Cooper *et al.*, 1953), *Heteralosia mexicana* (Cooper in Cooper *et al.*, 1953), *Wellerella rotunda* (Cooper in Cooper *et al.*, 1953), *Pseudomartinia martinezi* (Cooper in Cooper *et al.*, 1953), entre otras.

Easton *et al.* (1958) describieron la fauna del Misisípico del área del Bisani, noroeste de Sonora, documentado

corales como *Cyathaxonia cordillerensis* (Easton in Easton et al., 1958), *Rotiphyllum occidentale* (Easton in Easton et al., 1958), *Caninophyllum sonorensis* (Easton in Easton et al., 1958), entre otros.

King (1939) agrupó las rocas del Mesozoico inferior de Sonora central y las incluyó en la formación Barranca. Posteriormente, Alencáster-de Cserna (1961, Figura 4), elevó la formación Barranca al rango de grupo, nombrando así el Grupo Barranca, el cual incluye las formaciones Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. De igual manera, Alencáster-de Cserna (1961), estudió la fauna fósil del Triásico Superior (Cárnico) del área de San Marcial, donde describió catorce especies de invertebrados marinos, incluyendo braquiópodos, escafópodos, bivalvos y cefalópodos. Entre estos se mencionan especies nuevas como *Nuculana curvirostris* Alencáster-de Cserna, 1961, *Myophoria mexicana* Alencáster-de Cserna, 1961, *Myophorigonia salasi* Alencáster-de Cserna, 1961 y *Mytilus (Chloromya) sonorensis* Alencáster-de Cserna, 1961. También, es importante mencionar la descripción de doce especies de plantas fósiles de la misma localidad descritas por Silva-Pineda (1961). Por su parte, Miller (1961), propuso cinco especies de belemnites de la misma región. Posteriormente, para el Triásico Superior también fue identificada una fauna de invertebrados en la Formación Antimonio, al oeste de Caborca (Stanley et al., 1994). Esta asociación está constituida por 31 especies que incluye esponjas, corales escleractinios, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, entre otros (Stanley et al., 1994).



Figura 4. Gloria Alencáster Ybarra circa 1950, fotografía tomada y restaurada de Alencáster-Ybarra (2013).

Fósiles del Jurásico Superior fueron descubiertos por Rangin (1977), quién identificó bivalvos y ammonites de la Formación Cucurpe. Posteriormente, Villaseñor et al. (2005) describió e identificó una nueva colección de bivalvos y ammonites de la misma localidad, entre los cuales se incluye a *Perisphinctes (Dichotomoceras?)* sp., *Sequeirosa?* sp., *Grammatodon (Grammatodon) hersilius* (d'Orbigny, 1850), entre otros.

Durante la década de los años 70, se describieron por vez primera en Sonora fósiles de conodontos. Brunner (1975, 1976) estudió los conodontos devónicos y misisípicos, respectivamente, en el área arqueológica de El Bísani, cerca de Caborca. Estos trabajos incluyen el reporte de especies claves para bioestratigrafía del Devónico y el Misisípico como son "*Polygnathus communis communis* Branson y Mehl, 1934 y diversas especies de los géneros *Siphonodella* Branson y Mehl, 1944, y *Gnathodus* Pander, 1856. Poco después, Holcomb (1979) y Devery (1979), en sus trabajos de tesis de maestría de la Universidad Cristiana de Texas, describen conodontos y otra biota con edades del Misisípico, Pensilvánico y Pérmico temprano, cerca de Bavispe, en el área de El Tigre- Sierra de Teras- Cañón de Santa Rosa, donde trabajó previamente Imlay en 1939.

A principios de la década de los años 80, el geólogo Forrest "Barney" Poole (†) del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS) comenzó a realizar campañas de campo periódicas, principalmente enfocadas en el área de la Barita de Sonora, a partir de correlaciones regionales desde el estado de Nevada en EUA. Estas campañas, que fueron más de 25, las realizó principalmente con Ricardo Amaya Martínez (†), adscrito al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, acompañados de diversos geólogos de distintas compañías mineras de Sonora (Barita de Sonora en Mazatán y Minera Baucarit en Cobachi), por nombrar algunos Ángel Fort, Luis Estrella, Fernando Oliva, Pablo Kirschbaum, Alejandro Verdugo, Martín Valencia, Elizabeth Araux y Luis Fernando Oviedo. Como parte del equipo de trabajo del Dr. Forrest G. Poole del USGS, asistieron a estas campañas especialistas en paleontología como Bruce R. Wardlaw (†) y Anita G. Harris (†) (Figura 5 y 6). De hecho, como parte del método de análisis de tafonomía de conodontos propuesto por Anita Harris, conocido como CAI por sus siglas en inglés "*Color Alteration Index*" (Índice de alteración del color en conodontos, Epstein et al., 1977), ella preparó varias celdillas micropaleontológicas con conodontos con distintos grados de CAI para repartirlas entre especialistas de distintas partes del mundo, y para ellas usó material de conodontos de Sonora.

Hacia finales de la tercera etapa, se tienen numerosas investigaciones paleontológicas, entre estas, Weber et al. (1979) describieron e identificaron géneros como *Conophyton* y *Jacutophyton*, relacionados con los estromatolitos del Precámbrico del área de Caborca, Sonora. Posteriormente, McMenamin (1985), determinó fósiles de la Formación La Ciénega del Cámbrico Inferior del



Figura 5. De izquierda a derecha, Juan Manuel Morales Ramírez, Anita G. Harris, Bruce R. Wardlaw, John H. Stewart y Forrest G. Poole. Fotografía tomada durante una expedición a campo en la Sierra Agua Verde, Sonora central (1985). Foto cortesía de Forrest Poole.



Figura 6. De izquierda a derecha, Barney Poole y Ángel Fort, en el norte del poblado Llano Colorado, municipio de Soyopa en el año 2000. Fotografía cortesía de Ángel Fort.

área de Caborca, como *Sinotubulites cienegensis* McMenamin, 1985. McMenamin (1987), describió los trilobites del Cámbrico de la Formación Puerto Blanco del área de Caborca, donde documentó las especies *Nevadina ovalis* McMenamin, 1987 y *Judomia orbis* McMenamin, 1987. McMenamin (1996) citó la biota Ediacara de la Formación Clemente de la región de Caborca, donde documentó la presencia de las especies *Cyclomedusa plana*, *Sekwia* sp., entre otras. Estas contribuciones corresponden a los primeros registros formales de fósiles del Precámbrico para México. En la década de los 90, se publicaron varios trabajos sobre las faunas jurásicas de ammonites del área de la Sierra de Santa Rosa, en Caborca (Calmus *et al.*, 1997; Lucas *et al.*, 1999, entre otros). Lo anterior demuestra que durante esta etapa el área de Caborca ha sido ampliamente estudiada por diversos autores; no obstante, existen afloramientos del Paleozoico que

han sido documentados en otras localidades, por ejemplo, del Ordovícico del área La Casita-Los Chinos y del Cerro Cobachi, Sonora central (Peiffer-Rangin *et al.*, 1980; Noll, 1981; Ketner, 1986; Peiffer-Rangin, 1988), donde se han identificado conodontos, radiolarios, corales y graptolites (Riva y Ketner, 1989); la secuencia paleozoica de la Sierra El Tule (González-León, 1986); y las secuencias detríticas-carbonatadas del Paleozoico superior en Sierra Agua Verde, Sonora central (Ochoa Granillo y Sosa León, 1993; Stewart *et al.*, 1999); la secuencia cámbrica-ordovícica del área de Arivechi (Almazán-Vázquez, 1989); y las rocas sedimentarias del Cámbrico medio con abundantes trilobites de la Sierra Mazatán, Sonora Central (Vega-Granillo, 1996).

También se destacan los trabajos del Cretácico Inferior realizados en el área de Lampazos y la Sierra de los Chinos (Herrera *et al.*, 1984; González-León y Buitrón, 1984; Monreal y Longoria, 2000a, 2000b; Longoria y Monreal, 2009), donde se ha documentado la presencia de foraminíferos planctónicos y bentónicos como *Orbitolina texana* Roemer, 1849, calpionélidos, ostrácos, y radiolarios del Aptiano-Albiano. Además de macrofauna fósil tales como algas verdes, corales, bivalvos, rudistas, gasterópodos, ammonites y equinodermos.

Existen numerosos estudios bioestratigráficos y paleontológicos de rocas del Cretácico. Una de las aportaciones fundamentales para el Cretácico Inferior de Sonora fue el reconocimiento del Grupo Bisbee en la sierra El Tigre, al noreste de Sonora (Montaño-Jiménez, 1988), que posteriormente sería estudiado por diversos autores en la década de 1990 (*ex. gr.* Grijalva-Noriega, 1991; Scott y González-León, 1991; Escalona-Alcázar y Roldán-Quintana, 1993; Fernández-Aguirre *et al.*, 1993; Monreal, 1994; González-León y Lucas, 1995). Aunque los reportes describen la estratigrafía de unidades litoestratigráficas, se identificaron secuencias estratigráficas altamente fosilíferas, identificando la presencia de ammonites y foraminíferos como *Dufrenoyia* cf. *D. rebecca* y *Palorbitolina lenticularis* del Barremiano-Aptiano temprano en el área de Cerro de Oro, Sonora central (González-León y Lucas, 1995; Monreal, 1994), así como en el Cerro de Las Conchas en Arivechi (Pérez-Ramos, 1988; Monreal, 1997). Asimismo, en el área de Caborca se reconocieron depósitos del Aptiano-Albiano, caracterizándose por la presencia de macrofauna fósil que incluye moluscos y equinodermos (Jacques-Ayala *et al.*, 1990). El Cretácico Superior de Sonora está representado principalmente por los depósitos continentales del Grupo Cabullona descritos por Taliaferro (1933) y que posteriormente serían analizados por autores interesados en determinar géneros de granos de polen y esporas, madera fósil, foraminíferos, bivalvos, gasterópodos, y restos de tortugas y de dinosaurios (Almeida y Martínez-Hernández, 1980; Lucas y González-León, 1990; González-León *et al.*, 1993; González-León, 1994; González-León y Lawton, 1995; Lucas *et al.*, 1995). Lucas *et al.* (1995), describieron nuevas especies de invertebrados fósiles, destacando también, la presencia de

otros fósiles no documentados como los dinosaurios *Albertosaurus* y ejemplares de las familias Hadrosauridae y Ceratopsidae, correspondientes a una edad del Campaniano-Maastrichtiano. Aunque el Grupo Cabullona ha sido ampliamente estudiado, también existen otras localidades que fueron estudiadas; Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno (1995) realizaron un análisis de las maderas de angiospermas y restos de palmas del Cretácico Superior, donde identificaron *Rhizopalmoxylon huepaciense* como nueva especie de palmas de la Formación Tuli, Huepac, Sonora central.

En esta etapa se trabajó material micropaleontológico de foraminíferos y ostrácodos del Pleistoceno de Punta Chueca desde un punto de vista ecológico (Celis-Gutiérrez, 1986), destacando la presencia de especies como *Triloculina schreiberiana*, *Quinqueloculina paragonica* y *Quinqueloculina poeyana*, *Quinqueloculina lata* y *Ammonia beccarii*.

2.5. Cuarta etapa (2000 a la actualidad)

Durante la cuarta etapa la producción de trabajos y variedad de temáticas ha incrementado sustancialmente, así, el trabajo de diferentes especialistas ha irradiado hacia diferentes grupos fósiles como fósiles traza (Buitrón-Sánchez et al., 2016; Sour-Tovar y Hernández-Barbosa, 2018), foraminíferos (Longoria y Monreal, 2009), microbialitas (Beraldi-Campesi et al., 2004, 2018), paleobotánica (Villanueva-Amadoz et al., 2014), algas calcáreas, carofitas (Vicente et al., 2020), poríferos (Cuen et al., 2013; Beresi et al., 2017; 2019; Beresi, 2021), corales (Löser, 2013; 2015; 2016; 2022), braquiópodos (Jiménez-López et al., 2018; Holmer et al., 2022), gasterópodos (Cuen-Romero et al., 2022a, 2022b), helcioneloides (Noriega-Ruiz et al., 2023), hiolítidos (Buitrón-Sánchez et al., 2017a), bivalvos (Scott, 2007; Scholtz et al., 2008), ammonites (Villaseñor et al., 2005; Lawton et al., 2004; Robert et al., 2018; Samaniego-Pesqueira et al., 2021), trilobites (Cuen-Romero et al., 2016; 2018; 2019a; 2019b; 2022c; Noriega-Ruiz et al., 2020, 2022; Sundberg y Cuen-Romero, 2021), equinodermos (Nardin et al., 2009; Buitrón-Sánchez et al., 2017b; 2021; 2023), graptolites (Reyes-Montoya et al., 2023a, 2023b) conodontos (Navas-Parejo et al., 2017, 2019; Navas-Parejo y Sandberg, 2018; Navas-Parejo, 2018; Lara-Peña et al., 2020; 2021), ictiolitos (Martínez-Pérez et al., 2019), cérvidos (Palma-Ramírez et al., 2023), entre otros. Además de la incursión en líneas de investigación nuevas para México, como son la paleoecología cuantitativa (Cuen-Romero et al., 2019a; 2021; Noriega-Ruiz et al., 2022; Velázquez-Heras et al., 2022) o los análisis tafonómicos de biopatitas (Lara-Peña et al., 2023).

3. Estado actual y perspectivas a futuro

Actualmente existen dos instituciones que realizan investigación y docencia en paleontología en el estado

de Sonora: el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Desde su fundación, la interacción entre ambas instituciones ha sido constante, involucrando colaboraciones de carácter paleontológico en forma de artículos científicos, tesis a nivel licenciatura y posgrado y con la organización de eventos académicos. Por ejemplo, desde la década de los años 80 y hasta 2008, se organizaron periódicamente y de manera conjunta los “Simpósios de la geología de Sonora y áreas adyacentes”, que en su última versión incluyeron también investigaciones con carácter ecológico. De igual modo, la primera reunión de la Sección Cordillerana de la Sociedad Geológica de América (GSA) celebrada en México tuvo lugar en Sonora en marzo de 1981 y fue organizada por el Instituto de Geología de la UNAM en cooperación con la Universidad de Sonora. De las excursiones organizadas en esta reunión surgió un libro titulado “*Geology of northwestern Mexico and Southern Arizona*”, que fue editado por el Dr. Luc Ortlieb y el Dr. Jaime Roldán.

Durante la tercera etapa histórica y como parte de la consolidación de la paleontología por parte de las instituciones educativas y de investigación del estado de Sonora, tuvieron lugar diversos eventos académicos, organizados en conjunto con instituciones extranjeras. En enero de 1997, el Dr. George D. Stanley de la Universidad de Montana y el Dr. Carlos González León del IGI ERNO UNAM, a través del programa conjunto de Apoyo a Proyectos de Cooperación Científica y Tecnológica entre CONACYT de México y la *National Science Foundation* de EUA, realizaron en Hermosillo una reunión sobre la geología y paleontología del Paleozoico superior y Mesozoico inferior de Sonora. Dicha reunión incluyó tanto conferencias como excursiones, abordando discusiones de importancia relacionadas con algunos grupos fósiles presentes en Sonora como son los radiolarios, braquiópodos, ammonites y reptiles marinos. Cabe resaltar que en la publicación de carácter divulgativo de la Estación por ese entonces, “Geología del Noroeste” de ese mismo año, Lucas et al., (1997) y Lucas y González-León (1997) incluyeron varios reportes de fósiles de Sonora como son los gonfoterios *Rhynchoterium browni* y *Cuvieronius* sp., así como la biota de Ediacara (McMenamin y D'Ambrosio, 1997), además de una nota por parte de investigadores del Centro INAH-Sonora sobre la Legislación sobre los restos fósiles (Villalpando et al., 1993). En este sentido, el compromiso de la paleontología de Sonora con la legislación y protección del patrimonio paleontológico ha estado presente desde el inicio. Casi dos décadas después de esta nota, el Centro INAH-Sonora organizó el Taller de registro de sitios y colecciones paleontológicas en el estado de Sonora (2016), donde se discutieron los trámites legales para el correcto trabajo con fósiles en la República Mexicana. Además, este foro se dio como el espacio para relacionarse entre especialistas y surgió la necesidad de ir más allá y organizar un

evento donde se trataron temas de interés para la conservación y la restauración del material paleontológico. Así, se organizó el primer *Seminario sobre investigación, conservación, restauración y puesta en valor del patrimonio paleontológico* (2017), como un esfuerzo en conjunto entre el Centro INAH-Sonora, el Instituto de Geología de la UNAM y el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. De la misma manera, en noviembre de 2020 se realizó el “I Simposio – Investigación en Paleontología: La Sierra Madre Occidental, una visita al Paleozoico” organizado por la Sociedad Mexicana de Paleontología, la Universidad de Sonora y la Universidad Autónoma de Nuevo León. Sin embargo, el evento más importante con relación a la paleontología, realizado en la última década en el estado de Sonora, corresponde al XVII Congreso Nacional de Paleontología, organizado por la Estación Regional del Noroeste y la Sociedad Mexicana de Paleontología, A.C., en noviembre de 2022.

El Departamento de Geología de la Universidad de Sonora inició operaciones en 1974, debido al impulso que inicialmente dio el Dr. Guillermo Salas Pizá (†) (Figura 7), quien se interesó en la fundación de la carrera de Geología, con el objetivo de proporcionar servicio al noroeste de México, debido a la abundancia de recursos minerales. Dentro de la currícula de la carrera de Geólogo se incluyen las asignaturas de paleontología de invertebrados y vertebrados, además en la Maestría en Ciencias-Geología y Doctorado en Geociencias se ofertan las asignaturas de Paleontología Avanzada, y de Paleoeología y ambientes marinos, entre otras.

La primera paleontóloga del Departamento de Geología que realizó docencia en la carrera de Geología fue la Dra. Françoise Peiffer, en la década de los años 70 y 80 del siglo pasado. Posteriormente se integró la Dra. Martha Gamper y el Dr. Francisco Longoria. En 1983

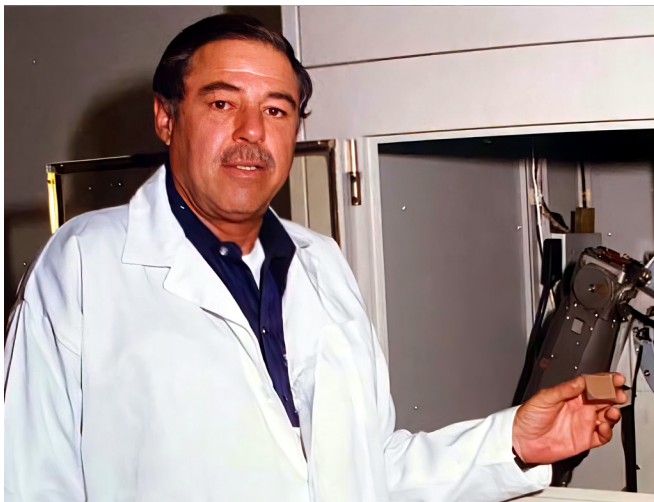


Figura 7. Dr. Guillermo Salas Pizá (†, 2009) *circa* 2000, fundador del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. De estirpe académica, hijo del Ing. Guillermo P. Salas (1912–1990), quien fuera director del Instituto de Geología, UNAM (1955–1968).

se integró al Departamento la Dra. Olivia Pérez Ramos (Figura 8A), especialista en fusulínidos y posteriormente, en 1995, el Dr. Emilio Almazán Vázquez (Figuras 8B-C), interesado en estudios bioestratigráficos.

En 1978 se inicia la edición del *Boletín del Departamento de Geología* por el Dr. José Francisco Longoria, en el cual se publican algunos de los trabajos de paleontología de la entidad, realizados por paleontólogos mexicanos y/o de la Universidad de Sonora (*ex. gr.* Gamper y Longoria, 1978; Herrera *et al.*, 1984, Pérez-Ramos, 1986; Mora-Villalobos, 1997).

Actualmente en el Departamento laboran los paleontólogos Dr. Francisco Javier Cuen Romero (Figura 9), especialista en trilobites y paleoecología del Paleozoico inferior, y el Dr. Héctor Arturo Noriega Ruiz (Figura 10), especialista en paleoecología del Paleozoico, así como el estratígrafo, Dr. Rogelio Monreal Saavedra, quien ha impulsado los estudios de paleontología en la Universidad de Sonora. Se ha mantenido una estrecha colaboración con investigadores del Instituto de Geología de la UNAM (Figuras 9 y 10), así como con el Dr. Javier Ortega-Hernández de la Universidad de Harvard; con el Dr. Frederick A. Sundberg de la Universidad de Nuevo México (Figura 11) y con la Dra. Matilde Sylvia Beresi del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (Figura 12).

La Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, inició operaciones en 1974, con el objetivo de realizar investigaciones de geología regional. El primer jefe de la ERNO fue Jesús Nájera (Figura 11), siendo el Ing. Córdoba (Figura 11) el director del Instituto de Geología en ese momento y en cuyo honor se nombró el Auditorio de la Estación, mismo que se conserva hasta la actualidad.

En 1980, se inauguró el edificio con el que cuenta actualmente, por el entonces M.C. Jaime Roldán, el Dr. José Guerrero García, entonces Director del Instituto de Geología de la UNAM y con el apoyo del Dr. Alfonso Castellanos, Rector de la Universidad de Sonora en ese tiempo.

En el período entre el inicio de operaciones de la ERNO en Hermosillo y la inauguración del edificio propiamente dicho, el interés de la comunidad académica internacional por realizar estudios paleontológicos y geológicos en el estado de Sonora fue evidente, diversos investigadores de la escuela francesa como el Dr. Luc Ortlieb (†), el Dr. Claude Rangin y la Dra. Françoise Peiffer estuvieron en la ERNO como parte de distintos proyectos de colaboración (Figura 13). El Dr. Luc Ortlieb, en el marco del proyecto de colaboración “Geocortez” entre el IGL y el ORSTOM (actualmente el IRD), realizó estudios en la terraza marina del Golfo de California mediante invertebrados. El Dr. Claude Rangin, aunque no es paleontólogo, sí integró datos paleontológicos en sus resultados a través de colaboraciones con especialistas mexicanas como la Dra. Gloria Alencáster Ybarra, la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez y la Dra. Lucía Almeida, entre otras. La Dra. Françoise Peiffer realizó un trabajo sistemático muy

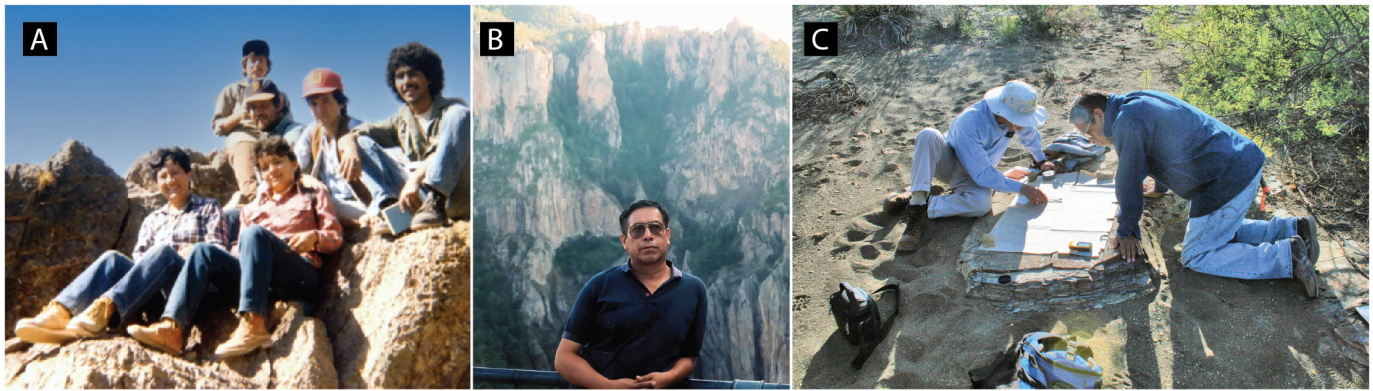


Figura 8. A. de izquierda a derecha al frente, Dra. Olivia Pérez Ramos, M.C. Alejandra Montijo González, al fondo Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega, durante una prospección paleontológica al área de Caborca, Sonora, 1984. B. Dr. Emilio Almazán Vázquez (†) circa 2003. C. Dr. Emilio Almazán Vázquez (†2010) y Dr. Rogelio Monreal, durante una prospección al Cretácico del Grupo Caullona, Sonora, 2009.



Figura 9. De izquierda a derecha, Dra. Gloria Alencáster Ybarra, Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez y Dr. Francisco Javier Cuen Romero. Ciudad de México, 2016.



Figura 10. De izquierda a derecha, Dr. Josep A. Moreno Bedmar y Dr. Héctor Arturo Noriega Ruiz, durante una prospección a campo en Sonora, 2021.

detallado en diversos afloramientos del Paleozoico de Sonora, que incluyó una cartografía a detalle, columnas estratigráficas, estudios micropaleontológicos y de paleontología de invertebrados. Este trabajo fue uno de los primeros en el que se presentaron evidencias sobre la hipótesis de la continuidad de la sutura Ouachita-Marathon hacia Sonora. Desafortunadamente, ese trabajo sigue inédito hoy en día, pero existe una copia mecanografiada que ella hizo llegar a John H. Stewart y a Forrest G. Poole, y que circula entre los investigadores que trabajan el Paleozoico en Sonora. Normalmente este documento inédito se incluye como cita en las publicaciones y así se le ha dado el merecido crédito.

Actualmente en la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, laboran los paleontólogos Dr. Hannes Löser Kaiser, especialista en corales y otros invertebrados, Dra. Pilar Navas-Parejo García, estratígrafa y micropaleontóloga especialista en conodontos y la Dra. Uxue Villanueva Amadoz, especialista en palinoestratigrafía. Además, el Dr. Carlos González León, geólogo, con gran interés en los estudios paleontológicos. La ERNO es sub-sede del Posgrado en Ciencias de la Tierra donde se dirigen tesis de maestría y doctorado y se imparten materias a nivel maestría dentro de la disciplina de la paleontología como son Paleontología de invertebrados, Micropaleontología y ambientes, Paleobotánica, entre otros. Algunos de los investigadores adscritos a la ERNO también son tutores en otros posgrados de la UNAM como el Posgrado en Ciencias Biológicas o el Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.

4. Conclusiones

La paleontología en el estado de Sonora cuenta con una historia de aproximadamente 160 años (1864). En



Figura 11. De izquierda a derecha, Dr. Francisco Javier Cuen Romero, M.C. José Alfredo Ochoa Granillo, Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez y Dr. Frederick A. Sundberg, durante una prospección al Cámbrico de Sonora, central, 2018.



Figura 12. De izquierda a derecha, Dra. Matilde Sylvia Beresi, Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez y Dr. Francisco Javier Cuen Romero, durante una entrevista de radio en la Universidad de Sonora, México, 2018.

sus inicios fue impulsada por el interés en los recursos naturales y en los metales del estado, sin embargo, actualmente ha alcanzado una madurez como disciplina, irradiando hacia la investigación, docencia y difusión-divulgación.

La bibliografía paleontológica del estado de Sonora es amplia y densa, sin embargo, en el presente trabajo únicamente se han abordado aquellas investigaciones que, debido a su novedad o área de estudio, han constituido un verdadero hito en la historia de la paleontología del estado.

De acuerdo con el análisis de las etapas de desarrollo de la historia de la paleontología en Sonora, estás



Figura 13. De izquierda a derecha, Dr. Gabriel Ibarra Félix, Ing. Alfonso Molina Ruibal, Dr. Claude Rangin, Dr. Guillermo Salas Pizá, Ing. Diego Córdova Méndez, Dra. Françoise Peiffer, Dr. Alfonso Castellanos, Teresa Hughes, Dr. Jesús Nájera y René Montaña Terán. Fotografía tomada en la Universidad de Sonora, 1974.

coinciden con las etapas propuestas por Alencáster-Ybarra (2013), en las cuales se observa en un inicio la intervención de paleontólogos extranjeros, la institucionalización de esta ciencia para posteriormente dar paso al trabajo de paleontólogos desde instituciones mexicanas.

Entre los esfuerzos que ameritan los nuevos tiempos o el desarrollo de la cuarta etapa, se encuentran la investigación y docencia en paleontología, enfocados hacia el entendimiento de la evolución geológica del noroeste de México, el estudio de la paleobiota y su relación con los recursos naturales no renovables, así como la legislación y la puesta en valor del patrimonio paleontológico del país.

Agradecimientos

Los autores agradecen a dos revisores anónimos por las atinadas correcciones realizadas al presente manuscrito, mejorando notablemente su versión final. Los autores agradecen al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y a la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología de la UNAM por las facilidades proporcionadas para llevar a cabo la presente investigación. De igual forma, expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Dr. Thierry Calmus, Dr. Carlos González-León de la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología de la UNAM y el Ing. Ángel Fort de la Mina Barita, así como al M.C. Ismael Minjárez Sosa del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, por la información y el material fotográfico proporcionado. Deseamos también agradecer el trabajo técnico realizado por la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y el M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez.

Referencias

- Alencáster-de Cserna, G. (1961). Fauna fósil de la Formación Santa Clara (Cárnico) del estado de Sonora. *Paleontología Mexicana*, 11, 70–120.
- Alencáster-Ybarra, G. (2013). Contribución de la mujer al desarrollo de la paleontología en México. *Revista Nuestra Tierra*, 19, 3–9.
- Almazán-Vázquez, E. (1989). El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centro-oriental del estado de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 8(1), 58–66.
- Almeida, L., & Martínez-Hernández, E. (1980). Estudio palinológico preliminar del Cretácico Superior de la Cuenca de Cabullona, Sonora, México. SEP-INAH, *Departamento de Prehistoria, Colección Científica*, 86, 213–227.
- Angermann, E. (1904). Apuntes sobre el Paleozoico en Sonora. *Parergones del Instituto Geológico de México*, 1(3), 81–90.
- Beraldi-Campesi, H., Cevallos-Ferriz, S. R. S., & Chacón-Baca, E. (2004). Microfossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tarahumara Formation, Sonora, Mexico. *Cretaceous Research*, 25(2), 237–253.
- Beraldi-Campesi, H., Cuen-Romero, F. J., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2018). Cambrian oncolites from San José de Gracia, Sonora, Mexico. *Paleontología Mexicana*, 7(1), 23–56.
- Beresi, M. S. (2021). Porifera and Chancelloriidae of the Cambrian of Sonora, Mexico: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 111, 103428.
- Beresi, M. S., Botting, J. P., Palafox, J. J., & Buitrón Sanchez, B. E. (2017). New reticulosan sponges from the middle Cambrian of Sonora, Mexico. *Acta Palaeontologica Polonica*, 62(4), 691–703.
- Beresi, M. S., Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., & Palafox, J. J. (2019). Escleritosos de *Chancelloria eros* y escleritos del Cámbrico medio (Serie 3, Piso 5) de Sonora central, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(1), 54–63.
- Branson, E. B., & Mehl, M. G. (1934). Conodonts from the Grassy Creek shale of Missouri. *Missouri University Studies*, 8(3), 171–259.
- Branson, E. B., & Mehl, M. G. (1944). Conodonts. In Shimer, H. W., & Shrock, R. R. (eds.), *Index fossils of North America* (pp. 235–246). John Wiley and Sons.
- Brunner, P. (1975). Estudio estratigráfico del Devónico en el área de El Bisani, Caborca, Sonora. *Instituto Mexicano del Petróleo, Revista*, 7, 16–45.
- Brunner, P. (1976). Litología y bioestratigrafía del Misisípico en el área de Bisani, Caborca, Sonora. *Instituto Mexicano del Petróleo, Revista*, 8, 7–41.
- Buitrón-Sánchez, B., Corona-González, N., Cuen-Romero, F., Palafox-Reyes, J. J., & Ramírez-Guerrero, G. (2016). Icnofósiles del Cámbrico Inferior de San José de Gracia, Sonora. *Paleontología Mexicana*, 5(1), 33–40.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F., Huerta-Ruiz, A., & Montijo-González, A. (2017a). Hiolitidos del Cámbrico (Hyalolitha) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas. *Paleontología Mexicana*, 6(1), 25–34.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., Montijo-González, A., & Beresi, M. (2017b). El equinodermo *Gogia granulosa* (Echinodermata: Blastozoa) del Cámbrico temprano-medio en Sonora, México: paleoecología y paleogeografía. *Revista de Biología Tropical*, 65(1-1), S160–S167.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., Beresi, M. S., & Monreal, R. (2021). First record of *Ubaghsicystis* (Eocrinoidea-Echinodermata) from the Cambrian (Miaolingian, Wuliuan) of Sonora, Mexico: Biostratigraphical and paleoecological considerations. *Revista de Biología Tropical*, 69(Suppl. 1), 51–65.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuadros-Mendoza, I. M., Cuen-Romero, F. J., & Torres-Martínez, M. Á. (2023). Crinoideos (Echinodermata: Crinoidea) del Misisípico-Pensilvánico de la sierra Santa Teresa, región central del estado de Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e945134.
- Burckhardt, C. (1912). Faunes Jurassiques et Cretaciques de San Pedro del Gallo. *Boletín del Instituto de Geológico de México*, 29, 1–264.
- Burckhardt, C. (1925). Faunas del Aptiano de Nazas (Durango). *Instituto Geológico de México, Boletín*, 45, 1–71.
- Burckhardt, C. (1930). Etude synthétique sur le Mésozoïque Mexicain, Première partie. *Société Paléontologique Suisse Mémoires*, 49, 1–123.
- Calmus, T., Pérez-Segura, E., & Stinnesbeck, W. (1997). La structuration de la marge pacifique nord-américaine et du “terrane Caborca”: apports de la découverte d’une faune du Jurassique inférieur et moyen dans la série de Pozos de Serna (Sonora, Mexique). *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, 323, série IIA, 795–800.
- Carreño, A. L., & Montellano-Ballesteros, M. (2005). La Paleontología mexicana: pasado, presente y futuro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(2), 137–147.
- Celis-Gutiérrez, S. (1986). Interpretación paleoambiental de los depósitos marinos litorales pleistocénicos de la localidad de Punta Chueca, Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6(2), 259–268.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., & Ricalde-Moreno, O. S. (1995). Palmeras fósiles del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 66, 37–106.
- Chacón-Baca, E., Velasco-de León, M. P., Castañeda-Posadas, C., Cuen-Romero, F. J., & Lozano-Carmona, D. E. (2020). La Sociedad Mexicana de Paleontología: Una retrospectiva pertinente. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 41–51.
- Cooper, A. G., & Arellano, A. R. V. (1946). Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 30(4), 606–619.
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V. J., Stoyanow, A., & Lochman, C. (1952). Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwest Sonora, Mexico. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(1), 184 p.
- Cooper, G. A., Dunbar, C. O., Duncan, H., Miller, A. K., & Knight, J. B. (1953). Permian fauna at El Antimonio, western Sonora, México. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(2), 1–111.
- Cuen, F. J., Beresi, M. S., Montijo, A., Buitrón, B. E., Minjárez, I., & Palafox, J. J. (2013). *Chancelloria Walcott*, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 581–590.
- Cuen-Romero, F. J., Valdez Holguín, J. E., Buitrón, B. E., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo González, A., & Minjarez Sosa, I. (2016). Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 429–441.
- Cuen-Romero, F. J., Valdez-Holguín, J. E., Buitrón-Sánchez, B. E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L. F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J. A., & Palafox-Reyes, J. J. (2018). Trilobite-based biostratigraphy (Arthropoda-Trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 227–236.
- Cuen-Romero, F. J., Valdez-Holguín, J. E., Buitrón-Sánchez, B. E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L. F., Hinojosa, E. A., Ochoa-Granillo, J. A., Grijalva-Noriega, F. J., & Palafox Reyes, J. J. (2019a). Paleocology of Cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 631–645.
- Cuen-Romero, F. J., Beresi, M. S., Palafox-Reyes, J. J., & Montijo-González, A., (2019b). *Ptychagnostus atavus* (Tullberg, 1880) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Drumiano) de Arivechi, Sonora, México: Significado bioestratigráfico. *Paleontología Mexicana*, 8(2), 97–108.
- Cuen-Romero, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., Chacón-Baca, E., Monreal, R., & Castillo-Gámez, R. A. (2021). Métodos cuantitativos en paleoecología de comunidades. *EPISTEMUS*, 14(29), 52–61.
- Cuen-Romero, F. J., Rohr, D. M., Noriega-Ruiz, H. A., Monreal, R., Blodgett, R. B., Beresi, M. S., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2022a). Middle Ordovician (Whiterockian) gastropods from central Sonora, Mexico: affinities with Laurentia and the Precordillera. *Journal of Paleontology*, 96(5), 1037–1046.

- Cuen-Romero, F. J., Rohr, D. M., Noriega-Ruiz, H. A., Monreal, R., Blogett, R. B., Palafox-Reyes, J. J., & Ochoa-Granillo, J. A. (2022b). *Ulrichospira* Donald (Gastropoda-Phanerotrematidae) from the Middle Ordovician of central Sonora, Mexico: *Paleobiogeographical considerations*. *Paleontología Mexicana*, 11(1), 29–34.
- Cuen-Romero, F. J., Montijo-González, A., Monreal, R., Sundberg, F. A., Espinoza-Maldonado, G., Grijalva-Noriega, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., Minjárez-Sosa, I., & Ochoa-Granillo, J. A. (2022c). Cambrian (Series 2 to Miaolingian) platform facies from central Sonora, Mexico and the regional correlation. *Palaeoworld*, 31(1), 41–57.
- D'Orbigny, A. (1850). Prodrôme de paléontologie stratigraphique universelle des animaux mollusques et rayonnés. *Viktor Masson*, 1, 428 p.
- Dall, W. H. (1909). Biographical Memoir of William More Gabb (1839–1878): National Academy of Sciences. *Biographical Memoirs, Part of volumen VI*. Washington, 361 p.
- Devery, J. P. (1979). *Sedimentary petrology of the upper Paleozoic carbonates near Bavispe, Sonora, Mexico* [Tesis de Maestría sin publicar]. Texas Christian University.
- Dumble, E. T. (1900). Notes on the geology of Sonora. México. *American Institute of Mining Engineers Transactions*, 29, 122–152.
- Dunbar, C. O. (1939). Permian fusulinids from Sonora. *Bulletin of the Geological Society of America*, 50, 1745–1760.
- Easton, W. H. (1958). Mississippian corals from northwestern Sonora, Mexico. In Easton, W. H., Sanders, J.E., Knight, J.B., & Miller, A.K. (eds.). *Mississippian fauna in northwestern Sonora, Mexico* (pp. 1–40). *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(3).
- Epstein, A. G., Epstein, J. B., & Harris, L. D. (1977). Conodont color alteration; an index to organic metamorphism. *Geological Survey Professional Paper*, 995, 27 p.
- Escalona-Alcázar, F., & Roldán-Quintana, J. (1993). Geología del Cretácico Inferior en el norte de Sonora. *Ciencia*, 44, 92–93.
- Fernández-Aguirre, M. A., Monreal-Saavedra, R., & Grijalva-Haro, A. S. (1993). *Carta geológica Sonora*. Escala 1:500,000. Hermosillo, Sonora, Gobierno del Estado de Sonora, Dirección General de Fomento Minero; y Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.
- Flores, T. (1929). Reconocimientos geológicos en la región central del estado de Sonora. *Boletín Instituto Geológico de México*, 49, 1–267.
- Gabb, W. M. (1864a). Description of the Triassic fossils of California and the adjacent territories. *Geological Survey of California, Paleontology of California*, 1(2), 19–35.
- Gabb, W. M. (1864b). On Cretaceous fossils from Sahuaripa Valley, State of Sonora, Mexico, discovered by August Remond. *Proceedings of the California Academy of Natural Sciences*, 3(2), 153–154.
- Gabb, W. M. (1869). Descriptions of Cretaceous fossils collected by A. Remond, at Arivechi, Sonora, Mexico [Notes on some Mexican Cretaceous fossils, with descriptions of new species]. *Geological Survey of California, Paleontology of California*, 2(3), 257–276.
- Galeotti, H. (1839). Notice sur le calcaire crétacé des environs de Jalapa, au Mexique: *Bulletin de la Société Géologique de France*, 1(10), 32–39.
- Gamper, M. A., & Longoria, J. F. (1978). Sobre la ocurrencia de estromatolitos en la secuencia precámbrica del Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW de Sonora. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 1, 95–104.
- González-León, C. (1986). Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora. *Revista del Instituto de Geología de la UNAM*, 6, 117–135.
- González-León, C. M. (1994). *Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona Basin, northeastern Sonora, Mexico* (Tesis doctoral no publicada). University of Arizona.
- González-León, C., & Buitrón, B. E. (1984). Bioestratigrafía del Cretácico Inferior del área de Lampazos, Sonora, México. En *Memoria III Congreso Latinoamericano de Paleontología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 371–377.
- González-León, C. M., Lucas, S. G., & Kues, B. S. (1993). Stratigraphy and paleontology of the Late Cretaceous Cabullona Basin, northeastern Sonora, Mexico. In González-León, C. M., & Vega-Granillo, E. L. (eds.). *Simposio sobre la Geología de Sonora y Áreas Adyacentes*, 3, Libro de Resúmenes (pp. 37–41).
- González-León, C. M., & Lawton, T. (1995). Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona Basin, northeastern Sonora. In Jacques-Ayala, C., González-León, C. M., & Roldán-Quintana, J. (eds.). *Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas*. Geological Society of America Special Paper 301.
- González-León, C. M., & Lucas, S. G. (1995). Stratigraphy and paleontology of the Early Cretaceous Cerro de Oro Formation, central Sonora. In Jacques-Ayala, C., González-León, C. M., & Roldán-Quintana, J. (eds.). *Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas* (pp. 41–47). Geological Society of America Special Paper 301.
- Grijalva-Noriega, F. J. (1991). Sobre el Cretácico Temprano en Sonora y áreas adyacentes: *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 8(2), 1–18.
- Heilprin, A. (1891). The geology and paleontology of the Cretaceous deposits of Mexico. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1890, 445–469.
- Herrera, S., Bartolini, C., Pérez, O., & Buitrón, B. (1984). Paleontología del área de Lampazos. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 1(1), 50–59.
- Holcomb, R. A. (1979). *Conodont biostratigraphy of the Paleozoic carbonates near Bavispe, Sonora, Mexico* (Tesis doctoral no publicada). Texas Christian University.
- Holmer, L. E., Clausen, S., Popov, L. E., Pour, M. G., Liang, Y., Zhang, Z., Palafox-Reyes, J. J., Sosa-Leon, J. P., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2022). Cambrian (Stage 4 to Wuliuan) Brachiopods from Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 96(6), 1264–1284.
- Imlay, R. W. (1937). Lower Neocomian fossils from the Miquihuana Region, Mexico. *Journal of Paleontology*, 11(7), 552–574.
- Imlay, R. W. (1938). Ammonites of the Tarais Formation of northern Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America*, 49, 539–602.
- Imlay, R. W. (1939). Paleogeographic studies in northeastern Sonora. *Geological Society of America Bulletin*, 50(11), 1723–1744.
- Jacques-Ayala, C., Alencáster, G., & Buitrón, B. (1990). Macrofauna marina de Aptiano-Albiano en el área de Caborca. Sonora. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 3(1), 63–77.
- Jaworski, E. (1929). Eine Lias-fauna aus Nordwest Mexiko. *Abhandlungen der Schweizerischen Palaeontologischen Gesellschaft*, 48(4), 12 p.
- Jiménez-López, J. C., Sour-Tovar, F., Buitrón-Sánchez, B. E., & Palafox-Reyes, J. J. (2018). Braquiópodos del Paleozoico tardío de la sierra Agua Verde, Sonora: implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3), 637–650.
- Keller, W. T. (1928). Stratigraphische beobachtungen in Sonora (nordwest Mexico). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 21, 327–335.
- Ketner, K. B. (1986). Eureka Quartzite in Mexico? – Tectonic implications. *Geology*, 14, 1027–1030. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1986\)14<1027:EQIMI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1986)14<1027:EQIMI>2.0.CO;2)
- King, R. E. (1939). Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America*, 50(11), 1625–1722.
- Lara-Peña, R. A., Navas-Parejo, P., & Amaya-Martínez, R. (2020). New conodont data related to the western Ouachita-Marathon-Sonora orogen: Age of the autochthonous Laurentian deformation. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, 102763.
- Lara-Peña, R. A., Navas-Parejo, P., & Torres-Martínez, M. A. (2021). Permian autochthony of northwestern Mexico based on conodont paleogeographic relationships with southwestern Laurentia. *Newsletters on Stratigraphy*, 54(3), 363–376.
- Lara-Peña, R. A., Blanco-Ferrera, S., Torres-Martínez, M. A., & Navas-Parejo, P. (2023). CAI and microtextures of low-grade metamorphosed conodonts related to lithological and geological controls. *Palaeoworld*, in press.

- Lawton, T. F., González-León, C. M., Lucas, S. G., & Scott, R. W. (2004). Stratigraphy and sedimentology of the upper Aptian-upper Albian Mural Limestone (Bisbee Group) in northern Sonora, Mexico. *Cretaceous Research*, 25, 43–60.
- Lochman, C. (1948). New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 22(4), 451–464.
- Longoria, J. F., & Monreal, R. (2009). The use of planktonic microfossils to resolve chronostratigraphic, tectonic, and paleogeographic uncertainties in the Lower Cretaceous of Eastern Sonora, NW Mexico. En Demchuk T. D., & Gary A. C. (eds.). *Geologic Problem Solving with Microfossils, in honor of Garry D. Jones* (pp. 269–285). SEPM Special Publication 93.
- Löser, H. (2013). The Cretaceous corals from the Bisbee Group (Sonora; Late Barremian-Early Albian): Genus *Stelidioseris* (Actinastreaeidae). *Paleontología mexicana*, 2(1), 79–89.
- Löser, H. (2015). The Cretaceous corals from the Bisbee Group (Sonora; Late Barremian-Early Albian): Solenocoeniidae. *Paleontología Mexicana*, 4(2), 13–24.
- Löser, H. (2016). The Cretaceous corals from the Bisbee Group (Sonora, Mexico; Late Barremian-Early Albian): suborder Heterocoeniina. *Paleontología Mexicana*, 5(1), 41–51.
- Löser, H. (2022). A new coral family and three new genera (Scleractinia) from the Lower Cretaceous of Puebla and Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 39(3), 220–229.
- Lucas, S. G., & González-León, C. M. (1990). Reporte preliminar sobre dinosaurios del Cretácico Tardío de la cuenca de Cabullona, Sonora. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 7, 1–6.
- Lucas, S. G., & González-León, C. M. (1997). *Cuvieronius* (Mammalia, Proboscidea) de Oquitoa, Sonora. *Geología del Noroeste*, 2, 12–13.
- Lucas, S. G., Kues, B. S., & González-León, C. M. (1995). Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, northeastern Sonora. *Special Papers Geological Society of America*, 143–166.
- Lucas, S. G., Morgan, G., & González-León, C. M. (1997). *Rhynchotherium* (Mammalia, Proboscidea) de San José de Pimas, Sonora. *Geología del Noroeste*, 2, 7–8.
- Lucas, S. G., Estep, J. W., & Molina-Garza, R. S. (1999). Early Jurassic stratigraphy and ammonites at Cerro Pozos de Serna, Sonora, Mexico, and their tectonic significance. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, 6, 357–371.
- Macomb, J. N., & Newberry, J. S. (1876). *Report of the Exploring Expedition: From Santa Fé, New Mexico, to the Junction of the Grand and Green Rivers of the Great Colorado of the West, in 1859*. US Government Printing Office.
- Martínez-Pérez, C., Navas-Parejo, P., Lara-Peña, R. A., Ferrón, H. G., Palafox-Reyes, J., & Botella, H. (2019). Late Devonian (Famennian) Chondrichthyes from Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 39(6), e1764008.
- McMenamin, M. A. (1985). Basal Cambrian small shelly fossils from the La Cienega formation, northwestern Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 59(6), 1414–1425.
- McMenamin, M. A. (1987). Lower Cambrian trilobites, zonation, and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 61(4), 738–749.
- McMenamin, M. A. (1996). Ediacaran biota from Sonora, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(10), 4990–4993.
- McMenamin, M., & D'Ambrosio, H. (1997). La biota Ediacara de Sonora. *Geología del Noroeste*, 2, 15–16.
- Miller-Jr, H. W. (1961). Belemnoides del Triásico Superior del Estado de Sonora. *Paleontología Mexicana*, 11, 1–15.
- Monreal, R. (1994). Facies changes, unconformities, stratigraphic juxtapositions and their tectonic implications of the Cretaceous of Cerro de Oro, central Sonora, Mexico. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 11(1), 1–30.
- Monreal, R. (1997). Microfacies of a Lower Cretaceous marine succession in the Cerro Las Conchas, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas de la UNAM*, 14(1), 38–49.
- Monreal R., & Longoria, J. F. (2000a). Lower Cretaceous rocks of Sierra Los Chinos, East-central Sonora, México. *Geofísica Internacional*, 39(4), 309–322.
- Monreal, R., & Longoria, J. F. (2000b). Stratigraphy and structure of the Lower Cretaceous of Lampazos, Sonora, (northwest Mexico) and its relationship to the Gulf Coast succession. *AAPG Bulletin*, 84(11), 1811–1831.
- Montaño-Jiménez, T. R. (1988). *Geología del área de El Tigre, noreste de Sonora* (Tesis no publicada). Universidad de Sonora.
- Mora-Villalobos, M. C. (1997). Estudio Sistemático de Amonitas Cretácicas de Sonora: áreas de Lampazos y Cerro de Oro. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 14(2), 41–66.
- Müelleried, F. K. G., (1933). Estudios paleontológicos y estratigráficos en la región de Tehuacán, Puebla. Segunda parte, IV Cretácico. *Anales del Instituto de Biología*, 4, 79–93.
- Müelleried, F. K. G., Miller, A. K., & Furnish, W. M. (1941). The Middle Permian of Chiapas, southernmost Mexico, and its fauna. *American Journal of Science*, 239(6), 397–406.
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2009). First report of Gogia (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early Middle Cambrian of Sonora (Mexico), with biostratigraphical and palaeoecological comments. *Geobios*, 42(2), 233–242.
- Navas-Parejo, P. (2018). Bioestratigrafía del Carbonífero de Sonora: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(1), 41–53.
- Navas-Parejo, P., Palafox, J. J., Villanueva, R., Buitrón-Sánchez, B. E., & Valencia-Moreno, M. (2017). Mid-Carboniferous shallow-water conodonts from northwest Mexico. *Micropaleontology*, 63(6), 383–402.
- Navas-Parejo, P., & Sandberg, C. A. (2018). Mid-Mississippian Conodont Faunas Document Depositionally Unbroken Connection Between Northwest Sonora and the U.S. Midcontinent. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 50(5).
- Navas-Parejo, P., Martínez, O. R., Palafox, J. J., & Valencia-Moreno, M. (2019). Late Famennian conodonts from the Cerro la Cueva, Sonora, NW Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 108–115.
- Noll, J. (1981). *Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, México* (Tesis de maestría no publicada). Northern Arizona University.
- Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Enríquez-Ocaña, L. F., Sundberg, F. A., Monreal, R., Varela-Romero, A., Palafox-Reyes, J. J., & Grijalva-Noriega, F. J. (2020). Cambrian stratigraphy (Series 2 to Miaolingian) of the El Sahuaral area in central Sonora, Mexico: Biostratigraphic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, 102797.
- Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Enríquez-Ocaña, L. F., Monreal, R., Chacón-Baca, E., Palafox-Reyes, J. J., & Grijalva-Noriega, F. J. (2022). Quantitative paleoecology of Cambrian (Series 2–Miaolingian) communities from central Sonora, Mexico. *Palaeworld*, 31(4), 607–620.
- Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Torres-Martínez, M. A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2023). Helcioneloides (Mollusca-Helcionelloida) del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de la Formación El Gavilán, Sonora central, México. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 9–18.
- Nyst, H., & Galeotti, H. (1840). Description de quelques fossils du calcaire jurassique de Tehuacán, au Mexique. *De Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, Bulletins*, 7(2), 212–221.
- Ochoa-Granillo, J. A., & Sosa-León, J. P. (1993). *Geología y Estratigrafía de la Sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico, Mátape, Sonora, México* [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Universidad de Sonora.
- Palma-Ramírez, A., Bravo-Cuevas, V. M., & Villanueva-Amadoz, U. (2023). First record of *Odocoileus virginianus* (Artiodactyla: Cervidae) from the Blanco de Sonora, Northwestern Mexico. *Historical Biology*. <https://doi.org/10.1080/08912963.2023.2248163>
- Pander, C. H. (1856). *Monographie der fossilen Fische des Silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements*. Akademie der Wissenschaften.
- Peiffer-Rangin, F. (1988). *Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of the northeastern*. Unpublished manuscript on file with J.H. Stewart,

- US Geological Survey, Menlo Park, CA, and F.G. Poole, US Geological Survey, Denver, CO.
- Peiffer-Rangin, F., Echavarrí-Pérez, A., Salas-Pizá, G., & Rangin, C. (1980). Sur le présence de l'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Paris. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série D*, 290, 13–16.
- Pérez-Ramos, O. (1986). *Coelcomana ramosa* (Boehm), rudista (Mollusca-Bivalvia) del Albiano temprano de la región de Santa Ana, Sonora. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 3(1), 11–17.
- Pérez-Ramos, O. (1988). Estudio estratigráfico de algunos rudistas de Sonora. *Boletín del Departamento de Geología Unison*, 5(1,2), 41–51.
- Pérez-Segura, E., & Jacques-Ayala, C. (1991). Introduction in Studies of Sonoran Geology. *GSA Special Papers*, 254, 1–5.
- Pfefferkorn, I., [1795] (1983). *Descripción de la provincia de Sonora: Libro segundo*, trad. de Armando Hopkins Durazo. Gobierno del Estado de Sonora.
- Poole, F.G., & Hayes, P.T. (1971). Depositional framework of some Paleozoic strata in northwestern Mexico and southwestern United States. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 3(2), 1–74.
- Rangin, C. (1977). Sobre la presencia del Jurásico Superior con amonitas en Sonora Septentrional. *Revista del Instituto de Geología*, 1, 1–4.
- Rémond, A. (1866). Notice of Geological Exploration in Northern Mexico. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 3, 244–247.
- Reyes-Montoya, D. R., Cuen-Romero, F. J., Gámez-Meza, N., Palafox-Reyes, J. J., Monreal, R., Navas-Parejo, P., Enríquez-Ocaña, F., Sundberg, F. A., & Grijalva-Noriega, F. J. (2023a). Stratigraphy of the Cambrian (Miaolingian to Furongian) and Ordovician (Tremadocian) west of Arivechi, eastern Sonora, Mexico: Implications on the Cambrian-Ordovician boundary. *Journal of South American Earth Sciences*, 129, 104538.
- Reyes-Montoya, D. R., Cuen-Romero, F. J., Navas-Parejo, P., Gámez-Meza, N., Palafox-Reyes, J. J., & Gutiérrez-Marco, J. C. (2023b). Early Tremadocian graptolites from the Arivechi area, Sonora, northern Mexico. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 72(1), 90–93.
- Riva, J. F., & Ketner, K. B. (1989). Ordovician graptolites from the northern Sierra de Cobachi, Sonora, Mexico. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences*, 80, 71–90.
- Robert, E., Samaniego-Pesqueira, A., Moreno-Bedmar, J. A., & González-León, C. M. (2018). Aptian and Albian (Early Cretaceous) ammonites from Lampazos and the Bisbee groups (Sonora State, northwest Mexico). *Cretaceous Research*, 86, 1–23.
- Roemer, F. (1849). *Texas. Mit besondere Rücksicht auf deutsche Auswanderung und die physischen Verhältnisse des Landes nach eigener Beobachtung geschildert*. bei Adolph Marcus b gedruckt bei Carl Georgi.
- Roemer, F. (1852). *Die Kreidebildungen von Texas und ihre organischen Einschlüsse*. A. Marcus.
- Roldán-Quintana, J. (2011). Evolución del conocimiento de la geología de Sonora, México. In Calmus, T. (ed.). *Panorama de la geología de Sonora, México* (pp. 1–24). *Boletín del Instituto de Geología*, 118 (1), 1–24.
- Samaniego-Pesqueira, A., Moreno-Bedmar, J. A., Álvarez-Sánchez, L. F. (2021). Upper Aptian ammonite biostratigraphy of the Agua Salada and Mural formations, Sonora State, northwest Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, 103558.
- Schlothheim, E. F. (1820). Die Petrefactenkunde auf ihrem jetzigen Standpunkte durch die Beschreibung seiner Sammlung versteinerter und fossiler Überreste des Thier- und Pflanzenreichs der Vorwelt. *Becker'sche Buchhandlung, Gotha*, 432 pp.
- Scholz, A., Aberhan, M., & González-León, C. M. (2008). Early Jurassic bivalves of the Antimonio terrane (Sonora, NW Mexico): Taxonomy, biogeography, and paleogeographic implications. *The Geological Society of America, Special Paper*, 442, 269–312.
- Scott, R. W. (2007). Late Aptian-Early Albian bivalves of the Comanchean and Sonoran shelves. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 39, 7–39.
- Scott, W., & González-León, C. (1991). Paleontology and biostratigraphy of Cretaceous rocks, Lampazos area, Sonora, Mexico. In Pérez-Segura, E., & Jacques-Ayala, C. (Eds.). *Studies of Sonoran Geology. GSA Special Papers*, 254, 1–5.
- Silva-Pineda, S. (1961). Flora fósil de la Formación Santa Clara (Cárnico) del estado de Sonora. *Paleontología Mexicana*, 11, 3–37.
- Sour-Tovar, F., & Hernández-Barbosa, A. (2018). *Rusophycus* y *Cruziana*, galerías y rastros de trilobites del Terreneuviano (Cámbrico inferior) de la Formación Puerto Blanco, Noroeste de Sonora, México. Implicaciones paleoambientales. *Paleontología Mexicana*, 7(1), 1–11.
- Stanley, G. D., González-León, C., Sandy, M. R., Senowbari-Daryan, B., Doyle, P., Tamura, M., & Erwin, D. H. (1994). Upper Triassic invertebrates from the Antimonio Formation, Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 68(4), 1–33.
- Stewart, J. H., McMenamin, M. A. S., & Morales-Ramírez, J. M. (1984). Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico—Physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1309, 36 p.
- Stewart, J. H., Forrest, G. P., Harris, A. G., Repetski, J. E., Wardlaw, B. R., Mamet, B. L., & Morales-Ramírez, J. M. (1999). Neoproterozoic(?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(1), 35–62.
- Stoyanow, A. (1942). Paleozoic paleogeography of Arizona. *Bulletin of the Geological Society of America*, 53(9), 1255–1282.
- Sundberg, F. A., & Cuen-Romero, F. J. (2021). Trilobites from the Crepicephalus Zone (upper Guzhangian Stage, Miaolingian Series, Cambrian) from northern Sonora, Mexico, and its correlation to Arizona and Texas, USA. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103185.
- Taliaferro, N. L. (1933). An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico. *The Journal of Geology*, 41(1), 12–37.
- Underwood, J. R. (1964). Edwin Theodore Dumble. *The Southwestern Historical Quarterly*, 68(1), 53–78.
- Vega-Granillo, R. (1996). Geología de la Sierra de Mazatán. *Boletín del Departamento de Geología*, 13(1), 89–102.
- Velázquez-Heras, J. E., Castillo-Gámez, R. A., Monreal, R., Cuen-Romero, F. J., Enríquez-Ocaña, L. F., & Buitrón-Sánchez, B.E. (2022). Paleocology of a Lower Cretaceous (lower Albian) marine community of Cerro de Oro, central Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 113, 103667.
- Verneuil, E., & Collomb, E. (1853). Coup d'œil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne. *Bulletin de la Société géologique de France*, 10, 61–147.
- Vicente, A., Sanjuan, J., Eaton, J. G., & Villanueva-Amadoz, U. (2020). The oldest record of North American *Lychnothamnus* (northeastern Sonora, Mexico): Implications for the evolution, ecology, and paleogeographic distribution of the genus. *Aquatic Botany*, 167, 103271.
- Villalpando, M. E., Gallaga, E., & Martínez, J. (1993). Legislación sobre los restos fósiles. Geología del Noroeste. *Publicación de la Estación Regional del Noroeste*, 2(1), 14–15.
- Villanueva-Amadoz, U., Calvillo-Canadell, L., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2014). Síntesis de los trabajos paleobotánicos del Cretácico en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 97–121.
- Villaseñor, A. B., Olóriz, F., & González-Arreola, C. (2000). Recent advances in Upper Jurassic (Kimmeridgian-Tithonian) ammonite biostratigraphy of north-central Mexico based on recently collected ammonite assemblages. *Geo Research Forum*, 6, 249–262.
- Villaseñor, A. B., González-León, C. M., Lawton, T. F., & Aberhan, M. (2005). Upper Jurassic ammonites and bivalves from the Cucurpe Formation, Sonora (Mexico). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(1), 65–87.
- Weber, R., Ferriz, S. R. C., Cortés, A. L., Franco, A. O., & Sochet, S. S. (1979). Los estromatolitos del Precámbrico tardío de los alrededores

dores de Caborca, Estado de Sonora; parte 1, Reconstrucción de *Jacutophyton* Shapovalova e interpretación paleoecológica preliminar. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 3(1), 9-23.

Wilson, I. F., & Rocha, V. S. (1949). Coal deposits of the Santa Clara district, near Tonichi, Sonora, Mexico. *Geological Survey Bulletin*, 962-A, 80 p.