

PALEONTOLOGÍA MEXICANA

Número 10 Volumen 2



Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca,
Diciembre del 2021

Universidad Nacional Autónoma de México





PALEONTOLOGÍA MEXICANA

ISSN (2007-5189)
ISSN-L: 0543-7652

Segunda Época (2012-actualidad)

Entidad de edición: Unidad Editorial del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Revista incluida en: Periódica y Biblat

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

Asistente editorial y Web master: Sandra Ramos Amézquita.

Corrección de estilo: José Roberto Ovando Figueroa, Oscar Felipe Hernández Monzón, Karla Lizbeth Canchola Soto, Lía Rodríguez Gómez y Sandra Ramos Amézquita.

Formación y diseño: León Felipe Álvarez Sánchez, Mónica Antúnez Argüelles y Myrna Laura Martínez Robles.

ÍNDICE DE NÚMERO REGULAR – *REGULAR ISSUE NUMBER INDEX*

PÁGINA / PAGES	SECCIÓN: GRANDES PERSONAJES DE LA PALEONTOLOGÍA – <i>SECTION: GREAT PERSONAGES OF PALEONTOLOGY</i>
83	Semblanza del Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca. Pérez-Crespo, Víctor Adrián; Moreno-Bedmar, Josep Anton.

PÁGINA / PAGES	SECCIÓN: PALEOZOOLOGÍA – <i>SECTION: PALEOZOOLOGY</i>
93	Gasterópodos del Cretácico temprano de la región de Pihuamo, Jalisco, México. Consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas. Cuadros Mendoza, Iván Manuel; Buitrón Sánchez, Blanca Estela.
105	Dinosaurs from the Late Cretaceous of the Ojinaga Basin in Northeastern Chihuahua, Mexico. Rivera-Sylva, Héctor E.; Nava-Rodríguez, Rosalba L.; Sánchez-Urbe, Iván E.
113	Datos bioestratigráficos preliminares sobre los foraminíferos planctónicos de la Formación Miahuatepec, Estado de Puebla, México: implicaciones cronoestratigráficas. López-Alpizar, Lucero; Salazar-Martínez, Nadia Elizabeth; González-León, Oscar.
123	New remains of Notoemys tlaxiacoensis from the Llano Yosobé, Sabinal Formation (Upper Jurassic, Kimmeridgian), Oaxaca, Mexico. López-Conde, Oliver A.; Alvarado-Ortega, Jesús.
129	Washitaster delgadoi (de Loriol, 1884) equínido de las cuencas sedimentarias del Maestrat y Salou-Garraf (península Ibérica). Forner-Valls, Enric; Moreno-Bedmar, Josep Anton; Segura-Collado, Joaquín.

PÁGINA / PAGES	SECCIÓN: PALEOBOTÁNICA – <i>SECTION: PALEOBOTANICS</i>
145	Cinco morfotipos de carofitas fósiles del Oligoceno de la Formación Frío en el Noroeste de Tamaulipas, México. Coronado-Díaz, Miroslava; Silva-Martínez, Luis Encarnación; Guadiana-Padilla, Greta; Córdoba-Merino, Gabriel A.

DATOS DEL PRESENTE NÚMERO – *DATA OF THIS NUMBER*

Título: [Paleontología Mexicana](#)
 ISSN(electrónico): [\(2007-5189\)](#)
 ISSN-L: [0543-7652](#)
 (revista electrónica): [2007-5189](#)
 Tipo de publicación: [Periódica](#)
 Periodicidad: [Semestral](#)
 Número de publicación: [Volumen 10 Número 2](#)
 Fecha de publicación: [Diciembre de 2021 \(finales\)](#)
 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: [Electrónico](#)
 Gramaje: No aplica
 Tipo de papel: No aplica

AGRADECIMIENTOS – *ACKNOWLEDGEMENTS*

Paleontología Mexicana agradece el trabajo editorial realizado en el volumen 10(2) por la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y el M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez.

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://sfidora.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://sfidora.org/read/>

Semblanza del Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca

Biographical sketch of Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca

Pérez-Crespo, Víctor Adrián ^{a*} , Moreno-Bedmar, Josep Anton ^a 

^a Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, 04510, CDMX, México.

* vapc79@gmail.com

Resumen

El Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca labora en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) desde hace 60 años y actualmente, ostenta en ella los niveles máximos como investigador, al igual que en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Su trayectoria profesional le ha valido numerosos reconocimientos, entre los que destacan: Beca de la *John Simon Guggenheim Memorial Foundation*, Nueva York; *Fellow, Geological Society of America*; y el que colegas le hayan dedicado tres taxones nuevos. En este trabajo, se da a conocer su trayectoria profesional desde sus inicios como investigador, docente, así como otros aspectos, por ejemplo, el de fundador de la Sociedad Mexicana de Paleontología SOMEXPAL o el de ser un defensor consciente de la necesidad de proteger el patrimonio paleontológico mexicano. La semblanza finaliza con un análisis personal del Dr. Ferrusquía y su visión de la paleontología de vertebrados en México.

Palabras clave: Dr. Ferrusquía, fundador de la SOMEXPAL, Paleontología de Vertebrados, UNAM.

Abstract

Doctor Ismael Ferrusquía Villafranca has worked at the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) for 60 years and currently holds the highest levels of it as a researcher, likewise in the Sistema Nacional de Investigadores (SNI). In his professional career, he has received numerous recognitions including Fellow, John Simon Memorial Foundation, New York; Fellow, Geological Society of America; and the fact that his colleagues have dedicated three new taxa to him. In this work, his professional career is revealed from his beginnings as a researcher and teacher and through other aspects such as his role as the founder of SOMEXPAL or as a conscientious defender of the need to protect the Mexican paleontological heritage. The biographical sketch ends with a personal analysis of Dr. Ferrusquía and his vision of Vertebrate Paleontology in Mexico.

Keywords: Dr. Ferrusquía, founder of SOMEXPAL, UNAM, Vertebrate Paleontology.

Prólogo

Desde el año 2018, la Revista Paleontología Mexicana comenzó con una serie de trabajos cuyo objetivo principal es rendir un pequeño homenaje a los investigadores que han forjado, o contribuido de forma sustancial, al

desarrollo de la paleontología en México (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2018; Chacón-Baca *et al.*, 2019 y Carbot-Chanona *et al.*, 2020). Esta cuarta contribución está dedicada al Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca, destacado investigador del Instituto de Geología de la UNAM. Los autores de la presente reseña queremos agradecer la información y fotografías proporcionadas por el Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca y su hijo el M.C. Ismael Ferrusquía Muñoz. Además, el Dr. Ferrusquía fungió como revisor de la presente semblanza así, validó su contenido.

1. Introducción

El Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca nació en la Ciudad de México el 16 de julio de 1941 y actualmente, con 60 años de antigüedad en la UNAM, es investigador titular C de Tiempo Completo del Instituto de Geología, así como Investigador Decano del mismo. Es también profesor en el Posgrado de Ciencias de la Tierra de la UNAM, donde imparte la Cátedra de Estratigrafía Avanzada, y tiene la distinción de Investigador Nacional Nivel III en el Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SNI-CONACYT), al cual ha pertenecido desde su creación. El Dr. Ferrusquía ha recibido numerosas distinciones, entre las que destacan la *John Simon Guggenheim Memorial Foundation Fellowship* (Nueva York, 1984-1986), reconocimiento científico y humanístico internacional, de gran prestigio, el único entregado a un mexicano en el área de Ciencias de la Tierra, y al que muchos científicos consideran el segundo después del Premio Nobel; el Diploma y Medalla de Reconocimiento por 50 Años de Servicios Académicos a la UNAM (Figura 1); y *Fellow* de la *Geological Society of America* (GSA). Otra distinción, ciertamente destacable por parte de sus colegas, es el hecho de que algunos le

hayan dedicado tres nuevas especies, dos de mamíferos: *Sigmodon ferrusquiai* Carranza-Castañeda y Walton, 1992 y *Ferrucyon avius* Ruiz-Ramoni *et al.*, 2020, lo cual Ferrusquía agradece cumplidamente. La Dra. Montellano-Ballesteros, colega en el instituto y una de las autoras del trabajo de Ruiz-Ramoni *et al.* (2020), menciona que el homenajeado “es, de alguna manera, el padre de muchos paleontólogos de vertebrados y lo denominamos en su honor”. El Dr. Ferrusquía está muy agradecido por estas palabras. El otro taxon es un pez: *Vinctifer ferrusquia* Cantalice *et al.*, 2018, del cual uno de los autores es el Dr. Jesús Alvarado Ortega, Jefe de la Colección Nacional de Paleontología.

En este trabajo, se muestra la trayectoria profesional del Dr. Ferrusquía desde sus primeros años, cuando inició la Licenciatura en Biología (1959), hasta la actualidad. En esta amplia trayectoria, se presentan algunas de las contribuciones específicas que ha realizado el Dr. Ferrusquía, por ejemplo, el de pionero en la paleontología de vertebrados en México, su labor en la docencia, la difusión de la cultura, así como en la fundación y desarrollo de la SOMEXPAL. Finalmente, se habla sobre su persona.

2. Su formación en paleontología

El Dr. Ferrusquía finalizó sus estudios de Licenciatura en Biología en el año de 1964 (Figura 2). Su interés por la Paleontología surgió debido a que, desde temprana edad, le llamó la atención la enorme variedad de seres vivos que existían en el planeta y cómo estos se habían originado. Al cursar la materia de Paleontología, impartida por la Dra. Gloria Alencáster, ésta levantó un poco el velo sobre ese interesante asunto. Fue también la Dra. Gloria Alencáster, quien mencionó que el Instituto de Geología estaba interesado en formar especialistas en vertebrados fósiles y que apoyaría sus estudios de posgrado en el extranjero. Por lo cual, el Dr. Ferrusquía junto con otros compañeros manifestaron su interés y, después de un análisis curricular, el Dr. Ferrusquía fue seleccionado por su promedio. La visión que llevó al homenajeado a desarrollar la línea de investigación en vertebrados fósiles se fundamentaba en dos ideas principales: 1) la importancia del estudio de los mamíferos fósiles para fechar los depósitos continentales; y 2) la necesidad de fechar ciertos materiales volcánicos e intrusivos, algunos de los cuales eran de gran importancia económica, pues daban lugar a mineralizaciones de metales preciosos. Debe tenerse presente que, a mediados de los años sesenta del siglo pasado, el desarrollo de los fechamientos absolutos era incipiente, más aún en México. Por lo que respecta al Dr. Ferrusquía, su interés por la paleontología de vertebrados del Paleógeno se debió a que existía un



Figura 1. El Dr. Ferrusquía recibiendo la medalla por 50 años de servicio en la UNAM, mayo de 2012*.

*En la figura 1 se indica que recibió el reconocimiento por sus 50 años de antigüedad el año 2012, pero hay que señalar que dicho reconocimiento tuvo lugar unos meses después de la fecha real en la que cumplió los 50 años de antigüedad, que fue el 1 de agosto del 2011.

considerable registro fósil de este grupo en el mundo y él asumió que en México debía ser igual. Además, casi no existían dataciones radiométricas en el país de los eventos magmáticos que generaron los abundantes recursos minerales, a los cuales se les atribuía una edad geológica del Eoceno al Oligoceno, es decir entre 55 y 40 millones de años. Por ello, era necesario tener una idea exacta de cuándo se originaron y así, entender los eventos geológicos que moldearon el territorio nacional y el impacto de éstos en la evolución de la biota mexicana.

Debido al interés del investigador y consciente de adquirir las habilidades necesarias para su estudio, es que primero aprendió a diferenciar los diversos huesos que conforman el esqueleto de los vertebrados, así como la correspondiente nomenclatura osteológica. El Dr. Ferrusquía realizó la tesis de licenciatura titulada “Osteología comparada de los marsupiales de México *Didelphis*, *Philander*, *Chironectes* y *Caluromys*” en la Facultad de Ciencias de la UNAM, y se recibió con honores en octubre de 1964 (Ferrusquía-Villafranca, 1964; Figura 2). Posteriormente, realizó sus estudios de posgrado (maestría y doctorado) en la *University of Texas-Austin* bajo la dirección del Dr. John A. Wilson, distinguido especialista en Paleontología de Vertebrados y Estratigrafía de Terciario Continental. Su tesis de maestría (1965-1966) versó sobre los mamíferos del Terciario temprano y fue la primera en México que un nacional realizó sobre este tema. Su publicación titulada: *Rancho Gaitan local fauna, Early Chadronian, northeastern Chihuahua*, en el Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Ferrusquía-Villafranca, 1967), puso a nuestra nación en el mapa de los países en donde se realiza investigación paleontológica de vertebrados, se trataba de un proyecto de la *Society of Vertebrate Paleontology*. Ferrusquía estudió el doctorado en Geología (*Doctor of Philosophy in Geology*) y obtuvo



Figura 2. El Dr. Ferrusquía recién graduado de biólogo en el año 1964.

el grado en 1971, ello con la finalidad de entender el marco geológico donde se encontraban las localidades fosilíferas y evaluar el sesgo que los factores involucrados en la fosilización causaban, así como el ambiente en que habían vivido los vertebrados. Es realmente destacable que el Dr. Ferrusquía fuera uno de los primeros mexicanos en obtener, a principios de 1970, un *Ph.D. in Geology* de una universidad de primer mundo. Atendió así la indicación del Dr. Wilson, quien consideró imprescindible su formación en esta disciplina. Su disertación doctoral titulada “Geology of the Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán area, Mixteca Alta, Oaxaca State, México” abarca este tópico, el cual le ha sido de suma utilidad durante su vida como investigador. Cabe destacar que tal disertación también se publicó en el Boletín del Instituto de Geología (Ferrusquía-Villafranca, 1976).

3. Su labor docente

El Dr. Ferrusquía Villafranca se incorporó al personal académico de la UNAM el 1 de agosto de 1961, como docente en la Escuela Nacional Preparatoria Plantel 1 (ENP), se encargó de las prácticas de laboratorio de Botánica, Zoología y Biología y, en 1962, se desempeñó como profesor de Botánica, en reemplazo del Dr. Manuel Ruiz Oronoz, quien se jubiló ese año. Es importante indicar que esta labor realizada en la ENP la efectuó mientras aún era estudiante de licenciatura. En el lapso de 1963–1964, Ferrusquía trabajó como docente en el Laboratorio del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias. Después de su ingreso al Instituto de Geología, impartió los cursos de Paleontología en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Paleontología de Vertebrados I y II en la sección de posgrado del Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. Posteriormente, en la Licenciatura de Biología de dicha facultad, impartió Geología. Al presente, es profesor de Estratigrafía Avanzada en el posgrado de Ciencias de la Tierra, sede Instituto de Geología.

El Dr. Ferrusquía guarda gratos recuerdos del curso de Geología en la Licenciatura de Biología de la Facultad de Ciencias, ya que, por vez primera en esa facultad, se realizó una práctica de campo de tres días fuera de la Ciudad de México, que acercaba más a los estudiantes a la realidad del trabajo geológico profesional. La práctica tuvo un éxito rotundo que compensó ampliamente el esfuerzo realizado y posteriormente, algunos estudiantes se dedicaron al trabajo geológico-paleontológico.

Asimismo, el Dr. Ferrusquía encabezó por muchos años la Comisión Coordinadora del Posgrado en Geología, Facultad de Ciencias, que sirvió de modelo a otros posgrados en el país, pues los primeros maestros en Geología formados en México se generaron en ese programa universitario. A toda la labor docente mencionada anteriormente, hay que añadir que el investigador ha dirigido un total de 38 tesis de diferentes grados: licenciatura, maestría y doctorado.

4. Su labor como investigador

El Dr. Ferrusquía ingresó al Instituto de Geología en 1965 y posteriormente, fue comisionado para hacer un posgrado en las áreas disciplinarias de Paleontología de Vertebrados y Estratigrafía. A su regreso en 1969, ingresó de manera formal al Instituto de Geología como investigador adjunto, que era la posición académica más baja, a pesar de haber concluido la maestría. Posteriormente, mediante concursos de oposición, llegó a obtener el nombramiento de mayor grado: investigador titular C en 1980, antes de cumplir 40 años.

Su primera publicación fue “*New records of fossil marsupials from the Pleistocene of Mexico*”, en coautoría con el M. en C. Ticul Álvarez Solórzano (Álvarez-Solórzano y Ferrusquía, 1967). Sin embargo, su interés se ha centrado en la Paleontología de Vertebrados mesozoicos y cenozoicos pre-pleistocénicos de México, línea de investigación que fundó. Con este doble objetivo, ha encabezado proyectos de investigación financiados por el Instituto de Geología, UNAM, CONACYT y la *National Geographic Society*, esta última, en la fase temprana de su labor académica realizada en los estados de Baja California, Chihuahua, San Luis Potosí, Guanajuato, Oaxaca y Chiapas. En dichos proyectos han participado destacados investigadores nacionales y extranjeros, entre los primeros, están algunos de los alumnos que el formó, tales como Óscar Carranza, a quien inició en esta disciplina al mostrarle el Área Rancho Ocote, Guanajuato, portadora de una rica fauna de mamíferos neogénicos, principalmente équidos; Carranza está ahora adscrito al Centro de Geociencias, Querétaro. Otro de sus estudiantes fue Víctor M. Bravo, quien se interesaba en las huellas de dinosaurios descritas por Ferrusquía *et al.* (1978) en Michoacán, e hizo su licenciatura, maestría y doctorado con el homenajeado; al presente labora en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. También han participado colegas ya formados, como el M. en C. Óscar Comas, interesado en cocodrilos marinos jurásicos, profesor en la Facultad de Ciencias y luego en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. El Dr. Ferrusquía también nos comentó que mencionó aparte, merece el Dr. Víctor A. Pérez Crespo, pionero en México del estudio de isótopos estables de carbono y oxígeno en vertebrados fósiles, los cuales permiten determinar la vía fotosintética de las plantas (C_3 o C_4) y las condiciones ambientales del área donde vivían los mamíferos herbívoros.

Con los colegas extranjeros con quien ha colaborado, el doctor menciona a:

(1) Dr. William J. Morris, *Research Associate*, Los Angeles County Museum of Natural History, California, quien, en 1972, invitó al homenajeado a participar en el Proyecto de Prospección de Vertebrados en el Rosario, Baja California, en donde había encontrado restos de dinosaurios y, para buscar micromamíferos mesozoicos mediante tamizado de cientos de kilogramos de sedimentos,

había que transportarlos cargándolos en costales por un sendero abrupto. El trayecto a partir de Ensenada se hacía en un camino de terracería en mal estado que tomaba unas ocho horas de recorrer y había que acampar. La temporada de trabajo duraba de seis a ocho semanas y los fósiles se llevaban a Los Ángeles para su estudio. La *National Geographic Society* proporcionaba el financiamiento. Se realizaron varias temporadas de muestreo. Los resultados se publicaron en los *Research Reports* de la NGS. Los doctores Morris, Ferrusquía y Shelton P. Applegate, *Curator of Vertebrate Paleontology*, prepararon el extenso del proyecto de rescatar los vertebrados fósiles antes de que la inminente construcción de la Carretera Transpeninsular que llegaría hasta la Paz y eventualmente, a Los Cabos, afectara las localidades. Así se inició el proyecto eje de enseñanza paleontológica a los estudiantes que aceptaron la invitación para participar. Posteriormente, la Dirección de Parques Nacionales, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) dio su aprobación (1973) y autorizó participar en el proyecto a dos miembros de su personal. Por parte del Instituto, colaboraron Luis Espinosa, Carlos AVECILLA y el técnico Margarito Álvarez. En 1975, el Dr. Applegate le solicitó al Dr. Ferrusquía trabajar en el Instituto de Geología y el homenajeado realizó la gestión respectiva, así logró su incorporación en 1976. En una primera etapa, el Dr. Applegate dedicó mucho tiempo a tiburones recientes. El M.C. Luis Espinosa se convirtió en el principal ayudante del Dr. Applegate.

(2) Dr. Fred W. MacDowell, *University of Texas*, especialista en Geocronometría, quien colaboró en el extenso proyecto geológico-paleontológico propuesto por el Dr. Ferrusquía al CONACYT, vigencia 1987–1990, para estudiar nueve áreas real o potencialmente portadoras de mamíferos fósiles a saber (a) San Nicolás Tolentino, San Luis Potosí, (b) Marfil, Guanajuato, (c) Aguascalientes, Aguascalientes, (d) Tecomavaca-Cuicatlán, La Cañada, Oaxaca, (e) Suchilquitongo, Valle de Oaxaca. (f) Matatlán, Valles Centrales, Oaxaca, (g) El Gramal, región subístmica, Oaxaca, (h) Laollaga-Lachivizá, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, e (i) Ixtapa, Chiapas. Los objetivos eran: a) describir a detalle su constitución geológica; b) buscar mamíferos (= prospectar) y estudiarlos científicamente; es decir: b.1) establecer su identidad taxonómica, b.2) conocer su edad y b.3) calibrarla, o sea, fecharla por medio de isótopos radioactivos de K-Ar (Potasio-Argón) que, por su poder de resolución, cubría el Terciario Medio.

Los resultados del proyecto permitieron conocer la constitución y geología detallada, así como la edad de las áreas y mastofaunas locales de Suchilquitongo, Hemingfordiano (20 Ma), Matatlán y Nejapa Barstoviana (15 Ma). Las conclusiones contribuyeron a entender la evolución magmática y tectónica del Sureste, al igual que a acopiar una extensa y diversa colección de mamíferos que continúa incrementándose y estudiándose.

(3) Dr. Michael J. Novacek, *Curator and Chairman, Vertebrate Paleontology, American Museum of Natural History, New York*, experto en mamíferos del Wasatchian, Terciario temprano (54–50 M. a.), con quien el Dr. Ferrusquía publicó en 1991 “La Fauna Tetas de Cabra, Baja California”, de esta NALMA (*North American Land Mammal Age*). Así, permitió extender confiablemente su alcance geográfico al suroeste de Norteamérica, al estar entonces restringido a la Cordillera de la Rocallosas.

(4) Dr. Lawrence J. Flynn, *University of Harvard*, reconocido experto en roedores paleógenos y neógenos.

(5) Dr. Ernest L. Lundelius, *University of Texas*, autoridad mundial en el Pleistoceno.

(6) Dr. Thomas H. Anderson, *Chairman University of Pittsburgh*, especialista en Tectónica.

(7) Dr. Charles A. Repenning, quien invitó al Dr. Ferrusquía a estudiar un estenomilido, camélido oligocénico extinto encontrado en Tubutama, Sonora.

(8) Philip D. Gingerich, *University of Michigan*, quien amablemente ha invitado en varias ocasiones al Dr. Ferrusquía para estudiar material fósil alojado en el importante Museo de Paleontología de esa casa de estudios.

Como pionero de la paleontología de vertebrados en la UNAM y el país, Ferrusquía colaboró ampliamente en generar la infraestructura de investigación correspondiente, que incluyó, entre otros aspectos: (a) Reservar espacio para la Sección de Vertebrados Fósiles del Museo de Paleontología del Instituto de Geología (ahora llamado Colección Nacional de Paleontología, por mucho, la más importante de México) cuyo nuevo edificio estaba entonces (década de los setenta) en construcción. (b) El equipamiento del museo con gabinetes metálicos contruidos *ad hoc*, cuyo pago (prorratedo a tres años) fue el mayor desembolso hecho hasta entonces por la UNAM en el rubro de museos. (c) La repatriación de material fósil de vertebrados alojado en museos extranjeros (principalmente de Estados Unidos de América), lo cual implicó un delicado cabildeo con los directores de éstos, quienes deseaban asegurarse de que el material estaría debidamente protegido y disponible para consulta de investigadores extranjeros y nacionales. (d) Crear la colección de material esquelético de comparación, con la valiosa colaboración de colegas de la Facultad de Medicina Veterinaria, UNAM y del extranjero, y después ampliamente incrementada por el Dr. Ferrusquía y sus asociados. (e) La creación de la Colección de Moldes de Vertebrados Fósiles, obtenidos por donación de material de museos tales como los de las Universidades de Michigan y de Texas, el *American Museum of Natural History, New York*, y el *Natural History Museum, Los Angeles*. (f)

Creación del Laboratorio de Paleontología de Vertebrados, con la adscripción de dos técnicos de tiempo completo, para la preparación y duplicación de material. (g) La preparación y el entrenamiento de personal científico y técnico en dicha área disciplinaria, que incluyó la formación de nuevos paleontólogos mediante trabajo académico formal, de campo y de gabinete. La mayoría de ellos se dedica profesionalmente a la paleontología.

Asimismo, Ferrusquía ha incursionado en el estudio de grupos taxonómicos muy diversos, de distintas edades, procedentes de varios estados, entre ellos están la primer selachifauna (tiburones y rayas) paleogénica de Mesoamérica; mamíferos y reptiles de Baja California, las primeras huellas de dinosaurios encontradas en México (Michoacán), la primera fauna del Eoceno más temprano de México (Baja California), el precisar la datación biocronológica del Conglomerado Guanajuato (Figura 3), así como la descripción del primer mamífero encontrado en los depósitos de ámbar de Chiapas (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1978, 1986, 1990a, 1999, 2006; Ferrusquía-Villafranca y Torres-Roldán, 1980; Novacek *et al.*, 1987).

Su destacada labor ha permitido conocer la constitución taxonómica de numerosas faunas de vertebrados fósiles en los estados de Baja California, Chihuahua, San Luis Potosí, Guanajuato, Oaxaca y Chiapas, cuya edad conjunta se extiende del Eoceno al Mioceno, logrando descubrir 10 especies, 7 géneros y 1 familia nuevas para la ciencia (Carranza-Castañeda y Ferrusquía-Villafranca, 1978; Ferrusquía-Villafranca, 1984a, 1984b, 2003; Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2006, 2014; Ferrusquía-Villafranca y Ruiz-González, 2020). En 1970, el investigador organizó con el Dr. Gabriel Dengo, distinguido geólogo guatemalteco, el Simposio sobre Conexiones Terrestres entre Norte y Sudamérica, de temática diversa, que incluía Tectónica de Placas, entonces en sus inicios, Geología Centroamericana y distribución de grupos taxonómicos diversos. Tal distribución mostró que la comunicación interoceánica Pacífico-Atlántico existía todavía en el Mioceno y que, necesariamente, la comunicación terrestre entre Norte y



Figura 3. El Dr. Ferrusquía en un afloramiento del conglomerado Guanajuato en el año 2008, formación portadora de mamíferos fósiles.

Sudamérica era posterior. Ferrusquía editó el volumen respectivo y publicó ahí la síntesis sobre las vertebrado-faunas de la región, titulada “*Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in Middle America and problems of migration between North and South America*”, la cual, con sus más de 500 citas, es la obra más citada en esta disciplina elaborada por un paleontólogo mexicano (Ferrusquía-Villafranca, 1978).

Sus estudios en el Mioceno el Valle de Oaxaca (Figura 4) posibilitaron el hallazgo de diversos mamíferos, entre ellos el merycoidodóntido *Merychius*, el cual dio apoyo irrecusable a la hipótesis de que la mastofauna norteamericana se extendía sin interrupción hasta la Zona del Canal de Panamá, propuesta con base en el registro aislado de un merycoidóntido (*Artiodactyla*, Whitmore y Stewart [1965]) encontrado a miles de kilómetros de Estados Unidos. El hecho de que, en dicha zona, distante apenas 20–30 km de Colombia, no tuviera un solo mamífero sudamericano, indicaba que la barrera Caribe-Pacífico era efectiva aún, que Sudamérica continuaba aislada del resto del Mundo y su muy diversa mastofauna endémica era también muy diferente a las demás.

El trabajo del simposio es el antecedente inmediato del estudio del Gran Intercambio Faunístico Americano (GAFI por sus siglas en inglés), tema muy ampliamente tratado en la *praxis* de paleontología de vertebrados de finales del siglo pasado.

Con respecto a sus aportes en el campo de la estratigrafía, están el estudio detallado de la geología de numerosas áreas real o potencialmente portadoras de vertebrados fósiles; la propuesta de nuevas formaciones y grupos; y las dataciones isotópicas de dichas unidades litoestratigráficas, las del sureste procedentes de Oaxaca y Chiapas fueron el antecedente para el entendimiento de la evolución magmática de esta región. También de gran importancia son la descripción de ciertos rasgos geológicos, como el gran

espesor de la Fosa de Ixtapa, interpretada posteriormente como una de las primeras cuencas *pull apart* identificadas en el país; y la gran falla al sur de Tamazulapam, considerada ahora como el límite entre los terrenos Mixteco y Oaxaca (Ferrusquía-Villafranca y McDowell, 1989; Ferrusquía-Villafranca, 1990b, 1990c, 1996).

El Dr. Ferrusquía también ha realizado numerosas estancias de investigación en diversas instituciones, tales como el *American Museum of Natural History*, New York, el *Texas Memorial Museum*, Austin, Texas; *Natural History Museum*, Los Angeles, *Museum of Paleontology*, University of Michigan, Ann Arbor, *Museum of Paleontology*, University of California-Berkeley, Museo Nacional de Historia Natural, Madrid, España. Ferrusquía es *Research Associate* de *Los Angeles County Museum of Natural History*, y de la *University of Texas, Memorial Museum*.

Su destacada contribución estratigráfica lo llevó a ser elegido *Chairman* de la *North American Commission on Stratigraphic Nomenclature*, entidad que publica el Código Norteamericano de Nomenclatura Estratigráfica, el cual norma la praxis geológica en Canadá, Estados Unidos y México. Desde 2008, Ferrusquía es *Commissioner at Large*; es decir, por derecho propio y no como representante institucional o de alguna sociedad geológica, a causa de sus aportaciones a dicha comisión. Tal es el caso del artículo “*Do GSSP render the dual time-rock/time classification and nomenclature systems redundant?*” publicado en la revista *Stratigraphy*, en el cual se refuta la propuesta de la *Geological Society of London*, por ser metodológicamente incorrecta (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2009). Los resultados de sus investigaciones en paleontología de vertebrados, así como en estratigrafía, suman más de 200, entre monografías, artículos, capítulos de libros, resúmenes en extenso y resúmenes; contribuciones que han acumulado más de 5,300 citas.

5. Divulgación y difusión de la ciencia

El Dr. Ferrusquía considera que es necesario contagiar el entusiasmo y la pasión por estudios paleontológicos a las nuevas generaciones y la forma de hacerlo es impartir charlas no solo a personas que están iniciando su carrera biológica o geológica, sino a estudiantes de otros niveles educativos, a fin de mostrar que la paleontología y la geología tienen grandes posibilidades de desarrollo y avance en México. Como él mismo indica, los ejemplares más llamativos de cualquier museo de historia natural son los vertebrados fósiles, los dinosaurios son las estrellas. Ellos atraen fuertemente la atención de los no especialistas, que forman la inmensa mayoría de la población. Cabe destacar que, aun a niños de kínder o de primaria, les parece extraño que seres tan grandes como los dinosaurios se hayan extinguido y que solamente sepamos de ellos por los escasos



Figura 4. El Dr. Ferrusquía en Oaxaca, en un afloramiento de la Formación Matatlán indicando el contacto entre ésta y unos estratos de toba en el año 2011.

restos encontrados y estudiados. El Dr. Ferrusquía recuerda que en la puerta de un museo tuvo la oportunidad de realizar una estancia de investigación, había una pregunta que decía: “¿Por qué Paleontología? y la respuesta era, pregúntale a un niño.” Ello demuestra que a niños, adolescentes y jóvenes los fósiles les atraen y les parece fascinante investigarlos. Por tal motivo, el Dr. Ferrusquía ha impartido diversas conferencias sobre temas geológicos-paleontológicos en instituciones de educación media y superior, tales como preparatorias, CCH, ENEP y a nivel licenciatura en la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, la UAM-I.

6. SOMEXPAL

La Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL) es fruto del esfuerzo realizado por el Dr. Ferrusquía para dotar a la comunidad paleontológica nacional de un foro donde se pudieran intercambiar ideas, experiencias e inquietudes tendientes a optimizar el trabajo paleontológico y, por ende, el conocimiento del extenso y variado registro fósil de este país. La idea fue bien acogida por muchos colegas del Instituto de Geología, UNAM, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), PEMEX y numerosas universidades estatales, por lo que, en 1986, es fundada la SOMEXPAL. Como iniciador de este proyecto y de su planteamiento, fue elegido unánimemente como su primer presidente. A decir del Dr. Ferrusquía, esta comunidad es muy activa y entusiasta, lo cual vaticina su permanencia indefinida, a pesar del limitado patrimonio con que cuenta (éste es un problema endémico de las asociaciones científicas del país).

7. Patrimonio paleontológico

La protección del registro fósil mexicano ha sido una labor en la cual el Dr. Ferrusquía ha estado involucrado desde la época de su jefatura del Departamento de Paleontología. En 1986, se publicó la llamada Ley Paleontológica, que es una adición al Decreto de Protección y Conservación del Patrimonio Histórico y Arqueológico, el cual extendía tal protección a los fósiles, inhabilitándolos como objeto de comercio, por ser un recurso natural, finito e irremplazable. El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), dependiente de la Secretaría de Educación Pública, quedó encargado del resguardo. La historia se remonta varios años atrás (1981–1984). La Sociedad Mexicana de Zoología, SOMEXZOO, que presidió el Dr. Ferrusquía en 1985 (de ella surgieron la Sociedad Mexicana de Herpetología y la Sociedad Mexicana de Mastozoología), realizó reuniones anuales en las que se discutió este asunto. Para tratar cómo se efectuaría tal aplicación, se celebró en las instalaciones del

INAH, Calle Moneda 16, Zona Centro, la primera reunión, que tuvo lugar en septiembre del año 1989, con participación de colegas del Instituto de Geología, el Instituto Mexicano del Petróleo, la Dirección de Ciencias de la Tierra, el IPN y otras entidades (Guzmán, 2021). Hubo un amplio y acalorado debate, “con fuerte derrame de adrenalina,” como lo calificó un colega del IMP. Eventualmente, se formó el actual Consejo de Paleontología bajo auspicio del INAH, integrado por representantes de las instituciones donde se realiza investigación paleontológica.

8. Actividades dependencias de la UNAM o externas

Una actividad no menos importante es aquella relacionada con la labor institucional, que el estudioso realizó tanto en el Instituto de Geología como en otras instancias de la UNAM o en otras instituciones. En el Instituto de Geología, el Dr. Ferrusquía ocupó la jefatura del Departamento de Paleontología entre los años 1974 a 1980. De este período, entre otras contribuciones, cabe agregar a las ya mencionadas la coordinación del traslado del mobiliario y la colección del Museo de Geología al entonces nuevo edificio en la antes llamada Ciudad de la Investigación, mismo que actualmente ocupamos. El Dr. Ferrusquía también ha participado como representante propietario electo por el personal académico del Instituto de Geología en el Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico-Matemáticas y las Ingenierías (CAAFMI), adscrito a la Comisión Permanente de Planes y Programas de Estudio, colaborando en la evaluación y modificación de los planes y programas de licenciatura y posgrado que en esta área ofrece la UNAM. Ferrusquía planteó y fue aceptado que los directores de facultades y Escuelas Nacionales de Estudios Profesionales (ENEP) presentaran sus propuestas en un resumen ejecutivo, no en extensos legajos, con frecuencia de más de cien páginas, que era muy difícil, por no decir imposible de procesar, en el corto plazo de una semana. Con frecuencia, se trataban dos casos o más. El doctor fue reelecto para un segundo período trianual.

El Dr. Ramón de la Fuente, rector de la UNAM durante el periodo de 1999–2007, lo designó como su representante en el Comité de Evaluación del Área 1, Ciencias Físico-Matemáticas y de las Ingenierías del Programa de Apoyo a la Educación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME), de la Dirección General de Asuntos del Personal académico de UNAM (DEGAPA) durante dos periodos trianuales. Ello permitió evaluar y en su caso apoyar proyectos tendientes a mejorar la docencia universitaria en los niveles de bachillerato y licenciatura.

Asimismo, Ferrusquía ha participado en comisiones organizadoras de eventos tales como el Simposio sobre Conexiones Terrestres entre Norte y Sudamérica, el cual fue preparado como parte del evento La Ciencia y el Hombre

en América, por el entonces naciente Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el *National Science Foundation* en 1970; el III Congreso Latinoamericano en 1976, el Simposio sobre la Geología de México para conmemorar el 50° Aniversario de la Autonomía de la UNAM, realizado en la Ciudad de México en 1979, al cual asistieron distinguidos geólogos nacionales así como de Estados Unidos, Canadá y Francia. La reunión anual de la *Society Vertebrate Paleontology* y su correspondiente *Fieldtrip* México-Oaxaca en el año 2000; y los Simposios en Reconocimiento a la contribución científica del Dr. Zoltan de Cserna y a la Dra. Gloria Alencáster, realizados en 2013 y 2014. También ha sido requerido para evaluar proyectos de investigación presentados al CONACYT, DEGAPA e INAH para su posible apoyo financiero, al ser evaluador registrado en estas instituciones, se le ha encomendado la revisión de artículos enviados a diferentes revistas científicas y es miembro de la Academia Mexicana de Ciencia.

9. Ismael Ferrusquía Villafranca: la persona y su visión de la paleontología de vertebrados en México

Al presente, con una trayectoria académica en la UNAM de exactamente 60 años, el Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca, continúa activo y realiza la labor académica inherente al puesto: investigación, docencia, formación de recursos humanos, difusión y divulgación de la cultura, con la misma energía y dedicación que cuando ingresó al Instituto de Geología hace ya 56 años y entregó su vida al servicio de la UNAM y del país. El Dr. Ferrusquía se considera afortunado por poder trabajar en un tema que le apasiona y agradece al Instituto de Geología, al país y a Dios por esta oportunidad. Su actual proyecto se centra en estudiar los restos fósiles de mamíferos de principios del Paleógeno en la Mixteca de Oaxaca, región que el Dr. Ferrusquía conoce a la perfección y a la que le ha dedicado más de treinta años de trabajo. Sus labores de prospección y colecta han dado como frutos una amplia colección de material fósil, muchos elementos del mismo han sido identificados como especies y géneros nuevos para la ciencia (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2016, 2018a, 2018b; Ferrusquía-Villafranca y Wang, 2021). Y, aunque han pasado ya muchos años desde que el Dr. Ferrusquía fundó las bases de la paleontología de vertebrados en México y algunos de sus alumnos, así como otros investigadores, se han incorporado a esta rama, él considera que todavía hay muchísimo que hacer. A diferencia de lo que sucede en otros países como Estados Unidos, donde la vertebrado-fauna del Paleógeno y del Neógeno está bien conocida, lo cual permite que los paleontólogos puedan dedicarse a aspectos no taxonómicos, en México se tiene un déficit de conocimiento de los vertebrados fósiles que habitaron el país durante estos intervalos de tiempo. A decir del Dr. Ferrusquía, se trata primero de saber quiénes son los actores de la trama, para

después conocer la trama en la cual actuaron y el tiempo en el que vivieron. Esto implica un considerable esfuerzo y trabajo. Sin duda, lo más urgente es incrementar el número de especialistas en el país, cuya importancia para entender el origen, desarrollo y diversificación de la vertebrado-fauna continental es evidente.

También considera que, en México, a causa de su posición de enlace Norte, Meso y Sudamérica, y el estado actual de la paleontología de vertebrados, existe la enorme ventaja de poder hacer sin salir de sus fronteras, contribuciones científicas muy significativas, a un costo relativamente bajo. Lo crítico es dedicarle a este esfuerzo los recursos humanos y económicos necesarios. Estos últimos podrían proceder del Estado o del sector privado. De cualquier forma, debe superarse la preferencia que se da a la ciencia aplicada en comparación con la otorgada a la ciencia básica. Ahí está el *quid* de la cuestión.

10. Conclusiones

El Dr. Ferrusquía, con 60 años de servicio, es un paleontólogo comprometido con la UNAM, México y la paleontología de vertebrados, unas de sus máximas contribuciones es el haber sentado las bases de su práctica moderna en México. Sus numerosas publicaciones, labor docente e institucional constituyen un amplio legado académico. Las palabras del Dr. Ferrusquía: “Se trata primero conocer quiénes son los actores de la trama y después conocer la trama en la que actuaron, el rol que desempeñaron y el tiempo en que vivieron” ponen de manifiesto que la paleontología de vertebrados tiene enormes posibilidades de crecimiento en México, donde todavía hay mucho por hacer.

Agradecimientos

Agradecemos al doctor Ismael Ferrusquía Villafranca y a su hijo el M.C. Ismael Ferrusquía Muñoz su amabilidad al ir atendiendo nuestras preguntas y/o solicitudes de información y también que nos hayan proporcionado las imágenes que ilustran la presente semblanza. Agradecemos a un revisor anónimo y al Dr. Ferrusquía la detallada revisión de esta semblanza. También, agradecemos la información proporcionada por el Dr. Jesús Solé Viñas sobre el desarrollo histórico de los fechamientos absolutos en México y resolver nuestras dudas sobre esta temática. Asimismo, agradecemos a la M.C. Felisa Aguilar por completar la información que disponíamos sobre la primera reunión que tuvo lugar entre el INAH y otras instituciones donde se realizaba investigación paleontológica, que tenía como propósito normar el cumplimiento de la ley, también le agradecemos su gran amabilidad por enviarnos un trabajo que hace referencia a dicha reunión. Finalmente, agradecemos a la M.C. Sandra Ramos el trabajo de edición técnica realizado.

References

- Álvarez-Solórzano, T. y Ferrusquía-Villafranca, I., 1967, New records of fossil marsupials from the Pleistocene of Mexico: *Texas Journal of Science*, 19(1), 10–11.
- Buitrón-Sánchez, B.E., García-Barrera, P., Omaña, L., Ferrusquía-Villafranca, I., Oviedo, A. y Moreno-Bedmar, J.A., 2018, In memoriam Gloria Alencáster Ybarra 1926–2018: *Paleontología Mexicana*, 7(2), 73–79.
- Cantalice, K.M., Alvarado-Ortega, J. y Brito, P.M., 2018, On the occurrence of *Vinctifer ferrusquiai* sp. nov. (Actinopterygii, Aspidorhynchiformes) in the Kimmeridgian (Late Jurassic) deposits near Tlaxiaco, Oaxaca, southern Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(2), 197–187, doi: <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.2.713>
- Carbot-Chanona, G., Coutiño, M.A., Avendaño-Gil, M.J., 2020, El profesor Eliseo Palacios Aguilera y su contribución a la paleontología mexicana: *Paleontología Mexicana*, 9(2), 103–109.
- Carranza-Castañeda, O. y Ferrusquía-Villafranca, I., 1978, Nuevas investigaciones sobre la fauna Rancho el Ocote, Plioceno Medio de Guanajuato, México, Informe preliminar: *Revista del Instituto de Geología*, 2(2), 163–168.
- Carranza-Castañeda, O. y Walton, A.H., 1992, Cricetid rodents from the Rancho El Ocote fauna, late Hemphillian (Pliocene), State of Guanajuato: *Revista Instituto de Geología*, 10(1), 71–93.
- Chacón-Baca, E., Moreno-Bedmar, J.A. y Velasco de León, P., 2019, Semblanza de la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez: *Paleontología Mexicana*, 8(2), 75–81.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1964, Osteología comparada de los marsupiales mexicanos. *Didelphis*, *Philander*, *Chironectes* y *Caluromys*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias de la UNAM tesis de licenciatura en Biología, 136 pp.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1967, Rancho Gaitan local fauna, Early Chadronian, Northeastern Chihuahua: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 30(2), 99–138, doi: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1967v30n2a1>
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1976 Estudios geológico-paleontológicos en la región Mixteca. Pt. 1, Geología del área Tamazulapán-Teposcolula-Yanhuitlan, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México: *Boletín del Instituto de Geología*, 97, 1–155.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S.P. y Espinosa-Arrubarrena, L., 1978, Rocas volcanosedimentarias mesozoicas y huellas de dinosaurios en la región suroccidental Pacífica de México: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 2(2), 150–162.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1978, Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in Middle America and problems of migration between North and South America: *Boletín del Instituto de Geología*, 101, 193–321.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1984a, Brief Account of Cenozoic vertebrate paleontology in Middle America: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 4(2), 170–171, doi: <https://doi.org/10.1080/02724634.1984.10012000>
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1984b, A review of the Early and Middle Tertiary mammal faunas of Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 4(2), 187–198, doi: <https://doi.org/10.1080/02724634.1984.10012002>
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1986, La diferenciación estratigráfica del Terciario continental de México mediante un enfoque interdisciplinario: la parte, estudios geológico-paleontológico-paleomagnéticos en el Conglomerado Rojo de Guanajuato: *GEOS, Unión Geofísica Mexicana*, 6(No. Extraordinario), 13.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1990a, Contribución al conocimiento de los mamíferos miocénicos en Chiapas, México: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 2(2) 77–91.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1990b, Biostratigraphy of the Mexican continental Miocene: Part III, The Southeasternmost (Chiapan) fauna and concluding remarks on the discussed vertebrate record: *Paleontología Mexicana*, 56, 113–149.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1990c, Biostratigraphy of the Mexican continental Miocene: Part II, The Southeastern (Oaxacan) faunas: *Paleontología Mexicana*, 56, 57–109.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1996, Contribución al Conocimiento Geológico de Chiapas: El Area Ixtapa-Soyaló: *Boletín del Instituto de Geología*, 109, 1–130.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 2003, Mexico's Middle Miocene mammalian assemblages: An overview: *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 279, 321–347, doi: [10.1206/0003-0090\(2003\)279<0321:C>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0090(2003)279<0321:C>2.0.CO;2)
- Ferrusquía-Villafranca, I., 2006, The First Paleogene Mammal Record of Middle America: *Simojovelhyus pocitosense* (“Dichobunids”, Artiodactyla): *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26(4), 989–1001, doi: [10.1671/0272-4634\(2006\)26\[989:TfPMRO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2006)26[989:TfPMRO]2.0.CO;2)
- Ferrusquía-Villafranca, I. y McDowell, F.W., 1989, Miocene mammals and radiometric dates in Southeastern Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 7 (Supl. al No. 3), 2.
- Ferrusquía-Villafranca, I. y Torres-Roldán, V., 1980, El registro de mamíferos terrestres cretácicos y cenozoicos de Baja California y su significación paleontológica: *Revista del Instituto de Geología*, 4(1), 56–62.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S.P. y Espinosa-Arrubarrena, L., 1999, First Paleogene Selachifuna of the middle American-Caribbean-Antillean region, La Mesa de Copoya, west central Chiapas-systematics and paleontological significance: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(2), 155–174.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Easton, M.R. y Owen, D.E., 2009, Do GSSPs render the dual time-rock/time classification and nomenclature systems redundant?: *Stratigraphy*, 6(2), 135–169.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Ruiz-González, J.E., Martínez-Hernández E., Torres-Hernández, J.R. y Woolrich-Piña, G., 2014, A new Miocene local fauna from the Sierra Madre Oriental at San Luis Potosí, Central-East Mexico, and its paleontologic significance: *Geobios*, 47(4), 199–220, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geobios.2014.06.004>
- Ferrusquía-Villafranca, I., Ruiz-González, J.E., Torres-Hernández, J.R., Anderson, T.H., Urrutia-Fucugauche, J., Martínez-Hernández, E. y García-Villegas, F., 2016, Cenozoic geology of the Yolomécatl-Tlaxiaco area, Northwestern Oaxaca, Southeastern Mexico: Stratigraphy, structure and regional significance: *Journal of South American Earth Sciences*, 72, 191–226, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2016.09.005>
- Ferrusquía-Villafranca, I., Torres-Hernández, J.R., Ruiz-González, J.E. y Martínez-Hernández, E., 2018a, Depositional systems of the late Eocene Yolomécatl Formation, northwestern Oaxaca, southeastern Mexico: a first approach: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(2), 142–157, doi: <http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.2.559>
- Ferrusquía-Villafranca, I., Flynn, L., Ruiz-González, J.E., Torres-Hernández, J.R. y Martínez-Hernández, E. 2018b, New Eocene rodents from Northwestern Oaxaca, Southeastern México and their paleobiological significance: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 38(5), e1514615, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02724634.2018.1514615>
- Ferrusquía-Villafranca, I. y Ruiz-González, J.E., 2020, The first postcranial oreodont (mammalia, Artiodactyla, Merycoidodontidae) skeleton from Mexico: Description and paleobiological significance: *Journal of South American Earth Sciences*, 97, 102388, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102388>
- Ferrusquía-Villafranca, I. y Wang, X., 2021, The first Paleogene mustelid (mammalia, Carnivora) from southern North America and its paleontologic significance: *Journal of South American Earth Sciences*, 109, 103236, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103236>
- Guzmán, A.F., 2021, La interacción paleontología-arqueología: reflexiones desde el quehacer del INAH en la investigación, la protección y divulgación de la vida antigua, en: Cottom, B. (coord.), Patrimonio cultural. Visión interdisciplinaria. Archivos, monumentos históricos, políticas públicas y formación profesional: México, Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia y Miguel Ángel Porrúa, 203 pp.

- Novacek, M.J., Flynn, J.J. y Ferrusquía-Villafranca, I., 1987, An Early Eocene (Wasatchian) mammal fauna from the Baja California Peninsula, Mexico and its bearing on the recognition of the Wasatchian at a continental scale: *National Geographic Research Reports*, 3, 375–388
- Novacek, M.J., Ferrusquía-Villafranca, I., Flynn, J.J., Wyss, A.R. y Norell, M.A., 1991, Wasatchian (Early Eocene) mammals and other vertebrates from Baja California, Mexico- The Loma Las Tetras de Cabra fauna: *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 208, 1–88, URI: <http://hdl.handle.net/2246/903>
- Ruiz-Ramoni, D., Prevosti, F.J., Lucenti, S.V., Montellano-Ballesteros, M. y Carreño, A. L., 2020, The Pliocene canid *Cerdocyon avius* was not the type of fox that we thought: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 40 (2), e1774889, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02724634.2020.1774889>
- Whitmore Jr, F.C. y Stewart. R.H., 1965, Miocene Mammals and Central American Seaways: *Science*, 148(3667), 180–185, doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.148.3667.180>

Gasterópodos del Cretácico temprano de la región de Pihuamo, Jalisco, México. Consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas

Early Cretaceous gastropods from the Pihuamo region, Jalisco, Mexico. Paleoecological and paleogeographic considerations

Cuadros Mendoza, Iván Manuel^a ; Buitrón Sánchez, Blanca Estela^{b,*} 

^a División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, CDMX, México.

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

* blancab@unam.mx

Resumen

Se describen gasterópodos que proceden de una potente secuencia sedimentaria marina constituida por rocas volcánico-clásticas con lentes de caliza de la Formación Encino del Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano) en el Cerro de Tuxpan, municipio de Pihuamo al sureste del estado de Jalisco, México. El análisis del contenido fosilífero de la región sugiere un ambiente de depósito que corresponde a un mar transgresivo de agua somera y cálida, con periodos de vulcanismo explosivo y periodos de tranquilidad que permitió el desarrollo de bancos de rudistas donde proliferaron foraminíferos y gasterópodos. La presencia de especies de invertebrados de la región de Pihuamo en Jalisco que también se encuentran en otras localidades del occidente de México (Baja California, Sonora, Chihuahua, Michoacán, Colima, Guerrero), del centro (Puebla) y de otros países extranjeros como Estados Unidos de América, países del Caribe, Perú, Brasil, España, Egipto, Siria y Líbano sugiere que se desarrollaron en mares del Dominio del Tethys durante el Aptiano-Albiano.

Palabras clave: Cretácico Inferior, Gasterópodos, México, paleoecología, paleogeografía.

Abstract

Gastropods are described that come from a powerful marine sedimentary sequence consisting of volcano-clastic rocks with limestone lenses from the Encino Formation of the Lower Cretaceous (Aptian-Albian in Cerro de Tuxpan, municipality of Pihuamo in the southeast of the state of Jalisco, Mexico). The analysis of the fossil content of the region suggests a deposit environment that corresponds to a transgressive sea of shallow and warm water; with periods of explosive volcanism and periods of tranquility that allowed the development of rudist banks where foraminifera and gastropods proliferated. The presence of invertebrate species from the Pihuamo region of Jalisco that are also present in other locations in western Mexico (Baja California, Sonora, Chihuahua, Michoacán, Colima, Guerrero), the center (Puebla) and other foreign countries such as United States of America, Caribbean countries, Peru, Brazil, Spain, Egypt, Syria and Lebanon suggests that they developed in the seas of the Dominion of the Tethys during the Aptian-Albian.

Palabras clave: Gastropods, Lower Cretaceous, México, paleoecology, paleogeography.

1. Introducción

Durante el Cretácico temprano hubo una significativa evolución de invertebrados marinos entre ellos, foraminíferos, radiolarios, corales, briozoarios, bivalvos, gasterópodos, amonoideos y equinoides. El océano predominante fue el Mar de Tethys de agua cálida que se localizó en gran parte de la zona ecuatorial del planeta y en la franja entre Brasil y África (Sohl, 1969; 1987; Días-Brito, 2000; Pons y Vicens, 2012; Arai, 2014; Carvalho *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2016; 2017).

En los diversos bordes continentales se desarrolló una biota abundante y diversa de invertebrados que, en ocasiones formaron bioconstrucciones, principalmente de bivalvos rudistas en asociación con gasterópodos. Actualmente, se tiene registro de fósiles de moluscos del Dominio del Tethys durante el Aptiano-Albiano en lugares como Estados Unidos de América, México, países del Caribe, Perú, Brasil, España, Egipto, Siria, Líbano y África (Olsson, 1934; Maury, 1936; Delpey, 1940; Stanton 1947; Allison, 1955; Mahmoud, 1955; Sohl, 1969, 1987; Kollmann y Sohl, 1979; Kase, 1984; Mennessier, 1984; Sohl y Kollmann, 1985; Buitrón, 1986; Scott, 1995; Buitrón y Gómez-Espinosa, 2003; Pereira *et al.*, 2016, 2017). Procedentes del municipio de Pihuamo, Jalisco se han descrito diversos fósiles de gasterópodos y rudistas del Cretácico temprano que habitaron en plataformas calcáreas próximas a arcos volcánicos (Buitrón *et al.*, 1978; Pantoja *et al.*, 1978; Alencáster, 1986; Alencáster y Pantoja, 1986; Buitrón 1986; Pantoja y Estrada, 1986; Páez, 1992; Buitrón y López Tinajero, 1995).

2. Trabajos previos

La región de Pihuamo se localiza entre los municipios de Tuxpan y Tecalitlán al sureste del estado de Jalisco y próxima a los estados de Michoacán y Colima (Figura 1). Los trabajos realizados en esta región han sido enfocados sobre la geología de los alrededores de la mina de hierro El Encino (Pantoja *et al.*, 1978; Pantoja y Estrada, 1986).

Piñeiro (1972) realizó el primer estudio de las rocas volcano-sedimentarias de la Formación Encino expuestas en el Cerro de Tuxpan y nombró informalmente a esta secuencia como tobas Encino. Pantoja *et al.* (1978) publicaron sobre la estratigrafía de las formaciones Encino y Vallecitos que afloran en el Arroyo de la Navidad y propuso dos miembros para cada unidad. Buitrón *et al.* (1978) estudiaron una secuencia estratigráfica del Cerro de Tuxpan y mencionan la presencia de diversos grupos de gasterópodos, rudistas y foraminíferos orbitolínidos del Aptiano-Albiano. Pantoja y Estrada (1986) hicieron la descripción detallada de la geología y estratigrafía en las cercanías de la mina de hierro El Encino en el estado de Jalisco.

En el trabajo de Buitrón (1986) se describen distintas especies de gasterópodos procedentes de afloramientos cretácicos del Cerro de Tuxpan, entre ellas *Otostoma*



Figura 1. Localización geográfica del Cerro de Tuxpan, estado de Jalisco. Modificado de Pantoja y Estrada (1986).

japonicum (Nagao, 1934), *Microschiza* (*Cloughtonia*) *scalaris* (Conrad, 1852), *Mesoglauconia* (*Mesoglauconia*) *burnsi* (Stanton, 1947), *Mesoglauconia* (*Triglauconia*) *kleinpelli* (Allison, 1955), *Gymnentome* (*Gymnentome*) *paluxiensis* (Stanton, 1947), *Gymnentome* (*Gymnentome*) *zebra* (Gabb, 1869), *Cassiope* sp. cf. *C. branneri* (Hill, 1893), *Pyrazus* (*Echinobathra*) *valeriae* (Verneuil y Lorière, 1868), *Pyrazus* (*Echinobathra*) *vicinum* (Verneuil y Lorière, 1868), *Aptyxiella* sp., *Aptyxiella* *supracostata* (Stanton, 1947) y *Ptygmamatis* *tomasensis* (Allison, 1955).

Alencáster (1986) y Alencáster y Pantoja (1986) dan a conocer diversas especies de rudistas recolectados en los alrededores de Pihuamo y entre ellas *Coalcomana* *ramosa* (Boehm, 1898) que es un fósil índice del Albiano temprano. Páez (1992) realizó la prospección geológica-paleontológica de la Formación Encino, cuyos afloramientos se distribuyen ampliamente al noreste de la región de Tamazula, particularmente en las localidades del valle de Soyatlán de Adentro, el Arroyo Agua Dulce y la ladera oeste del Cerro de La Lumbre. En el presente trabajo se complementa el conocimiento sobre las asociaciones de gasterópodos, previamente estudiadas por Buitrón (1986) y Cuadros-Mendoza (2018) procedentes del Cerro de Tuxpan, región de Pihuamo, estado de Jalisco.

3. Marco geológico

Las rocas que afloran en la región de Pihuamo son del Cretácico Inferior de las formaciones Tecalitlán (Neocomiano-Aptiano), Encino (Aptiano superior-Albiano inferior) y Vallecitos (Albiano inferior). Estas unidades fueron propuestas formalmente por Pantoja y Estrada (1986).

La Formación Tecalitlán está conformada por rocas volcánicas y sedimentarias del Neocomiano-Albiano que afloran en varias localidades de Jalisco como en el Cerro

de Tuxpan, Peña Blanca de Atenquique, Jilotlancillo y la región entre Contla y Tamazula. La unidad consiste en una serie de derrames porfídicos de composición riolítica, dacítica y andesítica que se alterna con margas y calizas arrecifales con foraminíferos orbitolínidos y rudistas, el espesor máximo medido de esta formación es de 4000 m. Se estima que el origen de las rocas volcánicas corresponde a un arco magmático insular que se inició en el Jurásico tardío y que continuó durante el Cretácico temprano (Pantoja y Estrada, 1986; Páez, 1992).

La Formación Encino sobreyace en discordancia angular a la Formación Tecalitlán con un espesor máximo de aproximadamente 1200 m y consiste en una secuencia de sedimentos distribuidos en dos miembros (Pantoja y Estrada, 1986; Páez, 1992). El Miembro Inferior del Aptiano superior está conformado por rocas volcano-clásticas y sedimentarias marinas que incluyen conglomerados y caliza arrecifal con rudistas (Pantoja *et al.*, 1978; Páez, 1992). También contiene lentes de caliza con fósiles de foraminíferos orbitolínidos, briozoos, bivalvos rudistas, fragmentos de crinoides, gasterópodos nerineidos y casiópodos cuyo depósito ocurrió en un ambiente de plataforma calcárea, en parte arrecifal de agua somera (Pantoja y Estrada, 1986). Los gasterópodos estudiados proceden de afloramientos de la Formación Encino.

El Miembro Superior corresponde al Albiano inferior y sobreyace transicionalmente a los estratos del Miembro Inferior por una secuencia de tobas, lodolita, arenisca calcárea, lentes de caliza y conglomerado (Pantoja y Estrada, 1986). Páez (1992) reportó la presencia de lentes de caliza con abundantes fósiles de moluscos del Aptiano tardío e inicios del Albiano temprano (Figura 2).

La Formación Vallecitos tiene la localidad tipo en los alrededores de la ranchería Vallecitos y pertenece al Albiano inferior de acuerdo con el estudio de fósiles de rudistas. Está compuesta por aproximadamente 350 m de abundantes tobas, derrames de roca volcánica y horizontes de caliza arrecifal. Los fósiles en esta unidad son escasos y consisten en algunos rudistas y bivalvos del género *Chondrodonta*, que habitaron en un mar tropical de agua somera (Pantoja *et al.*, 1978; Pantoja y Estrada, 1986).

4. Paleontología sistemática

El material descrito se encuentra depositado en la Colección Nacional de Paleontología del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria Delegación Coyoacán 04510 CDMX con los números de catálogo IGM12956–IGM12993. La sistemática aquí empleada se fundamenta en los trabajos de Nagao (1934), Kase (1984) y Bouchet *et al.* (2017).

Phylum Mollusca Linnaeus, 1758

Clase Gastropoda Cuvier, 1795

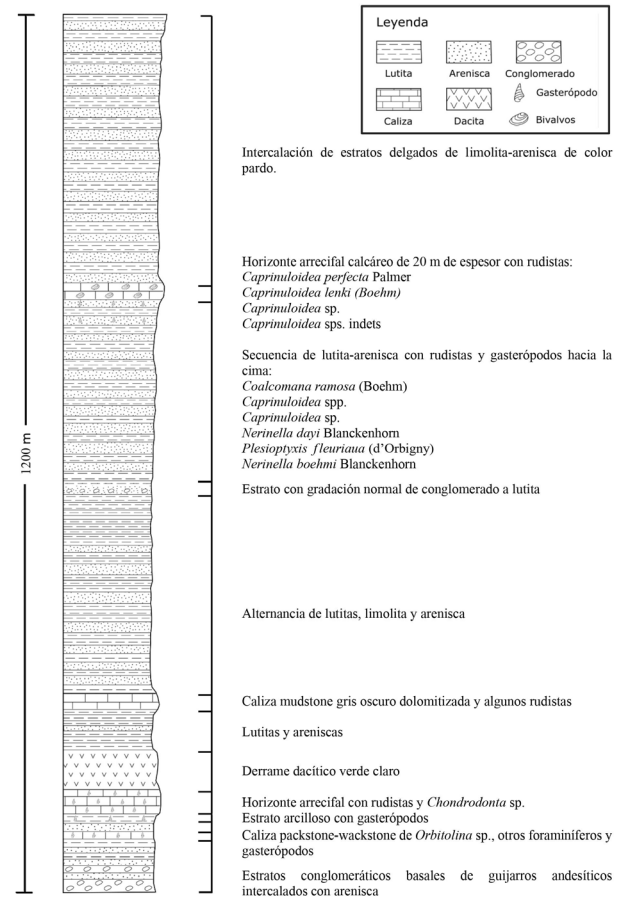


Figura 2. Columna estratigráfica de la Formación Encino de la región de Pihuamo, Jalisco (Modificada de Páez, 1994).

Orden Caenogastropoda Cox, 1959
 Familia Cassiopidae Kollmann, 1979
 Género *Gymnentome* Cossmann, 1909
 Subgénero *Gymnentome* Cossmann, 1909

Gymnentome (*Gymnentome*) *suturosa* (Nyst y Galeotti, 1840)

Figura 3A y 3B

Cerithium suturosum Nyst y Galeotti, 1840, p. 215, fig. 4.

Glaucania suturosa (Nyst y Galeotti) Aguilera, 1906 (Tabla).

Cassiopse suturosa (Nyst y Galeotti) Alencáster, 1956, p. 31, lám. 7, fig. 8.

Descripción. La concha es de forma turritada con ángulo apical de 20°, la vuelta del cuerpo es más ancha que las vueltas anteriores de lados convexos con la abertura circular, presenta dos costillas espirales redondeadas intercaladas con líneas de crecimiento; la espira es alta, de forma cónica, con seis vueltas, la sutura es ligeramente acanalada, tiene dos líneas espirales de tubérculos conspicuos de forma cuadrangular y próximos a la sutura.

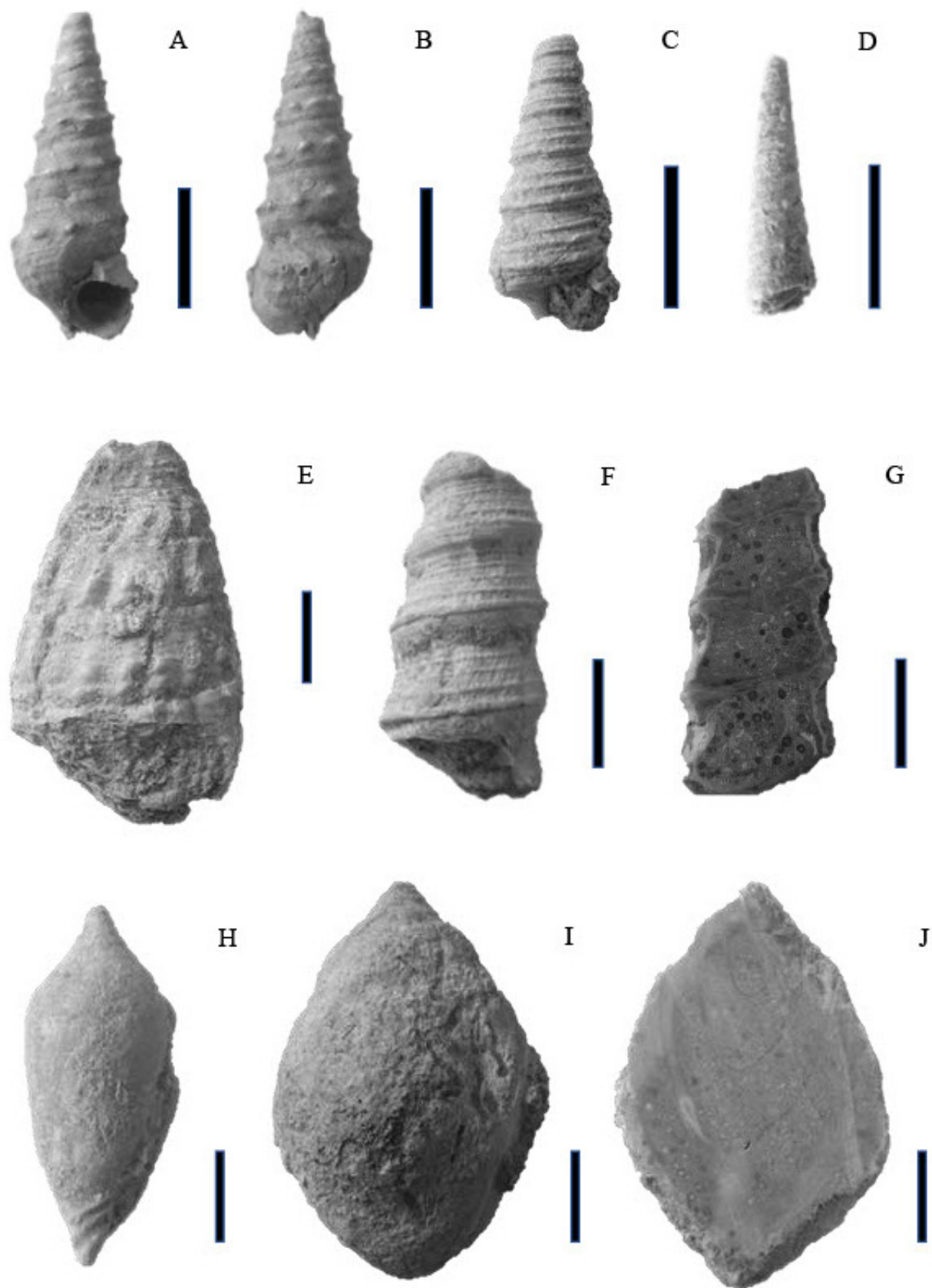


Figura 3. Gasterópodos de la región de Pihuamo, Jalisco, la barra negra representa 1 cm. A–B. *Gymnentome (Gymnentome) suturosa* (Nyst y Galeotti). C. *Pseudomesalia (Pseudomesalia) trilineata* Mahmoud. D. *Turritella delriensis* Stanton. E. *Cimolithium miyakoense* (Nagao). F–G. *Nerinea incisa* Giebel. H. *Trochactaeon (Neocylindrites) cumminsi* (Stanton) Sohl y Kollmann. I–J. *Peruviella dolium* Roemer.

Ejemplar	Ancho máximo (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12956	13	37

Discusión. *Gymnentome* (*Gymnentome*) *suturosa* (Nyst y Galeotti, 1840) fue descrita por Alencáster (1956, p. 31, lám. 7, fig. 11) como *Cassiope suturosa* (Nyst y Galeotti) de la Formación San Juan Raya (Aptiano) del estado de Puebla. El ejemplar recolectado en las rocas de la Formación Encino presenta ligeras diferencias morfológicas con el descrito por Alencáster (Ibid), que consisten en la forma más definida de la ornamentación con los tubérculos más notables, debido a su excelente conservación.

Género *Pseudomesalia* Douvillé, 1916
Subgénero *Pseudomesalia* Douvillé, 1916
Pseudomesalia (*Pseudomesalia*) *trileneata* Mahmoud
1955
Figura 3C

Pseudomesalia trileneata Mahmoud 1955 p. 137, lám 14, figs. 15–16.

Pseudomesalia (*Pseudomesalia*) *trileneata* Mahmoud; Mennessier 1984, p. 48, lám. 11, fig. 19.

Descripción. La concha es turritada, holostomada con vueltas convexas de sutura ligeramente acanalada, el ángulo apical es aproximadamente de 21°. La ornamentación de la concha consiste en cordones espirales con nódulos que en su mayoría son más amplios que los espacios intermedios; la vuelta del cuerpo tiene cuatro líneas de cordones con espacios estrechos, la abertura es ovalada con el labio interno ancho y el labio externo estrecho.

Ejemplar	Ancho de la última vuelta (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12957	13	32
IGM12958	12	31
IGM12959	12	28
IGM12960	12	28
IGM12961	14	27
IGM12962	14	27
IGM12963	13	23
IGM12964	15	22
IGM12965	11	22
IGM12966	16	20
IGM12967	12	17
IGM12968	10	16

Discusión. *Pseudomesalia* (*Pseudomesalia*) *trileneata* fue descrita por Mahmoud (1955) del Albiano superior de Gebel Manzour, Massif du Moghan Sinai Egipto. Mennessier (1984, p. 48, lám 11, fig. 19) realizó la revisión sistemática de los gasterópodos de la familia Cassiopidae y actualizó la de esta especie.

Familia Procerithiidae Cossmann, 1905
Subfamilia Metacerithiinae Cossmann, 1906
Género *Cimolithium* Cossmann, 1906

Cimolithium miyakoense (Nagao, 1934)
Figura 3E

Cerithium (*Cimocerithium*?) *miyakoense* Nagao, 1934, p. 254–255, lám. 36, figs. 1–10.

Non *Cimolithium miyakoense* (Nagao) Allison, 1955, p. 418, lám. 41, fig. 4.

Cimolithium miyakoense (Nagao) Perrilliat 1968, p. 20, lám 4, fig. 2.

Cimolithium miyakoense (Nagao) Hayami y Kase, 1977, p. 174, lám. 6, fig. 11.

Cerithium (*Cimocerithium*?) *miyakoense* (Nagao) Kase, 1984, p. 137–138, lám. 20. figs. 18–19.

Descripción. La concha es piramidal con ángulo apical de 30°, presenta nueve vueltas que aumentan ligeramente de tamaño con los lados convexos, la vuelta del cuerpo es más ancha que alta y tiene la abertura de forma ovalada. La ornamentación consiste en que cada vuelta presenta várices anchas, salientes y cercanas entre dos suturas, también se observan hileras espirales de cordones de tubérculos pequeños, cuadrangulares con los interespacios estrechos.

Ejemplar	Ancho de la última vuelta (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12969	44	60
IGM12970	32	49
IGM12971	26	34
IGM12972	21	34

Discusión. *Cimolithium miyakoense* (Nagao) fue descrita de la Arenisca Hiraiga y Akito del distrito de Miyako en Honshu, Japón (Nagao, 1934, p. 254–255, lám. 36, figs. 1–10). Yabe y Hanzawa (1926, p. 20) confirman la edad para el Cretácico Inferior. También fue referida para la Formación Alisitos (Cretácico Inferior) de Punta China, Baja California, México (Allison, 1955, p. 41, fig. 6). Perrilliat (1968, p. 20, lám 4, fig. 29) la citó para la Formación Rosario del Cretácico Inferior en Baja California, México. Kase (1984, p. 137–138, lám. 20. figs. 18–19) la describió de la Formación Hiraiga que aflora en el área de Miyako, Japón.

Familia Turritellidae Lovén, 1847
Género *Turritella* Lamarck, 1799

Turritella delriensis Stanton, 1947
Figura 3D

Turritella delriensis Stanton, 1947, p. 74, lám. 56,
fig. 15.

Descripción. La concha es de forma turritada con diez vueltas que aumentan ligeramente de tamaño hacia la abertura, presenta sutura impresa. Los lados son rectos y la abertura es oval a ligeramente cuadrada. La ornamentación de la concha consiste en tres costillas prominentes y finas liras que se encuentran entre las costillas.

Ejemplar	Ancho última vuelta (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12973	5	19
IGM12974	5	16
IGM12975	4	13

Discusión. *Turritella delriensis* fue descrita por Stanton (1947, p. 74, lám. 56, fig. 15.) de la Formación Denton (Albiano) localizada aproximadamente a 4 km al oeste de Denison en Grayson County, próximo a la localidad de Pecos River en Val Verde County, Texas, EUA. Stanton (Ibid) mencionó que existen varias especies de turritélidos de tamaño pequeño que están relacionadas con la descrita, entre ellas se encuentran *Turritella leonensis* Conrad y *T. seriatim-granulata* Roemer de la Formación Pawpae cercana a Denison, Grayson County, pero con menor tamaño.

Orden Entomotaeneata Cossmann Cossmann, 1896
Familia Actaeonellidae Pcelincev, 1954
Género *Trochactaeon* Meek, 1863
Subgénero *Neocylindrites* Sayn, 1932

Trochactaeon (Neocylindrites) cumminsi (Stanton) Sohl y
Kollmann, 1985
Figura 3H

Trochactaeon cumminsi Stanton, 1947, p. 111, lám. 63,
figs. 3–6, 13.

Trochactaeon parvus Stanton, 1947, p. 112, lám. 63,
figs. 1, 2.

Actaeonella parvus (Stanton), Allison, 1955 p. 429,
lám. 44, fig. 5.

Trochactaeon (Neocylindrites) cumminsi (Stanton) Sohl
y Kollmann, 1985 p. 53, lám. 4, fig. 4, lám. 9,
figs. 9–19.

Descripción. La concha es pupiforme con el ángulo apical de 60°, presenta ocho vueltas, las vueltas de la espira son ligeramente convexas con sutura impresa. La vuelta del cuerpo es subcilíndrica, más alta que las vueltas anteriores,

con la abertura estrecha, el labio interno con tres pliegues y el externo poco aparente, la superficie está marcada por líneas de crecimiento finas y casi rectas.

Ejemplar	Díámetro máximo (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12976	20	38
IGM12977	18	36
IGM12978	16	36
IGM12979	17	34
IGM12980	14	31
IGM12981	17	30
IGM12982	12	29
IGM12983	13	28
IGM12984	10	24
IGM12985	8	15

Discusión. La especie es muy variable, particularmente en la forma y proporción relativa de la espira. Inicialmente fue descrita por Stanton (1947, p. 111, lám. 63, figs. 3–6, 13) del Cretácico de la Caliza Devil Rivers, Río Grande Galvestons, Harrisburg y San Antonio, Texas, EUA. Sohl y Kollmann (1985 p. 53, lám. 4, figs. 1–4, lám. 9, figs. 9–19) la citan de varias localidades, entre ellas la Caliza Devil River, Condado Val Verde del Grupo Washita (Albiano) y la Caliza Edwards Condado Kerr, Río Colorado cerca de Austin, Texas, EUA. Allison (1955, p. 429, lám. 44, fig. 5) la describe como *Actaeonella parvus* (Stanton) de la Formación Alisitos (Albiano) Baja California, México. Buitrón *et al.* (2003, p. 185, figs. 6g, h) la estudiaron de la Formación San Lucas (Aptiano-Albiano) de los estados de Michoacán y Guerrero, México.

Familia Itieriidae Cossmann 1896
Género *Peruviella* Olsson, 1944

Peruviella dolium Roemer 1849
Figura 3I y 3J

Actaeonella dolium Roemer 1849, p. 411, lám. 67,
figs. 1, 3, 4, 7, 10–12; Roemer 1852, p. 43, lám. 4,
fig. 4; Stanton 1947, p. 109, lám. 67, figs. 1, 3, 4,
7, 10–12.

Volvulina texana (Roemer) Adkins 1928, p. 196,
lám. 11, fig. 3.

Peruviella dolium Kollmann y Sohl, 1979 p. a14,
figs. 4e–g, 6f–k; Sohl y Kollmann, 1985, lám. 8,
fig. 2.

Descripción. La concha es fusiforme a suboval, convoluta con la espira oculta, tiene el ángulo apical de 80° y el ombligo estrecho. La superficie de la concha es casi lisa, mostrando solo líneas de crecimiento finas y ligeramente curvadas, el labio interno tiene tres pliegues

espirales moderadamente prominentes. La concha presenta impresiones de vermes serpúlicos.

Ejemplar	Ancho máximo (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12986	25	52

Discusión. *Actaeonella dolium* Roemer fue descrita por Stanton (1947, p. 109, lám. 67, figs. 1, 3, 4, 7, 10–12) del Cretácico Inferior de Fredericksburg y de Sierra Blanca Hudspeth County, Texas, EUA. *Peruviella dolium* es una especie con gran polimorfismo y es cercana a *P. gerthi* descrita del Albiano de Texas, EUA, Perú y Brasil (Kollmann y Sohl, 1979, p. A13, figs. 4d, 5f–k).

Familia Nerineidae Zittel, 1873
Género *Nerinea* Deshayes, 1827

Nerinea incisa Giebel, 1853
Figura 3F y 3G

Nerinea sp. ind. Roemer, 1849, p. 412; Roemer, 1852, p. 41, lám. 4, fig. 8.

Nerinea incisa Giebel, 1853, p. 364; Dietrich, 1925, p. 130, lám. 31; Adkins, 1928, p. 186; Stanton, 1947, p. 84, lám. 56, figs. 6, 7, 10, 11.

Descripción. La concha es de forma cilíndrica, umbilicada con vueltas bajas y anchas que aumentan ligeramente de tamaño y con lados cóncavos separados por sutura acanalada. La morfología interna consiste en la presencia de dos pliegues, uno columelar angosto y curvado ligeramente hacia la parte superior y otro parietal, largo y angosto en dirección hacia el labio externo. La ornamentación de la concha consiste en cordones gruesos de forma rectangular, contiguos situados en la parte inferior y superior de las vueltas, entre los cordones se encuentran líneas espirales finas.

Ejemplar	Ancho última vuelta (mm)	Altura máxima (mm)
IGM12987	19	45
IGM12988	15	36
IGM12989	14	28
IGM12990	15	27
IGM12991	12	24
IGM12992	13	21
IGM12993	10	15

Discusión. *Nerinea incisa* Giebel fue descrita en numerosas localidades del Albiano de Texas, EUA (Stanton, 1947, p. 84, lám. 56, figs. 6, 7, 10, 11).

5. Consideraciones paleoecológicas

Los gasterópodos de Pihuamo son característicos de facies someras en los mares tropicales epicontinentales cretácicos (Mennessier, 1984), la excelente preservación de las conchas sugiere que fueron depositados *in situ*, pues no se observan indicios de transporte. Dentro de las facies lagunares calcáreas predominan los nerineidos (*Nerinea incisa* Giebel), los acteonélidos (*Peruviella dolium* Kollmann y Sohl, *Trochactaeon* (*Neocylindrites*) *cumminsi* Stanton; Sohl y Kollmann) junto con rudistas fueron importantes componentes de la comunidad bentónica durante el Cretácico (Sohl y Kollmann, 1985).

Los nerineidos constituyeron un grupo de gasterópodos que habitaron océanos tropicales poco profundos asociados a otros organismos como corales, rudistas y ostreidos por lo que son buenos indicadores de facies arrecifales y periarrecifales del Jurásico y Cretácico (Buitrón y Barceló-Duarte, 1978; Kollmann 2014). El género *Peruviella* ha sido encontrado en calizas marinas del Albiano en Estados Unidos de América, México, Perú, Brasil y África, donde se hallaron asociados a otros organismos marinos de agua tropical y somera del Dominio del Tethys (Figura 4; Kollmann y Sohl, 1979; Sohl y Kollmann, 1985).

Los nerineidos y acteonélidos del género *Trochactaeon* que presentan conchas gruesas son indicadores de hábitos epifaunales en fondos firmes (Sohl y Kollmann, 1985; Vaughan, 1988). La diversidad y abundancia de la fauna marina de la Formación Encino de la región de Pihuamo está compuesta por una gran cantidad de especímenes que formaron los bancos de rudistas y nerineidos durante periodos donde no había actividad del arco magmático.

6. Consideraciones paleobiogeográficas

Durante el lapso del Aptiano temprano al Albiano tardío, México se encontraba invadido por el Océano del Tethys el cual se extendía mayormente en la zona ecuatorial (separando a Norteamérica y Eurasia de Sudamérica y África) y en la franja entre Brasil y África (Pons y Vicens, 2012; Arai, 2014). En las costas de este océano se desarrollaron colonias de rudistas que formaron gruesas plataformas calcáreas (Pons y Vicens, 2012) y en la zona del Golfo de México fueron importantes para la formación de diversos sistemas petroleros.

Entre los invertebrados asociados a los rudistas estaban los gasterópodos como los casiópodos (Familia Cassiopidae), los acteonélidos (Familia Itieriidae), los turritélidos (Familia Turritellidae) y los nerineidos (Familia Nerineidae). En el Dominio del Tethys, esta biota se extendía del suroeste de los Estados Unidos de América, del oeste al sureste de México, regiones del Caribe, el este de Brasil, el Mediterráneo y Japón (Verneuil y Lorient, 1868; Nagao, 1934; Olsson, 1934; Maury, 1936; Delpey, 1940; Stanton

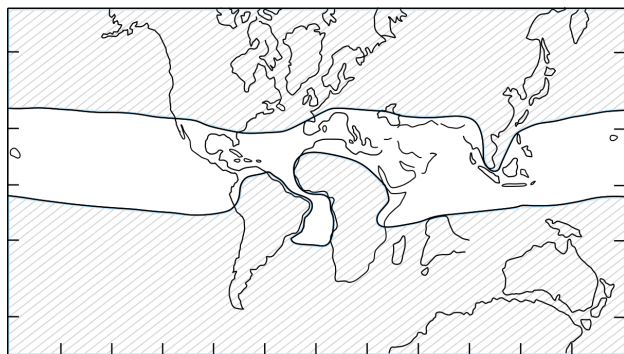


Figura 4. En la parte central en color blanco se muestra la distribución del Mar del Tethys durante el Cretácico temprano (Modificada de Sohl, 1987).

1947; Allison, 1955; Mahmoud, 1955; Sohl, 1969, 1987; Kollmann y Sohl, 1979; Kase, 1984; Mennessier, 1984; Sohl y Kollmann, 1985; Buitrón, 1986; Allmon, 1988; Allmon y Knight, 1993; Buitrón y Gómez-Espinosa, 2003; Pereira *et al.*, 2016, 2017).

Sohl (1969) propuso tres regiones con base en asociaciones de gasterópodos en la zona ecuatorial del Dominio del Tethys para el Cretácico Inferior:

1. La región del Caribe, América Central y Baja California con afinidades del Tethys Mediterráneo.
2. La región de la Planicie Costera del Golfo de México y la del Interior Occidental con afinidad con faunas del norte de Europa.
3. La región de California con afinidad a las faunas del Indo-Pacífica.

Sohl (1969) también señaló que los límites de estas provincias cambiaron expandiéndose o contrayéndose con el tiempo, debido a las variaciones de temperaturas durante el Cretácico. Las faunas de los moluscos marinos en el Dominio del Tethys no solo se encontraban controladas por la temperatura sino también por las barreras geográficas. La distribución de los gasterópodos realizada por Sohl (1987) sugirió que estos organismos se localizaban en regiones paralelas al Ecuador sobre las costas de las dos masas continentales superior e inferior del Tethys.

Sin embargo, diversos afloramientos en Brasil con fósiles marinos del Aptiano demuestran que las asociaciones de gasterópodos pueden extenderse a latitudes mayores debido a que parte del borde oriental de Brasil se encontraba invadido por el mar debido a una transgresión marina de origen eustático (Días-Brito, 2000; Arai, 2014; Carvalho *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2016, 2017).

Los gasterópodos del municipio de Pihuamo se correlacionan con otros del Aptiano-Albiano de México como la Formación Alisitos (Baja California), San Fernando (Baja California), el área de Lampazos (Sonora), Arivechi (Sonora), en La Encantada (Chihuahua), Caliza Aurora (Chihuahua, Coahuila, Durango), al noreste de Tamazula (Jalisco), la región de Ahuacatlán (Querétaro), la Formación Madrid (Colima), la Formación Tepalcates (Michoacán), las regiones de Cocuaro y Los Llanos (Michoacán), la

Formación el Cajón (Michoacán), la Formación San Lucas (Michoacán-Guerrero), la Formación Mal Paso (Michoacán-Guerrero), (Gabb, 1869; Boese, 1910; Allison, 1955; Perkins, 1960; Perrilliat, 1968; Buitrón *et al.*, 1978, 1995, 2003; Buitrón y Barceló-Duarte, 1980; González-León y Buitrón, 1984; Herrera *et al.*, 1984; Valdez, 1984; Buitrón y Rivera-Carranco, 1985; Buitrón, 1986, 1993a; Almazán-Vázquez, 1988, 1990; Páez, 1992; Alencáster y Pantoja, 1993; Buitrón y Pantoja, 1994, 1998; Buitrón y López-Tinajero, 1995; Buitrón y Gómez Espinosa, 2003; Payne *et al.*, 2004).

Los gasterópodos descritos de la región de Pihuamo, Jalisco asociados a foraminíferos orbitolinidos, rudistas y otros bivalvos que habitaron en una plataforma marina cercana a un arco volcánico de actividad intermitente y siendo los momentos de tranquilidad los que permitieron el desarrollo de la biota (Pantoja *et al.*, 1978; Alencáster y Pantoja, 1986; Pantoja y Estrada, 1986; Páez, 1992, Buitrón 1993b).

7. Conclusiones

Se dan a conocer por primera vez para la región de Pihuamo, Jalisco moluscos gasterópodos de las especies *Gymnentome* (*Gymnentome*) *suturosa* (Nyst y Galeotti), *Pseudomesalia* (*Pseudomesalia*) *trilineata* Mahmoud, *Cimolithium* *miyakoense* (Nagao), *Turritella* *delriensis* Stanton, *Trochactaeon* (*Neocylindrites*) *cumminsi* (Stanton), *Peruviella* *dolium* Roemer, *Nerinea* *incisa* Giebel del Aptiano superior-Albiano inferior.

La comunidad fósil de la Formación Encino se desarrolló en un ambiente de depósito que corresponde a un mar transgresivo tropical en los márgenes del Océano del Tethys y próximo a un arco volcánico caracterizado por periodos de vulcanismo explosivo y periodos de tranquilidad. La similitud de especies de invertebrados de la región sureste de Jalisco con otras regiones del occidente de México (Baja California, Michoacán, Colima) y del centro (Puebla), sur (Chiapas) del país y de otras regiones del mundo, Estados Unidos de América, (Texas), España, entre otros que sugiere se desarrollaron en mares del Dominio del Tethys.

Reconocimiento

Este trabajo está dedicado al Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca, investigador titular del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México en reconocimiento por su exitosa trayectoria académica. El Dr. Ferrusquía ha dedicado más de 50 años al estudio de la geología del sur de México, asimismo fue pionero del estudio de los vertebrados fósiles de México e iniciador de un grupo de trabajo sobre el tema. También fundador y presidente de la Sociedad Mexicana de Paleontología.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los editores la revisión crítica del manuscrito y sus valiosas sugerencias que contribuyeron a mejorar el trabajo. Agradecemos al editor en jefe Dr. Josep Anton Moreno Bedmar, a la responsable de la Unidad Editorial Mtra. Sandra Ramos Amezcua y al formador Mtro. León Felipe Álvarez por su apoyo editorial en este artículo.

Referencias

- Adkins, W.S., 1928. Handbook of Texas Cretaceous fossils: University of Texas Bulletin, 2838, 1–385.
- Aguilera, J.G., 1906, Excursión de Tehuacán a Zapotitlán en San Juan Raya: México, D.F.: X Congreso Geológico Internacional, Libro-guía de la excursión 7, 1–27.
- Alencáster, G., 1956, Pelecípodos y gasterópodos del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya-Zapotitlán, estado de Puebla: Paleontología Mexicana 2, 1–47.
- Alencáster, G., 1986, Nuevo rudista (Bivalvia-Hippuritacea) del Cretácico Inferior de Pihuamo, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 47(1), 47–54. doi: 10.18268/BSGM1986v47n1a4.
- Alencáster, G., Pantoja, J., 1986, *Coalcomana ramosa* (Boehm) (Bivalvia-Hippuritacea) del Albiano temprano del Cerro de Tuxpan, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 47(1), 33–46. doi: 10.18268/BSGM1986v47n1a3.
- Alencáster, G., Pantoja, J., 1993, Early Aptian rudists from Huetamo region, southwestern Mexico (resumen), en Alencáster, G., Buitrón, B. E. (eds.), Third International Conference on Rudists: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Proceedings, p. 4.
- Allison, E.C., 1955, Middle Cretaceous gastropods from Punta China, Baja California, Mexico: Journal of Paleontology, 29(3), 400–432.
- Allmon, W.D., 1988, Ecology of Recent Turritelline Gastropods (Prosobranchia, Turritellidae): Current Knowledge and Paleontological Implications: PALAIOS 3(3), 259–284. doi: 10.2307/3514657.
- Allmon, W.D., Knight, J.L., 1993, Paleocological Significance of a Turritelline Gastropod-Dominated Assemblage in the Cretaceous of South Carolina: Journal of Paleontology 67(3), 355–360. doi: 10.1017/S0022336000036830.
- Almazán-Vázquez, E., 1988., Marco paleosedimentario y geodinámico de la Formación Alisitos en la península de Baja California: Revista Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México 7(1), 41, 44.
- Almazán-Vázquez, E., 1990, Fauna Aptiano-Albiana del Cerro las Conchas, Sonora centro-oriental: Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León 4, 153–173.
- Arai, M., 2014, Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective Brazilian: Journal of Geology 44(2), 339–350. doi: 10.5327/Z2317-4889201400020012.
- Boehm, D., 1898, Ueber Caprinidenkalke aus Mexico: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 50, 323–332.
- Boese, 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, 1–193.
- Bouchet, P., Rocroi, J.P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., Parkhaev, P., Schrödl, M., Strong, E.E., 2017, Revised classification, nomenclator and typification of gastropod and monoplacophoran families: Malacologia 61(1–2), 1–526. doi: 10.4002/040.061.0201.
- Buitrón, B.E., 1986, Gasterópodos del Cretácico (Aptiano tardío–Albiano temprano) del cerro de Tuxpan, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 47(1), 17–31. doi: 10.18268/BSGM1986v47n1a2.
- Buitrón, B.E., 1993a, Aptian gastropods from the Huetamo-San Lucas Region, State of Michoacán Mexico in Third International Conference on Rudists, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Proceedings, p. 9.
- Buitrón, B.E., 1993b, Mollusk gastropods in Early Cretaceous Rudist-Bearing Formation of Jalisco, SW, México in Third International Conference on Rudists, México, Universidad Nacional Autónoma de México., Instituto de Geología, Proceedings, p. 10.
- Buitrón, B.E., Barceló-Duarte, J., 1978, Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Temprano de la región de San Juan Raya Puebla (resumen), en Sociedad Geológica Mexicana IV Convención Geológica Nacional: México, Sociedad Geológica Mexicana, XXXIX (1), p. 12.
- Buitrón, B.E., Barceló-Duarte, J., 1980, Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya, Puebla: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 4(1), 46–55.
- Buitrón, B.E., Gómez-Espinosa, C., 2003, Cretaceous (Aptian-Cenomanian) Gastropods of Mexico and their Biogeographic Implications, en Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickweide, J.F., (eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation and Plate Tectonics: AAPG Memoir 79, 403–418.
- Buitrón, B.E., López-Tinajero, Y., 1995, Mollusk gastropods in a Lower Cretaceous rudist-bearing formation of Jalisco, west central Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 12(2), 157–168.
- Buitrón, B.E., Pantoja, J., 1994, Esponjas perforantes de moluscos del Cretácico Temprano en la región centro occidental de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 11(2), 222–231.
- Buitrón, B.E., Pantoja, J., 1998, Albian gastropods of the rudist-bearing Mal Paso Formation, Chumbitaro region, Guerrero, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 15(1), 14–20.
- Buitrón, B.E., Rivera-Carranco, S., 1985, Nerineidos (Gastropoda-Nerineidae) cretácicos de la región de Huetamo-San Lucas, Michoacán: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana XVI (1–2), 65–78. doi: 10.18268/BSGM1985v46n1a3.
- Buitrón, B.E., Pantoja, J., Alencáster, G., 1978, Secuencia estratigráfica del Cretácico Inferior del Cerro de Tuxpan, Jalisco (resumen), en Sociedad Geológica Mexicana IV Convención Geológica Nacional: México, Sociedad Geológica Mexicana XXXIX (1), p. 12.
- Buitrón, B.E., Pantoja, J., Romo, E., 2003, Gasterópodos cretácicos Aptiano-Albiano de la región de San Lucas estados de Michoacán y Guerrero, en Soto, L.A. (ed.), Agustín Ayala-Castañares: universitario, impulsor de la investigación científica: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, 177–186.

- Carvalho, M.A., Bengtson, P., Lana, C.C., 2016, Late Aptian (Cretaceous) paleoceanography of the South Atlantic Ocean inferred from dinocyst communities of the Sergipe Basin: *Paleoceanography* 31, 2–26. doi: 10.1002/2014PA002772.
- Conrad, T.A., 1852, Description of the fossils of Syria, collected in the Palestine expedition, *en* Lynch, W.F. (ed.), *Official Report of the US Expeditions to Explore the Dead Sea and the River Jordan*, 211–235, 16 láms.
- Cuadros-Mendoza, I., 2018. Moluscos (Scaphopoda, Bivalvia, Gastropoda) del Cretácico Temprano de la región de Tuxpan, Jalisco, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis profesional, 81 pp.
- Delpey, G., 1940, Les gastéropodes mesozoïques de la région libanaise: Notes et mémoires de la Section d'études géologiques du Haut-Commissariat de la République française en Syrie et au Liban 3, 5–324.
- Dias-Brito, D., 2000, Global stratigraphy, palaeobiogeography and palaeoecology of Albian-Maastrichtian pithonellid calcispheres: impact on Tethys configuration: *Cretaceous Research* 21, 315–349. doi: 10.1006/cres.2000.0196.
- Dietrich, O., 1925, *Fossilium catalogus 1: Animalia*, part 31, Gastropoda Mesozoica. Family Nerineidae: Junk Berlin, 1–164.
- Gabb, W.M., 1869, Cretaceous and Tertiary fossils: Geological Survey of California, *Paleontology* 2, 1–299, 36 láms. doi: 10.5962/bhl.title.66714.
- Giebel, C.G., 1853, Beitrag zur Palaeontologie des Texanischen Kreidegebirges: Naturwissenschaft Vereinigung für Sachsen und Thüringen in Halle, *Jahresbericht* 5, 358–375.
- González-León, C., Buitrón, B.E., 1984, Bioestratigrafía del Cretácico Inferior del Área de Lampazos, Sonora, México (resumen) en III Congreso Latinoamericano de Paleontología, Memoria: México, Instituto de Geología, 371–375.
- Hayami, I., Kase, T., 1977, A systematic survey of the Paleozoic and Mesozoic Gastropoda and Paleozoic Bivalvia from Japan. Tokyo: University Museum, University of Tokyo 13, 1–155.
- Herrera, S., Bartolini, C., Pérez-Ramos, Buitrón, B.E., 1984, Paleontología del Área de Lampazos, Sonora: Boletín del Departamento de Geología 1, 50–59.
- Hill, R.T., 1893, Paleontology of the Cretaceous formations of Texas; the invertebrate paleontology of the Trinity division: *Proceedings of the Biological Society of Washington* 8, 9–40.
- Kase, T., 1984, Early Cretaceous marine and brackish-water Gastropoda from Japan: National Science Museum, Tokyo, 1–263.
- Kollmann, H.A., 1979, Gastropoden Aus Den Losensteiner Schichten Der Umgebung von Losenstein (Oberösterreich). 3. Teil: Cerithiacea (Mesogastropoda): *Annalen Des Naturhistorischen Museums in Wien* 82, 11–51.
- Kollmann, H.A., 2014, The extinct Nerineoidea and Acteonelloidea (Heterobranchia, Gastropoda): a palaeobiological approach: *Geodiversitas* 36(3), 349–383. doi: 10.5252/g2014n3a2.
- Kollmann, H.A., Sohl, N.F., 1979, Western Hemisphere Cretaceous Itieriidae gastropods: U.S. Geological Survey Professional Paper 1125–A, A1–A15.
- Mahmoud, I.G.E., 1955, Études paléontologiques sur la faune crétacique du massif du Moghara, Sinaï, Egypte: Publications de l'Institut du Desert d'Egypte, 8, 1–195, 19 láms.
- Maury, C.J., 1936, O Cretaceo de Sergipe: Brazil: Serviço Geológico e Mineralógico 11, 1–283.
- Mennessier, G., 1884, Révision des gasterópodes appartenant à la famille des Cassiopidae Kollmann (=Glauconiidae Pchelinsév): *Travaux du Département de géologie de l'Université de Picardie* 1, 1–190.
- Nagao, T., 1934, Cretaceous Mollusca from the Miyako District, Honshu, Japan: *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University Series* 4(3), 177–278.
- Nyst, H., Galeotti, H., 1840, Description des Mollusques et Rayonnés Fossiles. Tehuacán au Mexique: Royal Academy Bruxelles Bulletin 7, 212–221.
- Olsson, A.A., 1944, Contributions to the paleontology of northern Peru: the Cretaceous of the Amotape region: *Bulletins of American paleontology*, 20(69), 1–102.
- Páez, V., 1992, Geología del área de Tamazula, estado de Jalisco: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis profesional 1–90.
- Pantoja, J., Estrada, S., Alencáster, G., 1978, Estratigrafía del Cretácico Inferior de la mina El Encino, municipio de Pihuamo, Jalisco (resumen), en Sociedad Geológica Mexicana IV Convención Geológica Nacional: México, Sociedad Geológica Mexicana, XXXIX(1), 28–29.
- Pantoja, J., Estrada, S., 1986, Estratigrafía de los alrededores de la mina de fierro de El Encino, Jalisco: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 47(1), 1–11. doi: 10.18268/BSGM1986v47n1a1.
- Payne, J.L., Johnson, M.E., Ledesma-Vázquez, J., 2004, Lower Cretaceous Alisitos Formation at Punta San Isidro: Coastal sedimentation and volcanism: *Ciencias Marinas* 30(2), 365–380.
- Pereira, P.A., Cassab, R.C.T., Barreto, A.M.F., 2016, Cassiopidae gastropods, influence of Tethys Sea the Romualdo Formation (Aptian-Albian), Araripe Basin, Brazil: *Journal of South American Earth Sciences* 70, 211–223. doi: 10.1016/j.jsames.2016.05.005.
- Pereira, P.A., Cassab, R.C.T., Barreto, A.M.F., 2017, Paleoeología e Paleogeografía dos Moluscos e Equinoides da Formação Romualdo, Aptiano–Albiano da Bacia do Araripe, Brasil: *Anuário do Instituto de Geociências* 40(2), 180–198. doi: 10.11137/2017_2_180_198.
- Perkins, B.F., 1960, Biostratigraphic studies in the Comanche (Cretaceous) series of northern Mexico and Texas: *Geological Society of America Memoirs*, 83, 1–167.
- Perrillat, M.C., 1968, Fauna del Cretácico y del Terciario del norte de Baja California: *Paleontología Mexicana*, 25, 1–36.
- Piñero, F., 1972, Descripción de las unidades litoestratigráficas de la Formación Tobas-Encino, Pihuamo, Jal.: *Archivo técnico*, Las Encinas, S.A. (Informe inédito).
- Pons, J.M., Vicens, E., 2012, Los rudistas, objetivo del interés paleontológico de la Dra. Alencáster. Morfología de la concha de los rudistas: *Paleontología Mexicana* 62, 37–40.
- Roemer, C.F., 1849, Texas, Mit besonderer Rücksicht auf deutsche Auswanderung und die physischen Verhältnisse des Landes nach eigener Beobachtung geschildert, 1–464.
- Roemer, C.F., 1852, Die Kreidebildungen von Texas und ihre organischen Einschlüsse, 1–100, 11 láms. doi: 10.5962/bhl.title.15015.
- Scott, R., 1995, Cretaceous rudists of Guatemala: *Revista mexicana de ciencias geológicas* 12(2), 294–306.
- Sohl, N.F., 1969, North America Cretaceous Boitic Provinces Delineated by Gastropods: *North America Paleontological Convention*, 1610–1637.
- Sohl, N.F., 1987, Gastropods: Contrasts between Tethys and the Temperate Provinces: *Journal of Paleontology* 61(6), 1085–1111. doi: 10.1017/S0022336000029486.

- Sohl, N.F., Kollmann, H.A., 1985, Cretaceous Actaeonellid Gastropods from the Western Hemisphere: Geological Survey Professional Paper 1304, 1–104.
- Stanton, T.W., 1947, Studies of some Comanche pelecypods and gastropods: U. S. Geological Survey, Professional Paper 211, 256 pp. doi: 10.3133/pp211.
- Valdez, G.M.R., 1984, Gasterópodos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Temprano de Cocuaro y Los Llanos, Michoacán, México (resumen), en III Congreso Latinoamericano de Paleontología, Memoria: México, Instituto de Geología, 289–295.
- Vaughan, P.G., 1988, Cretaceous nerineacean gastropods systematics affinities and paleoecology: Manchester UK, Manchester open Universit, Tesis doctoral, 273 pp.
- Verneuil, E., Lorie, G., 1868, Description des fossiles du Néocomien Supérieur de Utrillas et ses environs (Province de Teruel): Matériaux Paleontologie de l'Espagne, 9, 1–30.
- Yabe, H., Hanzawa, S., 1926, Geologic age of Orbilolina-bearing rocks of Japan: Tohoku Imperial University Sciences Repts., 2(9), 13–20.

Dinosaurs from the Late Cretaceous of the Ojinaga Basin in Northeastern Chihuahua, Mexico

Dinosaurios del Cretácico Superior de la Cuenca de Ojinaga en el noreste de Chihuahua, México

Rivera-Sylva, Héctor E.^{a,*} ; Nava-Rodríguez, Rosalba L.^b ; Sánchez-Urbe, Iván E.^b 

^a Museo del Desierto, Carlos Abedrop Dávila 3745, 25022, Saltillo, Coahuila, Mexico.

^b Museo del Desierto Chihuahuense, calle 7a sur s/n, 33093, Delicias, Chihuahua, Mexico.

* hrivera@museodeldesierto.org

Abstract

The Ojinaga Basin is crucial for understanding the southern province of Laramidia because it contains a unique dinosaur fauna on the North American continent. The Upper Cretaceous Aguja and Javelina formations contain fossil remains of the dinosaur families Hadrosauridae, Ceratopsidae, Nodosauridae, Tyrannosauridae, and Saltasauridae. The latter is the first evidence for a saltosaurid taxon from Mexico identified as *Alamosaurus sanjuanensis*.

Keywords: Tyrannosauridae, Saltasauridae, Nodosauridae, Hadrosauridae, Ceratopsidae, México.

Resumen

La Cuenca de Ojinaga es crucial para nuestro entendimiento de la provincia sureña de Laramidia, debido a que contiene una fauna única de dinosaurios en el continente Norteamericano. Las formaciones Aguja y Javelina del Cretácico Tardío contienen las familias Hadrosauridae, Ceratopsidae, Nodosauridae, Tyrannosauridae, y Saltasauridae. El último es la primera evidencia de un taxon saltosaurino para México identificado como *Alamosaurus sanjuanensis*.

Palabras clave: Tyrannosauridae, Saltasauridae, Nodosauridae, Hadrosauridae, Ceratopsidae, México.

1. Introduction

The Ojinaga Basin is located in northeastern Chihuahua, and encompasses part of the Chihuahuan desert along the Mexico-Texas border to the northeast and with Coahuila to the southeast. In this area, Paleogene volcanic and plutonic rocks have intruded into the Cretaceous and Paleogene sedimentary sequence (Maxwell *et al.*, 1967; Schiebout, 1989; Lehman, 1991) conformed by the Pen, Aguja, and Javelina formations. These sediments are exposed locally beneath a cover of young (Pleistocene) gravel and alluvium.

The Upper Cretaceous Aguja and Javelina formations contain a varied, yet poorly studied, dinosaur fauna.

Hadrosaurs are an abundant component of this fauna (Davies, 1983), whereas Ceratopsidae, Nodosauridae, and Tyrannosauridae are rare elements, and Saltasauridae are exclusively known from the Javelina Formation (Sankey, 2001; Hunt and Lehman, 2008; Lehman *et al.*, 2016). The region has been identified as a southern North American dinosaur biogeographic province, which is differentiated from nearby provinces by distinct rainfall and temperature patterns (Baghai, 1996), with a late Campanian to mid-Maastrichtian paleolatitude of $\approx 35^{\circ}\text{N}$ (Robinson-Roberts and Kirschbaum, 1995), and the Western Interior Seaway nearby (Atchley *et al.*, 2004).

Historically, few dinosaur remains have been reported in the scientific literature from the Ojinaga Basin (Montellano *et al.*, 2000; Weishampel *et al.*, 2004; Rivera-Sylva *et al.*, 2006), although more abundant specimens are known to exist in private collections and are undescribed (Rivera-

Sylva and Carpenter, 2014a). The fossil vertebrates documented in this paper were collected from two sites located in the municipality of Manuel Benavides, in the northeastern portion of the State of Chihuahua, Mexico (Figure 1).

Abbreviations. MDCH = Museo del Desierto Chihuahuense, Mexico; TMM = Texas Memorial Museum, Austin, Texas.

2. Material and Methods

The material described here is housed at the Museo del Desierto Chihuahuense. It comprises six teeth from four different dinosaur taxa. The specimens were donated when the museum opened in 2010, and the donor remained anonymous.

The specimens were measured using a digital caliper, and photographed using a Canon EOS Rebel T7 with a Canon lens 18–55mm, macro 0.25m, and an Optika stereoscope microscope.

3. Geological Setting

Two Upper Cretaceous Formations in the Ojinaga Basin yield dinosaur material (Arenal, 1964; Wolleben, 1968), the Aguja and the Javelina formations.

3.1. Aguja Formation

The Aguja Formation is a widespread sedimentary unit in northeast Chihuahua and south Texas reaching between 250 to 400 m thickness. U-Pb zircon geochronologic data have yielded ages of between 72.6 ± 1.5 Ma to 76.9 ± 1.2 Ma (late Campanian) (Befus *et al.*, 2008). Lithostratigraphy and

changes in the fossil assemblages imply a gradual change from marine to paralic environments and finally an inland floodplain (Lehman, 1985). The Aguja Formation is divided in two units in the SE of the Ojinaga Basin, the lower shale member, which is entirely marine and correlates with the San Carlos Formation, and the upper shale member equivalent to the middle and inferior part of the El Picacho Formation of the same area. Its lithology consists of sandstone intercalated with clay. The sandstone predominates in the inferior part of the formation, with brown light-yellow color, showing primary structures and fresh water fossils (Cabrera *et al.*, 1984). Thin layers of siderite and gypsum are intercalated. The clay is white to gray-green-colored, with layers rich in organic matter and traces of coal. In the upper part of the column fossil wood is abundant and dinosaur bones are frequently found. A variety of well-developed paleosols formed on the inland floodplain of the upper Aguja and overlying Javelina formations, and their stage of development has been linked to sea level fluctuations in the nearby Western Interior Seaway (Atchley *et al.*, 2004).

3.2. Javelina Formation

This formation has a reported U-Pb zircon geochronologic age of 69.0 ± 0.9 Ma (early Maastrichtian) (Lehman *et al.*, 2006), and includes a thickness of about 100 meters throughout the Big Bend region. The unit conformed by mudstone, minor sandstone and conglomerate was deposited in fluvial flood-plain and lacustrine environments at several hundred kilometers distance from the Late Cretaceous shoreline (Maxwell *et al.*, 1967; Lehman, 1990). The absence of structureless mudstone reflects lacustrine facies (Maxwell *et al.*, 1967). In Chihuahua, the Javelina Formation is adjacent to the Big Bend, but it also crops out in the Manuel Benavides area, in the valley located to the

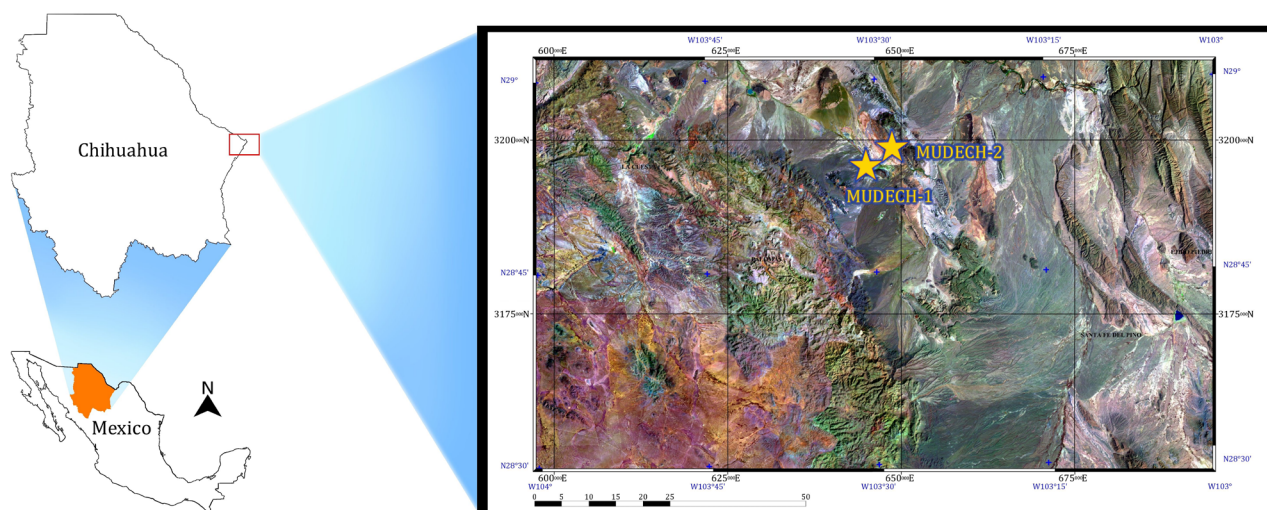


Figure 1. Location of the fossil sites marked by yellow stars.

east of Sierra Santa Elena and in the Sierra Hechiceros. The formation is constituted by 60 m of bentonitic mudstones intercalated with cross stratified sandstones (Cabrera *et al.*, 1984). The unit contains fossilized wood and dinosaur bones. The contact with the underlying Aguja Formation is gradual, while the upper contact is disconformous with volcanic rocks of Paleogene age.

4. Systematic Paleontology

Dinosauria Owen, 1842

Saurischia Seeley, 1888

Theropoda Marsh, 1881

Tyrannosauridae Osborn, 1906

Gen. et sp. indet.

Material. Tooth fragment (MDCH V042; Figure 2 A–D). This element is housed and registered in the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua, Mexico.

Horizon and Locality. Upper Shale Member of the Aguja Formation (Campanian, Late Cretaceous), locality MUDECH-1, 23 km southeast of the town of Manuel Benavides; municipality of Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico. The exact locality information is on file at the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua.

Description. MDCH V042 (Figure 2 A–D) is a small faintly recurved premaxillary tooth, 20.9 mm high, with an oval cross-section. The mesial carina is lost but the basal carina has the serrations preserved. The longitudinal basal length is 12.2 mm and the basal width 6.6 mm. The crown tip is missing. The tooth cross-section is oval. The denticles are chisel-shaped, with a basal diameter of 0.5 mm in mesiodistal and 0.6 mm in labiolingual direction. The interdenticular space measures 0.2 mm. The serration density is three denticles per mm.

Comments. The serration density is diagnostic for tyrannosaurids (Farlow and Brinkman, 1987; Abler, 1997; Sankey, 2001; Holtz, 2004). This identification is supported by the spatulate outline of the denticles and the tooth morphology in general (Sankey, 2001).

Sauropoda Marsh, 1878

Saltasauridae Wilson and Upchurch, 2003

cf. *Alamosaurus sanjuanensis* Gilmore, 1922

Material. Tooth fragment (MDCH V043; Figure 2 E–H). This element is housed and registered in the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua, Mexico.

Horizon and Locality. Javelina Formation (Maastrichtian, Late Cretaceous), locality MUDECH-2, 23 km southeast of the town of Manuel Benavides; municipality of Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico. The exact locality information is on file at the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua.

Description. MDCH V043 is a badly weathered peg-like

tooth fragment, without the crown tip, and rounded in cross section. It has a tubular pulp cavity with convex lingual and labial sides. The enamel preserved in one section shows faint longitudinal undulations. Measurements of MDCH V043 in millimetres: height = 15.7; diameter = 5.3.

Comments. The tooth is exceedingly similar to those described and figured by Kues *et al.* (1980) for *Alamosaurus sanjuanensis*. Lehman and Coulson (2002) mention some tooth fragments similar to those described by Kues *et al.* (1980) which were recovered with *Alamosaurus sanjuanensis* specimen TMM 43621-1. Since this taxon is the only sauropod known from the Cretaceous Javelina Formation, there is strong circumstantial evidence that the tooth comes from this species. Sullivan and Lucas (2000) also described a sauropod tooth from New Mexico, although Lucas and Sullivan (2000) note their tooth with those described by Kues *et al.* (1980), shows a smooth enamel, suggesting the presence of more than one sauropod taxon for the Maastrichtian of North America. Montellano-Ballesteros (2003) described some titanosaurid vertebrae from Chihuahua but these were posteriorly referred to Hadrosauria by D'Emic *et al.* (2010) based on the morphology as well as the geologic horizon where they were found. Consequently, the specimen described here represents the first evidence for the existence in Mexico of a sauropod conferred to the *Alamosaurus sanjuanensis*.

Ornithischia Seeley, 1888

Ankylosauria Osborn, 1923

Nodosauridae Marsh, 1890

Gen. et sp. indet.

Material. Isolated tooth crown (MDCH V044; Figure 2, I–J). This element is housed and registered in the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua, Mexico.

Horizon and Locality. Upper Shale Member of the Aguja Formation (Upper Cretaceous, Campanian), locality MUDECH-1, 23 km southeast of the town of Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico. The exact locality information is on file at the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua.

Description. The specimen consists of an isolated crown without a root. It most closely resembles that of other nodosaurids in its relatively large size, the presence of a complete shelf-like cingulum, and three low denticle count along the posterior cutting edge. The cingulum is irregularly wavy labially. Lingually, it is smooth and concave. Measurements of MDCH V044 in millimetres: height = 8.7; length = 7.4; wide = 3.9.

Comments. *Ankylosaurs* teeth are taxonomically useful to family level only (Vickaryous *et al.*, 2004). The crowns of nodosaurid teeth are proportionally large, with few denticles (4–8) along the cutting edge that often merge into a ridge (Coombs, 1990). The base of the crown is swollen and a complete cingulum is present on one or both sides. Therefore, identification of MDCH V044 as a nodosaurid is confident.

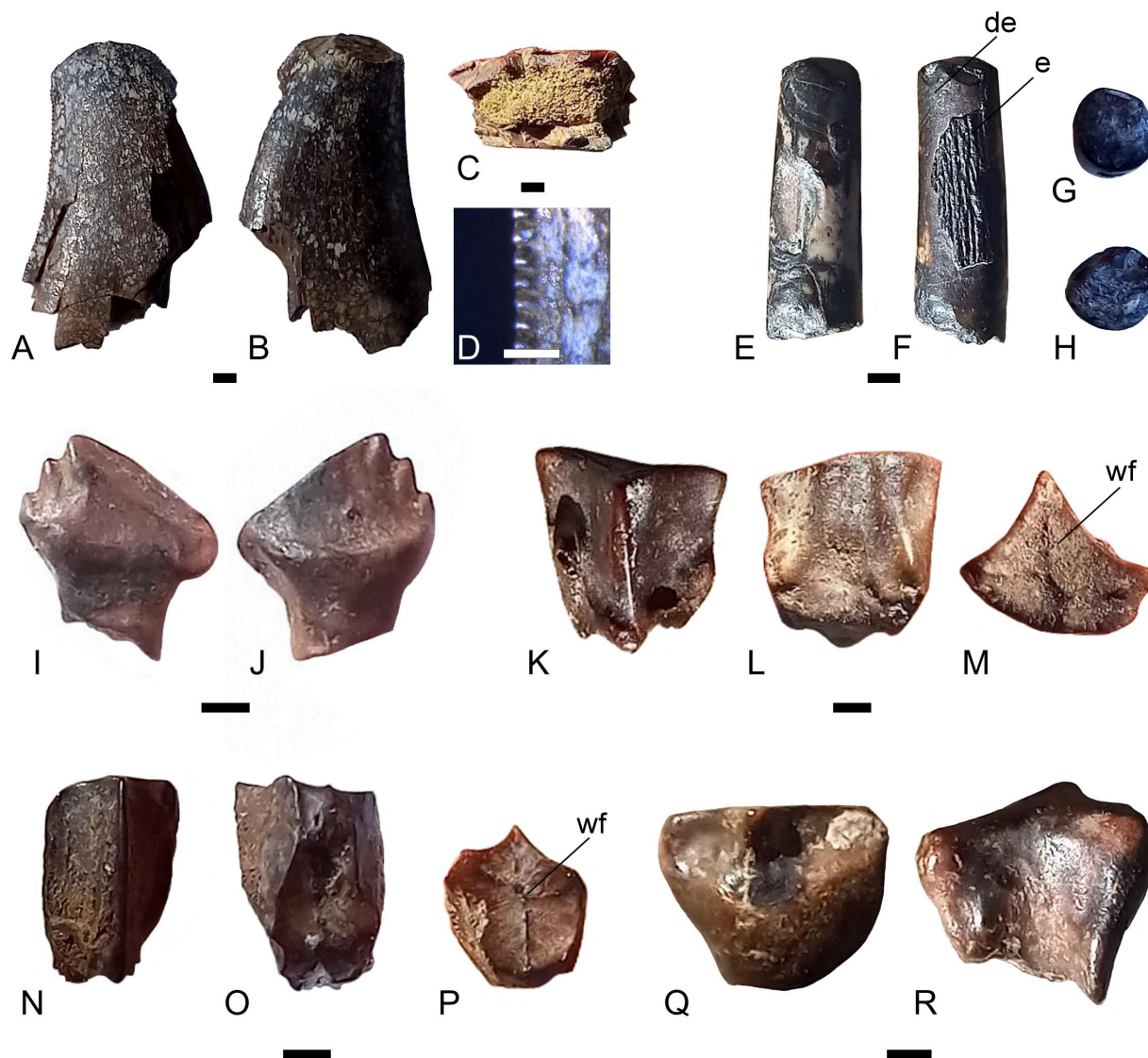


Figure 2. Tyrannosaurid tooth (MDCH V042) in: A) labial, B) lingual, C) basal views, D) close-up of posterior denticles. Saltasaurid tooth (MDCH V043) in: E) labial, F) lingual, G) apical, and H) basal views. Nodosaurid tooth (MDCH V044) in: I) labial, and J) lingual views. Hadrosaurid tooth (MDCH V045) in: K) lingual, L) labial; and M) apical views. Hadrosaurid tooth (MDCH V046) in: N) lingual, O) labial, and P) apical views. Ceratopsian tooth (MDCH V051) in: Q) lingual, and R) apical views. The abbreviations inside of the figure refer to: de= dentine; e= enamel; wf= wear facet. Scale bar = 2 mm. Scale bar for D = 1 mm.

Ornithopoda Marsh, 1881
Hadrosauridae Cope, 1869
Gen. et sp. indet.

Material. Tooth crowns (MDCH V045 / MDCH V046 / MDCH V047 / MDCH V048 / MDCH V049 / MDCH V050; Figure 2 K-P). These elements are housed and registered in the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua, Mexico.

Horizon and Locality. Upper Shale Member of the Aguja Formation (Campanian, Late Cretaceous), locality MUDECH-1, 23 km southeast of the town of Manuel

Benavides; municipality of Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico. The exact locality information is on file at the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua.

Description. All specimens are worn teeth (MDCH V045 / MDCH V046 / MDCH V047 / MDCH V048 / MDCH V049 / MDCH V050) with strong median carina in the middle of the lingual face. The worn apex of both teeth is slightly concave and has radiating dentine deposits. MDCH V046 is a juvenile and more complete teeth. Measurements of MDCH V045 in millimetres: height = 8.3; length = 7.9; wide = 7.8; MDCH V046 in millimetres: height = 7.8; length = 5.2; wide = 5.6; MDCH V047 in millimetres: height = 7.6; length = 8.5; wide = 5.3; MDCH V048 in millimetres:

height = 7.4; length = 5.8; wide = 6.1; MDCH V049 in millimetres: height = 9.8; length = 4.9; wide = 4.6; MDCH V050 in millimetres: height = 9.0; length = 7.5; wide = 4.4.

Comments. These teeth are clearly from hadrosaurs because they have the diagnostic ridge on the outer surface of the tooth (Peng *et al.*, 2001). Juvenile hadrosaur teeth with a similar morphology to MDCH V046 are common for the Aguja Formation (Sankey, 2001). In the Aguja Formation, hadrosaur specimens are common elements outnumbering the ceratopsians by about 60% (Lehman, 2007).

Ceratopsia Marsh, 1890
Ceratopsidae Marsh, 1888
Gen. et sp. indet.

Material. Shed tooth (MDCH V051; Figure 2 Q–R). This element is housed and registered in the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua, Mexico.

Horizon and Locality. Upper Shale Member of the Aguja Formation (Campanian, Late Cretaceous), locality MUDECH-1, 23 km southeast of the town of Manuel Benavides; municipality of Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico. The exact locality information is on file at the Museo del Desierto Chihuahuense, Delicias, Chihuahua.

Description. MDCH V051 is enamel lingually, with a strong medial ridge, extremely flat triangular shape, with a median ridge of tooth forming its low tip. It is strongly worn down distally, showing a characteristic cross section of the tooth. Measurements of MDCH V051 in millimetres: height = 7.2; length = 9.8; wide = 5.4.

Comments. The tooth matches those referred to ceratopsian teeth in the Judith River Group of Alberta (Peng, *et al.*, 2001), differentiating from those of hadrosaurs in being much longer than wide, in contrast to hadrosaurids where the crown is wider than long (Baszio, 1997). Also, the grinding surface in ceratopsians is flatter than the basin-like condition that is seen in hadrosaurs. Ceratopsian bones are rare in the Aguja Formation but the taxa present are the chasmosaurines *Agujaceratops mariscalensis*, and *A. mavericus* and the centrosaurine *Yhuecauhceratops mudei* (Lehman, 1989; Lehman *et al.*, 2016; Rivera-Sylva *et al.*, 2017).

5. Discussion

Late Cretaceous vertebrate faunas from southern parts of North America including their composition and assemblage changes are still poorly known compared to northern assemblages. The fossils reported from the Ojinaga Basin significantly increase our knowledge for this area. Vertebrates from the Big Bend and Ojinaga Basin are taxonomically distinct at the species or even genus level from contemporaneous northern faunas (Sankey, 2010), confirming the uniqueness of this southern fauna. The late Campanian Big Bend/Ojinaga Basin dinosaur assemblage

was more similar to the late Maastrichtian southern Alberta (Scollard Formation) dinosaur assemblage in the following aspects: *Richardoestesia isosceles* was more abundant than *R. gilmorei*; *Dromaeosaurus* was absent or rare; and pachycephalosaurids were present to common (Sankey, 2001; Sankey *et al.*, 2005; Rivera-Sylva and Carpenter, 2014b).

Differences between the southern and northern areas and their vertebrate faunas were primarily due to differences in climate, indicating habit preferences to some taxa, with periodic aridity occurring earlier in the Big Bend/Ojinaga Basin than in the northern areas. The Aguja Formation dinosaur bonebeds probably resulted from periodic droughts, severe enough to cause the marshes to dry up (Davies and Lehman, 1989) and paleocaliche to form soils. Postdrought flooding, possibly even flash floods, would have eroded and transported soil and vertebrate remains, depositing them rapidly within streams and forming conglomeratic beds with appreciable fossil content (Sankey and Gose, 2001).

6. Conclusions

The specimens described here from the Aguja and Javelina formations (late Campanian/ Maastrichtian) in the Ojinaga Basin, Chihuahua, significantly improve our knowledge of the vertebrates from the southern part of Laramidia. This assemblage provides an important glimpse of local paleocommunity structure in the region, as well as an opportunity to make comparisons with other Campanian-Maastrichtian age vertebrate faunas within North America.

Fossil material from the Javelina Formation of Mexico is here referred to *Alamosaurus sanjuanensis* for the first time. This new record of Saltasauridae from Chihuahua is a very important addition to the Late Cretaceous sauropod record of North America. The fossil finds are also of interest in relation to the biogeographic differences between the Late Cretaceous faunas of the northern hemisphere and the southern “*Alamosaurus* fauna”, which is a unique terrestrial vertebrate fauna that characterized southern latitudes in North America at the end of the Cretaceous (Lehman, 1987, 2001).

The paucity of Late Cretaceous sauropod faunas in North America makes Mexican sauropod material of great importance to our understanding of the development of the Sauropoda.

Acknowledgments

We are extremely grateful to the anonymous donor of the present dinosaur specimens for making this project possible. We want to thank Adam S. Smith for reviewing an early copy of the manuscript. We extend our thanks to Margarita Alfaro-Ortiz for taking the photographs of the specimens. Special thanks to Rubén Guzmán-Gutiérrez for providing

bibliography which was otherwise difficult to obtain. We thank Daniel Barrera-Guevara for producing the images. Also we would like to thank two unknown reviewers that contribute to the improvement of this paper.

References

- Abler, W.L., 1997, Tooth serrations in carnivorous dinosaurs, in Padian, K., Currie, P.J. (eds.), *Encyclopaedia of Dinosaurs*, San Diego, Academic Press, 740–741.
- Arenal, R., 1964, Estudio geológico para la localización de yacimientos de carbón en el área Ojinaga-San Carlos, Estado de Chihuahua, México: Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 16, 121–142.
- Atchley, S.C., Nordt, L.C., Dworkin, S.L., 2004, Eustatic control on alluvial sequence stratigraphy: A possible example from the Cretaceous-Tertiary transition of the Tornillo Basin, Big Bend National Park, West Texas, USA: *Journal of Sedimentary Research*, 74, 391–404. doi:10.1306/102203740391.
- Baghai, N., 1996, An analysis of palynomorphs from Upper Cretaceous sedimentary rocks with emphasis on the Aguja Formation, Big Bend National Park, Brewster County, Texas: Austin, University of Texas, Ph.D. dissertation, 495 pp.
- Baszio, S., 1997, Systematic palaeontology of isolated dinosaur teeth from the Latest Cretaceous of south Alberta, Canada, in *Investigations on Canadian dinosaurs*, Courier Forschungsinstitut Senckenberg 196, 33–77.
- Befus, K.S., Hanson, R.E., Lehman, T.M., Griffin, W.R., 2008, Cretaceous basaltic phreatomagmatic volcanism in West Texas: Maar complex at Peña Mountain, Big Bend National Park: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 173, 245–264. doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.01.021.
- Cabrera, F., Narváez, G., Chávez, J.M., Hernández, R., Alcantara, J., Gómez, F., 1984, Exploración carbonífera en la Cuenca de Ojinaga, Chihuahua: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 45(3), 3. doi:10.18268/BSGM1984v45n3a3.
- Coombs, W.P., Jr., 1990, Teeth and taxonomy in ankylosaurs, in Carpenter, K., Currie, P.J. (eds.), *Dinosaur Systematics: Approaches and Perspectives*: Cambridge University Press, 269–279. doi:10.1017/CBO9780511608377.023.
- Cope, E.D., 1869, Synopsis of the extinct Batrachia, Reptilia, and Aves of North America. *Transactions of the American Philosophical Society* 14, 1–252.
- Davies, K.L., 1983, Hadrosaurian dinosaurs of Big Bend National Park, Brewster County, Texas: Austin, University of Texas, Masters Thesis, 235 pp.
- Davies, K., Lehman, T.M., 1989, The WPA quarries, in Busbey A.B. III, Lehman, T.M. (eds.), *Vertebrate Paleontology, Biostratigraphy, and Depositional Environments. Latest Cretaceous and Tertiary, Big Bend Area, Texas*: Austin, Texas, Society of Vertebrate Paleontology 49th Annual Meeting, Guidebook, Field Trips 1a, b, and c, p. 32–42.
- D'Emic, M., Wilson, J., Thompson, R., 2010, The end of the sauropod dinosaur hiatus in North America: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 297, 486–490. doi: 10.1016/j.palaeo.2010.08.032.
- Farlow, J.O., Brinkmann, D.L., 1987, Serration coarseness and patterns of wear of theropod dinosaur teeth: Geological Association of America, Abstracts with Programs 19, 151.
- Gilmore, C.W., 1922, A new sauropod dinosaur from the Ojo Alamo Formation of New Mexico: *Smithsonian Miscellaneous Collection* 72(14), 1–9.
- Holtz, T.R. Jr., 2004, Tyrannosauroida, in Weishampel, D.B., Dodson, P., Osmólska, H., (eds.), *The Dinosauria 2nd Edition*: Berkeley, University of California Press, 111–136.
- Hunt, R.K., Lehman, T.M., 2008, Attributes of the ceratopsian dinosaur *Torosaurus*, and new material from the Javelina Formation (Maastrichtian) of Texas: *Journal of Paleontology* 82(6), 1127–1138. doi: 10.1666/06-107.1.
- Kues, B.S., Lehman, T.M., Rigby K. Jr., 1980, The teeth of *Alamosaurus sanjuanensis*, a Late Cretaceous sauropod: *Journal of Paleontology* 54(4), 864–869.
- Lehman, T.M., 1985, Stratigraphy, sedimentology, and paleontology of Upper Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) sedimentary rocks in Trans-Pecos, Texas: Austin, University of Texas Ph.D. dissertation, 299 pp.
- Lehman, T.M., 1987, Late Maastrichtian paleoenvironments and dinosaur biogeography in the western interior of North America: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 60, 189–217. doi: 10.1016/0031-0182(87)90032-0.
- Lehman, T.M., 1989, Upper Cretaceous (Maastrichtian) paleosols in Trans-Pecos Texas: *Geological Society of America Bulletin* 101(2), 188–203. doi:10.1130/0016-7606(1989)101<0188:UCMPIT>2.3.CO;2.
- Lehman, T.M., 1991, Sedimentation and tectonism in the Laramide Tornillo Basin of West Texas: *Sedimentary Geology* 75, 9–28. doi: 10.1016/0037-0738(91)90047-H.
- Lehman, T.M., 2001, Late Cretaceous dinosaur provinciality, in Carpenter, K., Tanke, D. (eds.), *Mesozoic Vertebrate Life*: Bloomington, Indiana University Press, 310–328.
- Lehman, T.M., 2007, Growth and population age structure in the horned dinosaur *Chasmosaurus*, in Carpenter, K. (ed.) *Horns and Beaks: Ceratopsian and Ornithomimid Dinosaurs*: Bloomington, Indiana University Press, 259–317.
- Lehman, T.M., Coulson, A.B., 2002, A juvenile specimen of the sauropod dinosaur *Alamosaurus sanjuanensis* from the Upper Cretaceous of Big Bend National Park, Texas: *Journal of Paleontology* 76(1), 156–172. doi:10.1666/0022-3360(2002)076<0156:AJSOTS>2.0.CO;2.
- Lehman, T.M., Mcdowell, F.W., Connelly, J.N., 2006, First isotopic (U-Pb) age for the Late Cretaceous *Alamosaurus* vertebrate fauna of west Texas, and its significance as a link between two faunal provinces: *Journal of Vertebrate Paleontology* 26(4), 922–928. doi:10.1671/0272-4634(2006)26[922:FIUAFT]2.0.CO;2.
- Lehman, T.M., Wick, S.L., Wagner, J.R., 2016, Hadrosaurian dinosaurs from the Maastrichtian Javelina Formation, Big Bend National Park, Texas: *Journal of Paleontology* 90(2), 333–356. doi:10.1017/jpa.2016.48.
- Lucas, S.G., Sullivan, R.M., 2000, The sauropod dinosaur *Alamosaurus* from the Upper Cretaceous of the San Juan Basin, New Mexico: *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 17, 147–156.
- Marsh, O.C., 1878, Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part I: *American Journal of Science, Series 3*, 16, 411–416. doi: 10.2475/ajs.s3-16.95.411.
- Marsh, O.C., 1881, Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part IV. Spinal cord, pelvis and limbs of *Stegosaurus*: *American Journal of Science, Series 3*, 21, 167–170. doi:10.2475/ajs.s3-21.122.167.

- Marsh, O.C., 1888, A new family of horned dinosaurs from the Cretaceous: American Journal of Science, Series 3, 21, 477–478. doi:10.2475/ajs.s3-36.216.477.
- Marsh, O.C., 1890, Description of new dinosaurian reptiles: American Journal of Science, Series 3, 39, 81–86. doi:10.2475/ajs.s3-39.229.81.
- Maxwell, R.A., Lonsdale, J.T., Hazzard, R.T., Wilson, J.A., 1967, Geology of Big Bend National Park; Brewster County, Texas. University of Texas Bureau of Economic Geology, Publication 6711, 320 pp. doi:10.26153/tsw/5062.
- Montellano-Ballesteros, M., 2003, A titanosaurid sauropod from the Upper Cretaceous of Chihuahua, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 20, 160–164.
- Montellano, M., Hernández, R., Alvarez, G., Andrade, P., Martin, L., 2000, Discovery of Late Cretaceous vertebrate local faunas in northern Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology 20(3), suppl., 58A.
- Osborn, H.F., 1906, *Tyrannosaurus*, Upper Cretaceous carnivorous dinosaur (second communication): Bulletin of the American Museum of Natural History 22, 281–296.
- Osborn, H.F., 1923, Two Lower Cretaceous dinosaurs of Mongolia: American Museum Novitates 95, 1–10.
- Owen, R., 1842, Report on British fossil reptiles. Part II: Report of the British Association for the Advances of Sciences 1841, 60–204.
- Peng, J., Russell, A.P., Brinkman, D.B., 2001, Vertebrate Microsite Assemblage (Exclusive of Mammals) from the Foremost and Oldman Formation of the Judith River Group (Campanian) of Southeastern Alberta: An illustrated Guide: Edmonton, Provincial Museum of Alberta, Natural History Occasional, Paper no. 25. doi:10.5962/bhl.title.115853.
- Robinson-Roberts, L., Kirschbaum, M., 1995, Paleogeography of the Late Cretaceous of the western interior of middle North America-Coal distribution and sediment accumulation: U.S. Geological Survey Professional, Paper 1561, 115 p. doi:10.3133/pp1561.
- Rivera-Sylva, H.E., Guzmán-Gutiérrez, J.R., Palomino-Sánchez, F.R., 2006, Preliminary report on a vertebrate fossil assemblage from the Late Cretaceous of Chihuahua, Mexico: Hantkeniana 5, 66–68.
- Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., 2014a, The Ornithischian dinosaurs from Mexico, in Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., Frey, E., (eds), Dinosaurs and other reptiles from the Mesozoic from Mexico: Bloomington, Indiana University Press, 156–180.
- Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., 2014b, Mexican Saurischian dinosaurs, in Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., Frey, E., (eds), Dinosaurs and other reptiles from the Mesozoic from Mexico: Bloomington Indiana University Press, 143–155.
- Rivera-Sylva, H.E., Frey, E., Stinnesbeck, W., González-González, A.H., Guzmán-Gutiérrez, J.R., 2017, Mexican Ceratopsids: Considerations on their diversity and biogeography: Journal of South American Earth Sciences, 75, 66–73. doi:10.1016/j.jsames.2017.01.008.
- Sankey, J.T., 2001, Late Campanian southern dinosaurs, Aguja Formation, Big Bend, Texas: Journal of Paleontology 75, 208–215. doi:10.1666/0022-3360(2001)075<0208:LCSDAF>2.0.CO;2.
- Sankey, J.T., 2010, Faunal Composition and Significance of High-Diversity, mixed bonebeds containing *Agujaceratops mariscalensis* and other dinosaurs, Aguja Formation (Upper Cretaceous), Big Bend, Texas, in New Perspectives on Horned Dinosaurs: Bloomington Indiana University Press, 520–537.
- Sankey, J.T., Gose, W.A., 2001, Late Cretaceous mammals and magnetostratigraphy, Big Bend, Texas: Louisiana State University Occasional Papers of the Museum of Natural Science 77, 1–16. doi:10.31390/opmns.077.
- Sankey, J.T., Standhardt, B.R., Schiebout, J.A., 2005, Theropod teeth from the Upper Cretaceous (Campanian-Maastrichtian), Big Bend National Park, Texas, in Carpenter, K. (ed.), The Carnivorous Dinosaurs: Bloomington, Indiana University Press, 127–152.
- Schiebout, J.A., 1989, The Paleocene Rocks of Tornillo flat, Big Bend National Park Texas: Evolving Views, in Busbey, A.B., Lehman, T.M. (eds.), Vertebrate Paleontology, Biostratigraphy and Depositional Environments, Latest Cretaceous and Tertiary, Big Bend Area, Texas, Society of Vertebrate Paleontology Field Trip Guidebook Number 1, 61–66.
- Seeley, H.G., 1888, The classification of the Dinosauria: Report of the British Association for the Advances of Sciences 1887, 698–699.
- Sullivan, R.A., Lucas, S.G., 2000, *Alamosaurus* (Dinosauria: Sauropoda) from the Late Campanian of New Mexico and its significance: Journal of Vertebrate Paleontology 20(2), 400–403. doi:10.1671/0272-4634(2000)020[0400:ADSFTL]2.0.CO;2.
- Vickaryous, M.K., Maryńska, T., Weishampel, D.B., 2004, Ankylosauria, in Weishampel, D.B., Dodson, P., Osmólska, H. (eds.), The Dinosauria Second Edition: Berkeley, University of California Press, 363–392. doi:10.1525/9780520941434-023.
- Weishampel, D.B., Barrett, P.M., Coria, R.A., Le Loeuff, J., Xing, X., Xijin, Z., Sahni, A., Gomani, E.M.P., Noto, C.R., 2004, Dinosaur Distribution, in Weishampel, D.B., Dodson, P., Osmólska, H. (eds.), The Dinosauria Second Edition: Berkeley, University of California Press, 517–606. doi:10.1525/9780520941434-030.
- Wilson, J.A., Upchurch, P., 2003, A revision of *Titanosaurus* Lydekker (Dinosauria: Sauropoda), the first dinosaur genus with a “Gondwanan” distribution: Journal of Systematic Palaeontology 1, 125–160. doi: 10.1017/S1477201903001044.
- Wolfeben, J.A., 1968, Statistical biostratigraphic correlation and Senonian stratigraphy in west Texas and northeastern Chihuahua, Mexico: Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies 18, 166–173.

Datos bioestratigráficos preliminares sobre los foraminíferos planctónicos de la Formación Miahuatpec, Estado de Puebla, México: implicaciones cronoestratigráficas

Preliminary biostratigraphic data on the planktonic foraminifera from the Miahuatpec Formation, Puebla State, Mexico: chronostratigraphic implications

López-Alpízar, Lucero ^a , Salazar-Martínez, Nadia Elizabeth ^b, González-León, Oscar ^{c,*} 

^a Sur #136. Colonia América. Delegación Miguel Hidalgo, 11820, CDMX.

^b Instituto Mexicano del Petróleo. Av. Periférica Norte, 67, San Agustín del Palmar, 24110 Cd. del Carmen, Campeche.

^c Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Tlalnepantla, Estado de México, 54070, México.

* oscar.gonzalez@unam.mx

Resumen

Este trabajo reporta de manera preliminar la presencia de 30 especies de foraminíferos planctónicos distribuidos en 14 géneros, provenientes de 68 láminas delgadas obtenidas de una secuencia estratigráfica de la Formación Miahuatpec. Los resultados del análisis cronoestratigráfico permiten asignar un intervalo de edad que va del Albiense superior al Cenomaniense superior. Con base en los fósiles índice y en las asociaciones observadas, se infieren 3 biozonas y 2 subzonas que se presentan a lo largo de la sección estratigráfica estudiada.

Palabras clave: Bioestratigrafía, Cronoestratigrafía, Foraminíferos planctónicos, Formación Miahuatpec, Cretácico, México.

Abstract

This work preliminary reports the presence of 30 species of planktonic foraminifera distributed in 14 genera, from 68 thin sections obtained from a stratigraphic sequence of the Miahuatpec Formation. The results of the chronostratigraphic analysis allow us to assign an age interval that goes from the upper Albian to the upper Cenomanian. Based on the index fossils and the observed associations, three biozones and two subzones are inferred that occur throughout the stratigraphic section studied.

Keywords: Biostratigraphy, Chronostratigraphy, Planktonic foraminifera, Miahuatpec Formation, Cretaceous, Mexico.

1. Introducción

La posición paleogeográfica de México durante el Cretácico permitió que grandes extensiones de territorio estuvieran cubiertas por aguas marinas (Figura 1A), lo que propició un volumen enorme de sedimentos calcáreos, con abundantes transgresiones y regresiones que establecieron grandes plataformas carbonatadas (Wilson, 1975).

Existen vestigios de algunas de estas plataformas en las rocas que afloran en la parte central de México. Una de estas plataformas carbonatadas se corresponde con la Formación Miahuatpec que, junto con otras formaciones como Zapotitlán y San Juan Raya, conforman el relleno sedimentario de la Cuenca de Zapotitlán definida por Calderón (1956). En la Fm. Miahuatpec es común encontrar afloramientos de rocas carbonatadas asociados a ambientes marinos del Cretácico. Sin embargo, los registros sobre la presencia de foraminíferos planctónicos en rocas calizas son escasos. Basta nombrar los trabajos realizados por Velasco y Lucero (1996), Hernández-Rodríguez (1998) y Estrada (2013). El primero menciona

la presencia de foraminíferos planctónicos probablemente de edad Aptiense-Albiense, el segundo restringe su edad solamente al Albiense y el último analiza su abundancia relativa, sin asignar ninguna edad. De este modo, existe gran controversia sobre la edad de la Fm. Miahuatpec,

pero también en su nomenclatura, ya que Pano (1973) la consideró como equivalente a la Fm. Tamaulipas Superior de edad Aptiense–Cenomaniense. No obstante, una de las interpretaciones más aceptada es asignar la Fm. Miahuatpec al Aptiense, considerándola como

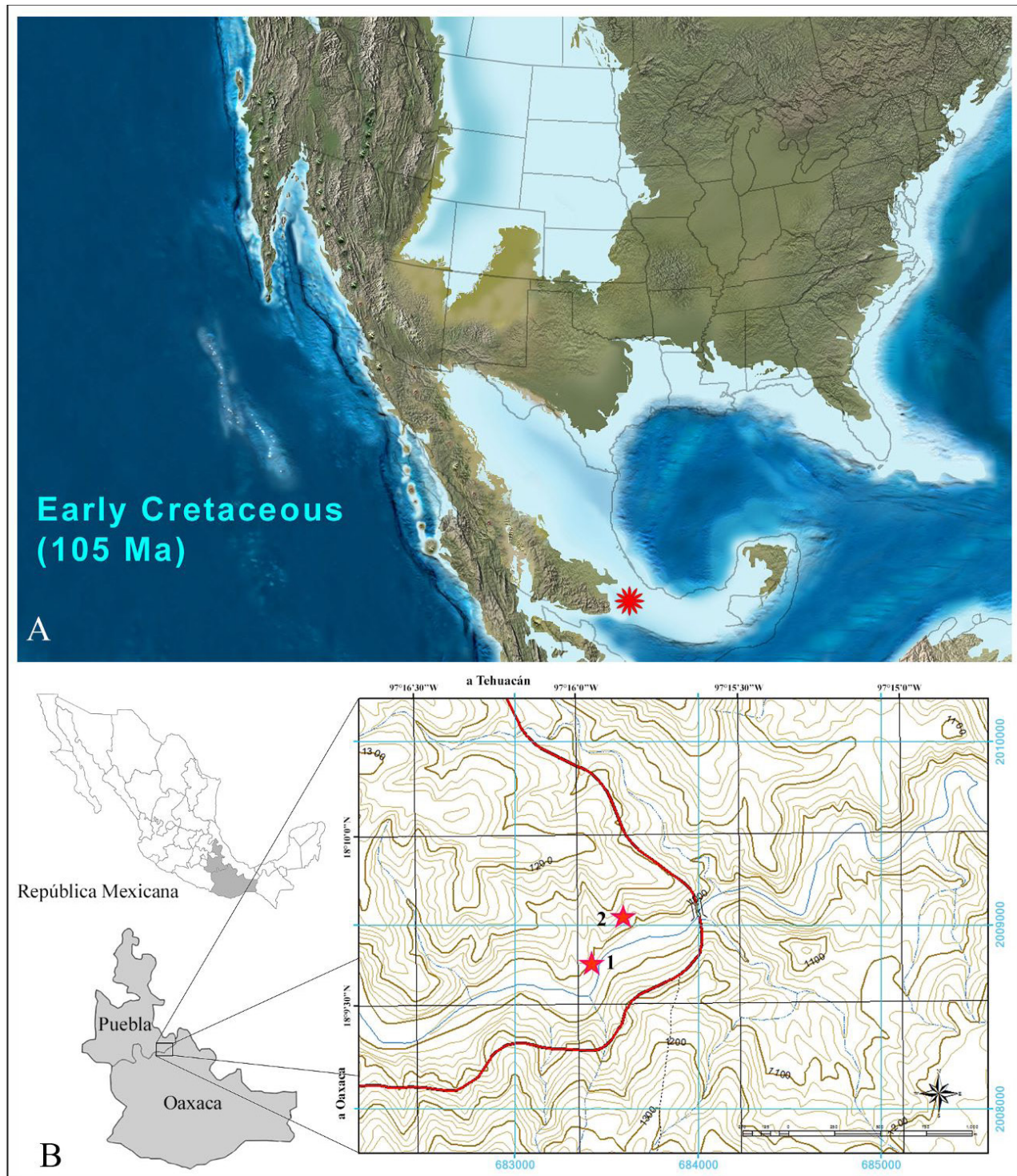


Figura 1. A: Mapa paleogeográfico que muestra la posición de México durante el Cretácico (Albiense–Cenomaniense). Imagen cortesía de Ron Blakey. La estrella roja indica la posición aproximada del afloramiento. B: Localización geográfica del área de estudio, situada entre los estados de Puebla y Oaxaca. Los puntos 1 y 2 corresponden, respectivamente, a la base y al techo de la sección estratigráfica. Modificado de INEGI, 2001.

un cambio lateral de facies de la Fm. San Juan Raya (Mendoza-Rosales, 2010). Longoria (1977) sugirió que el estudio de la microfauna planctónica en las secuencias cretácicas mexicanas representa una herramienta clave para establecer correlaciones regionales, debido a que la presencia de foraminíferos fosilizados en depósitos marinos es recurrente.

La presente contribución incluye datos bioestratigráficos preliminares sobre las asociaciones de foraminíferos planctónicos fósiles presentes en rocas de una sección estratigráfica medida y nombrada en este trabajo como “Puente Calapa” (López-Alpizar, 2020). Los materiales de esta sección pertenecen a la Formación Miahuatepec y se encuentran en el límite estatal entre Puebla y Oaxaca. El objetivo de este trabajo es aportar información cronoestratigráfica sobre esta controvertida unidad litoestratigráfica.

2. Material y métodos

Las muestras fueron tomadas en intervalos de 2 metros a lo largo de la secuencia estratigráfica con excepción de las zonas con tapados. Se obtuvieron 49 muestras de roca con las cuales se elaboraron 68 secciones delgadas en el Laboratorio de Paleobotánica del Instituto de Geología, UNAM. La observación y el registro fotográfico se realizaron en el Laboratorio de Microscopía Óptica y Fotografía Digital de la FES Iztacala, UNAM. Las determinaciones taxonómicas se basaron en criterios morfológicos y asociaciones observadas. Las edades correspondientes a las especies índice y a las asociaciones encontradas se obtuvieron empleando los trabajos de Caron (1985), Sliter (1994, 1999) y el sitio web de Young *et al.* (2017). Las biozonas propuestas se establecieron siguiendo a Sliter (1999). Adicionalmente, se consultaron los trabajos de Nederbragt *et al.* (2001), Bellier y Moullade (2002), Petrizzo y Huber (2006), Ando y Huber (2007), González-Donoso *et al.* (2007), Amédro (2008), Robaszynski *et al.* (2008), Petrizzo *et al.* (2015) y Petrizzo y Gilardoni (2020), relacionados con el intervalo temporal propuesto en este trabajo. Las secciones delgadas se encuentran resguardadas en el Anexo del Laboratorio de Ciencias de la Tierra, Paleontología y Biología Evolutiva de la FES Iztacala.

3. Marco geológico

En el sur de Puebla, el Cretácico Inferior está representado principalmente por rocas calizas y por secuencias de lutita y arenisca; además, también hay conglomerados y otros cuerpos menores de limolita-arenisca e incluso andesitas (INEGI, 2000). Entre las unidades constituidas fundamentalmente por calizas se encuentra la Fm. Miahuatepec que aflora en las sierras de Miahuatepec

y Atzingo, al oriente de Zapotitlán Salinas. Su edad es aún incierta, ya que algunos autores la consideran del Aptiense-Cenomaniense (125–93.9 Ma), mientras que otros la asignan al Albiense (113–100.5 Ma), (Mendoza-Rosales, 2010).

Velasco y Lucero (1996) estudiaron una localidad de la Fm. Matzitzi (Pérmico) en el río Calapa y señalan que al oriente presenta relaciones por falla, cabalgando a dos secuencias carbonatadas del Mesozoico. Dichas secuencias pertenecen a la Fm. Miahuatepec y una de ellas es de especial importancia para este trabajo ya que en ella se encuentra la localidad estudiada. Esta unidad de rocas sedimentarias está constituida por calizas de estratificación delgada a mediana con intercalaciones de lentes decimétricos de pedernal, rico en radiolarios y foraminíferos, además de escasos horizontes de lutitas. Mendoza-Rosales (2010) menciona que las calizas presentan variaciones entre wackestone, packestone y grainstone con bioclastos (calciesferas, foraminíferos bentónicos, calpionélidos, moluscos, briozoarios, gasterópodos y espículas de esponja), intraclastos con radiolarios, pellets y granos de cuarzo.

El área de estudio se encuentra al suroeste del Puente Calapa, en el Km (83+530) de la Carretera Federal No. 135, en el límite estatal entre Puebla y Oaxaca, en la orilla norte del río Calapa dentro de la Fm. Miahuatepec (Figura 2). La secuencia estratigráfica estudiada cuenta con un espesor aproximado de 115.5 m y tiene de coordenadas 18°09'35.8" N, 97°15'57.4" W en su parte basal y 18°09'46.2" N, 97°15'50.9" W para el techo (Figura 1B). Su composición litológica es altamente monótona, presentando principalmente intercalaciones de calizas con lentes de pedernal de espesor variable, pero también calizas masivas y nódulos de pedernal en la base y escasos horizontes de lutita hacia la cima (Figura 3).

4. Resultados

La abundancia relativa de los foraminíferos no es constante a lo largo de toda la sección. Esto es debido a que hay láminas con abundante fauna planctónica y otras donde escasean o incluso están ausentes. Su estado de preservación varía de pobre a moderado, ya que las conchas de muchos de los taxones observados sufrieron recristalización por procesos diagenéticos, lo cual impidió en algunos casos, una determinación taxonómica precisa. Cabe señalar que el uso de secciones delgadas puede acarrear un sesgo en las determinaciones taxonómicas y por tanto en la asignación de edad, debido a que los cortes de las testas no dejan expuestos todos los caracteres necesarios para una identificación total.

Se determinaron 30 especies de foraminíferos planctónicos distribuidos en 14 géneros (Figura 3), también se encontró una muestra en el metro 28.5 con alto contenido de foraminíferos bentónicos, los cuales fueron determinados a nivel de suborden: Miliolina, Textulariina y Fusulinina (ver López-Alpizar, 2020).

Los géneros predominantes del metro 0 al 67.5 son *Globigerinelloides* (Cushman y Ten Dam, 1948), *Rotalipora* (Brotzen, 1942) y *Ticinella* (Reichel, 1950) mientras que a partir del metro 69.5 los géneros representativos son *Praeglobotruncana* (Bermúdez, 1952), *Thalmanninella* (Sigal, 1948) y *Whiteinella* (Pessagno, 1967).

5. Discusión

El análisis taxonómico, crono y bioestratigráfico de los foraminíferos planctónicos en la secuencia estratigráfica “Puente Calapa” permitió establecer un intervalo que abarca desde el Albiense superior al Cenomaniense superior (102.1–93.5 Ma). Este rango difiere con lo reportado por Calderón (1956), Barceló-Duarte (1978) y Buitrón-Sánchez y Barceló-Duarte (1980), quienes sugieren una edad del Aptiense para la Formación Miahuatepec, y consideran que es correlacionable con la Formación San Juan Raya.

Calderón (1956) considera que, por correlación estratigráfica, la edad de la Fm. Miahuatepec pertenece al Albiense inferior. Mientras que en el estudio paleobotánico de Velasco y Lucero (1996) en la Fm. Matzitz, se reporta una posible edad Aptiense–Albiense para los foraminíferos encontrados en una de las unidades de rocas calizas que se encuentra en contacto litológico con la formación antes mencionada y que aflora en los márgenes del río Calapa. Los resultados cronoestratigráficos del presente trabajo únicamente confirman la presencia del Albiense Tardío.

Hernández-Rodríguez (1998) consideró los materiales que afloran en las localidades de Calapa y Miahuatepec como parte de la Formación Tamaulipas Superior y les asignó una edad del Albiense inferior. En la localidad que nombró como Calapa, lo fundamenta por la presencia de las especies: *Ticinella bejaouaensis*? (Sigal, 1966) y *Pseudothalmanninella ticinensis* (Gandolfi, 1942) mientras que en la localidad que nombró Miahuatepec, lo hace

por la aparición de *Favusella scitula*? (Michael, 1973) y *Pseudothalmanninella ticinensis*. En cambio, el presente trabajo considera que para la parte baja de la secuencia con base en la presencia de las asociaciones y algunos fósiles índice encontrados, se sugiere una edad perteneciente al Albiense superior para el intervalo que comprende los metros 0–67.5, por la presencia de *Biticinella breggiensis* (Gandolfi, 1942), *Microhedbergella rischi* (Moullade, 1974), *Planomalina* cf. *praebuxtorfi* (Wonders, 1975), *Rotalipora praeappenninica* (Sigal, 1952), *Ticinella madecassiana* (Sigal, 1966) y *T. primula* (Luterbacher, en Renz et al., 1963), asociadas a foraminíferos como *Protoheterohelix* cf. *obscura* (Georgescu y Huber, 2009) y *Thalmanninella appenninica* (Renz, 1936), (Figura 4).

Es probable que por debajo del metro 69.5 exista una discordancia que no pudo ser reconocida en campo, lo anterior se infiere ya que las primeras apariciones y *Thalmanninella globotruncanoides* (Sigal, 1948) y *Th. greenhornensis* (Morrow, 1934) no se registraron previamente a la primera aparición de *Rotalipora cushmani* (Petrizzo y Gilardoni, 2020). Sin embargo, el cambio de edad al Cenomaniense superior se infirió a partir del metro 69.5 con la presencia de *R. cushmani*, donde se encontró acompañada de *Th. globotruncanoides* y la posterior aparición de *Th. greenhornensis* metros arriba. Además de que en los metros superiores se observó la aparición de *Praeglobotruncana algeriana* (Caron, 1966) y *Th. brotzeni* (Sigal, 1948) aunada a la diversificación de los géneros *Rotalipora*, *Thalmanninella* (Sigal, 1948) y *Whiteinella* (Pessagno, 1967). Esta edad es afín a la reportada por Pano (1973), (Figura 5).

La biozonación preliminar que se obtuvo para la secuencia estudiada sugiere del metro 0–5 la presencia de la Zona *Ticinella primula*, inferida por la ocurrencia de la especie *Biticinella breggiensis* en la base, junto con las especies *T. primula* y *Globigerinelloides bentonensis*. El intervalo que va del metro 7 al 30 no contiene fauna

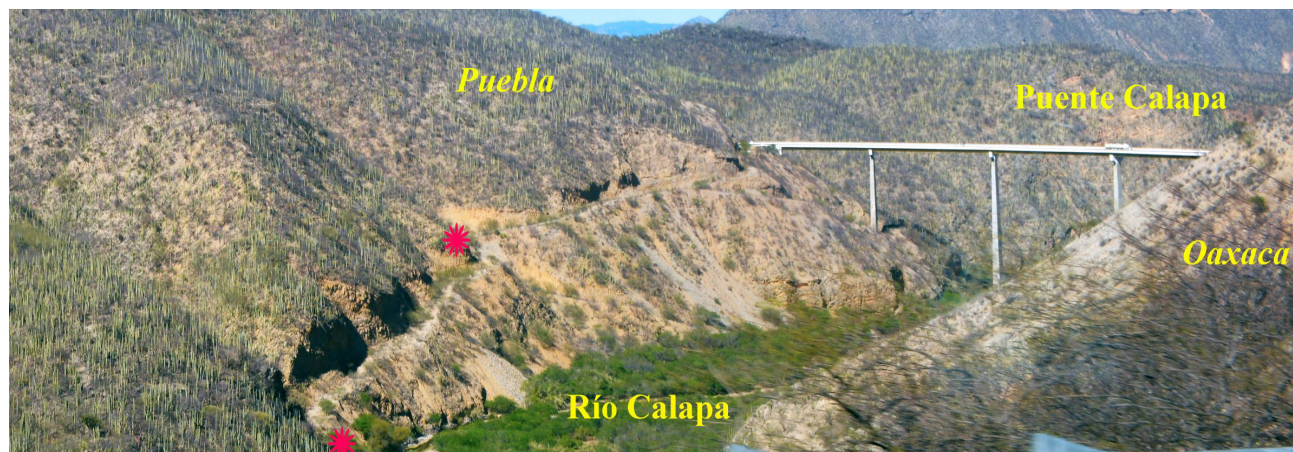
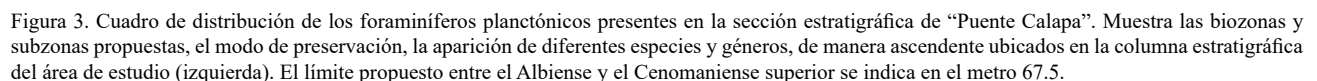


Figura 2. Fotografía panorámica que muestra la sucesión de rocas (entre las dos estrellas rojas) que fueron muestreadas en la sección “Puente Calapa” (Fotografía del autor).

De las 30 especies confirmadas en la secuencia sedimentaria estudiada, 6 fueron identificadas previamente por Estrada (2013), 2 por Hernández-Rodríguez (1998) y



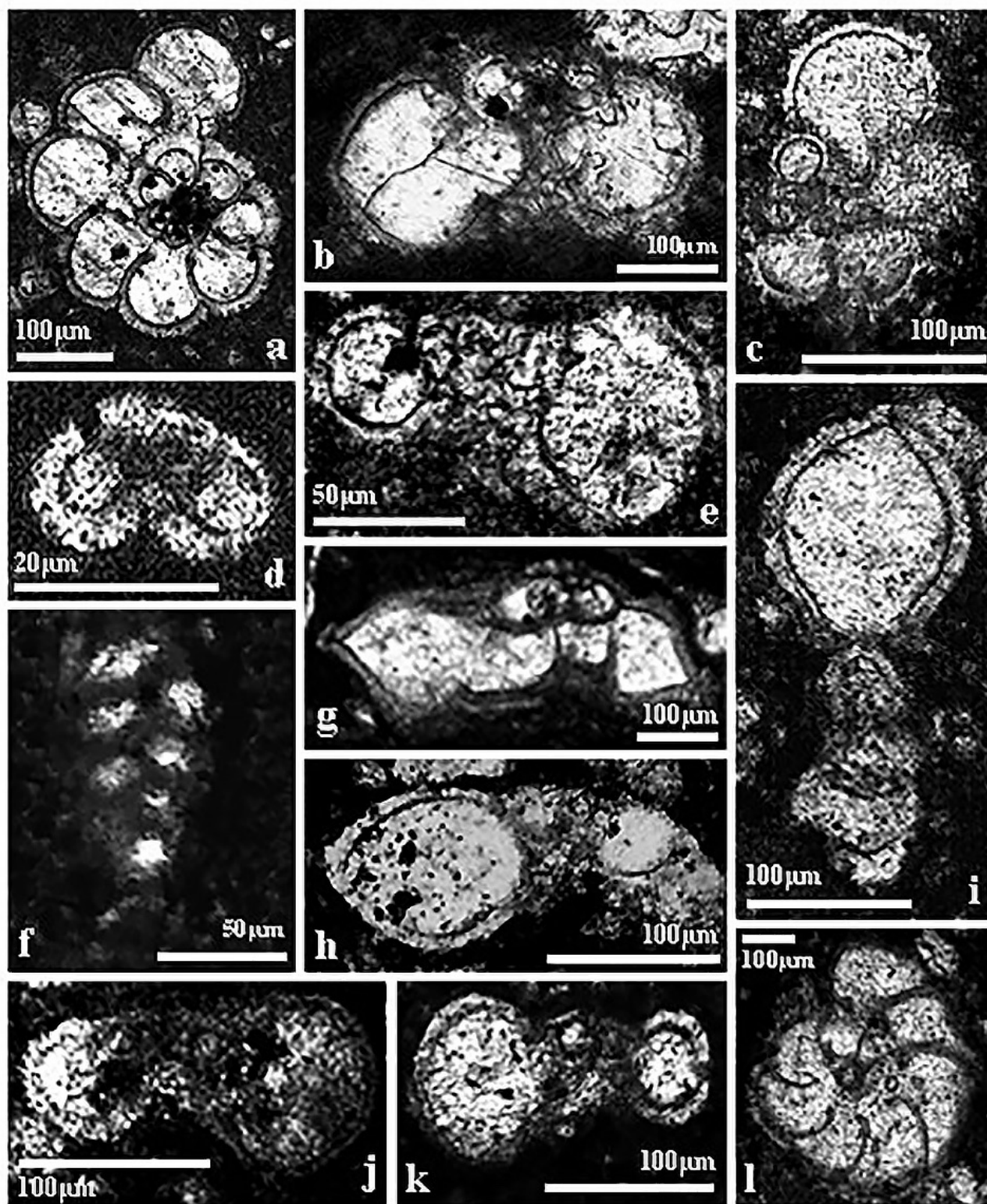


Figura 4. Foraminíferos planctónicos de la Formación Miahuatepec, intervalo 0–67.5 m. a. *Biticinella breggiensis* (Gandolfi, 1942), corte ecuatorial. Lám. 2, 2 m. b–c. *Favusella washitensis* (Carsey, 1926), corte axial y ecuatorial, Lám. 5 y 1. 16 y 0 m., respectivamente. d. *Muricohedbergella delrioensis* (Carsey, 1926), corte axial. Lám. 7, 18.5 m. e. *Microhedbergella rischi* (Moullade, 1974), corte axial. Lám. 22, 53.5 m. f. *Protoheterohelix* cf. *obscura* (Georgescu y Huber, 2009), corte lateral. Lám. 1, 0 m. g. *Thalmanninella appenninica* (Renz, 1936), corte axial. Lám. 8, 19.5 m. h. *Rotalipora praeappenninica* (Sigal, 1952), corte axial. Lám. 1, 0 m. i. *Planomalina* cf. *praebuxtorfi* (Wonders, 1975), corte axial. Lám. 1, 0 m. j. *Ticinella madecassiana* (Sigal, 1966), corte axial. Lám. 1, 0 m. k. *Ticinella primula* (Luterbacher, en Renz et al., 1963), corte axial. Lám. 1, 0 m. l. *Planomalina* sp. (Loeblich y Tappan, 1946), corte ecuatorial. Lám. 25, 59.5 m.

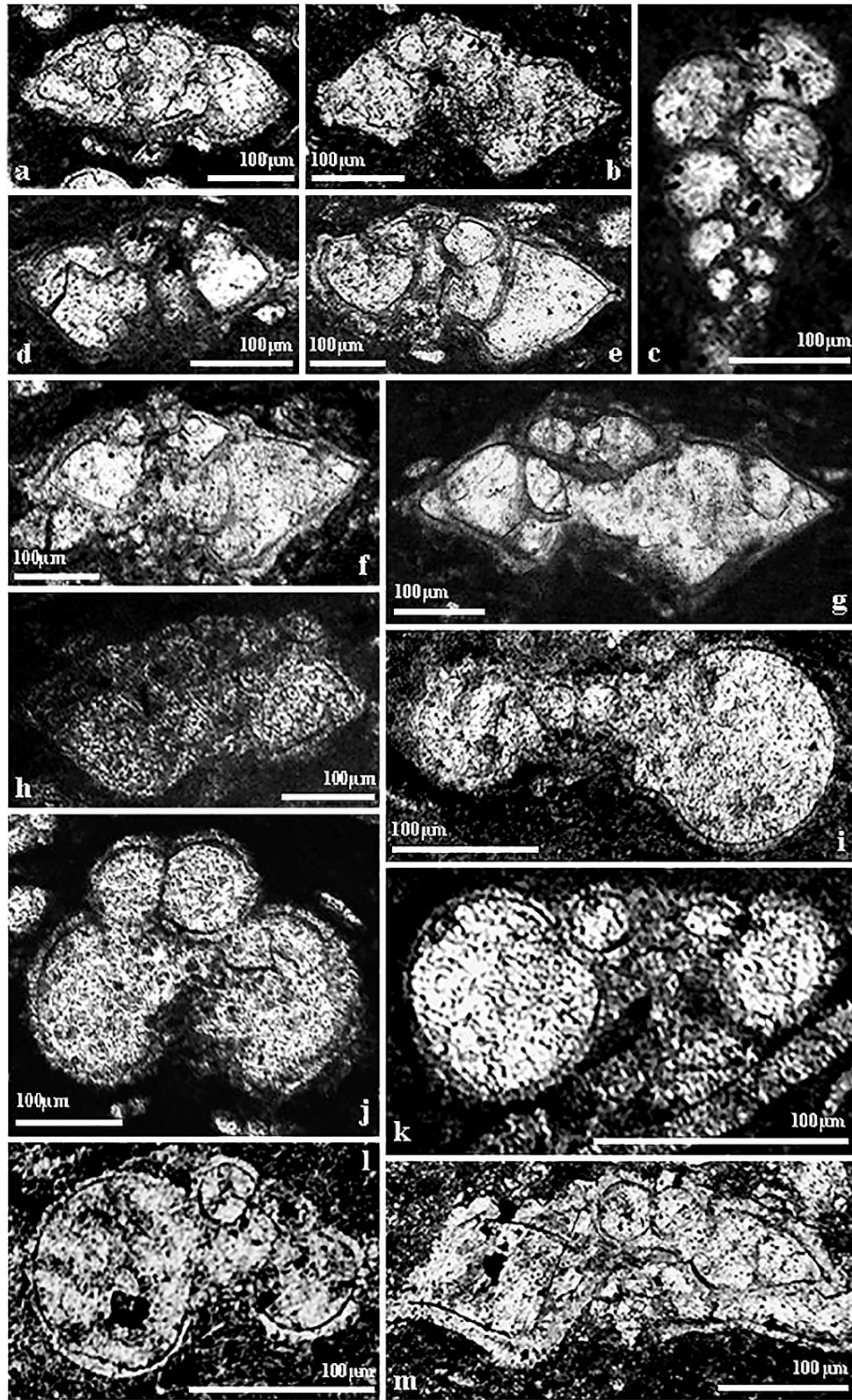


Figura 5. Foraminíferos planctónicos de la Formación Miahuatpec, intervalo 69.5–115m. a. *Praeglobotruncana algeriana* (Caron, 1966), corte axial. Lám. 33, 75.5 m. b. *Rotalipora cushmani* (Morrow, 1934), corte axial. Lám. 30, 69.5 m. c. *Heterohelix moremani* (Cushman, 1938), corte lateral. Lám. 37, 83.5 m. d. *Thalmanninella brotzeni* (Sigal, 1948), corte axial. Lám. 41, 94.5m. e. *Rotalipora* sp. (Brotzen, 1942), corte axial. Lám. 38, 85.5 m. f. *Thalmanninella globotruncanoides* (Sigal, 1948), corte axial. Lám. 30, 69.5 m. g. *Thalmanninella* sp. (Brotzen, 1942), corte axial. Lám. 37, 83.5 m. h. *Rotalipora* cf. *montsalvensis* (Mornod, 1950), corte axial. Lám. 49, 115.5 m. i. *Whiteinella aprica* (Loeblich y Tappan, 1961), corte axial. Lám. 41, 94.5 m. j. *Whiteinella paradubia* (Sigal, 1952), corte axial. Lám. 41, 94.5 m. k. *Whiteinella baltica* (Douglas y Rankin, 1969), corte axial. Lám. 42, 96.5 m. l. *Whiteinella brittonensis* (Loeblich y Tappan, 1961), corte axial. Lám. 37, 83.5 m. m. *Rotalipora* sp. (Brotzen, 1942), corte axial. Lám. 41, 94.5 m..

1 por ambos autores. Por lo tanto, en los materiales de esta sección se reportan por primera vez las especies: *Biticinella breggiensis*, *Clavhedbergella simplex* (Morrow, 1934), *Favusella washitensis*, *Globigerinelloides ultramicrus* (Subbotina, 1949), *Microhedbergella rischi*, *Planomalina* cf. *praebuxtorfi*, *Praeglobotruncana algeriana*, *P. stephani* (Gandolfi, 1942), *Protoheterohelix* cf. *obscura*, *Rotalipora cushmani*, *R. cf. montsalvensis*, *R. praeappenninica*, *Thalmaninella gandolfii* (Luterbacher y Premoli-Silva, 1962), *Th. globotruncanoides*, *Th. greenhornensis*, *Th. micheli* (Sacal y Debourle, 1957), *Ticinella madecassiana*, *T. primula*, *Whiteinella baltica*, *W. brittonensis* y *W. paradubia*. La identificación de estas especies aporta nueva información sobre la diversidad de foraminíferos planctónicos en una parte de la Fm. Miahuatepec, además, esta asociación permite datarla como Albiense superior-Cenomaniense superior.

Según las edades obtenidas, la Fm. Miahuatepec se superpone a la Fm. San Juan Raya (tradicionalmente considerada de edad Aptiense), por lo que podría corresponder al equivalente lateral de facies de la Fm. Cipiapa (Albiense inferior). Esta asignación de edad, basada en el contenido de foraminíferos planctónicos, aporta información adicional a la ya conocida para la Fm. Miahuatepec y para la estratigrafía de la Cuenca de Zapotitlán. Para continuar precisando la arquitectura estratigráfica de la región se pretenden estudiar en detalle nuevas secciones estratigráficas que permitan confirmar o incluso precisar la edad de esta formación, así como la edad de las unidades litoestratigráficas situadas por debajo y por encima de esta, en la región de “Puente Calapa”.

6. Conclusiones

Se reporta por primera vez la presencia de las especies: *Biticinella breggiensis*, *Clavhedbergella simplex*, *Favusella washitensis*, *Globigerinelloides ultramicrus*, *Microhedbergella rischi*, *Planomalina* cf. *praebuxtorfi*, *Praeglobotruncana algeriana*, *P. stephani*, *Protoheterohelix* cf. *obscura*, *Rotalipora cushmani*, *R. cf. montsalvensis*, *R. praeappenninica*, *Thalmaninella gandolfii*, *Th. globotruncanoides*, *Th. greenhornensis*, *Th. micheli*, *Ticinella madecassiana*, *T. primula*, *Whiteinella baltica*, *W. brittonensis* y *W. paradubia* para la zona de estudio. Las asociaciones de foraminíferos planctónicos y la presencia de fósiles índice permiten sugerir una edad del Albiense superior para el intervalo 0–67.5 m y asignar una edad correspondiente al Cenomaniense superior para los depósitos sedimentarios del metro 69.5 al 115.5. Se reconoce de manera preliminar la presencia de las biozonas *Ticinella primula* y *Rotalipora appenninica* para el Albiense superior y la zona *Rotalipora cushmani* para el Cenomaniense

superior, donde se establecen las dos subzonas *Rotalipora greenhornensis* y *Dicarinella algeriana*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Editor en jefe de la revista Paleontología Mexicana Dr. Josep Anton Moreno Bedmar por su disposición, apoyo en general y excelentes observaciones. Igualmente, agradecemos a la Mtra. Sandra Ramos Amézquita por el apoyo editorial recibido para la publicación de este trabajo. A los revisores anónimos por sus invaluable sugerencias que, sin duda, enriquecen el contenido de nuestro trabajo. A la M. en C. María del Pilar Villeda Callejas, M. en C. Guadalupe Eugenia Daleth Guedea Fernández y Biol. Osvaldo Cervantes Zamudio del Laboratorio de Microscopía Óptica y Fotografía Digital de la FES Iztacala, por facilitar el uso de las instalaciones y por el apoyo brindado. Al Lic. Enoch Ortiz Montejó por su ayuda en la elaboración de las láminas delgadas. A la M. en C. Nicté Andrea Gutiérrez Puente y Biol. Mayoli del Carmen Hernández Olán por su valioso apoyo en la revisión y validación las determinaciones taxonómicas.

References

- Amédéo, F., 2008, Support for a Vraconnian Stage between the Albian *sensu stricto* and the Cenomanian (Cretaceous System): Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Memoir 2008/02 (CG2008_M02), 83 pp. DOI: 10.4267/2042/17063
- Ando, A., Huber, B.T., 2007, Taxonomic revision of the late Cenomanian planktonic foraminifera *Rotalipora greenhornensis* (Morrow, 1934): Journal of Foraminiferal Research, 37 (2), 160–174. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsjfr.37.2.160>
- Barceló-Duarte, J., 1978, Estratigrafía y petrografía del área de Tehuacán San Juan Raya, Edo. de Puebla: México, Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis de Licenciatura, 103 pp.
- Bellier, J.-P., Moullade, M., 2002, Lower Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy of the western North Atlantic (ODP Leg 171B), and taxonomic classification of key index species: Revue de Micropaléontologie, 45, 9–26. DOI:10.1016/S0035-1598(02)80003-4
- Bermúdez, P.J., 1952, Estudio sistemático de los Foraminíferos rotaliformes: Venezuela, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Boletín de Geología, 2(4), 1–230.
- Brotzen, F., 1942, Die Foraminiferengattung *Gavellinella*, nov. gen. und die systematik der Rotaliiformes: Sveriges Geologiska Undersökning, 36, 5–61.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Barceló-Duarte, J., 1980, Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya, Puebla: Revista del Instituto de Geología, 4(1), 46–55.
- Calderón, G.A., 1956, Bosquejo Geológico de la Región de San Juan Raya, Puebla. En XX Congreso Geológico Internacional, México, Guía Excursión A–II. 19 p.
- Caron, M., 1966, Globotruncanidae du Cretace superieur du synclinal de la Gruyere (Prealpes medianes, Suisse): Revue de Micropaléontologie, 9(2), 68–93.

- Caron, M., 1985, Cretaceous Planktic Foraminifera. *En*: Bolli, H.M., Saunders, J.B. & Perch N.K. (eds.), *Plankton Stratigraphy*: Cambridge, Cambridge University Press, 17–86.
- Carsey, D.O., 1926, Foraminifera of the Cretaceous of central Texas: *University of Texas Bulletin*, 2612, 1–56.
- Cushman, J.A., 1938, Cretaceous species of *Guembelina* and related genera: *Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research*, 14, 2–28.
- Cushman, J.A., Ten Dam, A., 1948, *Globigerinelloides*, a new genus of the Globigerinidae: *Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research*, 24(2), 42–43.
- Douglas, R.G., Rankin, C., 1969, Cretaceous planktonic foraminifera from Bornholm and their zoogeographic significance: *Lethaia*, 2, 185–217. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1969.tb01848.x>
- Estrada, S.A., 2013, Abundancia relativa de foraminíferos fósiles de Puente Calapa, límite estatal entre Puebla y Oaxaca: México, Edo. de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM, Tesis de licenciatura, 43 pp.
- Gandolfi, R., 1942, Ricerche micropaleontologiche e stratigraphiche sulla Scaglia e sul flysch Cretacici dei Dintorni di Balerna (Canton Ticino): *Rivista Italiana Paleontologia*, 48, 1–160.
- Georgescu, M.D., Huber, B.T., 2009, Early evolution of the Cretaceous serial planktic foraminifera (late Albian–Cenomanian): *Journal of Foraminiferal Research*, 39, 335–360. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsjfr.39.4.335>
- González-Donoso, M., Linares, D., Robaszynski, F., 2007, The rotaliporids, a polyphyletic group of Albian–Cenomanian planktonic foraminifera: emendation of genera: *Journal of Foraminiferal Research*, 37, 175–186. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsjfr.37.2.175>
- Hernández-Rodríguez, G., 1998, Microfacies pedernalosas, su diagénesis y paleoambientales de la Fm. Tamaulipas Superior en la región de Tehuacán, Estado de Puebla: México, Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis de licenciatura, 78 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2000, Síntesis geográfica del Estado de Puebla: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 45–47 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2001, Carta topográfica de Teotitlán de Flores Magón, E14B86. Escala 1:50,000: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Longoria, J.F., 1977, El límite Cretácico Inferior–Cretácico Superior en México basado en los foraminíferos planctónicos: *Revista del Instituto de Geología*, 1(1), 5–9.
- Loeblich, A.R., Tappan, H., 1946, New Washita Foraminifera: *Journal of Paleontology*, 20, 238–258.
- Loeblich, A.R., Tappan, H., 1961, Cretaceous planktonic foraminifera: Part I Cenomanian: *Micropaleontology*, 7, 257–304. DOI: <https://doi.org/10.2307/1484364>
- López-Alpizar, L., 2020, Análisis taxonómico y cronoestratigráfico de los foraminíferos fósiles presentes en una sección de la Formación Miahuatpec (Cretácico Inferior) en el Estado de Puebla: Tlalnepantla, Estado de México, FES Iztacala, UNAM, Tesis de Licenciatura, 105 pp.
- Luterbacher, H., Premoli-Silva, I., 1962, Note préliminaire sur une révision du profil de Gubbio, Italie: *Rivista italiana di Paleontologia*, 68(2), 253–288.
- Mendoza-Rosales, C.C., 2010, Estratigrafía y facies de las cuencas Cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico: México, Distrito Federal, Programa de Posgrado, UNAM, Tesis doctoral, 192 pp.
- Michael, F.Y., 1973, Planktonic foraminifera from the Comanchean Series (Cretaceous) of Texas: *Journal of Foraminiferal Research*, 2 (1972) (4), 200–220. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsjfr.2.4.200>
- Mornod, L., 1950, Les Globorotalides du Cretace Supérieur du Montsalvens (Prealpes fribourgeoises): *Eclogae Geologicae Helveticae*, 42(2), 573–595.
- Morrow, A.L., 1934, Foraminifera and Ostracoda from the Upper Cretaceous of Kansas: *Journal of Paleontology*, 8, 186–205.
- Moullade, M., 1974, Zones de Foraminifères du Cretace Inferieur mesogéen: *Acad. Sci. Paris Comptes Rendus*, 278, 1813–1816.
- Nederbragt, A.J., Fiorentino, A., Klosowska, B., 2001, Quantitative analysis of calcareous microfossils across the Albian–Cenomanian boundary oceanic anoxic event at DSDP Site 547 (North Atlantic): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 166(3), 401–421. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00227-3](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00227-3)
- Pano, A.A., 1973, Estudio geológico de detalle estratigráfico de las áreas Sierra de Chivillas, Sierra de Miahuatpec, Los Reyes Metzontla, Pue. y San Sebastián Frontera, Oax. del Prospecto Tehuacán: IGPR 107 Petróleos Mexicanos (inédito).
- Pessagno, E.A., 1967, Upper Cretaceous planktonic foraminifera from the western Gulf Coastal Plain: *Palaeontographica Americana*, 5, 245–445.
- Petrizzo, M.R., Huber, B.T., 2006, Biostratigraphy and taxonomy of Late Albian planktonic foraminifera from ODP Leg 171B (western North Atlantic Ocean): *Journal of Foraminiferal Research*, 36, 165–189. DOI: <https://doi.org/10.2113/36.2.166>
- Petrizzo, M.R., Caron M., Premoli-Silva, I., 2015, Remarks on the identification of the Albian/Cenomanian boundary and taxonomic clarification of the planktonic foraminifera index species *globotruncanoides*, *brotzeni* and *tehamensis*: *Geological Magazine*, 152(3), 521–536. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756814000478>
- Petrizzo, M.R., Gilardoni S.E., 2020, Planktonic foraminiferal biostratigraphy of late Albian Cenomanian pelagic sequences from the Umbria-Marche basin (central Italy) and the Mazagan Plateau (Northeast Atlantic Ocean): *Rivista italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 126(3), 865–904. DOI: <https://doi.org/10.13130/2039-4942/14493>
- Reichel, M., 1950, Observations sur les *Globotruncana* du gisement de la Breggia (Tessin): *Eclogae Geologicae Helveticae*, 42, 596–617
- Renz, O., 1936, Stratigraphische und mikropaleontologische Untersuchung der Scaglia (Obere Kreide–Tertiär) im zentralen Apennin: *Eclogae Geologicae Helveticae*, 29(1), 1–149.
- Renz, O., Luterbacher, H., Schneider, A., 1963, Stratigraphisch–paleontologische Untersuchungen im Albien und Cenomanien des Neuenburger Jura: *Eclogae Geologicae Helveticae*, 56(2), 1073–1116.
- Robaszynski, F., Amédéo, F., González-Donoso, J. M., Linares, D., 2008, The Albian (Vraconnian)–Cenomanian boundary at the western Tethyan margins (central Tunisia and southeastern France): *Bulletin de la Société géologique de France*, 179(3), 245–266. DOI: <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.179.3.245>
- Sacal, V., Debourle, A., 1957, Foraminifères d'Aquitaine; 2e partie, Peneroplidae a Victoriellidae: *Mémoires de la Société Géologique de France*, 78, 1–88
- Sigal, J., 1948, Notes sur les genres de foraminifères *Rotalipora*, *Brotzen* 1942 et *Thalmanninella* Famille des Globorotaliidae: *Revue de l'Institut français du pétrole et Annales des combustibles liquides*, 3(4), 95–103.
- Sigal, J., 1952, Aperçu stratigraphique sur la micropaléontologie du Crétacé: Xxe Congrès Géologique International: *Monographies regionales*, 1ère Série, Algérie, 26, 3–43.
- Sigal, J., 1966, Contribution à une monographie des Rosalines. I. Le genre *Ticinella* Reichel, souche des Rotalipores: *Eclogae Geologicae Helveticae*, 59, 185–217.
- Sliter, W.V., 1994, Cretaceous Planktic Foraminifers examined in thin section: California, EE.UU, Geological Survey Menlo Park, Short Course Notes, 62 p.
- Sliter, W.V., 1999, Cretaceous planktic foraminiferal biostratigraphy of the Calera limestone, Northern California, USA: *Journal of Foraminiferal Research*, 29(4), 318–339.

- Subbotina, N.N., 1949, Microfauna from the Cretaceous of the southern slope of the Caucasus: VNIGRI, Microfauna of the oil fields of the USSR, 2(34), 5–36.
- Velasco, M., Lucero, M., 1996, Una nueva localidad de la Formación Matzitzi en el río Calapa, límite estatal de Oaxaca y Puebla, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 13(1), 123–127.
- Wilson, J.L., 1975, Carbonate facies in geologic history: Nueva York, Springer-Verlag, 471 pp.
- Wonders, A.A.H., 1975, Cretaceous planktonic foraminifera of the *Planomalina buxtoni* Group from El Burrueco, Southern Spain: Koninkl. Nederl. Akademie van Wetenschappen, Proceedings series B, 78(2), 83–93.
- Young, J.R., Wade, B.S., Huber B.T. (eds), 2017, pforams@mikrotax. Página web. 21 abril 2017. Disponible en <http://www.mikrotax.org/pforams>, consultado en enero del 2020.

New remains of *Notoemys tlaxiacoensis* from the Llano Yosobé, Sabinal Formation (Upper Jurassic, Kimmeridgian), Oaxaca, Mexico

Nuevos restos fósiles de Notoemys tlaxiacoensis de Llano Yosobé, Formación Sabinal (Jurásico Superior, Kimmeridgiano), Oaxaca, México

López-Conde, Oliver A. ^{a,b,*} , Alvarado-Ortega, Jesús^c 

^a Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la investigación s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, 04510, México.

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

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

* oliver_hockey@hotmail.com

Abstract

Platyheliidae includes two genera *Platyheliys* and *Notoemys* and their fossil record spans from the Upper Jurassic to the Lower Cretaceous. The only platyheliid described from Mexico is *Notoemys tlaxiacoensis* (Upper Jurassic, Kimmeridgian). A morphological study was carried out with a new shell fragment, collected in Llano Yosobé, Oaxaca, Mexico. The aim of this study is to present the anatomical similarities observed in the plates and scutes in this new material. Our observations suggest this new specimen represents the remains of *Notoemys tlaxiacoensis* based on the similar characteristics observed in the shape and contacts of the coastal plates and the vertebrals and pleurals scutes. The isolated shell fragment does not present any set of characters unique that indicates sexual or ontogenetic variability.

Keywords: Kimmeridgian, *Notoemys*, Platyheliidae, shell fragment, Upper Jurassic.

Resumen

Platyheliidae incluye dos géneros *Platyheliys* y *Notoemys* y su registro fósil se extiende desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior. El único *Platyheliidae* descrito en México es *Notoemys tlaxiacoensis* (Jurásico Superior, Kimmeridgiano). Se realizó un estudio morfológico con un nuevo fragmento de caparazón, colectado en Llano Yosobé, Oaxaca, México. El objetivo de este estudio es presentar las similitudes anatómicas observadas en las placas y escudos en este nuevo material. Nuestras observaciones sugieren que este nuevo espécimen representa los restos de *Notoemys tlaxiacoensis* basados en características similares observadas en las placas costales y los escudos vertebrales y pleurales. El fragmento de caparazón no presenta ningún conjunto de caracteres únicos que indiquen variabilidad sexual u ontogenética.

Palabras clave: Kimmeridgiano, *Notoemys*, *Platyheliidae*, fragmentos de caparazón, Jurásico Superior.

1. Introduction

Platyheliidae includes five species belonging to two genera: *Platyheliys* and *Notoemys* (de la Fuente and Iturralde-Vinent, 2001; Cadena and Gaffney, 2005). Platyheliids are known from Europe, South America, North America, and Caribbean Islands, and their fossil record spans from the Upper Jurassic to the Lower Cretaceous (Cadena and Joyce, 2015).

The first described member of the Platyheliidae was *Platyheliys oberndorferi* (Upper Jurassic, Kimmeridgian–Tithonian of Germany and Switzerland) (Wagner, 1853). The Argentinian *Notoemys laticentralis* was the first platyheliid to be found outside Europe (Upper Jurassic, Tithonian) (Cattoi and Freiberg, 1961). The Cuban *Notoemys oxfordiensis* is the oldest known platyheliid (Upper Jurassic, Oxfordian), this species represents also the first platyheliid found in the Caribbean Islands (de la Fuente and Iturralde-Vinent, 2001). The Colombian *Notoemys zapatoacaensis* is the only platyheliid known from the Lower Cretaceous (Valanginian) (Cadena and

Gaffney, 2005). Lately, the last member of platyheliid was described from Mexico, *Notoemys tlaxiacoensis* (Upper Jurassic, Kimmeridgian) (López-Conde *et al.*, 2017). All the above mentioned species form a monophyletic group within the stem Pleurodira, named Platyheliidae.

The Sabinal Formation is exposed in the areas of Tezoatlan, Huajuapán de León, Chalcatongo, Huamuxtitlán and Tlaxiaco, in the north-eastern part of the state of Oaxaca (Meneses-Rocha *et al.*, 1994). The locality of Llano Yosobé is a small outcrop of the Sabinal Formation (Upper Jurassic, Kimmeridgian), it comprises a sequence of marine bituminous shales. This site is important because it has the highest concentration and diversity of Jurassic marine vertebrates in Mexico (*e.g.* fishes, ichthyosaurs, plesiosaurs, marine crocodyliforms and turtles) (Barrientos-Lara *et al.*, 2015, 2016, 2018; Barrientos-Lara and Alvarado-Ortega, 2018; Alvarado-Ortega and Brito, 2016; López-Conde *et al.*, 2017). *Notoemys tlaxiacoensis* is the only known taxon turtle in the Upper Jurassic (Kimmeridgian) of Mexico (López-Conde *et al.*, 2017). The presence of Jurassic turtles in other Mexican localities is unknown, leaving the Llano

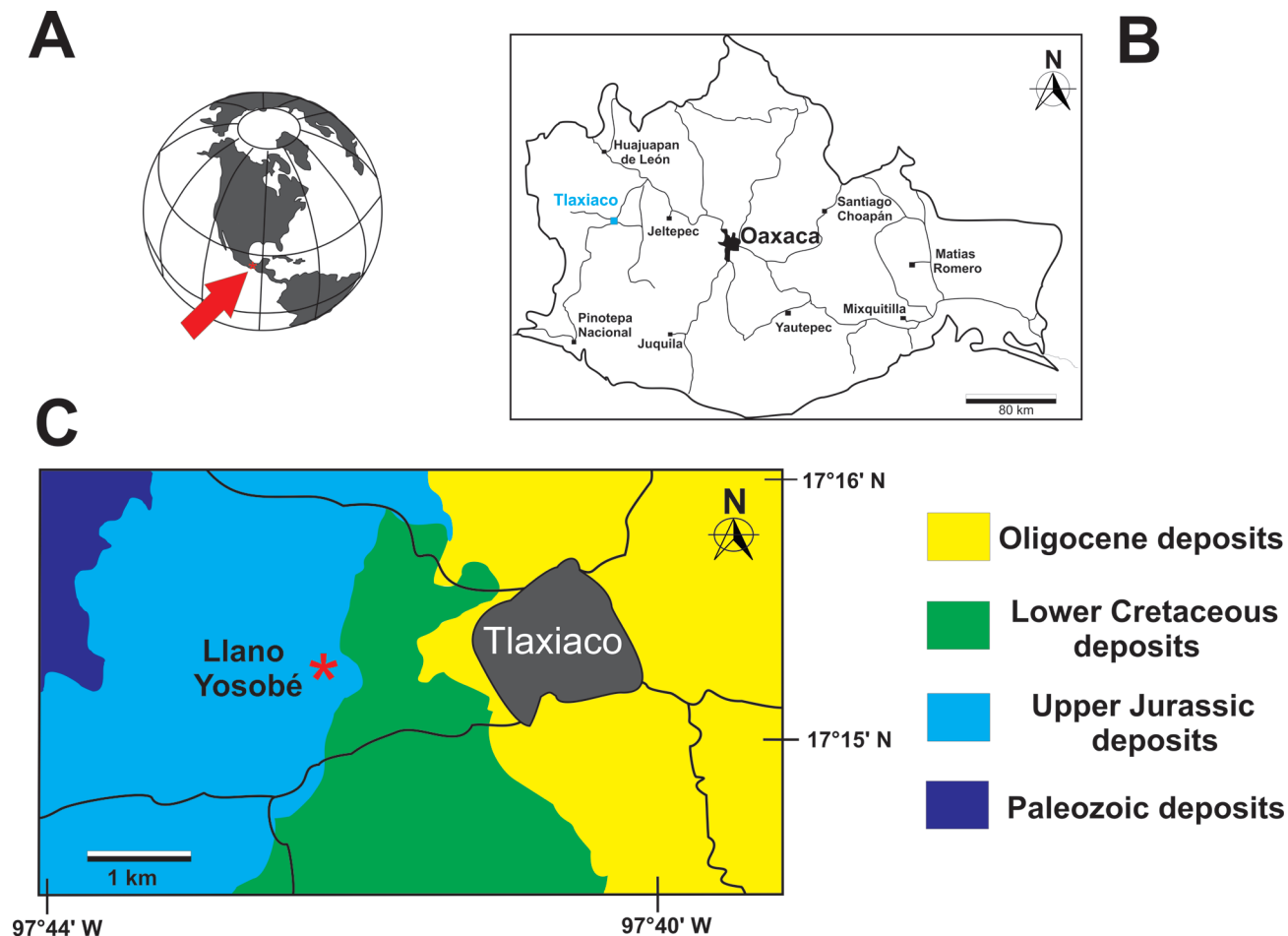


Figure 1. Map of the locality. A, general map of Mexico showing the state of Oaxaca; B, close up to the state of Oaxaca and location of Tlaxiaco municipality; C, Geological map of The Llano Yosobé. This map includes the surrounding area of this locality and deposit belonging to the Sabinal Formation (Modified from Servicio Geológico Mexicano, 2000).

Yosobé as the only Jurassic locality to continue to provide new materials. Herein, a new turtle remains from this locality is reported. It corresponds to an isolate partial shell that presents similar characteristics observed in *Notoemys tlaxiacoensis* (López-Conde *et al.*, 2017).

2. Geological setting

The fossiliferous outcrop of the Llano Yosobé (17°15'18"N – 97°42'04"W) is located 3.5 km southwest of Tlaxiaco downtown, in the Mixteca region of Oaxaca, southern Mexico (Figure 1). The fossiliferous sediments in the northern part of Yosobé are 60 m thick, at the base of which is a 30 – 40 cm thick marl layer containing trigonids, other bivalves, and ammonites (Alvarado-Ortega *et al.*, 2014; Barrientos-Lara *et al.*, 2015; Alvarado-Ortega and Brito, 2016). During the Jurassic, the Tlaxiaco Basin was active, receiving both continental and marine shelf sediments (Rueda-Gaxiola *et al.*, 2007). López-Ticha (1985) named the Sabinal Formation comprising a sequence of marine bituminous shales exposed along the north-eastern of Oaxaca State. Meneses-Rocha *et al.* (1994) described the Sabinal Formation as a sequence of mudstone and wackestone clay, marl and dark grey to black bituminous shale strata with abundant calcareous concretions and ammonites, arranged in thin laminar layers of 5, 10, and 20 cm. López-Ticha (1969) estimated the age of the Sabinal formation based on its ammonite assemblage. The fossils of Yosobé were collected primarily from shale. Some of the fossils are preserved within nodules and others occur at the contacts between shale layers. The different types of preservation suggest different diagenetic processes. All the fossils preserved in nodules, including ostracodes and wood, are three-dimensional but most of the vertebrates and invertebrates preserved between layers of shale are severely flattened and commonly carbonized. These observations suggest that the nodules were formed relatively quickly after burial. The nodules commonly contain complete invertebrate carcasses, a process that seems to have facilitated three-dimensional preservation (Alvarado-Ortega *et al.*, 2014).

Although the large vertebrates in Yosobé are commonly disarticulated, complete, or partially complete skeletons have been collected. The skeletal specimens are generally preserved by an incomplete process of nodule-formation, in which one or more adjacent nodules contains 3-D structures, but around them, the shale strata include strongly compressed structures of the same individual; therefore, it is very uncommon to obtain complete skeletons, especially when the nodules have been displaced from their original position, regardless the extent of the displacement. Vertebrate remains are generally black and relatively soft, but when weathered these can be white or red and are usually harder (Alvarado-Ortega *et al.*, 2014).

3. Material and methods

The specimen described in this paper is housed in the Colección Nacional de Paleontología "María del Carmen Perrilliat", Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, in Mexico City. The specimen corresponds to an isolate partial shell embedded on a shale matrix. The rocky matrix preserved on the bones was removed with pneumatic tools and dental needles. The shell fragment was hardened by applying a layer of plexyglum dissolved in cyanoacrylate. In this study, the specimen was observed and measured directly, and photographs were obtained under different conditions. A comparative study was carried out with *Notoemys tlaxiacoensis*, observing the characteristics in the plates and scutes of the carapace and plastron.

Institutional abbreviations: MACN, Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Buenos Aires, Argentina; MOZ, Museo Olsacher de Zapala, Neuquén, Argentina; MGJRG, Museo Geológico Nacional "José Royo y Gómez", Instituto Colombiano de Geología y Minas-Ingeominas, Bogotá, Colombia; MNHNCu, Museo Nacional de Historia Natural, La Habana, Cuba; IGM, Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad de México.

Anatomical nomenclatures: We based our comparisons on the descriptions published by López-Conde and Alvarado-Ortega, 2017 and López-Conde *et al.*, 2017.

Material reviewed: *Notoemys oxfordiensis* (MNHNCu-P), La Jagua Formation (Upper Jurassic, Oxfordian); *Notoemys tlaxiacoensis* (IGM-4861), Sabinal Formation (Upper Jurassic, Kimmeridgian); *Notoemys laticentralis* (MACN-18043 and MOZ-PV-2487), Vaca Muerta Formation (Upper Jurassic, Tithonian); *Notoemys zapatocaensis* (MGJRG IPN 15-EAC), El Caucho Formation (Lower Cretaceous, Valanginian).

4. Systematic Paleontology

Testudines Batsch, 1788
Pan-Pleurodira Joyce *et al.*, 2004
Platycheilyidae Bräm, 1965
Notoemys Cattoi and Freiberg, 1961

Notoemys tlaxiacoensis López-Conde, Sterli, Alvarado-Ortega and Chavarría-Arellano, 2017

Referred specimen. IGM-12994 (Figure 2); one partial shell.

Occurrence. Llano Yosobé (17°15'18"N – 97°42'04"W), Oaxaca, México. Sabinal Formation, Upper Jurassic (Kimmeridgian).

Description. This new material corresponds to an isolate shell fragment with the presence of elements of the carapace

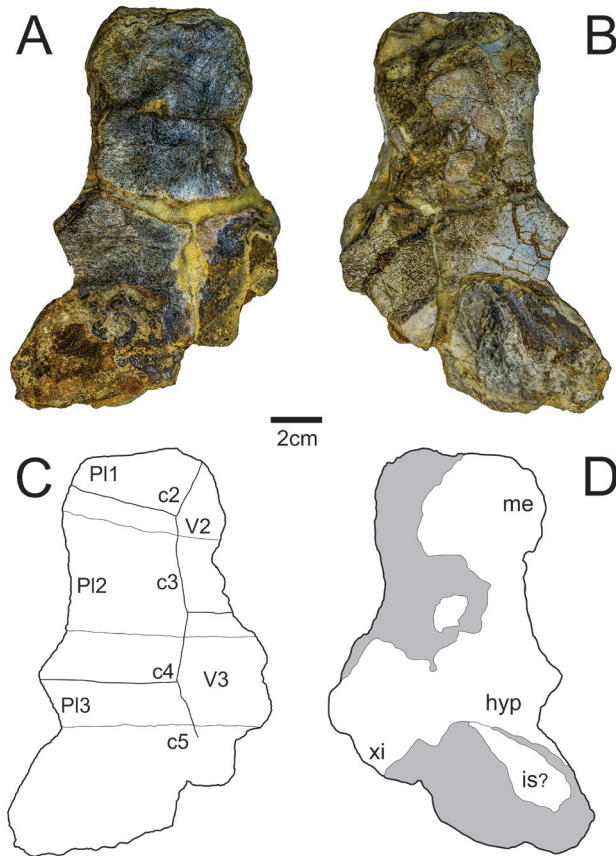


Figure 2. IGM-12994 corresponding to shell fragment of *Notoemys tlaxiacoensis*, from the Upper Jurassic (Kimmeridgian), from Llano Yosobé, Oaxaca, Mexico. A, dorsal view; B, ventral view; C, drawing of the dorsal view; D, drawing of the ventral view. Abbreviations: c, costal; hyp, hypoplastron; is, ischium; me, mesoplastron; Pl, pleural; V, vertebral; xi, xiphioplastron. Grey areas: sediment. Scale bar equals 2 cm.

and plastron. Only four costals (costal two to costal five) are preserved. They are wider than long and the remaining part of these plates are rectangular in shape, in the same way as all *Notoemys* species. The preserved scutes in the carapace are two vertebrals and three pleurals. Vertebrals 2 and 3 are similar in shape to those of *Notoemys tlaxiacoensis* (hexagonal), and they are wider than long. The vertebral 2 covers the costals 2 and 3; contacts laterally with the pleurals 1 and 2. The sulcus between pleurals 1 and 2 is on the costal 2, and the sulcus between the vertebrals 2 and 3 is on the costal 3. The vertebral 3 covers the costals 3, 4 and 5; contacts laterally with the pleurals 2 and 3; and the sulcus between the pleurals 2 and 3 is on the costal 4. The preserved plates of the plastron are the hypoplastron, mesoplastron, and xiphioplastron; these plates are damaged and the most part were not preserved. We can observe the inguinal area. The ischium can be observed, but no further description of this element can be made.

Remarks. *Notoemys* is an enigmatic group of Upper Jurassic-Lower Cretaceous turtles, and has four representatives: *Notoemys oxfordiensis* (de la Fuente and

Iturralde-Vinent, 2001) from the Upper Jurassic (Oxfordian) of Cuba; *Notoemys tlaxiacoensis* (López-Conde *et al.*, 2017) from the Upper Jurassic (Kimmeridgian) of Mexico; *Notoemys laticentralis* (Cattoi and Freiberg, 1961) from the Upper Jurassic (Tithonian) of Argentina and *Notoemys zapatoacaensis* (Cadena and Gaffney, 2005) from the Lower Cretaceous (Valanginian) of Colombia (Figure 3). These species are known mainly for their shells, and they were collected in transitional and marine stratigraphic sequences, with abundant marine invertebrates and reptiles (Bräm, 1965; Fernández and de la Fuente, 1994; de la Fuente and Iturralde-Vinent, 2001; Cadena-Rueda and Gaffney, 2005; López-Conde *et al.*, 2017). With the description of *N. tlaxiacoensis*, a gap was filled in the Kimmeridgian (Upper Jurassic). The fossil record of this taxon shows one gap in the Berriasian (Lower Cretaceous) (Figure 3).

Notoemys tlaxiacoensis, is the oldest turtle from Mexico. With the description of this new taxon, the stratigraphic reach of turtles was extended, previously the oldest record corresponded to the Lower Cretaceous (Albian) from the Tlayúa quarry (Reynoso, 2006).

5. Discussion and conclusions

The specimen IGM-12994 was recovered from the vicinity of the occurrence of *Notoemys tlaxiacoensis* the isolated shell fragment does not present any set of characters unique. Our observations suggest that the specimen IGM-12994 represents the remains of *Notoemys tlaxiacoensis* based on the similar characteristics observed in the shape and contacts of the costals plates and the vertebrals and pleurals scutes. The following diagnostic character supports our taxonomic assignment of IGM-12994 as a new *N. tlaxiacoensis* specimen: neural 3 hexagonal (being slightly octagonal in *N. laticentralis* and *N. zapatoacaensis* and rectangular in *N. oxfordiensis*). The isolated shell fragment does not present any set of characters unique that indicates sexual or ontogenetic variability.

The paleogeography importance of this taxon corresponds to that it has only been collected until now in America. The fossil record of platychelyids on both continents during the Upper Jurassic and Lower Cretaceous reinforces the proposed connection between the Tethys and the Palaeopacific through the Hispanic Corridor. *Notoemys* inhabited shallow waters with tolerance to marine environments which helped them to disperse along the coastline through the Hispanic Corridor (López-Conde and Alvarado-Ortega, 2017) (Figure 4).

The discovery of turtles from other Jurassic localities is required to improve our knowledge about fossil turtles from Mexico. New remains of turtles collected in Llano Yosobé will be revealed, other materials of Jurassic turtles are collected and according to a preliminary result, they could correspond to a new Jurassic turtle. Therefore, it is

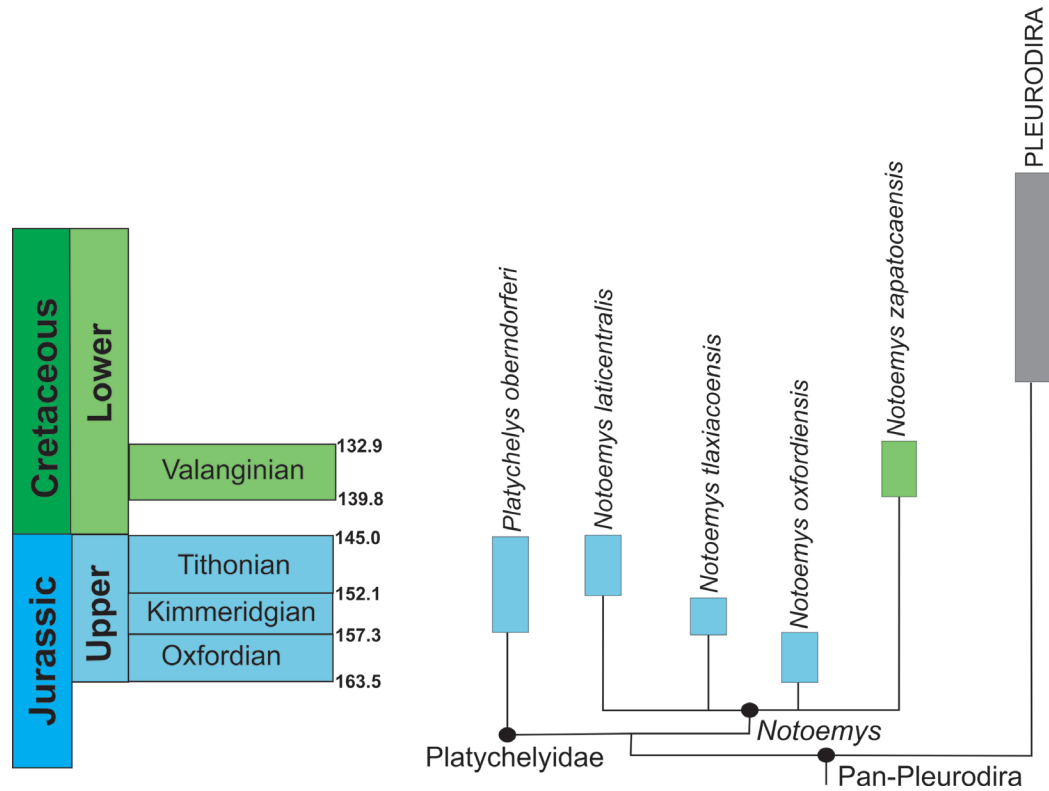


Figure 3. Stratigraphic reach of *Notoemys* calibrated in time showing the relationships within Platycheilyidae (Modified from López-Conde *et al.*, 2017).



Figure 4. Distribution of *Notoemys* during the Upper Jurassic and Lower Cretaceous. A: *Notoemys oxfordiensis*. B: *Notoemys tlaxiacoensis*. C: *Notoemys laticentralis*. D: *Notoemys zapatoensis* (Modified from López-Conde *et al.*, 2017).

important to continue the studies in this locality, to increase the knowledge of Jurassic vertebrates in Mexico.

Acknowledgements

We are deeply indebted to the local people of Tlaxiaco who helped us in multiple tasks during the field works. We also thank all students and paleontologists involved in the field work. The first author sincerely thanks María Guadalupe Conde Gutierrez for her confidence and support. We would like to thank anonymous reviewers whose comments have greatly improved the manuscript. Financial support for this research was provided by the UNAM (DGAPA-PAPIIT IN110920). The first author extends the acknowledgements to the Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM for their support, in addition to the CONACyT scholarship 545082. MSc. María Luisa Chavarría-Arellano took the photographs included in this article.

References

- Alvarado-Ortega, J., Barrientos-Lara, J., Espinosa-Arrubarrena, L., Melgarejo-Damián, M.P., 2014, Late Jurassic marine vertebrates from Tlaxiaco, Oaxaca State, southern Mexico: *Palaeontologia Electronica* 17(1), 1–24. doi.org/10.26879/454.
- Alvarado-Ortega, J., Brito, P.M., 2016, A Jurassic pleuropholid fish (Teleostei, Pleurophoridae) in the North American domain of the Tethys Sea: *Journal of Vertebrate Paleontology* 36, e1201767. doi.org/10.1080/02724634.2016.1201767.
- Barrientos-Lara, J.I., Alvarado-Ortega, J., 2018, The Jurassic marine reptiles of Mexico, in 5th International Paleontological Congress: Paris, France, International Palaeontological Association, The Fossil week, Abstract Book, 749 pp.
- Barrientos-Lara, J.I., Fernández, M.S., Alvarado-Ortega, J., 2015, Kimmeridgian pliosaurids (Sauropterygia, Plesiosauria) from Tlaxiaco, Oaxaca, southern Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 32, 293–304.
- Barrientos-Lara, J.I., Herrera, Y.M., Fernández, S., Alvarado-Ortega, J., 2016, Occurrence of *Torvoneustes* (Crocodylomorpha, Metriorhynchidae) in marine Jurassic deposits of Oaxaca, Mexico: *Revista Brasileira de Paleontologia* 19, 415–424. doi: 10.4072/rbp.2016.3.07.
- Barrientos-Lara, J.I., Alvarado-Ortega, J., Fernández, M.S., 2018, The Marine Crocodile *Maledictosuchus* (Thalattosuchia, Metriorhynchidae) from the Kimmeridgian Deposits of Tlaxiaco, Oaxaca, Southern Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*. doi: 10.1080/02724634.2018.1478419.
- Batsch, A.J.G.C., 1788, Versuch einer Anleitung, zur Kenntniß und Geschichte der Thiere und Mineralien. Akademische Buchhandlung, Jena, 528 pp.
- Bräm, H., 1965, Die Schildkrötenausdemoberen Jura (Malm) der Gegend von Solothurn: *Schweizerische Paläontologische Abhandlungen* 83, 1–190.
- Cadena, E.A., Gaffney, E.S., 2005, *Notoemys zapatocaensis*, a new side-necked turtle (Pleurodira: Platycheilyidae) from the Early Cretaceous of Colombia: *American Museum Novitates* 3470, 1–19. doi.org/10.1206/0003-0082(2005)470<0001:nzanst>2.0.co;2.
- Cadena, E.A., Joyce, W., 2015, A review of the fossil record of turtles of the clades Platycheilyidae and Dortokidae: *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History at Yale University* 56(1), 3–20. doi:10.3374/014.056.0101.
- Cattoi, N., Freiberg, M. A., 1961, Nuevo hallazgo de *Chelonia* extinguidos en la República Argentina: *Physis*, 22, 202.
- De la Fuente, M., Iturralde-Vinent, M., 2001, A new pleurodiran turtle from the Jagua formation (Oxfordian) of western Cuba: *Journal of Paleontology* 75, 860–869.
- Fernández, M.S., de la Fuente, M., 1994, Redescription and phylogenetic position of *Notoemys*: the oldest Gondwanian pleurodiran turtle: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 193, 81–105.
- Joyce, W.G., Parham, J.F., Gauthier, J.A., 2004, Developing a protocol for the conversion of rank-based taxon names to phylogenetically defined clade names, as exemplified by turtles: *Journal of Paleontology* 78, 989–101.
- López-Conde, O., Sterli, J., Alvarado-Ortega, J., Chavarría-Arellano, M., 2017, A new Platycheilyidae (Pan-Pleurodira) from the Late Jurassic (Kimmeridgian) of Oaxaca, Mexico: *Papers in Palaeontology* 3, 161–174. doi: 10.1002/spp2.1069.
- López-Conde, O.A., Alvarado-Ortega, J., 2017, Revisión morfológica de las tortugas del género *Notoemys*: *Paleontología Mexicana* 6(2), 79–89.
- López-Ticha, D., 1969, Evaluación petrolífera de la Cuenca de Tlaxiaco, Estado de Oaxaca. Seminario sobre exploración petrolera, mesa redonda 6. Problemas de exploración en áreas posiblemente petrolíferas de la República Mexicana. Instituto Mexicano del Petróleo, México. 1–28 pp.
- López-Ticha, D., 1985, Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la Cuenca de Tlaxiaco, México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* 37(1), 49–92.
- Meneses-Rocha, J.J., Monroy-Aduello, M. A., Gómez-Chavarría, J.C., 1994, Bosquejo paleogeográfico y tectónico del sur de México durante el Mesozoico: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* 44(2), 18–45.
- Reynoso, V.H., 2006, Research on fossil amphibians and reptiles in Mexico, from 1869 to early 2004 (including marine forms but excluding pterosaurs, dinosaurs, and obviously, birds), 209–231, in Vega, F., Nyborg, T. G., Perrillat, M.C., Montellano-Ballesteros, M., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Quiroz-Barroso, S.A. (eds), *Studies on Mexican paleontology*, Springer, 308 pp.
- Rueda-Gaxiola, J., Anda-García, M.A., Pérez-Silva, B.S., 2007, Estudio petrológico del Grupo Consuelo (*sensu* Jiménez Rentería) en Rosario Nuevo, Municipio de Tezoatlán, Oaxaca (Resultados preliminares): *Geos* 27(1), 54.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta Geológico-Minera Carta Tlaxiaco-E14-D34, Oaxaca, escala: 1:50,000: Servicio Geológico Mexicano, Oaxaca.
- Wagner, A., 1853, Beschreibung einer fossilen Schildkröten und etlicher anderer Reptilien Überreste aus den lithographischen Schiefer und dem grünen Sandsteine von Kehlheim: *Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Klasse* 7, 241–264.

***Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) equínido de las cuencas sedimentarias del Maestrat y Salou-Garra (península Ibérica)**

***Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) echinoid from the Maestrat and Salou-Garra sedimentary basins (Iberian Peninsula)**

Forner-Valls, Enric^{a,*} ; Moreno-Bedmar, Josep Anton^b ; Segura-Collado, Joaquín^a

^a Ateneu de Natura. Sant Roc, 125 3r 5a 12004 Castelló de la Plana. E. Forner:

^b Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, CDMX, México.

* fornervalls@gmail.com

Resumen

Con base en ejemplares bien conservados del equínido *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884), encontrados en un nuevo yacimiento situado en Culla (península Ibérica; cuenca sedimentaria del Maestrat), se plantea la adscripción de la especie al género *Washitaster* Lambert, 1927, en lugar de al género *Heteraster* d'Orbigny, 1855, como se venía considerando por diversos autores. El género *Washitaster* se considera válido en este trabajo y sus dos caracteres diagnósticos principales: 1) presencia de múltiples fasciolas laterales y 2) disponer de unos tubérculos mucho mayores que el resto, crenulados y con las areolas hundidas en los interambulacros de la superficie aboral son evidentes en los ejemplares bien conservados de *W. delgadoi*. Se enmienda la diagnosis de *W. delgadoi*, se confirma su registro en la cuenca sedimentaria del Maestrat y se precisa la datación cronológica de la especie al Albiano. La cual es concordante con la de la cuenca sedimentaria próxima de Salou-Garra, donde también aparece dicho equínido. Se propone la conveniencia de realizar una revisión del género *Washitaster* que incluya todas las especies nominales actuales, tanto las del área mexicano-texana, como las japonesas y la especie estudiadas en este trabajo, para establecer su posible origen, su distribución geográfica y estratigráfica, la validez de todas las especies nominales y la presencia en todas ellas de los caracteres diagnósticos del género.

Palabras clave: Albiano, *Heteraster*, sistemática, Spatangoida, Toxasteridae.

Abstract

Based on well-preserved specimens of the echinoid *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884), found in a new deposit located in Culla (Iberian Peninsula; Maestrat sedimentary basin) the ascription of the species to the genus *Washitaster* Lambert, 1927, instead of the genus *Heteraster* d'Orbigny, 1855, as had been considered by various authors. The genus *Washitaster* is considered valid in this paper and its two main diagnostic characters: 1) the presence of multiple lateral fascioles and 2) much larger tubercles than the rest, crenulated and with areolas sunk in the interambulacres of the apical surface are evident, in the specimens well preserved *W. delgadoi*. The diagnosis of *W. delgadoi* is amended. Its registration in the Maestrat sedimentary basin is confirmed. The chronological dating of the species is established as Albian. This is concordant with that of the nearby sedimentary basin of Salou-Garra, where said echinoid also appears. We suggest to revise the genus *Washitaster* that includes all the registered nominal species, those of the Mexican-Texan area, the Japanese species and the species studied in this work, to establish its possible origin, its geographical and stratigraphic distribution, the validity of all the nominal species and the presence in all of them of the diagnostic characters of the genus.

Keywords: Albian, *Heteraster*, systematics, Spatangoida, Toxasteridae.

1. Introducción

El género *Washitaster* fue descrito por Lambert en 1927, con base en la especie tipo *Hemiaster riovistae* Adkins, 1920, del Albiano de Texas y México. Con anterioridad, en 1884, de Loriol describió y figuró la especie *Enallaster delgadoi* con material de Portugal, según su parecer del Cenomaniano, pero Rey (1972, 1979) revisó la estratigrafía y la citó únicamente en el Aptiano y el Albiano portugués. En una época estaba considerada esta especie como un endemismo ibérico. Para Yavari *et al.* (2016), la especie se distribuye del Aptiano al Albiano en los márgenes oeste y sur del Tethys: península Ibérica, Egipto, Israel, Líbano, Siria e Irán.

La asignación del género de esa especie es controvertida. En la descripción original y escritos posteriores de de Loriol (1884; 1887; 1888) se incluyó en el género *Enallaster* d'Orbigny, 1855, pág. 181. Este género se ha considerado después sinónimo de *Heteraster* d'Orbigny, 1855, descrito en una página anterior, la 175 (Lambert & Thiéry, 1909-1925; Fischer, 1966; Smith y Kroh, 2021).

La mayoría de los autores recientes que han citado la especie estudiada la han asignado a *Heteraster* (Néraudeau *et al.*, 1998; Villier *et al.*, 2004; Yavari *et al.*, 2016; Smith y Kroh, 2021). Sólo Saura y García-Vives (2012) y Forner y Segura (2017) la han incluido en el género *Washitaster*. La dificultad de situar esta especie en uno de estos dos géneros no ha desaparecido. Como ejemplo de la complejidad de su sistemática, se puede citar el trabajo de Villier *et al.* (2004) sobre la filogenia de los espatangoides del Cretácico Inferior donde, a pesar de que *Heteraster delgadoi* (de Loriol, 1884) es, con gran diferencia, la especie más figurada en el artículo, para ilustrar los caracteres escogidos para su análisis (Villier *et al.*, 2004: figs. 2-D; 4-B; 4-C; 5-C; 6-C), al final, la han excluido de la muestra definitiva a partir de la cual quieren establecer las relaciones filogenéticas del grupo. En la justificación de la selección de los taxones elegidos para la muestra todavía indican que hay seis *Heteraster*, aunque en la relación que publican solo quedan cinco (Villier *et al.*, 2004: 267-268); concluyen de sus datos (una vez excluido *H. delgadoi*) que, por una parte, se corrobora la posible sinonimia entre *Washitaster* y *Heteraster* propuesta por Cooke (1955) y Devriès (1960) y, por otra parte, que el género *Heteraster* aparece como un grupo monofilético bien definido basado en una forma aplanada, de contorno rectangular y, sobretudo, en la heterogeneidad de los poros del ambulacro III (Villier *et al.*, 2004: 282). Si se toma como buena la primera conclusión, considerar *Washitaster* un sinónimo más reciente de *Heteraster*, se eliminaría el problema de la clasificación genérica de la especie estudiada. Pero esta no es la opinión de otros autores que continúan considerando válido el género *Washitaster* (Fischer, 1966; Markov y Solovjev, 2002; Smith y Kroh, 2021; Kroh y Mooi, 2021) basados en la diferencia substancial que presenta este último género: diversas bandas de fasciolas laterales, que es un carácter derivado. No está de más recordar que las fasciolas han estado consideradas

un elemento diagnóstico fundamental para establecer diferencias genéricas dentro del orden Spatangoida, incluso para distinguir niveles supragenéricos (Mortensen, 1951; Néraudeau *et al.*, 1998; Markov y Solovjev, 2002: 369). La posibilidad de estudiar el material de un nuevo yacimiento permite revisar la asignación genérica.

2. Material y Métodos

2.1. Marco geográfico y geológico

El yacimiento del mas del Raconet se encuentra dentro del término municipal de Culla, en la comarca de l'Alt Maestrat (País Valencià), dentro de la península Ibérica (Figura 1); coordenadas UTM: 30T 0745993/4459124. El área se localiza dentro de la cuenca sedimentaria cretácica inferior del Maestrat, definida por Salas y Guimerà (1996; 1997).

La edad del afloramiento según el IGME (1973) es del Albiano superior – Cenomaniano. No obstante, en este yacimiento, se recogió un ammonoideo (Figura 2), que introduce correcciones en la datación anterior. El ejemplar es un *Beudanticeras* sp. Hitzel, 1902, que es diferente de los Desmocerátidos del Cenomaniano, con lo que en muy alta probabilidad se podría descartar esta edad. Podría ser de la parte baja, marina, de la Formación Escucha, que correspondería a un Albiano inferior.

En la zona de Marmellar, en la cuenca colindante de Salou-Garraf (Figura 1), también aparece la especie *W. delgadoi* en niveles bien datados como Albiano inferior (Moreno-Bedmar *et al.*, 2017).

2.2. Material

El yacimiento del mas del Raconet (Culla, cuenca del Maestrat) ha sido visitado un par de veces al año desde el

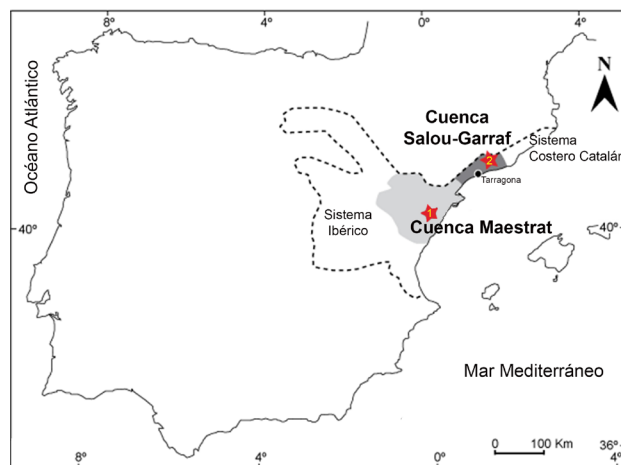


Figura 1. Mapa de localización dentro de la península Ibérica de las cuencas del Maestrat (1) y de Salou-Garraf (2) donde se registra *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884). Modificado de Moreno-Bedmar *et al.*, 2017.

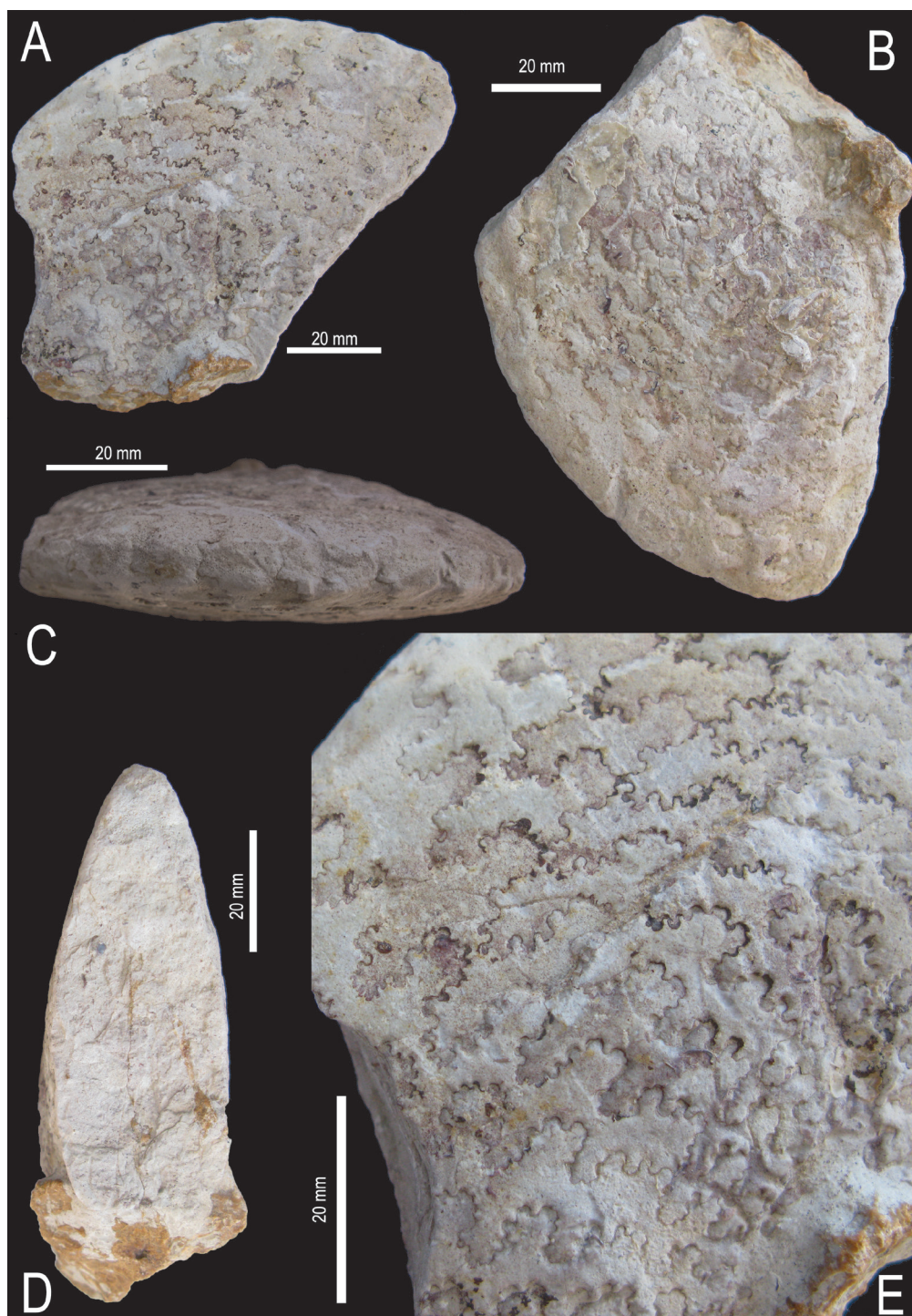


Figura 2. MGUV-39117 *Beudanticeras* sp. del Albiano de Culla (cuenca del Maestrat; península Ibérica). A y B, vistas laterales; C, vista ventral; D, sección de la vuelta; E, ampliación para mostrar las líneas de sutura.

2015 al 2021, pero es de reducidas dimensiones y muy pobre de fauna. Los ejemplares de *W. delgadoi* salen, en general, muy deformados y la mayoría no son aptos para su estudio. Al final se ha podido tomar alguna medida y estudiar 20 ejemplares, algunos en buenas condiciones. Se depositarán en el Museu de la Universitat de València d'Història Natural

(MUVHN) los ejemplares figurados con los números de registro MGUV-39115 y MGUV-39116. En dicho yacimiento solo aparece como fauna de acompañamiento fragmentos de ostras, moldes internos de algún bivalvo y gasterópodo que no se han podido clasificar. Se recogió un equinoideo regular, quizás del género *Tetragramma* Agassiz,

1838, pero tan deteriorado que no se puede precisar más. También se recolectó un único fragmento de amonoideo (Figura 2), que se depositará en el MUVHN con número de registro MGUV-39117.

De la cuenca de Salou-Garraf del yacimiento de Salomó (Tarragona) se han estudiado dos ejemplares de *W. delgadoi* y un *Tetragramma*. De la misma cuenca, del yacimiento de mas d'en Blanc del Catllar (Tarragona), se ha estudiado un ejemplar de *W. delgadoi*.

2.3. Métodos

En la sistemática, se ha seguido a Kroh y Smith (2010), se ha consultado también *The Echinoid Directory* (Smith y Kroh, 2021). Por lo que se refiere a la terminología descriptiva y a la orientación espacial de los ejemplares, se ha seguido lo establecido, en los capítulos correspondientes del *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Melville y Durham, 1966; Durham y Wagner, 1966). Las fotos se han tomado con una cámara Canon, PowerShot G9; para

las fotos de la Figura 7 y la medición de los gonoporos se ha utilizado un microscopio digital, Edge, Dino-Lite. Los dibujos se han realizado calcando ampliaciones fotográficas en una caja de luz Huion model L4S. Las medidas se han tomado con un pie de rey, o vernier, digital, redondeando a décimas de milímetro. Las dimensiones se dan en mm, los ángulos en grados sexagesimales. Las medidas se han tomado como se indican en la Figura 3. Entre otras se han tomado las siete mediciones propuestas por David *et al.* (1987), siguiendo su terminología.

3. Resultados

3.1. Sistemática paleontológica

Familia TOXASTERIDAE Lambert, 1920

Género *Washitaster* Lambert, 1927

Especie tipo *Hemiaster riovistae* (Adkins, 1920), por designación original

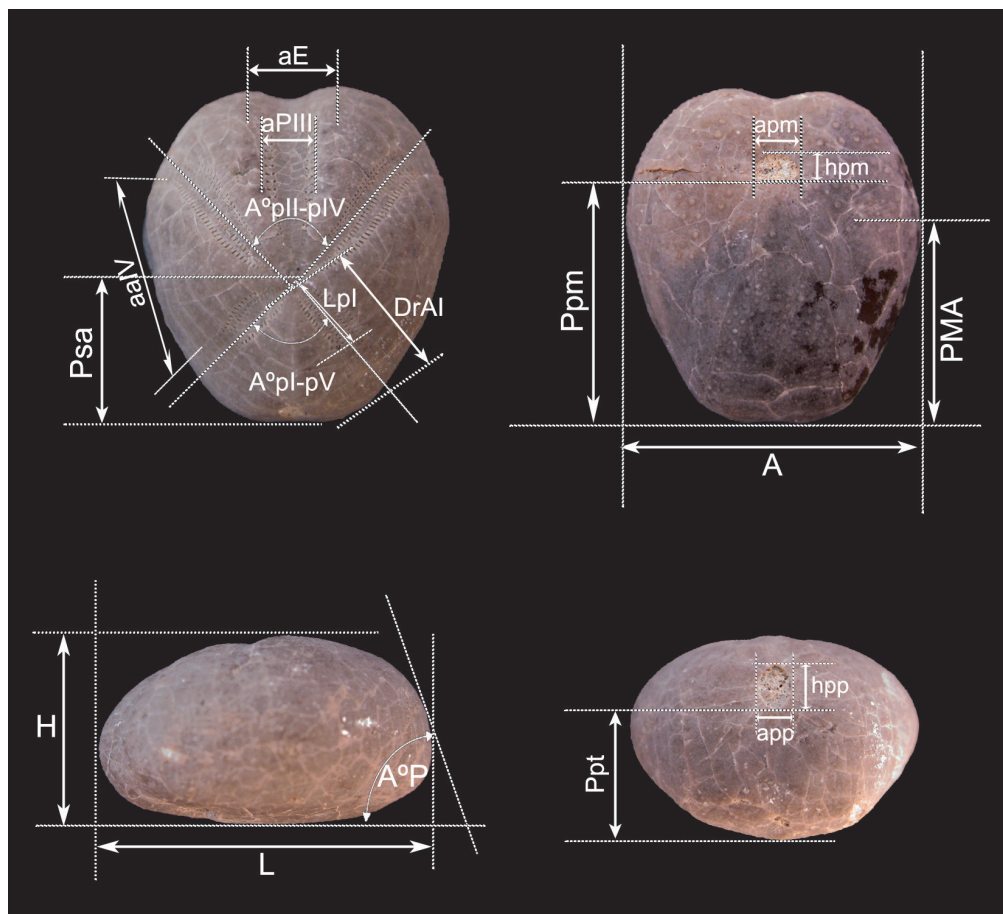


Figura 3. Medidas utilizadas en este estudio. **L**, longitud de la testa o corona; **A**, anchura; **H**, altura; **Ppm**, distancia del borde posterior del peristoma al margen posterior de la testa; **Ppt**, distancia del borde inferior del periprocto a la base; **Psa**, distancia del sistema apical (gonoporos posteriores) al margen posterior; **Pma**, distancia de la máxima anchura respecto el borde posterior; **aaIV**, anchura en el ámbito del interambulacro 4; **aE**, anchura de la escotadura anterior; **A°P**, ángulo, en grados, de la parte posterior con la base; **A°pl-pV**, ángulo, en grados, entre el eje del pétalo I y el V; **Lpl**, longitud del pétalo I; **DrAl**, distancia radial del ambulacro I hasta el ámbito; **aPI**, anchura máxima del pétalo I; **hpp**, altura del periprocto (vertical); **app**, anchura del periprocto; **hpm**, altura del peristoma (eje de simetría); **apm**, anchura del peristoma. Tomado de Forner, 2019.

Especie *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884)

Figuras 4-8 y 9 F.

- 1884 *Enallaster delgadoi* de Loriol: 619, Pl. 34, fig. 1-4.
 1887 *Enallaster delgadoi* de Loriol: 377-378, Pl. 16, fig. 4-5.
 1888 *Enallaster delgadoi* de Loriol: 87, Pl. 16, fig. 1-4.
 1893 *Enallaster delgadoi* de Loriol; Cotteau: 357-358.
 1897 *Enallaster delgadoi* de Loriol: 165-166,
 1902 *Enallaster delgadoi* de Loriol; Lambert: 19-20, Pl. 1, fig. 16.
 1912 *Enallaster delgadoi* de Loriol; Fourtau: 51.
 1921 *Enallaster delgadoi* de Loriol; Fourtau: 79.
 1922 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Lambert, 1922: 16.
 1924 *Heteraster delgadoi* (de Loriol) Lambert y Thiéry: 438.
 1926 *Enallaster delgadoi* de Loriol; Blanckenhorn: 98, Pl. 8, fig. 25.
 1927b *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Lambert: 46-47.
 1935 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Lambert: 365.
 1937 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Keller y Vautrin: 160-161.
 1955 *Enallaster delgadoi* de Loriol; Devriès: 316.
 1960 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Devriès: 73.
 1993 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Villalba: 335, lám. 23 fig. 9-11.
 1972 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Rey: 486, fig. 156.
 1998 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Néraudeau *et al.*: 334.
 2003 *Heteraster delgadoi* (de Loriol), Villalba: 123; lám. 4 fig. 5-10.
 2003 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Mouty *et al.*: 432.
 2004 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Villier *et al.*: fig. 2D, 4B, 4C, 5C, 6C.
 2012 *Washitaster delgadoi* (de Loriol); Saura y García-Vives: 76, lám. 9, fig. 1a-1e.
 2016 *Heteraster delgadoi* (de Loriol); Yavari *et al.*: 618, fig. 38.
 2017 *Washitaster delgadoi* (de Loriol); Forner y Segura: 8, figs. 3-5.

3.1.1. Diagnósis

Testa cordiforme con surco profundo en el ambulacro impar, que escota la parte anterior, con bandas de fasciolas laterales entre el final de los pétalos y el ámbito; y con distintivos tubérculos primarios dispersos sobre los interambulacros de la superficie apical que, a diferencia del resto, son notablemente de mayor tamaño y con una areola excavada. Los tubérculos son perforados, crenulados y con un anillo escrobicular de granulación miliaria. El sistema apical con cuatro gonoporos, posterior al centro y semietmolítico, la placa madreporica, mucho mayor que el resto, separa las placas genitales posteriores, pero no las oculares. El ambulacro III tiene pares de poros heterogéneos, largos y cortos, que siguen cuatro alineaciones en sentido longitudinal. Las dos columnas de pares de poros de

los ambulacros pares anteriores son muy asimétricas: la columna anterior, con muchas menos placas que la posterior, está conformada por un par de isoporos muy pequeños, circulares y próximos entre sí; la columna posterior tiene anisoporos separados entre ellos por una protuberancia interporifera; los interiores son ovalados, un poco diagonales y mucho más cortos que los exteriores, que son alargados y rectos. Las columnas de los ambulacros pares posteriores también son asimétricas. Periprocto transversal, en la parte superior de la parte posterior truncada. Peristoma pentagonal, excéntrico, adelantado.

3.1.2. Descripción

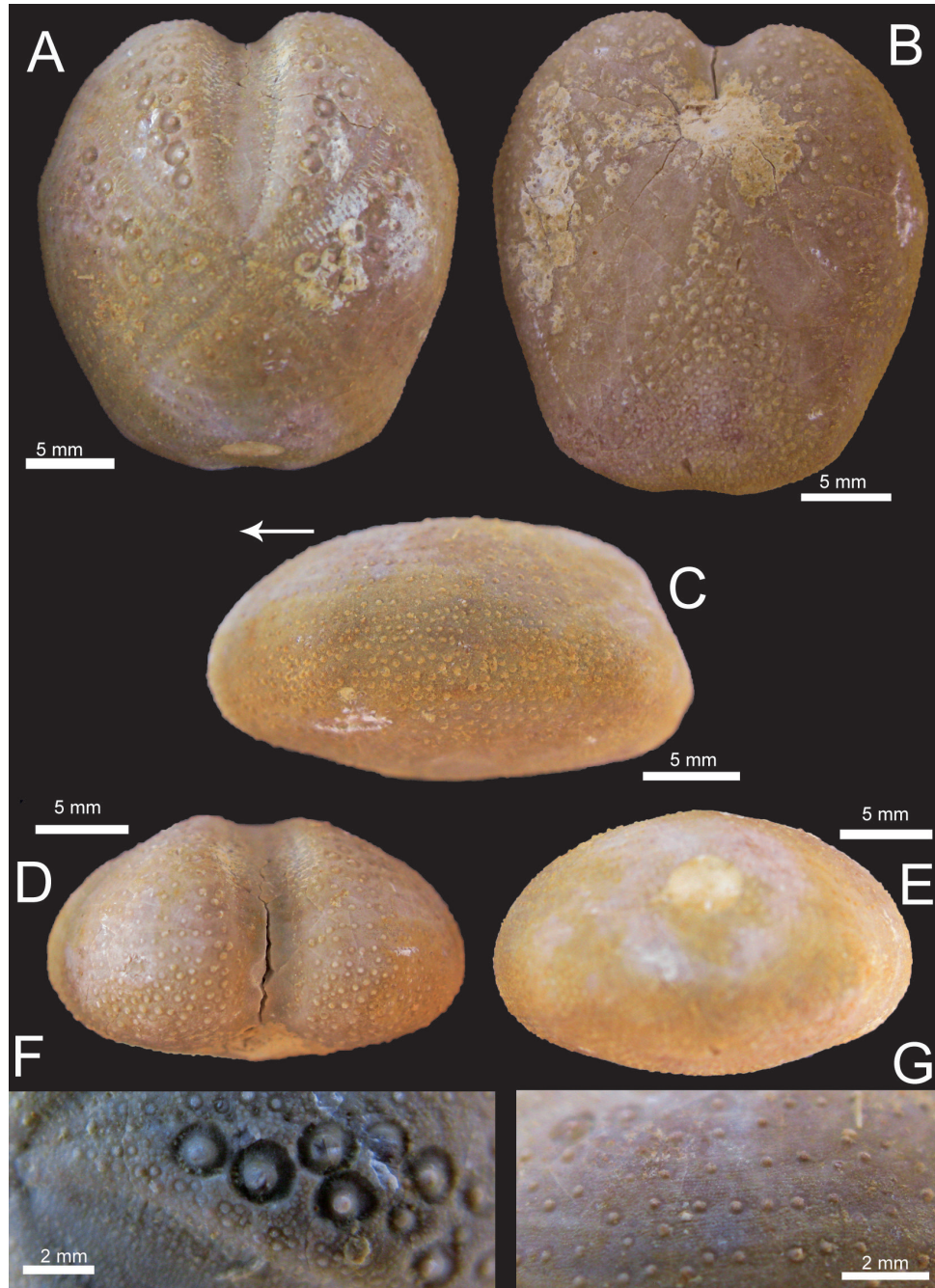
Testa cordiforme, redondeada, escotada por delante y truncada por detrás (Figuras 4 y 5), con un ángulo de unos 75° (Tabla 1). La anchura, que representa de media un 94 % de la longitud (para una muestra de $n = 11$), tiene su máximo a un 60 % respecto de la longitud respecto del borde posterior. La máxima altura está un poco más atrás del sistema apical, resulta un porcentaje variable respecto a la longitud, entre un 54 y un 65 % (para $n = 12$, Tabla 1), lo que indica la existencia de ejemplares más deprimidos y ejemplares más inflados. Desde el ápice la testa desciende suavemente hacia delante y con más inclinación hacia atrás en un primer tramo, para después truncar en fuerte inclinación (74,4 % de media; $n = 13$). El área interambulacral posterior, en la superficie apical, de los ejemplares más inflados está ligeramente carenada. La superficie oral es ligeramente convexa, un poco deprimida hacia el peristoma y un poco inflada en el plastrón.

El sistema apical es excéntrico, hacia la parte posterior (los gonoporos posteriores están a un 41 % de la longitud respecto del margen posterior), está ligeramente hundido, con la placa madreporica sobre elevada respecto al resto de placas. El sistema apical es semietmolítico (Figura 7 B y 8 A-B), la placa genital G2 separa las dos genitales posteriores, pero no las oculares posteriores. La placa genital G2, que en buena parte de su superficie presenta hidroporos, es dos veces más grande que las otras tres. Las placas oculares son un poco menores de tamaño que las oculares y de contorno vagamente pentagonal. Todas las placas están cubiertas con tuberculación. En algún ejemplar bien conservado se observa un anillo de tubérculos rodeando los gonoporos (Figura 6 D). Hay un gonoporo en cada una de las cuatro placas genitales, que es de contorno circular y bastante grande; ocupa una parte notable de la placa, excepto en la G2. El diámetro de los cuatro gonoporos en un ejemplar de 39.3 mm de longitud de corona varía entre 0.315 y 0.396 mm; en un ejemplar de 22.6 mm de longitud, varía entre 0.195 y 0.215 mm; la placa madreporica de este ejemplar tiene unos 40 hidroporos.

El periprocto está situado en la parte posterior truncada, en la parte más alta, la zona está un poco deprimida (Figuras 4 E; 5 C y 6 G). Su borde inferior queda a un 46 % de la altura respecto de la base. Su contorno es ovalado, situado transversalmente sobre el eje de simetría, su altura

Tabla 1. Medidas en mm de *Washitaster delgadoi* (de Lorient, 1884), del Albano inferior de Culla (Cuenca del Maestrat; península Ibérica). **DS**, desviación estándar. Ver figura 3 para la referencia de las medidas. **L**, longitud de la testa o corona; **A**, anchura; **H**, altura; **Ppm**, distancia del borde posterior del peristoma al margen posterior de la testa; **Ppt**, distancia del borde inferior del periprocto a la base; **Psa**, distancia del sistema apical (gonoporus posteriores) al margen posterior; **Pma**, distancia de la máxima anchura respecto el borde posterior; **aal1**, anchura en el ámbito del interambulacro I; **aE**, anchura de la escotadura anterior; **A°P**, ángulo, en grados, de la parte posterior con la base; **A°pl-pV**, ángulo, en grados, entre el eje del pétalo I y el V; **Lpl**, longitud del pétalo I; **DrAl**, distancia radial del ambulacro I hasta el ámbito; **aPl**, anchura máxima del pétalo I; **hpp**, altura del periprocto (vertical); **app**, anchura del periprocto; **hpm**, altura del peristoma (eje de simetría); **apm**, anchura del peristoma.

Medidas	Media	DE	n	Máx.	Mín.
L	26.23	5.350	17	39.3	13.7
A	23.86	4.034	14	29.7	13.3
H	15.08	2.780	14	18.5	7.7
Ppm	20.19	4.198	10	30.9	15.9
Ppt	7.20	1.072	13	9.3	5.1
Psa	11.57	1.941	11	15	8
PMA	16.68	2.794	12	23	12.1
H/L	0.59	0.035	12	0.65	0.54
A/L	0.94	0.033	11	1.01	0.90
Ppm/L	0.72	0.035	10	0.79	0.68
Ppt/H	0.46	0.061	11	0.57	0.39
PMa/L	0.60	0.056	12	0.68	0.47
Psa/L	0.41	0.043	11	0.47	0.34
aal1	17.66	2.140	11	21.3	14.5
aal2	9.15	1.575	11	12.8	7.3
aal5	15.55	1.861	11	18.9	12.7
aE	6.12	1.558	13	10.6	4.3
A°P	74.07	6.275	13	83.9	58
A° pl-pV	98.76	4.087	11	103	89.1
A° pll-pIV	74.50	6.061	11	84.5	64.9
Lpl	7.23	1.379	13	10.2	5
LplI	13.35	2.932	13	20.4	8.7
LplII	15.01	2.702	11	19.6	11.1
DrAl	12.96	2.564	13	18	8.2
DrAlI	16.62	3.467	13	23.8	10.4
DrAlII	16.61	3.555	12	24.4	11.8
Lpl/DrAl	0.56	0.089	13	0.76	0.45
LplI/DrAlI	0.80	0.061	13	0.92	0.72
LplII/DrAlII	0.89	0.062	11	0.97	0.80
aPl	3.79	0.484	13	4.6	3
aPlI	3.23	0.511	13	3.7	1.9
aPlII	4.99	0.611	11	5.9	3.9
hpp	3.44	0.386	13	3.9	2.8
app	4.22	0.324	13	4.7	3.5
hpp/app	0.81	0.053	13	0.91	0.69
hpm	3.40	0.566	2	3.8	3
apm	4.13	0.404	3	4.6	3.9
hpm/apm	0.80	0.040	2	0.83	0.77
Lpl/LplI	0.56	0.081	12	0.71	0.45



Figuras 4. *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) del Albiano de Culla (cuenca del Maestrat), ejemplar MGUV-39115. A, vista apical; B, vista oral; C, vista lateral, la flecha indica el sentido de la marcha; D, vista anterior; E, vista posterior; F, detalle de los tubérculos engrandecidos del interambulacro 3 adapical; G, detalle de las bandas de fasciolas laterales.

representa alrededor de un 80% de su anchura. El periprocto es pequeño, en su eje máximo solo representa un 16 % de la longitud; anchura similar a la del peristoma.

Los cinco ambulacros son petaloides pero muy diferentes entre sí. Entre el eje de los dos ambulacros posteriores se forma un ángulo de unos 99° (media para $n = 11$; tabla 1), entre los dos ambulacros anteriores un ángulo de unos 75°.

El ambulacro impar es el más ancho, está situado en un surco que gana profundidad desde el ápice, escota

notablemente el borde anterior de la testa y llega hasta el peristoma. Los pares de poros ambulacrales se alojan en las pendientes del surco. En la parte más adapical son pequeños y redondos, pero a partir del par 10 o 12 empiezan a diferenciarse en pares cortos y largos, formando así cuatro series longitudinales (Figuras 5 H y 6 C). A partir de este momento el modelo más repetido es la sucesión de un par largo y otro corto, aunque puede haber variaciones. Los pares cortos ocupan las dos alineaciones centrales,

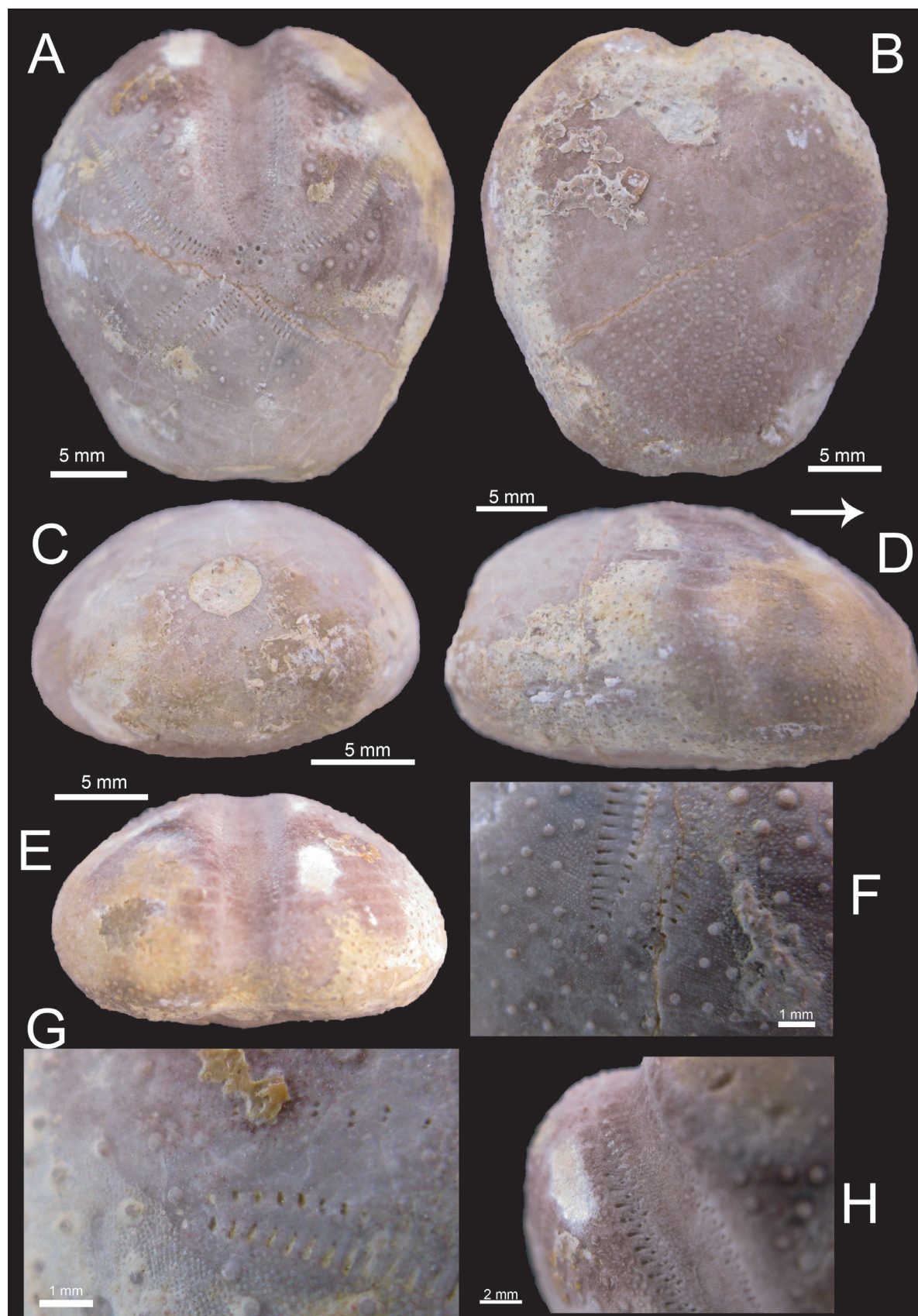


Figura 5. *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) del Albiano de Culla (cuenca del Maestrat), ejemplar MGUV-39116. A, vista apical; B, vista oral; C, vista posterior; D, vista lateral, la flecha indica el sentido de la marcha; E, vista anterior; F, detalle del final del pétalo I. G, detalle del final del pétalo IV y fasciola lateral; H, detalle del final del pétalo III.

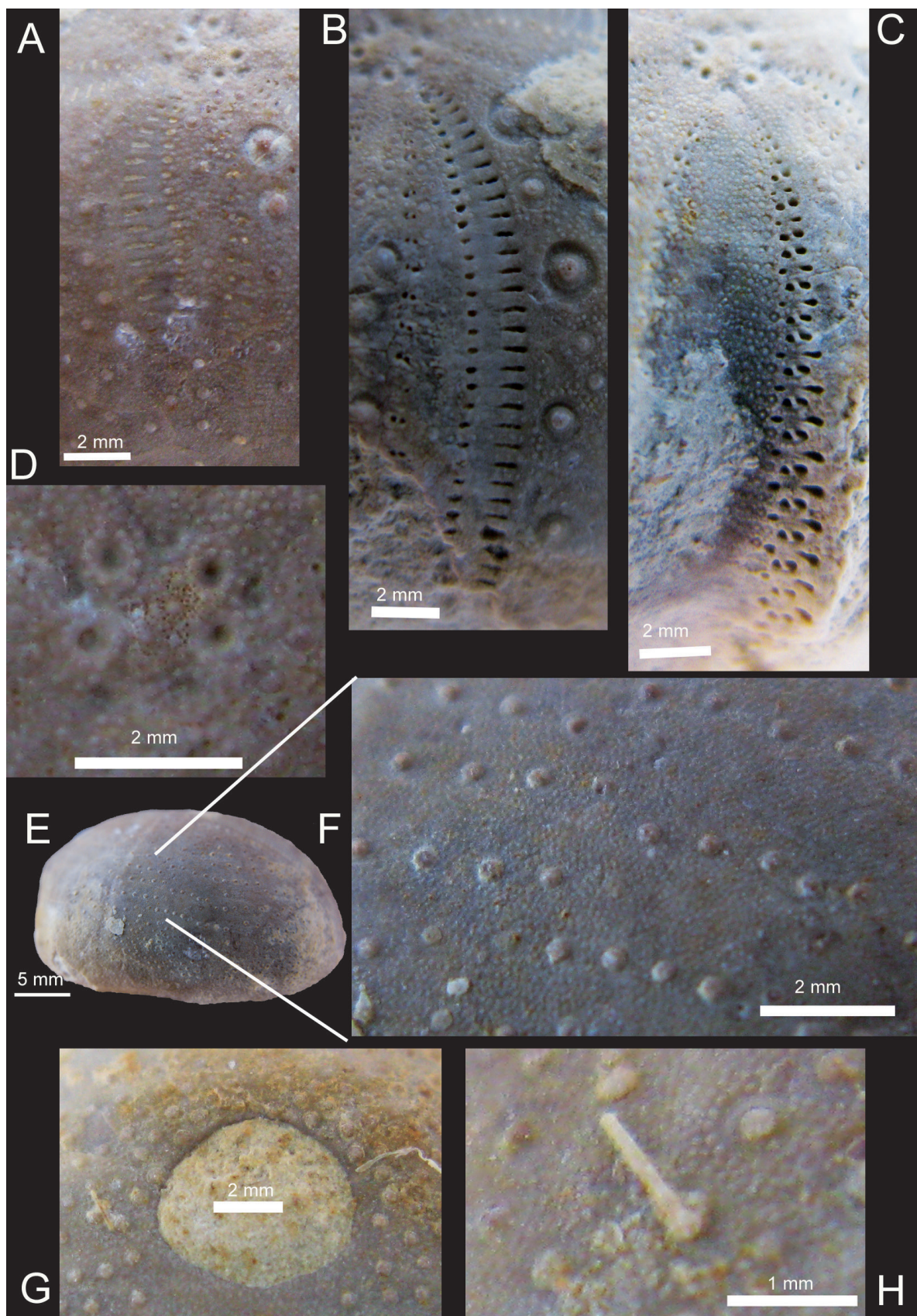


Figura 6. *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) del Albiano de Culla (cuenca del Maestrat). A, detalle de los poros del pétalo ambulacro I; B, detalle de los poros del AII; C, detalle de los poros del AIII; D, detalle de la tuberculación de las placas del sistema apical; E y F, detalles de las fasciolas laterales; G, detalle del periprocto; H, detalle de un fragmento de espina.

son ovalados, el exterior ligeramente más largo, con una protuberancia rectangular separando los poros (Figuras 6 C; 8 E) Los pares largos se disponen en las alineaciones externas, el interior es ovalado y el exterior es doble de largo y su extremo interno es apuntado; ampliamente separados y subconjugados. En el espacio que queda entre las dos columnas de poros, que discurren paralelamente, no hay tuberculación secundaria, solo una densa granulación. Al final de los ambulacros, cerca ya del peristoma, se observan escasos tubérculos secundarios, en los bordes y entre los poros de los filodios. A la parte distal, el pétalo acaba bruscamente desapareciendo los pares de poros largos y sólo aparecen algunos escasos pares de poros, distantes entre sí y pequeños que desaparecen o se vuelven microscópicos (Figura 5 H). El pétalo III ocupa un 89 % de la distancia radial del ambulacro hasta el ámbito, es el que ocupa mayor proporción y también el más largo (Tabla 1).

Los ambulacros pares anteriores son curvados hacia delante en la zona apical y ligeramente hacia atrás en la zona distal; ocupan de media un 81 % de la distancia radial, el ángulo que forman sus ejes tiene unos 75° de media (Tabla 1) y muestran una notable diferencia entre sus dos columnas (Figuras 6 B; 8 D). La columna posterior está ligeramente hundida, en el espacio que ocupan sus poros externos y el espacio hasta el poro interno que ya queda a la altura de la columna anterior o en la parte superior de la pendiente; los poros son alargados pero los externos tienen entre tres o cuatro veces la longitud de los internos y con el extremo interno afilado; entre ellos queda un espacio liso similar a la longitud del poro corto, el interno. Al final del pétalo se acercan y disminuyen súbitamente su longitud terminando juntos y circulares, cerca del inicio de la fasciola lateral (Figura 5 G). En la columna anterior, los poros son circulares, pequeños y juntos, poco conspicuos, en algún ejemplar resulta un poco difícil advertirlos. No están hundidos y su alineación sufre pequeñas variaciones. La columna anterior, tiene muchos menos pares de poros, es decir, muchas menos placas (Figura 8 D). De media (para una muestra de $n = 7$) la columna anterior tiene 25 pares y la posterior 37. En el estrecho espacio interporal, entre las dos columnas de pares de poros, hay una serie de tubérculos secundarios y abundante granulación miliaria.

Los ambulacros pares posteriores tienen los pétalos rectos, cortos (sólo suponen de media un 56 % de la longitud de los pétalos pares anteriores); ocupan un 57 % de media de la distancia radial: el ángulo que forman sus ejes esta en torno a los 99° de media y también muestran diferencia entre sus dos columnas, aunque menor que la que presentan los ambulacros anteriores (Figuras 6 A y 8 C). La columna anterior de los pétalos posteriores es más estrecha con el contorno del poro interno circular y el externo alargado de doble longitud que el interno, y el espacio entre los dos poros es pequeño, similar al diámetro del poro interno. La columna posterior es más ancha que la anterior, con los dos poros alargados, el externo dos o tres veces más largo que el interno, el espacio entre los dos poros también es más

ancho, como dos veces la longitud del poro interno en el centro del pétalo. En el espacio entre las dos columnas de pares de poros hay unos pocos tubérculos secundarios y granulación miliaria. Final cerrado, no hay pares de poros en el espacio que ocupan las fasciolas laterales (Figura 5 F).

El peristoma es pentagonal (Figuras 5 B y 7 A), más ancho que alto, un 80 %, se sitúa en la parte anterior, (el borde posterior del peristoma está situado de media a un 72 % de la distancia al margen posterior, para $n = 10$), un poco hundido y ligeramente encarado hacia delante, donde llega el surco del ambulacro impar (Figura 4 D).

Tuberculación. Es característico de la especie que, en la cara apical, en los interambulacros 1, 2, 3 y 4 tiene unos tubérculos mayores claramente diferentes del resto por tamaño y profundidad de la areola (Figuras 4 F y 7 F). En un ejemplar de grandes dimensiones también aparecen en el interambulacro 5. Estos tubérculos son perforados, crenulados, con areola hundida y con un anillo escrobicular de gránulos pequeños que están espaciados y no siguen un patrón de distribución regular. En el resto de la superficie apical hay de forma poco densa tubérculos secundarios de mucho menor tamaño y sin presentar la areola claramente hundida. En contacto con los bordes del ambulacro III, hay unas fajas de apretados tubérculos secundarios. En la superficie oral la tuberculación, con areolas pentagonales, es muy densa (con excepción de los ambulacros que solo disponen de granulación miliar), especialmente en el plastrón. Las espinas son muy finas con un anillo ancho (Figuras 6 H y 7 C-D).

Entre el final de los pétalos y el ámbito hay bandas de ortofasciolas (*sensu* Néraudeau *et al.*, 1998 : 326, fig. 3 A), separadas por alineaciones de tubérculos secundarios y densamente tapizadas de granulación miliar (Figuras 4 G, 6 E-F y 7 E).

No se han podido apreciar en ningún ejemplar las líneas de sutura de las placas del plastrón.

3.1.3 Fauna asociada

En la cuenca de Salou-Garraf, *W. delgadoi* (Figura 8 F) aparece asociado con un *Tetragramma* Agassiz, 1838 (Figura 8 A-E) citado por Lambert (1902) como *Diplopodia marticensis* var. *bonfilli* (Lambert, 1902). El género *Diplopodia* McCoy, 1848 se distingue de *Tetragramma* por tener un solo tubérculo principal en cada placa interambulacral mientras que *Tetragramma* dispone de dos o más (Smith y Kroh, 2021). Los ejemplares del Albiano de Montmell disponen de dos tubérculos (Figura 8 C) en cada placa interambulacral. En el yacimiento estudiado de Culla sólo ha aparecido un equínido regular que parecía un *Tetragramma* pero estaba tan deteriorado que no permite precisiones.

3.1.4 Discusión

El nuevo yacimiento confirma la presencia de *W. delgadoi* en la cuenca sedimentaria del Maestrat, donde solo se había citado, con seguridad, un solo ejemplar en

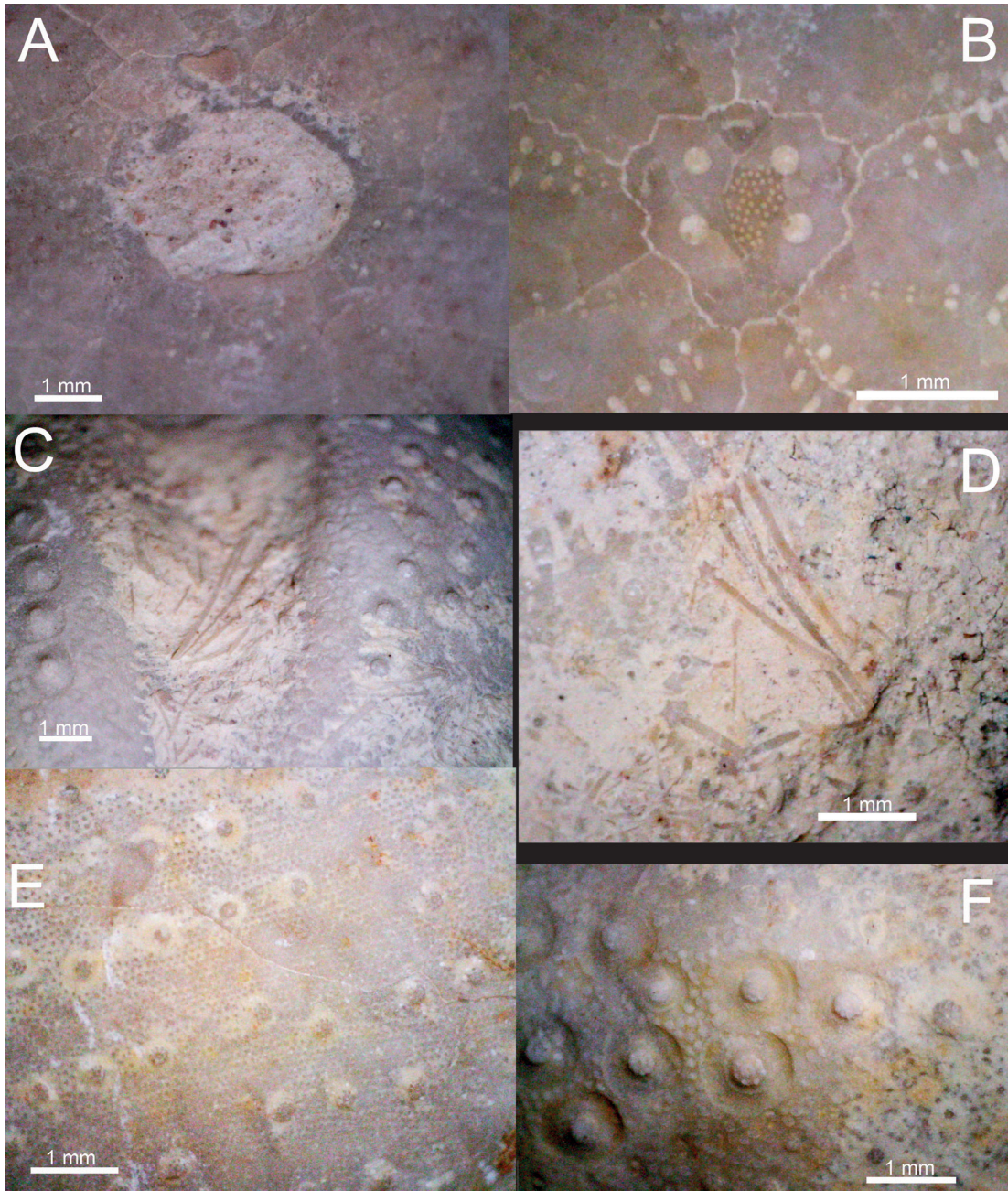


Figura 7. *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) del Albiano de Culla (cuenca del Maestrat). A, detalle del peristoma; B, detalle del sistema apical; C y D, detalle de espinas; E, detalle de bandas de fasciolas laterales; F, detalle de tubérculos engrandecidos. Fotos hechas con microscopio.

Castelló de la Plana (Forner y Segura, 2017). Las citas en el Aptiano Morella y en otros puntos de la comarca dels Ports de Villalba (1993; 2003), no se han podido confirmar. En la zona no existe Albiano y algunos de los yacimientos que cita dicha autora, como Cap de Vinyet y la Fontanella han sido intensamente prospectados sin ningún resultado. Quizás hubo un error con las etiquetas. Villalba (1993; 2003) tampoco hace mención de las fasciolas laterales. Su presencia en la cuenca próxima de Salou-Garraf (Lambert, 1902; 1927), así como las citas en Cantabria (Lambert, 1922), València (Lambert, 1935) y Portugal, donde se

describió la especie, muestran una amplia distribución en la península Ibérica. Fuera de la península Ibérica se ha citado en Argelia (Devriès, 1960); Palestina (Blanckenhorn, 1926); Líbano (Cotteau, 1893); Siria (Fourteau, 1912); Keller y Vautrin, 1937; Mouty *et al.*, 2003); Egipto (Fourteau, 1921) e Irán (Yavari *et al.*, 2016). No obstante, los ejemplares de Irán presentan diferencias con los de Culla estudiados en este trabajo. La más evidente es que su sistema apical es etmofracto (Yavari *et al.*, 2016: 620, fig. 5-2), la placa madreporica no separa las genitales posteriores, mientras que en los ejemplares de Culla sí (Figura 7 A-B). Los

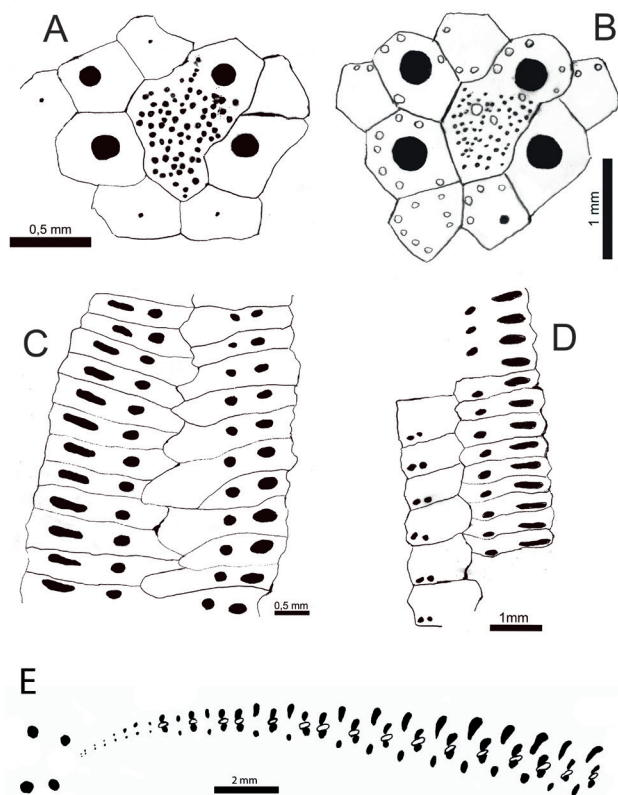


Figura 8. Dibujos de *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) del Albiano de Culla (cuenca del Maestrat). A y B, placas del sistema apical; C, placas del ambulacro V, parte central del pétalo; D, placas del ambulacro IV, parte central del pétalo; E, poros ambulacrales del AIII.

ejemplares portugueses también son semietmolíticos (de Loriol, 1888, pl. XVI, 1g). En el texto Yavari *et al.* (2016) indican de forma ambigua: “*Apical system of ethmophract type, with madreporite partially or totally separating posterior genital plates*”. Separar parcialmente no es separar, o la G2 no separa totalmente, las placas G1 y G4 lo que supone que el sistema apical es etmofracto o las separa (pero no las oculares posteriores) y es semietmolítico. Si separa ambas: las genitales y oculares posteriores es etmolítico. En las imágenes del trabajo de Yavari *et al.* (2016) no resulta evidente la tuberculación singular más grande en los interambulacros apicales, pero en el texto se indica. Apuntan sin imágenes que: “*Parafasciole developed on test flanks*”, en la diagnosis pero en la descripción explican que la conservación de los ejemplares no permite observar posibles fasciolas (Yavari *et al.*, 2016: 621). Según dichos autores, el patrón predominante de alternancia de los pares de poros en el ambulacro III es uno corto y dos largos (Yavari *et al.*, 2016: 621), mientras que en los ejemplares estudiados de Culla es uno corto, uno largo (Figuras 5 H, 7 E y 8 E). De todo lo cual, se genera una cierta duda que pertenezcan a la misma especie.

La distribución estratigráfica no está claramente consolidada. Las dos citas de este trabajo en las cuencas del Maestrat y Salou-Garraf se dan como Albiano (inferior), con

seguridad en el segundo caso. Pero la especie ha sido citada también tanto por abajo, en el Aptiano, como por arriba en el Cenomaniano, con dataciones que habría que confirmar. Un punto interesante sería establecer el primer representante cronológico del género *Washitaster*.

En cuanto a la asignación genérica de *delgadoi* muchos autores, como se ha indicado en la introducción, se inclinan por su inclusión en el género *Heteraster*. No obstante, aquí se considera que los equínidos estudiados disponen de verdaderas fasciolas (Figuras 5 F y 6 E), *sensu* Néraudeau *et al.* (1998); aunque resulta difícil distinguir la división entre ortofasciolas y parafasciolas de dicho trabajo, en todo caso muy posterior a la descripción del género. Disponer de fasciolas laterales y presentar tubérculos mayores diferenciados del resto de la tuberculación en los interambulacros de la superficie apical, dos caracteres derivados, llevan a incluir la especie dentro del género *Washitaster*, estos dos caracteres no son propios de *Heteraster*. Es cierto que la presencia evidente de heterogenidad en el ambulacro III, con pares de poros largos y pares de poros cortos, introduce un elemento de duda en la clasificación genérica como se ha apuntado por Markov y Solovjev (2002) y aunque dicho carácter es, efectivamente, el diferencial del género *Heteraster*, también se presenta en otras especies del género *Washitaster*. En todo caso, hay que considerar que *Washitaster* es muy cercano al género *Heteraster* como indican los análisis cladísticos (Villier *et al.*, 2004; Byrum y Lieberman, 2021), del que muy probablemente descende, por lo que es normal el mantenimiento de un carácter antiguo de su ancestro. Es la aparición de otro carácter moderno, derivado, el desarrollo de fasciolas laterales, la que sustenta la separación del nuevo género *Washitaster* como sostiene Markov y Dolovjev (2002) y Smith y Kroh (2021). De forma inequívoca, si la especie descrita por de Loriol tiene fasciolas laterales es un *Washitaster*. Otro carácter derivado que refuerza la asignación genérica es la presencia en los inteambulacros adapicales de tubérculos especialmente engrandecidos.

Un elemento que puede introducir cierta duda o la conveniencia de ver que ocurre en todos los congéneres, es la arquitectura del sistema apical. En la especie estudiada es claramente semietmolítica (Figuras 6 B; 7 A-B), con la placa madreporica separando las placas genitales posteriores, aunque no las oculares. Para Smith y Kroh (2021) en la diagnosis de la web “The Echinoid Directory” tanto el género *Heteraster* como el *Washitaster* tienen el sistema apical etmofracto, aunque en el dibujo del sistema apical de la especie tipo de este último, *W. riivistae*, se aprecia de forma clara que es semietmolítico, quizás es un mero problema terminológico. En el trabajo de Kroh & Smith (2010: 193) se distingue, inequívocamente, entre un sistema apical etmofracto y otro semietmolítico (también denominado hemilítico).

La comprobación de éste y otros caracteres potencialmente diagnósticos, así como una datación correcta que clarificara su distribución estratigráfica y la

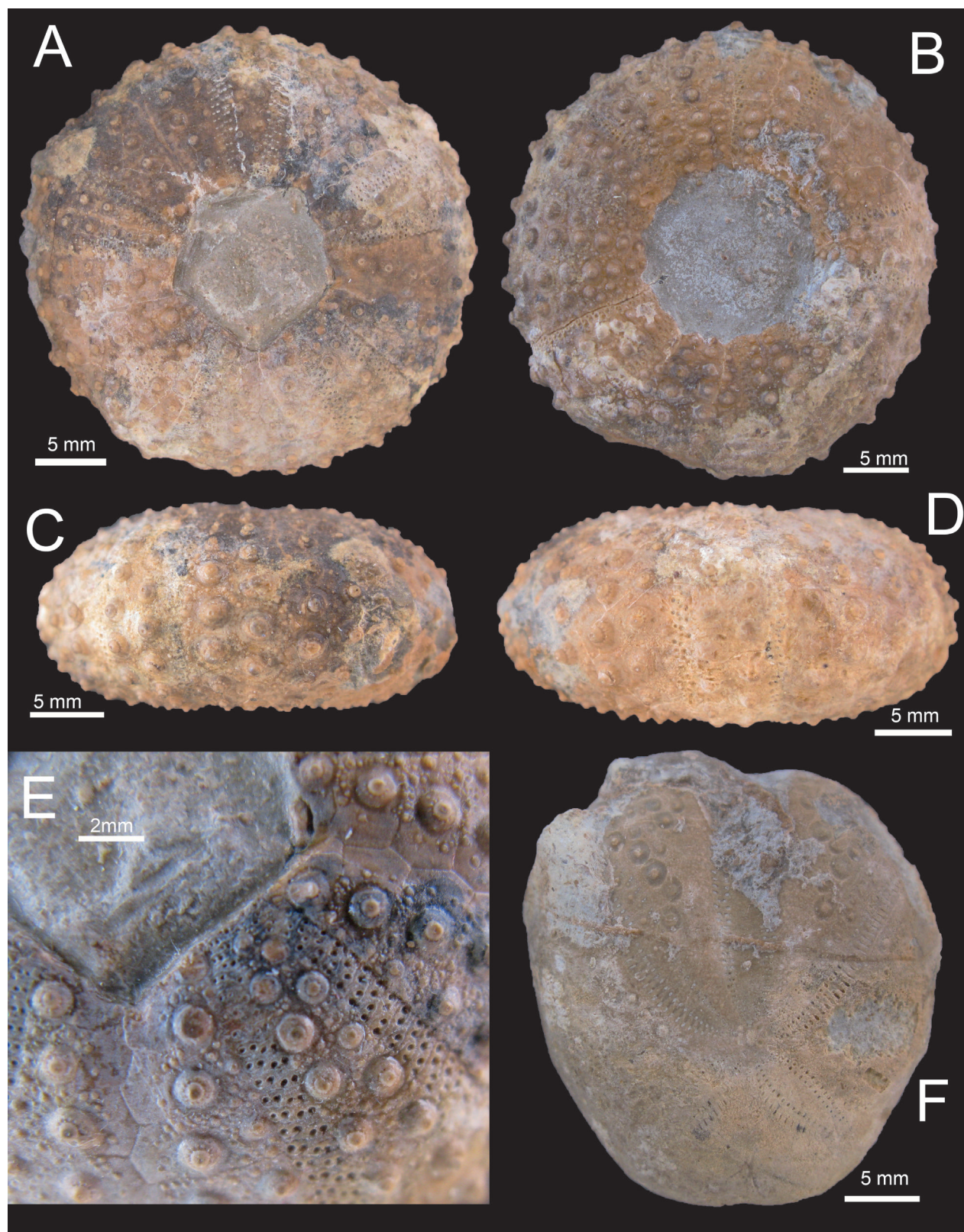


Figura 9. Albiano de la cuenca Salou-Garraf. A-E *Tetragramma* sp. de Salomó (Tarragona), A, vista apical; B, vista oral; C, vista lateral interambulacral; D, vista lateral ambulacral; E, detalle de la parte adapical; F, *Washitaster delgadoi* (de Loriol, 1884) del Catllar (Tarragona), vista apical.

probable zona de origen, la consistencia de las especies nominales y una revisión de todas las citas para observar su distribución geográfica aconsejarían una revisión del género *Washitaster*. Algunos autores (Smith y Kroh, 2021) sólo citan dentro del género *Washitaster* cuatro especies mexicano-texas, del Albiano superior: *W. riovistae* (Adkins, 1920); *W. longisulcus* (Adkins y Winton, 1920); *W. wenosensis* (Adkins, 1920) y *W. bravoensis* (Böse, 1910), que le otorgaría una distribución geográfica y estratigráfica coherente y restringida. Markov y Solovjev (2002: 371) también incluyen a *Heteraster texanus* (Roemer, 1849), del Albiano de Texas. Pero en la década de los 50's del siglo XX se describieron tres especies más en el Japón: *W. macroholcus* Nisiyama, 1950; *W. japonicus* Tanaka & Okubo, 1954 y *W. barremicus* Tanaka & Okubo, 1954, con un registro bastante anterior, del Barremiense. Aunque con posterioridad se les ha cambiado la asignación genérica (Nisiyama, 1968; Tanaka y Kozai, 1982). Estas especies japonesas, junto a la especie estudiada en este trabajo, en su caso, alterarían la simplicidad del modelo de distribución anterior del género *Washitaster*.

Agradecimientos

A la Fundació Caixa Castelló por la ayuda en el financiamiento del microscopio digital Edge, Dino-Lite. A Vicent Gual i Ortí por su ayuda en la confección de las figuras. A Carl Nugent por la corrección de los textos en inglés. A los revisores anónimos que con sus correcciones y sugerencias han contribuido a la mejora del texto final. Agradecemos el apoyo en la edición técnica recibido por la Mtra. Sandra Ramos

Referencias

- Adkins, W.S., 1920, The Weno and Paw Paw Formation of the Texas Comanchean: University of Texas Bulletin, 1856, 101–117. DOI: <http://dx.doi.org/10.26153/tsw/5805>
- Adkins, W.S., Winton, W.M., 1920, Paleontological correlation of the Fredericksburg and Washita formations in North Texas: University of Texas Bulletin, 1945, 1–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.26153/tsw/5170>
- Agassiz, L., 1838, Monographies d'Échinodermes vivants et fossiles. Première monographie: Des Salénies: Neuchâtel, Petitpierre, 32 pp., 5 pls. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.1833>
- Blanckenhorn, A., 1926, Die Seeigelfauna der Kreide Palästinas: Palaeontographica Beiträge zur Naturgeschichte der Vorzeit, Cassel, 67, 113 pp.
- Böse, E., 1910, Monografía geológica y paleontológica del Cerro de Muleros cerca de Ciudad Juárez y descripción de la fauna cretácea de la Encantada, Placer de Guadalupe, Estado de Chihuahua: Boletín del Instituto de Geología México, 25, 1–193.
- Byrum, S., Lieberman, B.S., 2021, Phylogeny and biogeography of some Cretaceous spatangoid echinoids with special emphasis on taxa from the Western Interior Seaway: Journal of Paleontology, 95(3), 613–623. DOI: <https://doi.org/10.1017/jpa.2020.102>
- Cooke, C.W., 1955, Some Cretaceous echinoids from the Americas: United States Geological Survey, Professional Paper, 264-E, 87–112. DOI: <https://doi.org/10.3133/pp264E>
- Cotteau, G., 1893, Sur quelques espèces d'échinides au Liban, in Comptes rendus du Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, 22e. session, Paris, 346–360.
- David, B., Fournier, D., Godet, H., 1987, Variations morphologiques chez *Heteraster oblongus* (Brongniart): exemple de l'Aptien inférieur de Chartreuse (Isère, France): Géologie Méditerranéenne, t. 14(4), 255–260. DOI: <https://doi.org/10.3406/GEOLM.1987.1387>
- de Loriol, P., 1884, Notes pour servir à l'étude des échinodermes I: Recueil Zoologique Suisse, 1, 605–643.
- de Loriol, P., 1887, Notes pour servir à l'étude des échinodermes II: Recueil Zoologique Suisse, 4(3), 365–407.
- de Loriol, P., 1888, Recueil d'études paléontologiques sur la faune crétacique du Portugal, Volume 2, Description des échinodermes: Lisboa, Commission des Travaux géologiques du Portugal, 122 pp. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.15036>
- de Loriol, P., 1897, Notes pour servir à l'étude des échinodermes VI: Revue Suisse de Zoologie et annales du Muséum d'Histoire naturelle de Genève, 5, 141–178.
- Devriès, A., 1955, Description d'une faune échinitique recueillie par M. Mattauer dans la région de Teniet el Haad (Algérie): Bulletin de la Société Histoire Naturelle Algérie, 461, 1–33.
- Devriès, A., 1960, Contribution à l'étude de quelques groupes d'échinides fossiles d'Algérie: Publications du Service de la Carte Géologique d'Algérie, 3, 279 pp.
- d'Orbigny, A., 1854–60, Paléontologie Française, Terrains Crétacés, Tome 6, Echinodermes, Échinoides irréguliers: Paris, G. Masson, 596 pp, pls 801–1006. 1–32 (July 1854); 33–64 (Oct. 1854); 65–96 (Nov. 1854); 97–128 (Jan. 1855); 129–192 (Mar. 1855); 193–208 (May 1855); 209–224 (Aug. 1855); 225–272 (Nov. 1855); 273–320 (Oct. 1856); 273–352 (Oct. 1856); 353–384 (1857); 385–400 (1858); 401–432 (1858); 433–596 (1860). DOI: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/50510>
- Durham, J.W., Wagner, C.D., 1966, Glossary of morphological terms applied to echinoids, en Moore, R.C. (ed.), Treatise on invertebrate paleontology, Part U, Echinodermata 3: Lawrence (EUA), The Geological Society of America and University of Kansas, U251–U256.
- Fischer, A.G., 1966, Spatangoids, in Moore, R.C. (ed.), Treatise on invertebrate paleontology, Part U, Echinodermata 3: Lawrence (USA), The Geological Society of America and University of Kansas, U543–U628.
- Forner, E., 2019, *Platystrophia buitronae* especie nueva (Echinoidea) del Aptiano inferior de la Cuenca del Maestrat (Península Ibérica): Paleontología Mexicana, 8(2), 129–146.
- Forner, E., Segura, J., 2017, Presència de *Washitaster delgadoi* (Echinoidea) al Cenomanià de Castelló de la Plana: Butlletí de la Societat Castellonenca de Cultura, 93, 5–24.
- Fourtau, R., 1912, Contribution à l'étude des échinides fossiles de la Syrie: Mémoires présentés et lus à l'Institut égyptien, VII(II), 41–68.
- Fourtau, R., 1921, Catalogue des invertébrés fossiles de l'Égypte représentés dans les collections du Musée de Géologie au Caire, Terrains crétacés, Troisième partie: Échinodermes (Supplément): Geological Survey of Egypt, Paleontological Series, 5, 1–101. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.60809>
- Hitzel, E., 1902, Sur les fossiles de l'étage Albien recueillis par M.A. Guébhard dans la région d'Escagnolles (A.-M.): Bulletin de la Société Géologique de France 2, 874–880.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1973, Mapa Geológico de España Cuevas de Vinromà Hoja 593: Madrid, servicio de publicaciones del ministerio de Industria, 25 pp.
- Keller, A., Vautrin, H., 1937, Nouvelle contribution à l'étude des échinides de la Syrie et du Liban: Notes et Mémoires du Haut-Commissariat de la République française en Syrie et au Liban, Beyrouth, 2, 137–164.
- Kroh, A., Mooi, R., 2021, World Echinoidea Database. Disponible en [http://www.marinespecies.org/echinoidea/aphia.php?p=taxdetails&id=512792], consultado el 21 de octubre de 2021.

- Kroh, A., Smith, A.B., 2010, The phylogeny and classification of post-Paleozoic echinoids: *Journal of Systematic Palaeontology*, 8(2), 147–122. DOI: <https://doi.org/10.1080/14772011003603556>
- Lambert, J., 1902, Description des échinides fossiles de la province de Barcelona: *Mémoires de la Société Géologique de France, Paléontologie*, 24, reedición, 1966, Amsterdam, Swets y Zeitlinger N.V., 128 pp.
- Lambert, J., 1920, Sur quelques genres nouveaux d'échinides: *Mémoires de la Société Académique d'Agriculture, des Sciences, Arts et Belles-lettres du Département de l'Aube*, 3(55), 145–174.
- Lambert, J., 1922, Sur quelques genres nouveaux d'échinides: *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Serie Geológica)*, 28, 7–26.
- Lambert, J., 1927, Considerations sur les Échinides de la Comanche Serie du Texas: *Bulletin de la Société géologique du France*, 26(4), 263–278.
- Lambert, J., 1927b, Révision des échinides fossiles de Catalogne: *Memorias del Museo de Ciencias Naturales de Barcelona, serie geológica*, 1(1), 1–102.
- Lambert, J., 1935, Sur quelques échinides fossiles de Valence et d'Alicante communiqués par M. le Prof. Darder Pericás: *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, 35, 359–371.
- Lambert, J., Thiéry, P., 1909–1925, *Essai de nomenclature raisonnée des Échinides*: Chaumont, Librairie L. Ferrière, 607 pp.
- Markov, A.V., Solovjev, A.N., 2002, Echinoids of the genus *Washitaster* (Spatangoida): morphology and taxonomic position: *Paleontological Journal*, 16(4), 368–379.
- McCoy, F., 1848, On some new Mesozoic Radiata: *Annals and Magazine of Natural History*, (2)2, 409–417.
- Melville, R.V., Durham, J.W., 1966, Skeletal morphology, *en* Moore, R.C. (ed.), *Treatise on invertebrate paleontology*, Part U, Echinodermata 3, Volume 1: Lawrence (USA), The Geological Society of America and University of Kansas, U220–U257.
- Moreno-Bedmar, J.A., Robert, E., Matamalas-Andreu, R., Bover-Arnal, T., 2017, Review of the early Albian ammonites of the Montmell Formation near Marmellar (Salou-Garraf Basin, Tarragona, Catalonia, Spain): *Carnets de Géologie*, 17(1), 1–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.4267/2042/62038>
- Mortensen, T., 1950–1951, A monograph of the Echinoidea. V: Spatangoida, Vol. 1 (1950), 432 pp.; Vol. 2 (1951), 593 pp.: Copenhagen, Reitzel.
- Mouty, M., Al-Maleh, A.K., Laban, H.A., 2003, Le Crétacé moyen de la chaîne des Palmyrides (Syrie centrale): *Godiversitas*, 25(3), 429–443.
- Néraudeau, D., David, B., Madon, C., 1998, Tuberculation in spatangoid fascioles: Delineating plausible homologies: *Lethaia*, 31, 323–334. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1998.tb00522.x>
- Nisiyama, S., 1950, Two new species of the Toxasteridae from Japan: *Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University, Short Paper*, 1, 42–47.
- Nisiyama, S., 1968, The Echinoid Fauna from Japan and Adjacent Regions: Part II: *Paleontology Society of Japan, Special Paper*, 13, 1–491.
- Rey, J., 1972, Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Extremadura (Portugal): Lisboa, *Mémoires du Service géologique su Portugal*, 21, 477 pp.
- Rey, J., 1979, Le Crétacé Inférieur de la marge atlantique portugaise: biostratigraphie, organisation séquentielle, évolution paléogéographique: *Ciências da Terra*, 5, 97–120.
- Roemer, F., 1849, Texas: Mit besondere Rücksicht auf Deutsche Auswanderung und die Physischen Verhältnisse des Landes nach eigener Beobachtung Geschildert: Bonn, A. Marcus, 464 pp.
- Salas, R., Guimerà, J., 1996, Rasgos estructurales principales de la Cuenca cretácica inferior del Maestrazgo (Cordillera Ibérica oriental): *Geogaceta*, 20(7), 1704–1706.
- Salas, R., Guimerà, J., 1997, Estructura y estratigrafía secuencial de la Cuenca del Maestrazgo durante la etapa de Rift Jurásica superior – Cretácica inferior (Cordillera Iberica Oriental): *Boletín Geológico y Minero*, 108(4 y 5), 393–402.
- Saura, M., García-Vives, J.A., 2012, *Atelostomata II Spatangoida Nomochirus*, 3: Onda, *Associació Paleontològica i Mineralògica d'Onda*, 340 pp.
- Smith, A.B., Kroh, A., 2021, The Echinoid Directory: London, Natural History Museum, *disponible en* [<http://www.nhm.ac.uk>], consultado el 09 de abril de 2021.
- Tanaka, K., Okubo, M., 1954, On some echinoids from the Paleo-cretaceous of the Yuasa district in Kyushu: *Journal of the Geological Society of Japan*, 60, 215–227, pl. 7. (In Japanese with English abstract).
- Tanaka, K., Kozai, 1982, Some cretaceous echinoids from the Monolu area, central Shikoku: *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, N.S., 126; 341–355.
- Villalba, M.P., 1993, Revisión de los equínidos del Cretácico Inferior y Medio Español, Tesis doctoral 1991, Facsímil autorizado y reproducido por el Servicio de Reprografía de la Editorial de la Universidad Complutense de Madrid en 1993, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 568 pp. 33 lám.
- Villalba, M.P., 2003, Los equínidos irregulares de la provincia de Castellón: *Nemus*, 1, 93–156.
- Villier, L., Néraudeau, D., Clavel, B., Neumann, C., David, B., 2004, Phylogeny of early cretaceous spatangoids (Echinodermata: Echinoidea) and taxonomic implications: *Palaeontology*, 47(2), 265–292. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0031-0239.2004.00364.x>
- Yavari, M., Yazdi, M., Gahalavand, H., Kamyabi-Shadan, H., Adabi, M.H., Villier, L., 2016, Early Cretaceous Toxasterid Echinoid *Heteraster* from the high Zagros basin, south of Iran: *Carnets de Géologie*, 16(26), 615–632. DOI: <https://doi.org/10.4267/2042/61883>

Cinco morfotipos de carofitas fósiles del Oligoceno de la Formación Frío en el Noroeste de Tamaulipas, México

Five morphotypes of Oligocene carophytes from the Frío Formation, Northwest of Tamaulipas, Mexico

Coronado-Díaz, Miroslava ^a , Silva-Martínez, Luis Encarnación ^{a,*} ,
Guadiana-Padilla, Greta ^a , Cordoba-Merino, Gabriela ^a 

^a Laboratorio de Paleobiología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Av. Pedro de Alba y Manuel L. Barragán s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, C.P. 66455, Nuevo León, México.

* luis.silva.paleo@gmail.com

Resumen

Este trabajo presenta por primera vez cinco morfotipos de carofitas fósiles de edad Oligocénica pertenecientes a la Formación Frío (constituida por un miembro no marino y un miembro marino) que aflora en el noreste de México dentro de la Cuenca de Burgos. Dicho trabajo, se realizó con muestras depositadas en la colección del Laboratorio de Paleobiología de la Facultad de Ciencias Biológicas, pertenecientes a tres pozos perforados por personal de Pemex. De estas muestras se obtuvieron girogonitos de carofitas, los cuales fueron recolocados en placas paleontológicas para su posterior clasificación basada en caracteres morfométricos. Los girogonitos identificados pertenecen a cinco morfotipos de la Familia Characeae. Las carofitas pueden ser indicadores de sedimentos depositados en ambientes salobres y dulceacuícolas; sin embargo, un estudio más profundo de reconstrucción paleoambiental brindaría información certera sobre el ambiente que prevalecía en el sistema de lagunas inter-deltaicas en Tamaulipas (noreste de México) y Texas (Estados Unidos).

Palabras clave: Carofitas, Characeae, Cuenca de Burgos, Formación Frío, Oligoceno Tamaulipas.

Abstract

This study presents for the first time five morphotypes of fossil charophytes of Oligocene age belonging to the Frío Formation (consisting of a non-marine member and a marine member) that outcrops in northeastern Mexico within the Burgos Basin. That research was carried out with samples deposited in the collection of the Laboratorio de Paleobiología, Facultad de Ciencias Biológicas, pertaining to three wells drilled by Pemex personnel. Gyrogonites of charophytes were obtained from these samples, which were repositioned on paleontological plates for its subsequent classification based on morphometric characters. The gyrogonites identified belong to five morphotypes of the Characeae Family. Charophytes may be indicators of sediments deposited in brackish and freshwater environments, however, a deeper study of paleo-environmental reconstruction would provide accurate information about the environment that prevailed in the inter-deltaic lagoon system in Tamaulipas (northeastern Mexico) and Texas (United States).

Keywords: Burgos Basin, Characeae, Charophytes, Frío Formation, Oligocene, Tamaulipas.

1. Introducción

La Formación Frío consta de lutitas oscuras a gris-verdosas, con presencia de yeso y concreciones calcáreas, de acuerdo con Dumble (1894) en su descripción original, mientras que, para México, es descrita como una unidad de lutitas abigarradas en coloraciones cafés y verdes, con arenas arcillosas y concreciones calcáreas (Meneses-Gyves, 1950). Esta unidad se conforma por dos subunidades: un miembro marino y un miembro no marino (López-Ramos, 1980). Foraminíferos, ostrácodos y restos de algas carofíceas forman parte del contenido paleontológico de esta formación (Meneses-Gyves, 1950; Pemex, 1988).

Las algas carofíceas o carofitas constituyen un grupo de algas de ambientes de agua dulce y lagunas salobres. Las especies pertenecientes a la Familia Characeae están representadas en el registro fósil por sus fructificaciones (girogonitos) y talos; sin embargo, a lo largo de la historia evolutiva de las carofitas, se tiene registro de otras estructuras del organismo (Groves y Bullock-Webster, 1920; Wood, 1951; Feist *et al.*, 2005). La evidencia fósil muestra que, al igual que las especies actuales, las carofitas habitaban en ambientes de agua dulce a salobre, incluyendo ambientes no marinos con poca salinidad (Feist *et al.*, 2005). Durante el Oligoceno, se da una época de empobrecimiento de taxones, además de una reducción de su distribución global; no obstante, a finales de esta época, se produjo una renovación caracterizada por la aparición de nuevas especies dentro de los géneros *Chara*, *Nemegtichara*, *Nitellopsis*, *Lychnothamnus* y *Sphaerochara* (Feist *et al.*, 2005).

Actualmente, el conocimiento sobre las algas carofíceas en México es pobre (Omaña *et al.*, 2018); sin embargo, en otros lugares del mundo, especialmente en cuencas continentales y transicionales de Eurasia, se han realizado numerosos trabajos relacionados con la bioestratigrafía (incluidas calibraciones con otros fósiles índice y dataciones absolutas), paleoecología, paleogeografía, taxonomía y macroevolución del grupo, así como en las reconstrucciones de paleoambientales (Anadon *et al.*, 1992; Martín-Closas y Serra-Kiel, 2007; Martín-Closas y Wang, 2008; Soulié-Märsche, 2008; Rodrigo *et al.*, 2009; Palacios-Fest, 2010; Sanjuan y Martín-Closas, 2014; Soulié-Märsche y García, 2014; Omaña *et al.*, 2018; Sanjuan *et al.*, 2020; Vicente *et al.*, 2020). Estos trabajos muestran la importancia que tienen dichos fósiles no solo dentro de los estudios bioestratigráficos, sino también en un amplio abanico de análisis.

Para el caso particular de México, algunos estudios realizados por el Servicio Geológico Mexicano ya

reportan restos de algas calcáreas (carofitas) como parte del contenido paleontológico de algunas formaciones mexicanas (Servicio Geológico Mexicano, 2010), aunque dichas muestras no llegan a identificarse taxonómicamente, como ocurre con el trabajo realizado por Rodríguez-Cantú (1986) en el noreste de México, con ejemplares de carofitas vagamente descritos. Omaña, *et al.* (2018) presentan nuevos registros de carofitas en el Jurásico tardío de la Formación San Juan al noroeste de Oaxaca. Recientemente, Vicente *et al.* (2020) reportan el registro más antiguo del género *Lychnothamnus* en la Cuenca de Cabullona (noreste de Sonora, México), mientras que Sanjuan *et al.* (2020) presentan una asociación de carofitas compuesta por ocho taxones en las formaciones Pine Hollow y Claron. Estos resultados destacan la presencia de algunas especies únicamente reportadas en Europa y Asia que, además, tienen una marcada importancia bioestratigráfica.

Durante el Oligoceno, la flora de carofitas estaba dominada por especies de la Familia Characeae, la cual se caracteriza por presentar cinco células espirales sinistralas, no encerradas en el utrículo, que se unen en el ápice y lo cierran por completo. Desde el Mioceno tardío hasta la actualidad, solo quedan representados 7 géneros y alrededor de 77 especies (Feist *et al.*, 2005 y referencias ahí). Esta familia se subdivide en dos subfamilias: Charoideae y Nitelloideae, clasificadas a partir de especies vivas y caracteres que no siempre son conservados en los fósiles como, por ejemplo, la placa basal (Grambast, 1956; Feist *et al.*, 2005).

El objetivo de este estudio es trabajar nuevamente el material de carofitas depositado en la colección del Laboratorio de Paleobiología (Facultad de Ciencias Biológicas), perteneciente a tres pozos previamente perforados por personal de Pemex. Una vez revisado dicho material, se pretende hacer una clasificación preliminar de los diferentes morfotipos de carofitas encontrados, con el fin de facilitar futuras investigaciones enfocadas en examinar dicha flora a nivel taxonómico (nivel especie), bioestratigráfico, y paleoecológico.

2. Descripción del área de estudio

Los pozos de donde se extrajeron las muestras se encuentran dentro del estado de Tamaulipas (noreste de México). Dos de ellos pertenecen al municipio de Reynosa y corresponden a las siguientes coordenadas: 25°47' N, 98°19' O (Pozo Monterrey N°36) y 25°36' N, 98°07' O (Pozo Caliches N°1); y el último se encuentra dentro del municipio de Río Bravo ubicado en las coordenadas 26°02' N, 98°05' O (Pozo Francisco Cano N°62) (Figura 1).

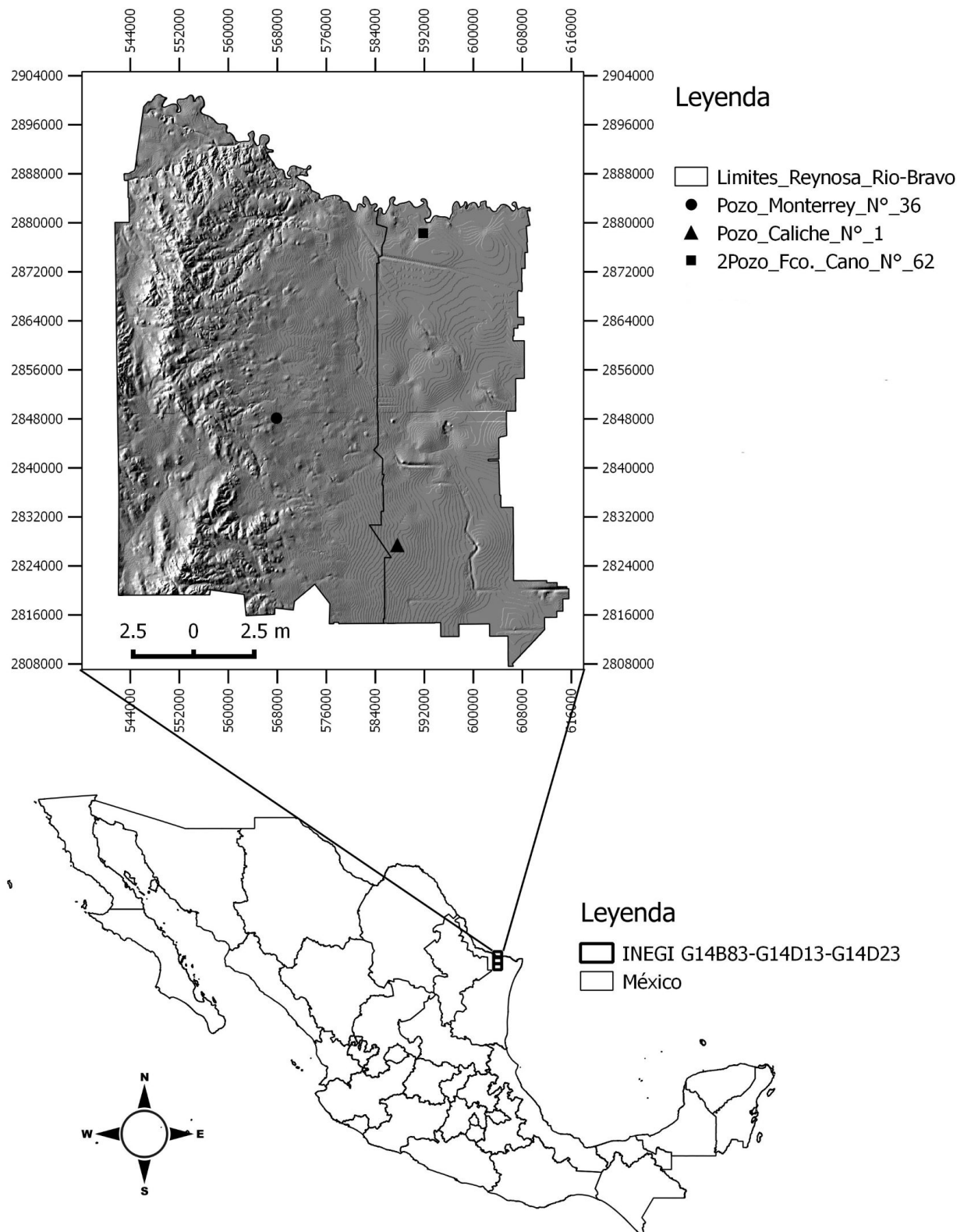


Figura 1. Mapa del área de estudio, con la ubicación de cada uno de los pozos.

3. Material y métodos

Para esta investigación, se utilizó material de la Colección Paleobiológica registrada como FCBUANL_94 a FCBUANL_815 del Laboratorio de Paleobiología, que corresponde a girogonitos de algas carofíceas. El material descrito proviene de tres pozos pertenecientes a la Formación Frío que Petróleos Mexicanos perforó en el noroeste del estado de Tamaulipas, con un rango de perforación de 980 a 3345 metros, se revisó desde la superficie hasta la profundidad total del pozo, con intervalos de 20 metros. Para el miembro no marino de la Formación Frío, se ubicaron dentro de la Cuenca de Burgos en la franja media y occidental del Oligoceno; para el miembro marino, dentro de la franja media y oriental.

Las carofitas depositadas en la Colección Paleobiológica fueron montadas en placas paleontológicas según la técnica propuesta en Rodríguez-Cantú (1986). Cabe destacar que el material trabajado ya se encontraba procesado, por lo que, la metodología a seguir en esta investigación consistió en un análisis morfológico y merístico para la posterior elaboración de claves taxonómicas. Se realizó una serie de fotografías mediante SEM, en donde se colocó un ejemplar representativo de cada morfotipo en tirillas de cinta de carbón, sobre una placa recubierta de oro-paladio, por un periodo de tres minutos en una bomba de vacío marca Denton vacuum desk IV, para luego ser colocadas en un microscopio electrónico JEOL (JSM-6490LV) a 20 kV.

4. Marco geológico

Los pozos se ubican geológicamente dentro de la Cuenca de Burgos (Figura 2), la cual cubre principalmente al estado de Tamaulipas y de manera parcial al estado de Nuevo León y el margen noreste de Coahuila, su origen parte por efectos de la orogenia Laramide y se estableció a fines del Cretácico, sobre una extensa plataforma mesozoica (Echanove-Echanove, 1986). Muchas de las unidades litológicas representantes de la Cuenca de Burgos son del periodo terciario, dentro de ella, la franja que pertenece al Oligoceno los sistemas de fallas de crecimiento son secuenciales hacia el oriente formando una serie de bloques alargados y subparalelos, de extensión regional y escalonados, fue durante este periodo en que el constante movimiento tectónico rejuveneció esta región del país y provocó la retirada del mar, erosión y progradación de sedimentos, para depositar los estratos de la Formación Frío (Echanove-Echanove, 1986; Eguiluz de Antuñano, 2011). Por efecto del origen geológico de este periodo no en todas las Formaciones geológicas se encuentran representantes de foraminíferos pero si restos de otros organismos como los girogonitos de carofitas (López-Ramos, 1980; Rodríguez-Cantú, 1986).

La Cuenca de Burgos se origina en el Jurásico Superior al iniciarse la actividad sedimentaria y tectónica moderna.

A partir de esta época es cuando se inicia un depósito continuo y cíclico hacia el oriente de una potente secuencia sedimentaria calcárea, calcáreo-arcillosa y areno-arcillosa. Esta cuenca es de interés económico debido a que es la principal productora de gas seco en el territorio mexicano (Echanove-Echanove, 1986; Vizcarra-Martínez, 2005).

Como se mencionó dentro de la Cuenca de Burgos se encuentra la Formación Frío, constituida por arenas de grano fino a medio de color café a gris y por lutitas de colores variables, en ocasiones con yesíferas y pequeñas intercalaciones de ceniza volcánica con restos de plantas; la dureza de estas rocas varía de semidura a suaves y son fisiles. También se le describe como una secuencia litológica de lutitas de color café y verde, arenas arcillosas y concreciones calcáreas, es subdividida en dos unidades Frío marino (lutitas grisáceas a verdosas con abundante cantidad de foraminíferos) y Frío no marino (lutitas rojizas y grisáceas con fragmentos de anhidrita y yeso, presencia de cuerpos lenticulares de arenisca de grano fino a medio) ésta última se caracteriza por la carencia de fósiles (Meneses-Gyves, 1950; López-Ramos, 1980; Pemex, 1988).

5. Resultados

Se obtuvieron cinco morfotipos de girogonitos, todos pertenecientes a la Familia Characeae. De manera general, los girogonitos exhiben un rango de altura que va de 328 a 1189 μm de alto y 287–984 μm de ancho, los tamaños oscilan entre pequeños a grandes; con un promedio de seis a siete vueltas de espira, la mayoría no presenta ornamentaciones, con suturas hundidas o sobresalientes (Tabla 1). A continuación, se muestra un esquema general de los girogonitos (Figuras 3 y 4).

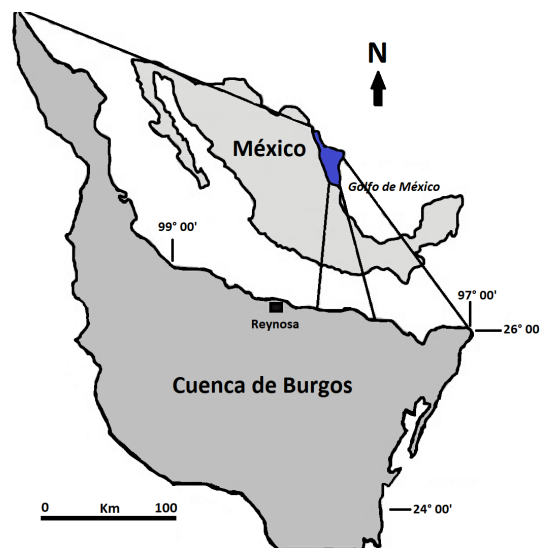


Figura 2. Ubicación de la Cuenca de Burgos en el territorio mexicano. (Modificado de Eguiluz de Antuñano, 2011).

Tabla 1. Diferencias morfométricas de los morfotipos.

Morfotipo/ Características	Medidas									Costillas			
	Altura (H)			Ancho (W)			Índice relación H/W			Envolventes	Vueltas	Espesor	Tipo de sutura
	M	Máx	Mín	M	Máx	Mín	M	Máx	Mín				
Morfotipo I	779 μ	1189 μ	492 μ	581 μ	943 μ	410 μ	1.3	2	1	7	7	73 μ	Hundida
Morfotipo II	971 μ	1140 μ	410 μ	532 μ	902 μ	369 μ	1.3	1.5	1	6	6	58 μ	Sobresaliente
Morfotipo III	795 μ	1107 μ	410 μ	661 μ	984 μ	410 μ	1.2	2.2	0.8	6	6	76 μ	Hundida
Morfotipo IV	774 μ	902 μ	615 μ	610 μ	738 μ	454 μ	1.3	1.5	1.1	7	7	48 μ	Hundida
Morfotipo V	774 μ	1068 μ	451 μ	529 μ	902 μ	287 μ	1.4	2	8	6	6	69 μ	Sobresaliente

Paleontología sistemática

Los ejemplares se clasificaron según sus caracteres morfológicos y biométricos dentro de la Familia Characeae, Subfamilia Charoideae. Con el fin de facilitar trabajos taxonómicos posteriores, las muestras se han organizado en cinco morfotipos, nombrados con número romanos (I al V), su descripción se encuentra a continuación:

División Charophyta Migula, 1897

Clase Charophyceae Smith, 1938

Orden Charales Lindley, 1836

Familia Characeae (Richard ex. C. Agardh, 1824)
emend. Martín-Closas et Schudack, 1991

Subfamilia Charoideae Braun, 1897

Morfotipo I: Girogonitos de tamaño medio, 492–1189 μ de alto (media de 779 μ) y 410–943 μ de ancho (media de 581 μ). Lateralmente ovoide, compuesto por siete vueltas de espira de $\sim$ 48 μ de espesor. No presenta ornamentación y sus células son planas. Presenta una marcada modificación periapical y un sutil desarrollo de nódulos apicales. Base redondeada con poro basal pequeño a mediano (Figura 5A–C).

Morfotipo II: Girogonitos pequeños, 410–1140 μ de alto (media de 671 μ) y 369–902 μ de ancho (media de 532 μ). Lateralmente ovoide, compuesto por seis a siete vueltas de espira de $\sim$ 70 μ de espesor. No presenta ornamentación, sus células son cóncavas y con sutura sobresaliente. Ápice redondeado sin modificaciones periapicales. Base afilada con poro basal pentagonal (Figura 5D–I).

Morfotipo III: Girogonitos de tamaño medio, 410–1107 μ de alto (media de 795 μ) y 410–984 μ de ancho (media de 661 μ). Lateralmente ovoide, compuesto de seis a siete vueltas de espira de $\sim$ 52 μ de espesor. No presenta ornamentación, sus células son planas a convexas. Ápice nitelopsidoide, extremos engrosados y expandidos que forman una roseta central, la base es redondeada y con poro basal pentagonal. Estas muestras presentan un alto grado de erosión (Figura 5J–L).

Morfotipo IV: Girogonitos de tamaño medio, 615–902 μ de alto (media de 774 μ) y 454–738 μ de ancho (media de 610 μ). Lateralmente ovoide a globoso, compuesto de seis vueltas de espira de $\sim$ 58 μ de espesor. Presenta ornamentaciones de tipo tubérculo o noduloso con suturas marcadas. Ápice nitelopsidoide, con modificación periapical en forma de estrechamiento y adelgazamiento de la célula. Base redondeada con poro basal pequeño y pentagonal (Figura 6M–Ñ).

Morfotipo V: Girogonitos de tamaño medio, 451–1068 μ de alto (media de 724 μ) y 287–902 μ de ancho

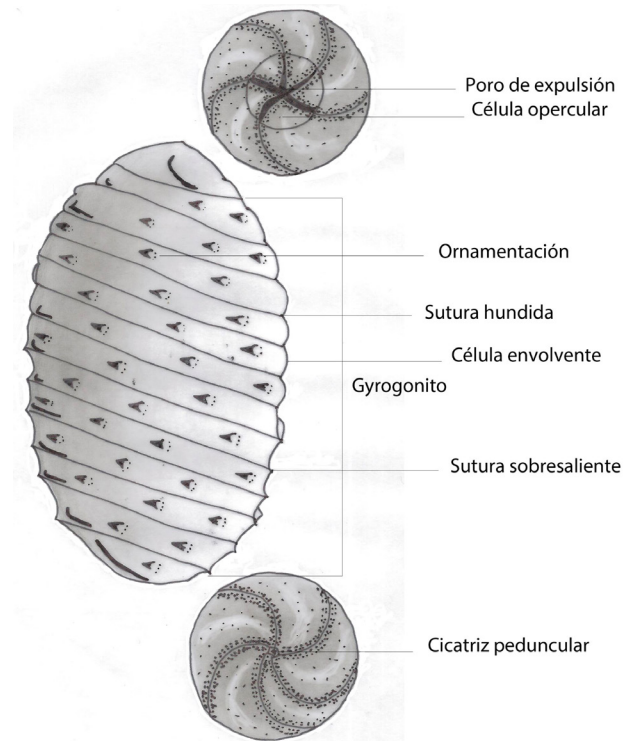


Figura 3. Esquema de la morfología de un girogonito..

(media de 529 μm). Lateralmente ovoide, compuesto de seis vueltas de espira de $\sim 69 \mu\text{m}$ de espesor. No presenta ornamentación, células cóncavas. Ápice suavemente redondeado y base apuntada, casi forma una columnita. Poro basal pentagonal (Figura 6O–Q).

6. Discusión

Actualmente, la ciencia atraviesa por uno de sus obstáculos más grandes: el desinterés por la información formal y, cuando se habla de estudios en paleontología, el interés es mucho menor. Si bien en nuestro país la información es escasa, eso no demerita el trabajo realizado por otros investigadores (Omaña *et al.*, 2018; Sanjuan *et al.*, 2020; Vicente *et al.*, 2020) que, en la actualidad, están aportando información inédita sobre nuevos registros e implicaciones paleoecológicas, bioestratigráficas y reconstructivas de las carofitas, ampliamente conocidas en Eurasia, pero con muchas cuestiones a resolver en otras zonas como, por ejemplo, México. Los fósiles de carofitas trabajados para esta investigación resultan ser parte de la Familia Characeae, en las que aparentemente se reconocen cinco morfotipos diferentes. Hasta el momento, solo uno

de ellos había sido reportado por parte del personal de Pemex (1988) para la zona noreste de México; sin embargo, el estudio detallado y la revisión bibliográfica realizada sugieren que al menos cinco taxones de carofitas oligocenas podrían encontrarse en la Formación Frío de la Cuenca de Burgos (noreste de México).

7. Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación no solo complementan la información sobre los registros de las carofitas en México, sino también la zonificación de carofíceas en la Cuenca de Burgos (Hernández-Ocaña *et al.*, 2019). Asimismo, los resultados de este estudio son de relevancia paleoambiental y taxonómica. Se logró identificar al menos cinco morfotipos (I a V), los que se presumen podrían pertenecer a cinco taxones de la Familia Characeae. Cabe reconocer que hace falta equipo especializado para poder realizar una posterior clasificación taxonómica a nivel de especie de los morfotipos descritos en el presente estudio, así como la realización de estudios especializados de índole paleoecológicos y bioestratigráficos que destaquen la importancia de este grupo en estudios paleontológicos.

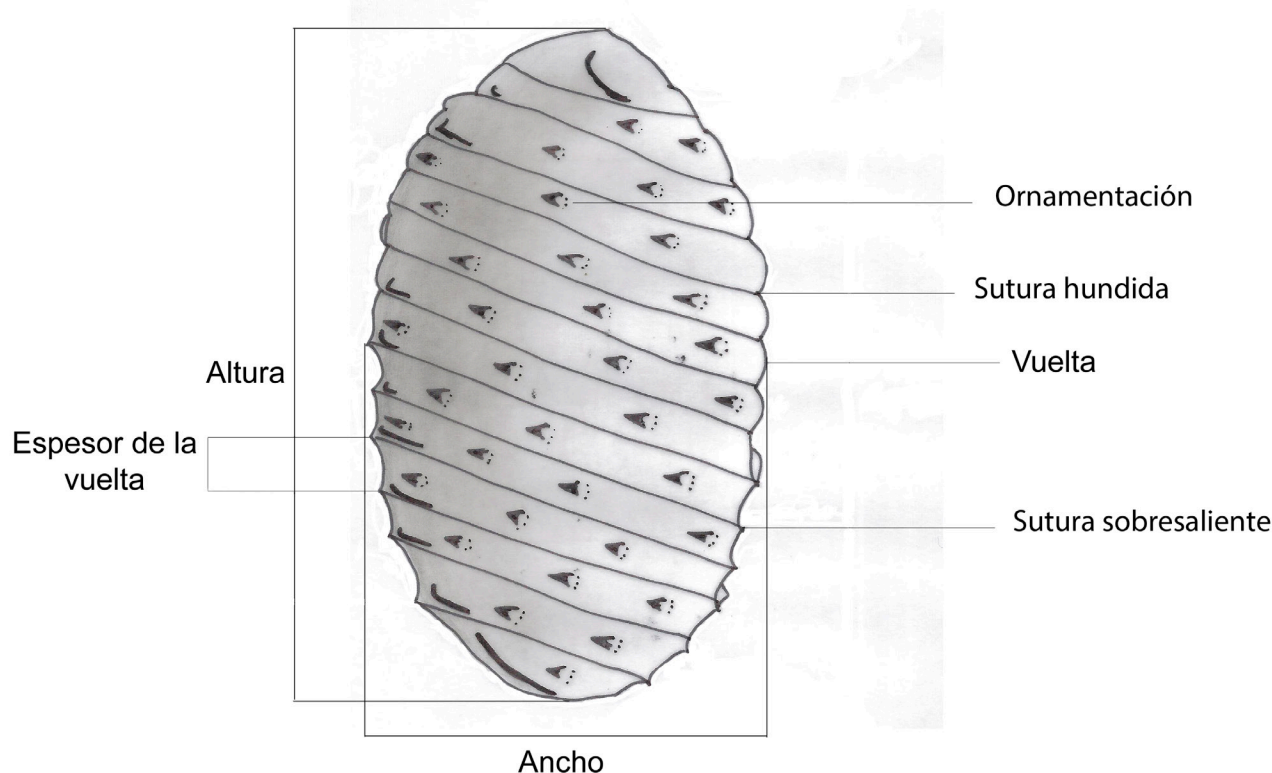


Figura 4. Esquema de la morfología de un girogonito que muestra la mirística usada en este trabajo.

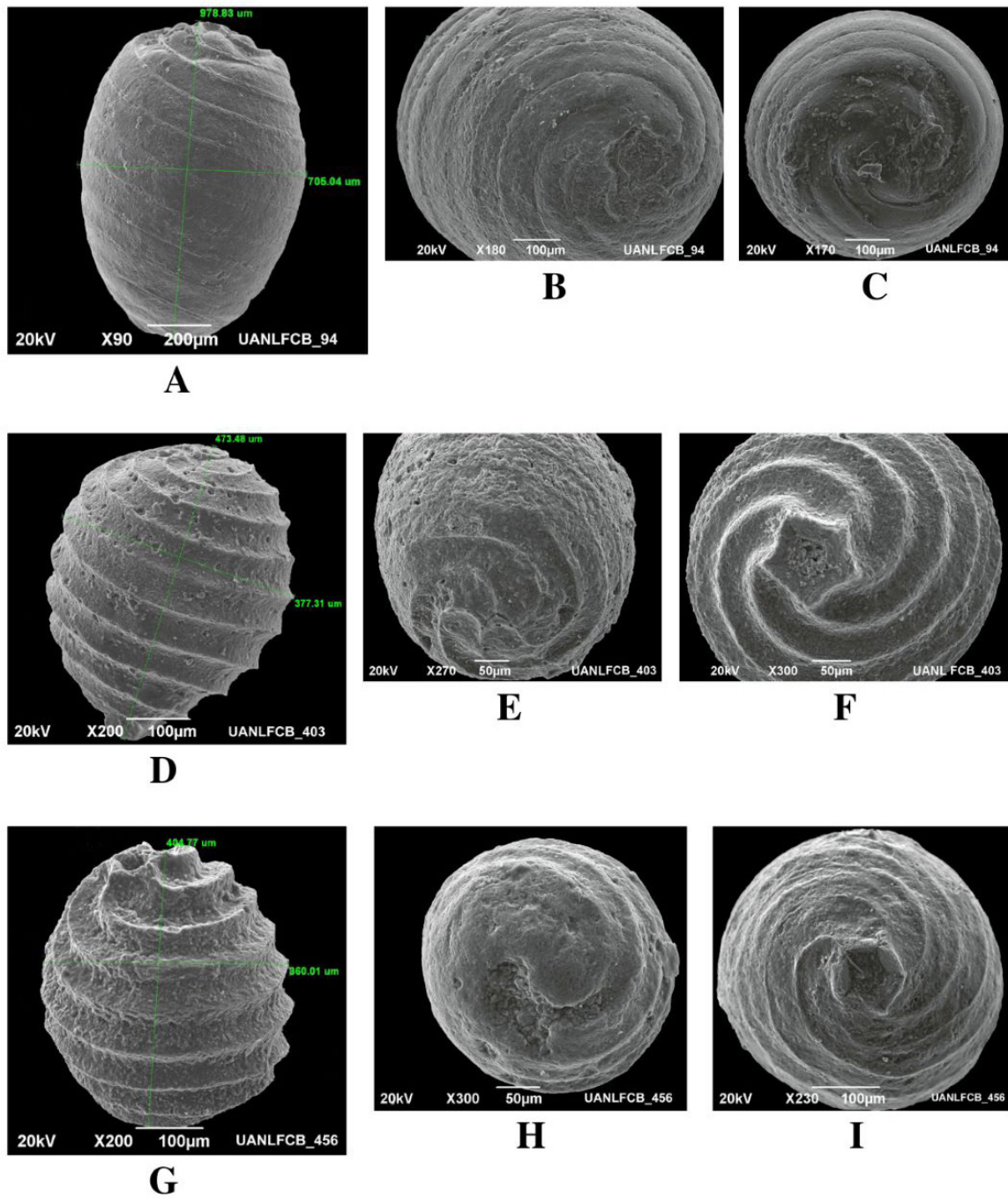


Figura 5. A) Vista lateral del morfotipo I; B) Modificación periapical y nódulos apicales; C) Poro basal; D) Vista lateral del morfotipo II; E) Vista apical (subapical); F) Vista basal con poro pentagonal, apuntado y formando un embudo; G) Vista lateral (orientada al revés); H) Vista apical extremadamente erosionada; I) Vista basal con su poro en forma pentagonal.

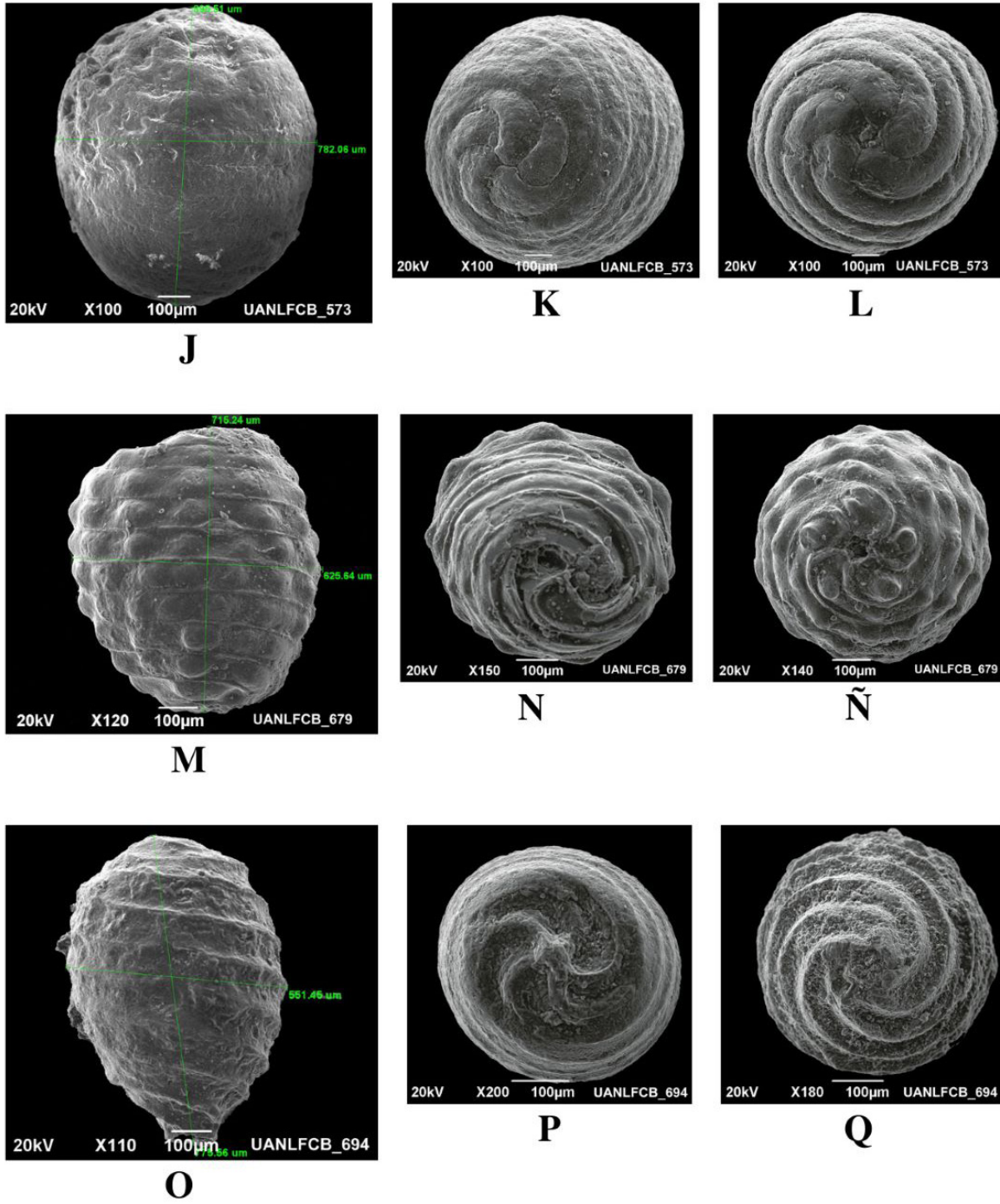


Figura 6. J) Vista lateral del morfotipo III extremadamente erosionada; K) Vista subapical donde se observa el poro de expulsión; L) Vista basal con su poro; M) Vista lateral del morfotipo IV; N) Vista apical; Ñ) Vista basal con su poro en forma pentagonal; O) Vista lateral del morfotipo V; P) Ápice; Q) Vista basal.

Agradecimientos

Agradecemos al Laboratorio de Paleobiología y a la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo esta investigación, asimismo, agradezco al Biól. Jesús Ramiro Rodríguez Cantú, a quienes colaboraron y a los revisores por sus consejos y recomendaciones para la elaboración de este trabajo.

References

- Agardh, C.A. 1824. *Systema Algarum*. Literis Berlingianis. Lund. 312 pp.
- Anadon, P., Cabrera, L., Choi, S.J., Colombo, F., Feist, M. y Saez, A., 1992, Biozonación del Paleógeno continental de la zona oriental de la Cuenca del Ebro mediante carófitas: implicaciones en la biozonación general de carófitas de Europa occidental: *Acta Geológica Hispanica*, 27 (1–2), 69–94, URI: <http://hdl.handle.net/2445/33714>
- Dumble, E.T., 1894, The Cenozoic deposits of Texas: *Journal of Geology*, 2(6), 549–567, doi: <http://dx.doi.org/10.1086/607017>
- Echanove-Echanove, O., 1986, Geología petrolera de la Cuenca de Burgos (parte I) Consideraciones geológico-petroleras: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 38(1), 5.
- Eguiluz de Antuñano, S., 2011, Estratigrafía, análisis de secuencias y control estructural en la Formación Yegua, Cuenca de Burgos, noreste de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63 (2), 171–181, doi: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2011v63n2a3>
- Feist, M., Grambast-Fessard, N., Guerlesquin, M., Karol, K., Lu, H.N., Mc-Court, R.M., Wang, Q.F. y Zhang S.Z., 2005, *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part B, Protoctista 1. Charophyta*, volume 1: Lawrence, Kansas, The Geological Society of America, 170 pp.
- Grambast, L., 1956, La plaque basale des Characées: *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris (series D)*, 242, 2585–2587.
- Groves, J. y Bullock-Webster, G.R., 1920, *The British Charophyta*, Volume 1 Nitellae: Londres, The Ray Society, 53–946, doi: <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.54154>
- Hernández-Ocaña, M.I., Chacón-Baca, E., Quiroz-Barroso, S.A., Eguiluz de Antuñano, S., Torres de la Cruz, F. y Chávez-Cabello, G., 2019, A Paleogene Ichneological Record from the Wilcox Formation: *Ophiomorpha* and *Venericardia* (*Venicor*) *zapatai* in the Burgos Basin, northern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 90, 107–117, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2018.11.024>
- Lindley, J., 1836, *A Natural System of Botany*, 2da ed. Longman, Rees, Orme, Brown, Green, and Longman. London. 526 pp.
- López-Ramos, E., 1980, *Geología de México: Tomo II*, 2da edición: México, Edición Escolar, 451 pp.
- Martin-Closas, C. y Schudack M.E., 1991, Phylogenetic analysis and systematization of post-Paleozoic charophytes. *Bulletin de la Société botanique de France, Actualités botaniques* 138(1), 53–71.
- Martín-Closas, C. y Serra-Kiel, J., 2007, Biogeografía histórica de las clavatoráceas (carófitas fósiles). Estado actual del conocimiento: *Geogaceta*, 41, 119–122, URI: <http://hdl.handle.net/10272/8449>
- Martín-Closas, C. y Wang, Q., 2008, Historical biogeography of the lineage *Atopochara trivolvris* Peck 1941 (Cretaceous Charophyta): *Palaeo*, 260(3–4), 435–451, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.11.011>
- Meneses-Gyves, J., 1950, Zonas micropaleontológicas del Oligoceno del Noreste de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 2(1), 71–81.
- Migula, W., 1897, *Die Characeen*. In G. L. Rabenhorst, ed., 1890–1897, *Kryptogamen-flora von Deutschland, Oesterreichs und der Schweiz*, Bd. 5. Edward Kummer. Leipzig. 765 pp.
- Omaña, L., Ferrusquia-Villafranca, I., Ruiz-González, J.E., 2018, New findings of Late Jurassic charophyte gyrogonites and gastropods from the San Juan Formation, NW Oaxaca, Mexico: *Paleontología Mexicana*, 7(2), 93–99.
- Palacios-Fest, M.R., 2010, Late Holocene Paleoenvironmental History of the Upper West Amarillo Creek Valley at Archaeological Site 41PT185/C, Texas, USA, 62(3), 399–436, doi: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2010v62n3a7>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988, *Estratigrafía de la República Mexicana, Cenozoico: México*, Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, 136 pp.
- Rodrigo, M.A., Alonso-Guillén, J.L., Cirujano, S. y Soulié-Märsche, I., 2009, Aproximación a las comunidades de carófitos que existieron en la Albufera de Valencia a partir del estudio de las oósporas del sedimento: *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66 (2), 195–208, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ajbm.2214>
- Rodríguez-Cantú, J.R., 1986, *Las carófitas del Oligoceno en tres pozos de la Cuenca de Burgos, Noreste de México: Nuevo León, México*, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 59 pp.
- Rodríguez-Santana, E., 1969, Sedimentos del Oligoceno de la Cuenca de Burgos; aspecto regional, en *Memoria del Seminario sobre Exploración Petrolera, Mesa Redonda No. 1, Problemas de Exploración de la Cuenca de Burgos: México, D.F.*, Instituto Mexicano del Petróleo, MR 1(2), 205–226.
- Sanjuan, J. y Martín-Closas, C., 2014, Taxonomy and palaeobiogeography of charophytes from the Upper Eocene-Lower Oligocene of the eastern Ebro basin (Catalonia, NE Spain): *Geodiversitas*, 36(3), 385–420, doi: <http://dx.doi.org/10.5252/g2014n3a3>
- Sanjuan, J., Vicente, A. y Eaton, J.G., 2020, New charophyte flora from the Pine Hollow and Claron formations (southwestern Utah). Taxonomic, biostratigraphic, and paleobiogeographic implications: *Review of Palaeobotany and Palynology*, 282, 1–17, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104289>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2010, *Formación Frio, Léxico Estratigráfico de México: México*, Servicio Geológico Mexicano, 1–6.
- Smith, G.M., 1938, *Algae and Fungi*, vol. 1. In *Cryptogamic Botany*. McGraw-Hill. New York. 545 pp.
- Soulié-Märsche, I., 2008, Charophytes, indicators for low salinity phases in North African sebkhet: *Journal of African Earth Sciences*, 51(2), 69–76, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.12.002>
- Soulié-Märsche, I. y García A., 2014, Gyrogonites and oospores, complementary viewpoints to improve the study of the charophytes (Charales): *Aquatic Botany*, 120(A) 7–17, doi: [10.1016/j.aquabot.2014.06.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.06.003)
- Vicente, A., Sanjuan J., Eaton, J.G. y 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, 1–10, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103271>
- Vizcarra-Martínez, H.H., 2005, *Análisis secuencial del Paleoceno-Eoceno, y su potencial económico-petrolero, al norte del Campo Velero, en la Cuenca de Burgos, NE de México: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría en Ingeniería.
- Wood, R.D., 1951, *The Characeae: The Botanical Review*, 18(5), 317–353, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02957549>