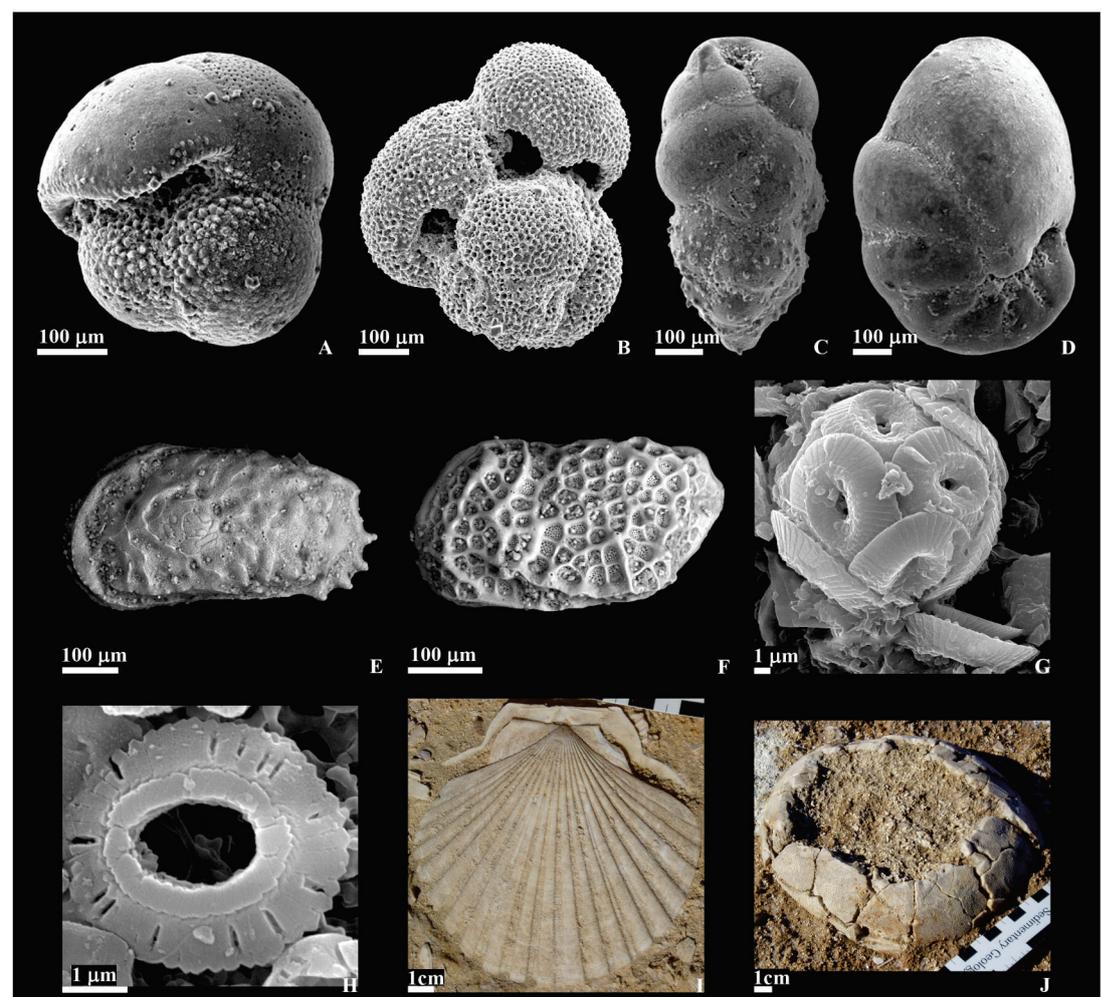


PALEONTOLOGÍA MEXICANA

Número 10 Volumen 1



Fósiles de la isla Monserrat A. *Pulleniatina primalis* Banner y Blow, vista umbilical; B. *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), vista espiral; C. *Buliminella basispinata* Stewart y Stewart, vista lateral; D. *Cancris carmenensis* Natland, vista espiral; E. *Cancris auriculus* (Fichtel y Moll), vista espiral; F. *?Pterolaxa guaymasensis* Swain, vista externa, valva izquierda; G. *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller; H. *Patinopecten bakeri* (Hanna y Hertlein) Durham y J. *Clypeaster bowersi* Weaver.



Universidad Nacional Autónoma de México





PALEONTOLOGÍA MEXICANA

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, Anaïd Zendejas y Sandra Ramos Amézquita

Formación y diseño: León Felipe Álvarez Sánchez

ÍNDICE DE NÚMERO REGULAR – *REGULAR ISSUE NUMBER INDEX*

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
1	¿Qué sabemos sobre la legislación de los fósiles en México?, un análisis preliminar. Morales-Ortega, Priscilaa; Aguilar, Felisa J; Nava-Sánchez, Enrique H.
25	Estudios Paleontológicos en Isla Monserrat, Baja California Sur, México. Hernández Pérez, Cindy Fabiola; Carreño, Ana Luisa.
37	Corals from the Early Cretaceous (?Late Valanginian – Aptian) of Puebla (Mexico): Family Solenocoeniidae. Löser, Hannes.
53	Revisión bioestratigráfica y paleoambiental de los protistas e invertebrados marinos de Tamaulipas, México. Becerra-Rodríguez, Ángel G.; Torres-Martínez, Miguel A.; Correa-Sandoval, Alfonso.
71	Nuevo registro xilológico de los géneros fósiles <i>Agathoxylon</i> sp. y <i>Protophyllocladoxylon</i> sp. del Jurásico Medio de Oaxaca, México. Ortega Chávez, Elizabeth; Velasco De León, Ma. Patricia; Estrada Ruiz, Emilio.

DATOS DEL PRESENTE NÚMERO – *DATA OF THIS NUMBER*

Título: [Paleontología Mexicana](#)

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

(revista electrónica): [2007-5189](#)

Tipo de publicación: [Periódica](#)

Periodicidad: [Semestral](#)

Número de publicación: [Volumen 9 Número 2](#)

Fecha de publicación: [Junio 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: [No aplica](#)

Gramaje: [No aplica](#)

Tipo de papel: [No aplica](#)

AGRADECIMIENTOS – *ACKNOWLEDGEMENTS*

Paleontología Mexicana agradece el trabajo editorial realizado en el volumen 10(1) 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://sfdora.org/read/>

Open Access Statement

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



Creative Commons License CC-BY-NC-ND

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

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

Under the following terms:

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

Notices:

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

Concerning copyright and publishing rights

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



DORA: San Francisco Declaration on Research Assessment.

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



¿Qué sabemos sobre la legislación de los fósiles en México?, un análisis preliminar

What do we know about fossil legislation in Mexico?, a preliminary analysis

Morales-Ortega, Priscila^{a,c,d,*}; Aguilar, Felisa J.^b; Nava-Sánchez, Enrique H.^a

^aDepartamento de Oceanología, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, A.P. 592, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

^bCentro INAH Coahuila, Nicolás Bravo Norte 120, Zona Centro, C.P. 25000, Saltillo, Coahuila.

^cMuseo de la Ballena y Ciencias del Mar, Navarro s/n, entre Altamirano y Gómez-Farías, Col. Centro, C.P. 23000, La Paz, Baja California Sur, México.

^dDirección actual: Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur, km 5.5, A.P. 19-B, C.P. 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

* prisortega@gmail.com

Resumen

El territorio mexicano, es rico en restos fósiles tanto de flora como de fauna, los cuales son de gran interés científico, económico y social, para investigadores nacionales y extranjeros. Hasta el siglo XIX la recuperación de los fósiles siempre estuvo vinculada a la búsqueda de minerales y energéticos, pero durante el siglo XX esta actividad ha estado ligada con la academia. A pesar de que la paleontología en México se empezó a desarrollar el siglo pasado, las leyes y reglamentos que respaldan la protección y conservación del denominado patrimonio paleontológico aún presentan inconsistencias jurídicas. Actualmente, la ley establece una equivalencia entre un bien paleontológico y un bien arqueológico, homología que es inaceptable en la comunidad científica (nacional e internacional). Los fósiles se forman por procesos naturales, por lo que éstos deben formar parte del "patrimonio natural", y la pérdida de estos materiales se debería incorporar al término conocido como "pérdida de la geodiversidad". Uno de los factores principales que propician esta situación, es la falta de un marco legal que favorezca y rijas el trabajo de los paleontólogos y otros interesados, con el fin de conservar y proteger estos bienes. Para este trabajo, se realizó una encuesta a la comunidad académica (estudiantes y profesores-investigadores) durante el XVI Congreso Nacional de Paleontología (2019) y se revisó el marco jurídico vigente relacionado con la protección y conservación de los restos fósiles; todo ello con el fin de recomendar cambios conceptuales y funcionales a la ley federal, además de considerar metodologías de trabajo para la evaluación de las colecciones y de los sitios de interés paleontológicos. Asimismo, de tomar en cuenta los criterios científicos, socioculturales y socioeconómicos, con el fin de construir un marco jurídico integral que apoye la investigación, la conservación y la protección del patrimonio paleontológico.

Palabras clave: fósil, bien paleontológico, marco jurídico, patrimonio paleontológico, patrimonio natural.

Abstract

Mexican territory is rich in flora and fauna fossils, and they are of the grand interesting for national and foreign researchers. During the 19th century, the recovery of fossils was always related to the search for energy sources, however in the middle of the 20th century this activity has been linked to the academy. Although, the palaeontology Mexican started to be developed in the last century, the laws and regulations on the so-called paleontological heritage still have legal inconsistencies that support the conservation and protection. However, the law establishes an equivalent between the palaeontological and archaeological assets, this homology is unacceptable in the scientific community. Fossils are formed by natural processes, so these must be part of "natural heritage", so then the of this materials loss must be incorporated to the call "loss of geodiversity". One of the main factors that promote this situation is the lack of a legal framework that favours and governs the work of palaeontologists and enthusiasts, when it comes to preserving and protecting palaeontological assets throughout the country. For this study, we a survey was carried out to the academic community (students and research professor) during the XVI National Palaeontology Congress (2019) and we did a revision of the current legislation related to the protection and conservation of paleontological assets, all this in order to recommend conceptual and functional changes to federal law, moreover it is recommend to implement methodologies for the collections and paleontological sites evaluation. In addition, it is

Manuscrito recibido: Octubre 9, 2020.

Manuscrito corregido recibido: Noviembre 2, 2020.

Manuscrito aceptado: Noviembre 4, 2020.

important to consider the scientific, socioeconomic, and sociocultural criteria with the ultimate purpose of making coherent legislation that supports the research, conservation, and protection of paleontological heritage.

Keywords: *fossil, paleontological assets, legal framework, paleontological heritage, natural heritage.*

1. Introducción

El territorio mexicano es rico en restos fósiles tanto de flora como de fauna, los cuales son de gran interés para investigadores nacionales y extranjeros. Hasta al siglo XIX la recuperación de los fósiles siempre estuvo vinculado a la búsqueda de minerales y energéticos, ya en el siglo XX esta actividad está ligada con la academia. Gracias a la riqueza y de la gran cantidad de restos fósiles se puede establecer una historia tanto geológica como biológica de lo que hoy es nuestro territorio nacional. A pesar de que la paleontología en México se empezó a desarrollar el siglo pasado, las leyes y reglamentos sobre el denominado patrimonio paleontológico aún presenta inconsistencias jurídicas que respalden su conservación y protección (Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005; Aguilar y Polaco, 2008; Aguilar y Porras-Múzquiz, 2009).

En 1972 se publica la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas (en adelante LFMZAAH, –ley vigente, última reforma publicada el 16 de febrero de 2018–). Pero hasta 1986, se adicionó el Artículo (Art.) 28 BIS, el cual señala (cita textual). –“Para los efectos de esta Ley y de su Reglamento, las disposiciones sobre monumentos y zonas arqueológicas serán aplicables a los vestigios o restos fósiles de seres orgánicos que habitaron el territorio nacional en épocas pretéritas y cuya investigación, conservación, restauración, recuperación o utilización revistan interés paleontológico, circunstancia que deberá consignarse en la respectiva declaratoria que expedirá el Presidente de la República”. La institución encargada para dar cumplimiento a esta ley es el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), hoy bajo la jurisdicción de la Secretaría de Cultura (DOF, 2018).

Si bien existe el Art. 28 BIS, la comunidad científica especializada coincide en la falta de una regulación coherente, ya que los conceptos y criterios no son claros, y genera confusión. Además, es claro que la ley establece una equivalencia entre los bienes paleontológicos y los bienes arqueológicos, homología que es inaceptable entre los paleontólogos, nacionales y extranjeros, y por lo tanto ha quedado ambiguo el marco jurídico sobre la conservación y preservación de los fósiles (Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005; Cristín y Perrillat, 2011; Morales-Ortega, 2017).

Actualmente, existen muchos fósiles que han sido pobremente estudiados o simplemente no lo han sido, en otras ocasiones el material ha salido del país o sencillamente se han perdido para siempre; en el caso de los sitios con

visita pública, estos no cuentan con las medidas mínimas de conservación y protección, lo que está ocasionando un deterioro de estos y con ello su irremediable pérdida (Boletín-INAH, 2018a). Si se reflexiona, parte de las causas del deterioro o la pérdida de este bien, es por la falta de cultura sobre la protección y la carencia de una adecuada legislación sobre dichos bienes; además, la falta de información, interés y divulgación de la comunidad científica principalmente, hacen que las actividades de protección y conservación del material fósil sea incompleto y fragmentado en nuestro país, y por ende exista poco interés de la clase política y de la sociedad (Aguilar-Arellano y Polaco-Ramos, 2006; Morales-Ortega *et al.*, 2019).

Con la finalidad de determinar el estado de conocimiento y la respuesta de la comunidad científica (estudiantes de licenciatura y posgrado, y profesores-investigadores) sobre la protección y conservación del registro fósil en México, se realizó una encuesta durante el XVI Congreso Nacional de Paleontología, 2019, y se revisó el marco legal vigente, todo ello con el fin de recomendar cambios conceptuales y funcionales a las leyes federales y generales. Asimismo, se propone una gestión integral, donde se consideren los criterios científicos, socioculturales y socioeconómicos, para coadyuvar en la conservación, administración y aprovechamiento de los bienes paleontológicos mexicanos, y donde la sociedad, la comunidad científica y el estado, mantengan un equilibrio que le convenga a todas las partes (Figura 1).

1.1. Marco jurídico sobre la conservación y protección de los fósiles

Con la adición del Art. 28 BIS, en 1994, en el INAH se crea el primer Consejo Nacional de Paleontología, presidido por el Ing. Joaquín García-Bárcena, con el fin de entender y regular criterios para poder legislar y salvaguardar los bienes paleontológicos. El consejo fue conformado por un grupo multidisciplinario e interinstitucional reconocido en el área, el cual tendría que llegar a un consenso sobre qué, cómo y por qué legislar (Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005; Boletín-INAH, 2017).

Gracias a los esfuerzos de este primer consejo, en 1998, se publica en el Diario de los Debates de la Cámara de Senadores, el “Decreto que establece la ley sobre vestigios y restos fósiles; que adiciona el código penal para el Distrito Federal en materia de fuero común y para toda la República en materia de fuero federal; y que reforma diversas fracciones del artículo segundo de la ley orgánica

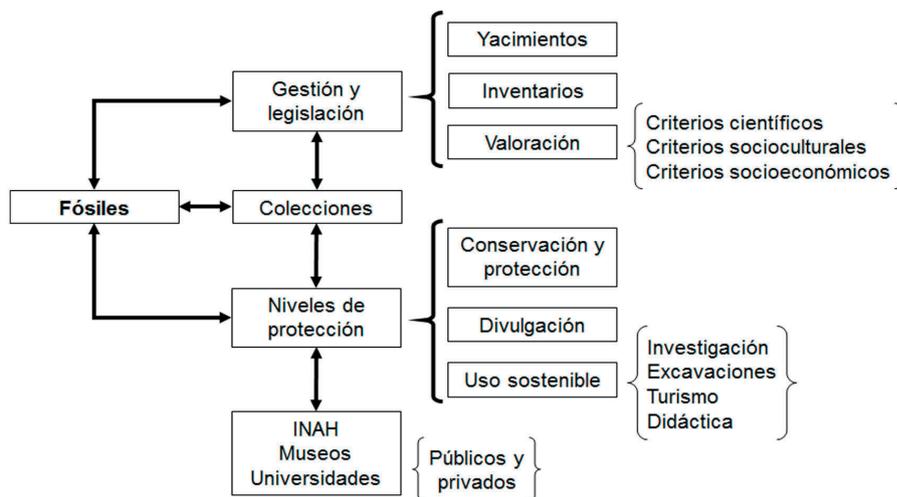


Figura 1. Esquema propuesto para la gestión de los bienes fósiles (modificado de Morales-Romero *et al.*, 1999).

del INAH”; esto trajo como consecuencia que, en el 2000, el presidente de ese entonces, el Dr. Ernesto Zedillo Ponce de León, reformará el Art. 73, fracción XXV de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (en adelante, CPEUM), en donde se menciona (cita textual) – “...; para legislar sobre vestigios o restos fósiles y sobre monumentos arqueológicos, artísticos e históricos, cuya conservación sea de interés nacional; ...”.

Posterior a la reforma del Art. 73, en el 2004, se expide la Ley General de Bienes Nacionales (en adelante, LGBN) (última modificación, 2018). En su Art. 3, señala (cita textual) ... “Son bienes nacionales”; fracción III y IV “... los bienes muebles e inmuebles de la Federación” y “los bienes muebles e inmuebles propiedad de las entidades;”. Mientras que el Art. 6 (cita textual). - “Están sujetos al régimen de dominio público de la Federación”; fracción XVIII. - “Los muebles de la Federación que por su naturaleza no sean normalmente sustituibles..., las piezas etnológicas y paleontológicas; los especímenes tipo de la flora y de la fauna; ... y las piezas artísticas o históricas de los museos; ...”

Como ya se ha hecho mención, los vestigios o restos fósiles están sujetos a protección desde 1986, cuando se adiciona el Art. 28 BIS a la LFMZAAH, en donde se establece (cita textual) “...Para los efectos de esta Ley y de su Reglamento, las disposiciones sobre monumentos y zonas arqueológicas serán aplicables a los vestigios o restos fósiles de seres orgánicos que habitaron el territorio nacional en épocas pretéritas y cuya investigación, conservación, restauración, recuperación o utilización revistan interés paleontológico, circunstancia que deberá consignarse en la respectiva declaratoria que expedirá el Presidente de la República...”. Cabe mencionar, que la institución encargada para dar cumplimiento a esta ley es el INAH, bajo la jurisdicción de la Secretaria de Educación Pública (SEP) (DOF, 2018). Sin embargo, en el 2018, se reforman varios artículos de la LFMZAAH, siendo la principal

modificación el Art. 2., donde los procedimientos y trámites en los que intervenga la SEP relacionados con el presente ordenamiento deberán enviarse a la Secretaría de Cultura para su seguimiento. Esta nueva secretaría tiene la facultad de impulsar la educación, investigación y cultura, con base en proyectos vinculados a la divulgación, expresión y apreciación de las bellas artes, la cultura y artes populares, así como la investigación histórica, además de dotar la infraestructura para dichas actividades. Todo ello en favor de la preservación, promoción y difusión del patrimonio, y de la diversidad cultural (DOF, 2018).

Por otro lado, la Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia (en adelante, LO-INAH -última modificación 2015-), fue publicada en 1939, pero en 1986 reforma el Art. 2, en el cual que se menciona (cita textual): “Son objetivos generales del Instituto Nacional de Antropología e Historia la investigación científica sobre Antropología e Historia relacionada principalmente con la población del país y con la conservación y restauración del patrimonio cultural arqueológico e histórico, así como el paleontológico; la protección, conservación, restauración y recuperación de ese patrimonio y la promoción y difusión de las materias y actividades que son de la competencia del Instituto”. Así mismo, el término “paleontológico”, es mencionado en las fracciones IV, V, VI, VII, VIII, XI, XII y XVII, del mismo artículo.

2. Metodología

2.1. Revisión bibliográfica

Esta consistió en lecturas básicas sobre la protección, conservación y legislación del registro fósil en México. Además, se revisaron las recomendaciones promovidas por la Organización de la Naciones Unidas (ONU) sobre la protección del patrimonio mundial (natural y cultural).

Entre las principales lecturas fueron: LFMZAAH; LO-INAH; LGBN; iniciativas de ley (Gacetas Parlamentarias: cámaras de diputados y senadores); y trabajos publicados por la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (de aquí en adelante, UNESCO) sobre la protección del Patrimonio Mundial: Cultural y Natural, principalmente.

2.2. Encuestas realizadas durante el XVI Congreso Nacional de Paleontología, 2019.

Durante el XVI Congreso Nacional de Paleontología, celebrado en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua (del 30 de septiembre al 04 de octubre, 2019), se decidió realizar una encuesta a la comunidad académica especializada, contemplando a los especialistas (profesores-investigadores de universidades o centros de investigación) y a los estudiantes (de licenciatura y posgrado), con el fin de conocer el estado actual en el conocimiento sobre la protección, conservación, preservación y legislación del registro fósil en México.

Cabe mencionar que, durante los congresos nacionales organizados por la Sociedad Mexicana de Paleontología, A.C., la mayoría de los miembros activos de la sociedad asiste y citando el “Estatuto” (última modificación, 22 de octubre de 2015), Art. 3 (cita textual). – “Los objetivos de la Sociedad son:”, numeral 2 (cita textual). – “Promover, difundir e impulsar la protección y uso racional de los fósiles de nuestro país”. Además, del inciso a), numeral 2 (cita textual). – “Fomentar estudios y trabajos tendientes a la protección y aprovechamientos racional de la paleobiota”; y numeral 3 (cita textual). – “Participar públicamente orientando acciones legislativas para salvaguardar la paleobiota, recurso natural de la nación”. Es por estas razones que se decidió efectuar dichas encuestas durante el congreso.

Para la realización del ejercicio se decidió hacer dos tipos de encuestas, una para los estudiantes y otra para los especialistas. La encuesta para los estudiantes se basó en el hecho de si conocen las bases sobre las actividades reguladas, por ejemplo, los permisos, el registro de las colecciones, y los convenios; además de cómo reconocen el nivel de protección de los fósiles (como patrimonio), y si conocen la LFMZAAH. Cabe mencionar que el tipo de preguntas eran en su mayoría de tipo dicotómicas, es decir, “SÍ/NO”.

En el caso de la encuesta dirigida a los profesores-investigadores, las preguntas que se realizaron fueron de manera abierta, es decir, tenían que contestar de manera breve cuestiones sobre la implementación de la ley, sobre las actividades que actualmente realiza el INAH y sobre si se deben tomar en cuenta criterios socioeconómicos, socioculturales y científicos, para modificar la ley en caso de ser necesario. El hecho de elegir un cuestionario abierto permitió explorar cómo se piensa sobre los temas anteriormente mencionados.

3. Resultados

Se lograron realizar un total de 72 encuestas completas, de un total de 120 personas inscritas (según el comité organizador), es decir, el 60% contestaron; de estas, se obtuvieron 55 cuestionarios de estudiantes y 17 de especialistas. Es importante mencionar, que (1) la comunidad paleontológica de México es pequeña (socios activos de la Sociedad Mexicana de Paleontología [SOMEXPAL]); (2) a pesar de muchos trabajos se realizan en varios estados del país, la mayoría los especialistas y estudiantes trabaja y/o estudia en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); y (3) cuando los congresos se realizan lejos del centro del país, la asistencia baja considerablemente, sobre todo porque la comunidad estudiantil no puede costear su viaje/hospedaje.

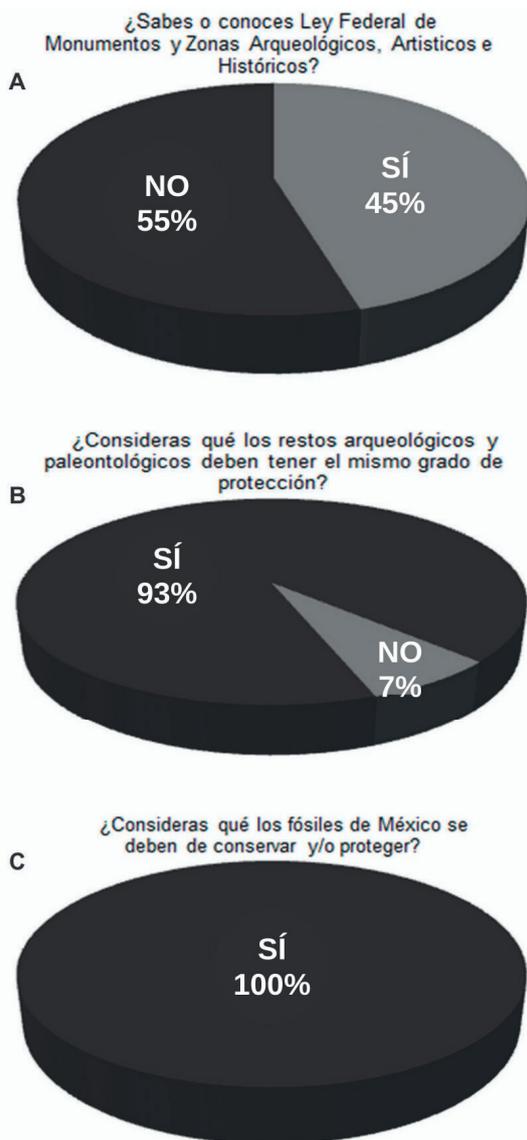
3.1. Encuestas a estudiantes, licenciatura y posgrado

Como ya se mencionó, se lograron 55 encuestas completas dirigidas a estudiantes. Entre los encuestados, se encontraban alumnos afines a las carreras de biología, biología marina, geología y arqueología. Es preciso indicar que a pesar de que no se logró una representatividad estatal alta, se consiguió encuestar a estudiantes de ocho estados de la República Mexicana, los cuales son: Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Estado de México.

Las preguntas que se plantearon a los estudiantes fueron de carácter dicotómico, es decir, respuestas de “SÍ/NO”. Se eligió realizar este tipo de cuestionario porque es fácil de comprender, es breve y la tasa de encuestas completadas es alta. Además, de que son ampliamente utilizados para distinguir claramente las cualidades, experiencias u opiniones de las personas encuestadas.

El cuestionario consistió en responder 10 preguntas, las cuales fueron divididas en cuatro grupos para su análisis (la simbología se expresa como: “Grupo 1” de preguntas, y “E” de estudiantes). En el Grupo 1-E, se concentran las preguntas uno, dos y tres, las cuales tenían la finalidad de conocer cuál es la percepción general que los estudiantes tienen sobre el nivel de conservación y protección del registro fósil. Este grupo presentó una tendencia bien marcada, es decir, el 100% de los encuestados respondió “SÍ”, al ser cuestionados sobre “si los fósiles de México se deben conservar y/o proteger” (Figura 2A); mientras el 93% contestó que “SÍ”, al preguntar sobre si ellos “consideran que los restos arqueológicos y paleontológicos deben tener el mismo grado de protección” (Figura 2B). Sin embargo, al cuestionarlos sobre “si conocen o saben sobre la LFMZAAH”, el 55% contestó que “NO” la conocen (Figura 2C).

En el Grupo 2-E se encuentran las preguntas cuatro y cinco, en donde solo se cuestionó sobre el concepto de patrimonio. De igual manera presentó un alto porcentaje al contestar “SÍ” en ambas preguntas. En la pregunta cuatro, al referir que “si tu reconoces a los fósiles como patrimonio



Figuras 2.1 – 3. Resultado de las encuestas realizadas a estudiantes. Se observan los datos porcentuales del Grupo 1-E.

nacional” todos, es decir, el 100% contestó positivamente (Figura 3A); asimismo el 96% sabe “lo que significa la palabra patrimonio” (Figura 3B).

El Grupo 3-E hace referencia sobre si las actividades que ellos realizan están reguladas, por ejemplo, si cuentan con permisos de colecta, o sobre algún convenio de trabajo o si las colecciones están registradas ante INAH; aquí se agrupan las preguntas siete, nueve, diez y once. Al referir sobre “si conocen el Manual de procedimientos para el manejo de colecciones y control de inventarios de Bienes Culturales Muebles del INAH”, el 82% dijo “NO” (Figura 4A); mientras que, al preguntar “sabes si la colección en la que tu trabajas está registrada ante el INAH”, el 60% contestó que “NO” (Figura 4D). Por otro lado, al cuestionar sobre “si la universidad y/o museo en la cual laboran tiene

algún convenio de trabajo con el INAH”, la respuesta fue “SÍ”, aunque solo el 56% lo sabe (Figura 4B). Por último, al preguntar sobre “los permisos de colecta”, la respuesta fue variada, ya que se optó por agregar una tercera respuesta, es decir “NS” (abreviatura de “no sabe”), aunque el 62% contestó que “SÍ” cuentan con permiso (Figura 4C).

Finalmente, en el Grupo 4-E solo se colocó la pregunta ocho, que hace referencia a la práctica social, es decir, “si realizan pláticas de divulgación en las zonas donde colectan fósiles”. Esta pregunta resalta la labor social que cualquier grupo de trabajo que se dedique a la investigación debe o debería realizar en cualquier momento; sin embargo, la respuesta que se obtuvo fue negativa, es decir, el 75% de los encuestados no realiza esta actividad (Figura 5A).

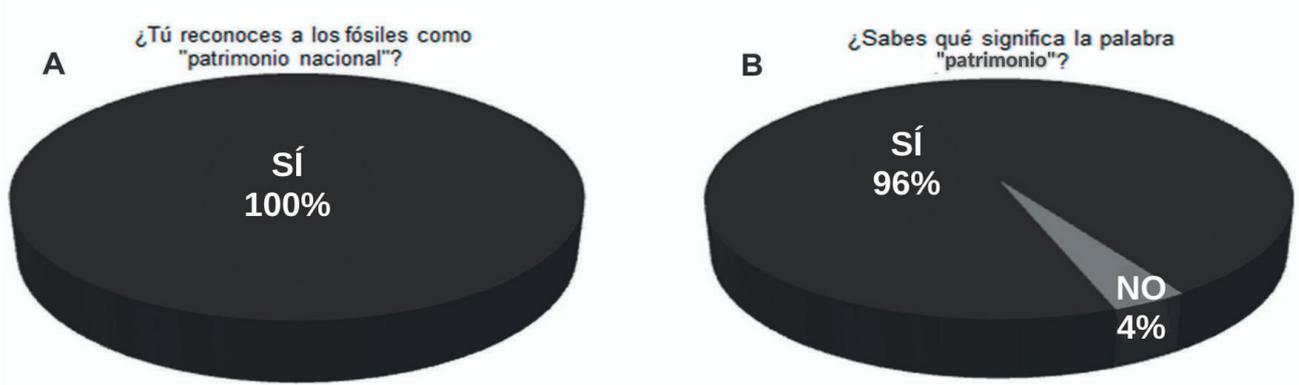
3.2 Encuestas a especialistas, profesores-investigadores

Los cuestionarios completos obtenidos solo fueron 17, cabe mencionar que las preguntas realizadas a este sector fueron de carácter abierto, con la finalidad de que el encuestado tuviera la oportunidad de responder con libertad y en sus propias palabras aquello que piensen sobre cómo perciben el tema sobre protección y conservación de los fósiles en nuestro país.

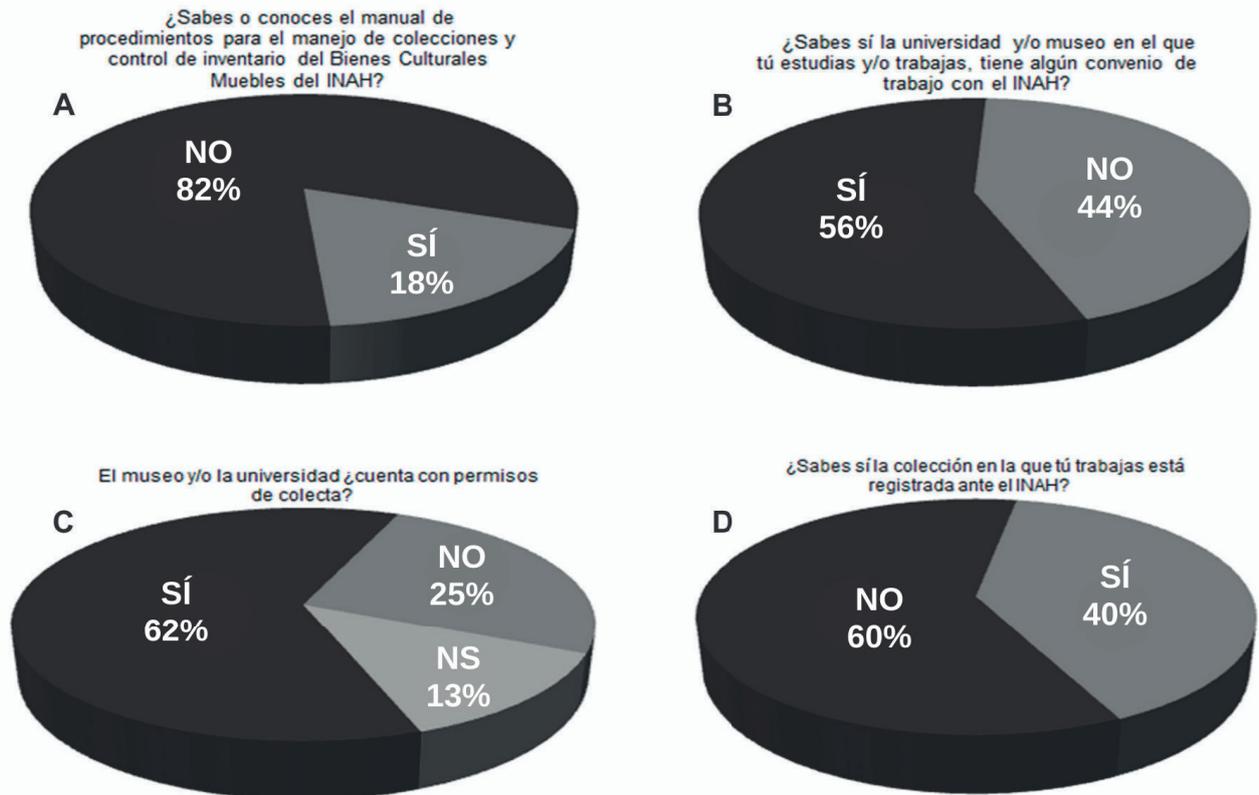
A pesar de que el ejercicio era diferente a la de los estudiantes, muchos de ellos optaron por contestar SÍ/NO, por lo que también se decidió realizar gráficas de pastel, mostrando los resultados en porcentajes; sin embargo, se lograron rescatar algunos comentarios interesantes. Es importante mencionar que la baja participación fue por la poca asistencia de profesores y por desinterés de estos. También, se debe destacar que la mayoría trabaja en la UNAM, ocho de ellos en la Ciudad de México y dos en la Estación Regional del Noroeste (ERNO-UNAM) en Hermosillo, Sonora; los otros profesores participantes fueron de los estados de Baja California Sur, Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Puebla.

Este cuestionario consistió en nueve preguntas, que igualmente se dividieron en cuatro grupos para su análisis (cuya simbología se expresa como: “Grupo 1” de preguntas, y “PI” de profesores-investigadores), como se hizo con los estudiantes. El Grupo 1-PI incluyó las preguntas uno, dos y tres, las cuales hacen referencia a si se considera la LFMZAAH funcional y/o conoce alguna iniciativa de ley anterior. En la primera pregunta, se abordó el tema sobre el “funcionamiento de la LFMZAAH” y la respuesta fue “NO”, con un 88% (Figura 6A); por lo que al ser cuestionados sobre “si existen errores conceptuales en la ley”, la respuesta obviamente fue “SÍ” con el mismo porcentaje, 88% (Figura 6B). Además, se preguntó sobre “si conocen alguna iniciativa de ley o decreto actual”, la mayoría contestó que “NO”, con un 65% (Figura 6C).

En el Grupo 2-PI, se consideraron las respuestas de las preguntas cuatro y cinco, en las cuales se planteó una posible modificación a la ley y las consideraciones que se deberían tomar en cuenta en un futuro próximo. En ambas



Figuras 3.4 – 5. Resultado de las encuestas realizadas a estudiantes. Se observan los datos porcentuales del Grupo 2-E.



Figuras 4.7, 4.9 – 11. Resultado de las encuestas realizadas a estudiantes. Se observan los datos porcentuales del Grupo 3-E.

preguntas, el “Sí” fue contundente, al ser cuestionados sobre “modificar la LFMZAAH” y “si se deben de valorar los criterios, socioeconómicos y científicos para mejorar la legislación” (figuras 7A, B). Entre los comentarios se destacan: “se requiere un análisis profundo del tema”, “es necesario conocer los puntos de vista de todos los ámbitos”, “hay mucha ambigüedad y eso provoca que no se aplique la ley correctamente”, “hasta el momento solo se tiene un solo punto de vista, el del INAH, no es una visión realista”, “lo arqueológico no aplica a lo paleontológico”, “conceptualizar, porqué es más importante un fósil que

otro”, “precisar para no dejar huecos y no entorpecer el trabajo científico” y “no modificar la ley, sí redactar leyes secundarias”.

En el Grupo 3-PI se encuentran las preguntas seis, siete y ocho. En este grupo se cuestionó la parte institucional y su funcionamiento de estas; las respuestas obtenidas fueron inquietantes, por la poca confiabilidad administrativa que se le tiene al INAH y a la Secretaría de Cultura. En la pregunta siete, se cuestionó directamente “cree usted que el INAH tiene la suficiente capacidad para llevar las acciones correspondientes en el área de paleontología”, la

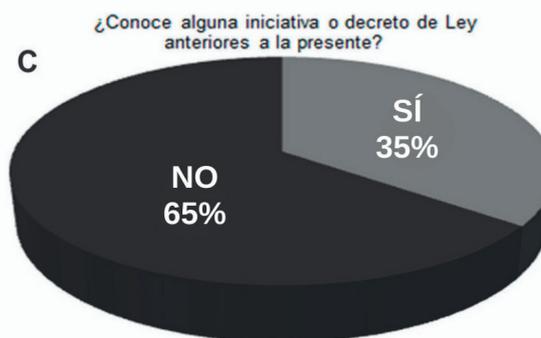


Figura 5.8. Resultado de las encuestas realizadas a estudiantes. Se observan los datos porcentuales del Grupo 4-E.

respuesta fue “NO”, con el 82% (Figura 8B). Mientras que los comentarios fueron: “solo un paleontólogo y el resto son arqueólogos que no tienen la preparación adecuada”, “tiene mucho trabajo con el cuidado de monumentos”, “la mayor parte del personal no es especialista en paleontología (respuesta más repetida)”, “sería bueno que hubiera un paleontólogo en cada Centro-INAH estatal” y “el INAH cuenta con el área administrativa, pero no con el personal”.

Por otro lado, en la pregunta seis sobre “si la Secretaría de Cultura es la adecuada para llevar a cabo las acciones en el área de paleontología”, la respuesta fue variada, ya que el 47% dijo que “NO”, mientras que el 35% NS (Figura 8A). Entre los comentarios destacaron: “podría ser siempre y cuando el cuerpo colegiado este conformado por especialistas en el área”, “creo que es tiempo de establecer un órgano acorde a esto: ejemplo, INAH = arqueología, nuevo órgano = paleontología”, “desconocen la problemática real”, “no lo sé, no tengo conocimiento de sus competencias” y “por decreto, la Secretaría de Cultura, a través del INAH está llevando esta tarea, lo que falta es la aceptación”.

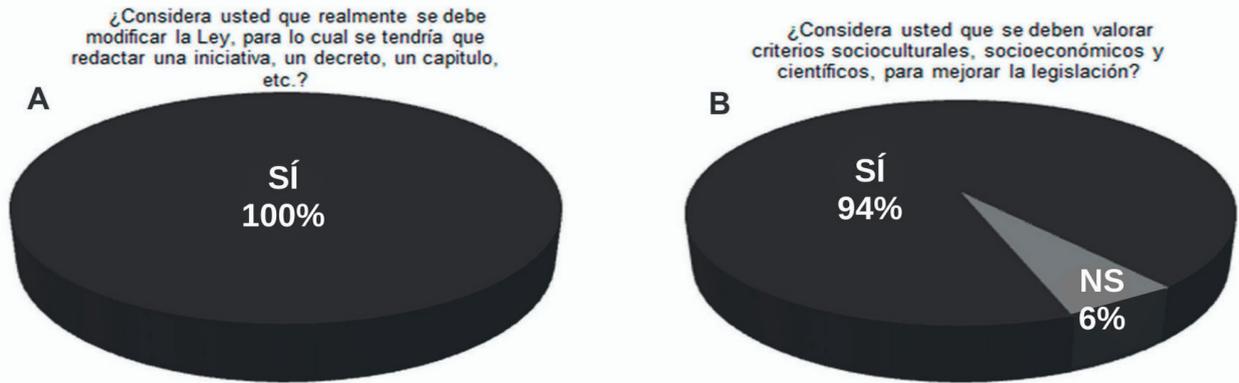
En cuanto a la pregunta ocho sobre “que opina sobre que las universidades y/o colecciones privadas (museos privados o coleccionistas), sean una opción para conservar y proteger los fósiles”, la respuesta fue “SÍ”, con el 71% (Figura 8C). Los comentarios presentan varias aristas, por ejemplo: “ya lo son, el INAH no tiene, ni quiere ser el único repositorio de fósiles”, “se está normando esto”, “muy buena idea”, “sí, con registro en el Consejo de Paleontología”, “hasta ahora y por más de 50 años esta ha sido la función de las universidades; no estoy de acuerdo con las colecciones privadas”, “tengo mis dudas, a no ser que fueran muy reguladas”, “creo que es la única opción real de manejo y mantenimiento”, “sí, son buena opción, ya que a todos los institutos o instancias el espacio siempre es un problema”, “sí y no, no todos los coleccionistas particulares perciben la responsabilidad de los estudios científicos”, “lo creo conveniente, ya que el INAH está rebasado y tampoco tiene capacidad para almacenar tantos restos,



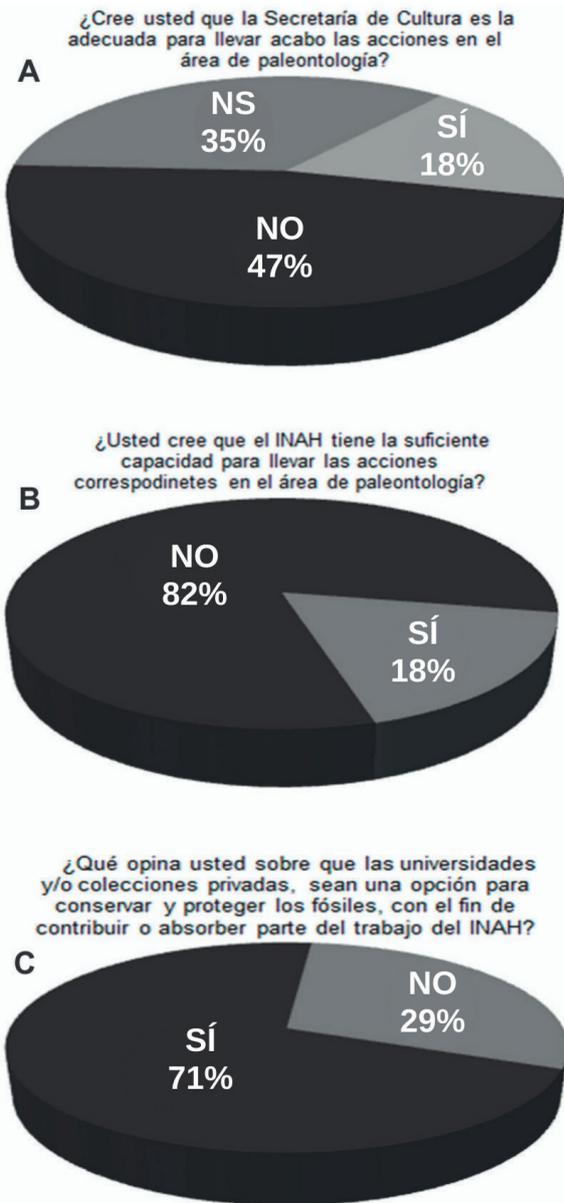
Figuras 6.1 – 3. Resultado de las encuestas realizadas a profesores-investigadores. Se observan los datos porcentuales del Grupo 1-PI.

además es necesario que se apoye en otras instituciones que tengan las condiciones adecuadas y sepan sobre temas de conservación, restauración y resguardo de las mismas” y “sí, pero principalmente instituciones públicas (universidades estatales)”.

Finalmente, en el Grupo 4-PI se ubicó la pregunta nueve, la cual se aborda el tema sobre el “uso sostenible en el área de la paleontología”, el 100% dijo que “SÍ” está de acuerdo con la idea de la creación de geoparques, yacimientos protegidos, turismo, excavaciones, investigación, etc., con el fin obtener un apoyo económico extra (Figura 9A). Entre los comentarios se destacan los siguientes: “puede ser una de las muchas opciones, si se trabaja con la comunidad”, “sin lugar a duda”, “sí, como siempre, con una gran actitud



Figuras 7.4 – 5. Resultado de las encuestas realizadas a profesores-investigadores. Se observan los datos porcentuales del Grupo 2-PI.



Figuras 8.6 – 8. Resultado de las encuestas realizadas a profesores-investigadores. Se observan los datos porcentuales del Grupo 3-PI.

y responsabilidad”, “sí, aunque estos deben estar abiertos al estudio”, “claro, siempre y cuando existe un marco regulatorio”, “sí, absolutamente” y “un buen ejemplo de ello son los yacimientos que existen en los Estados Unidos de América, eso permite que haya dinero para mantenimiento de los yacimientos, y que prosigan las labores de investigación y prospección en áreas colindantes”.

4. Discusión

4.1. Patrimonio

¿Qué es patrimonio? es un concepto que ha cambiado en el transcurso de la historia y su proceso de construcción ha sido dinámico a partir del siglo XX (Goso et al., 2016). Sin embargo, este concepto tiene su origen en el derecho romano, proviene del latín *patrimonium* –*patri* (padre) y *onium* (recibido)–, y lo definen como “hacienda que una persona ha heredado de sus ascendientes”; lo que hace inferir que el patrimonio es un concepto vinculado a la herencia (Galliari et al., 2016; Maya-Ealo, 2016).

Actualmente, el patrimonio se puede definir como un conjunto de elementos a los que se les asigna un valor o interés. Entre los principales cambios en el concepto de “patrimonio”, se refieren a cómo se le reconoce hoy en día, en su escala, en los espacios y en su pluralidad de representaciones, así como en lo referente a su valor, conservación y uso; todo ello con el fin de involucrar posturas de sostenibilidad, tipos de beneficio o interés, políticas de desarrollo y la participación integral de distintos sectores de la sociedad (Díaz-Martínez et al., 2013; Goso et al., 2016).

En 1972, con la celebración de la “Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural”, promovida por la UNESCO, donde se da una nueva conceptualización del patrimonio, y se concibe el “patrimonio cultural” y el “patrimonio natural”, lo que representó un avance en la ampliación y en la síntesis de los conceptos; además de los procedimientos para la protección

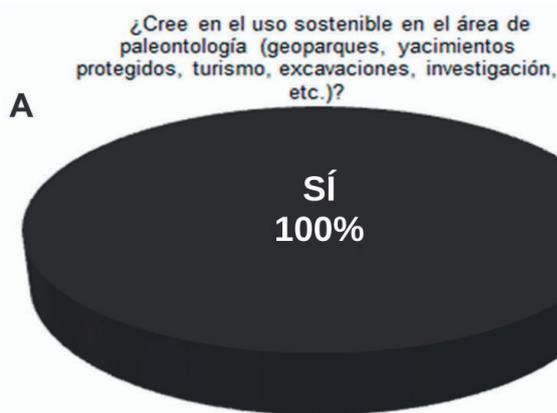


Figura 9.9. Resultado de las encuestas realizadas a profesores-investigadores. Se observan los datos porcentuales del Grupo 4-PI.

del patrimonio colectivo y mundial. Esta convención se dio por la amenaza de destrucción del patrimonio, no sólo por las causas tradicionales o naturales del deterioro sino también por la evolución de la vida social y económica que las agrava con fenómenos de alteración o de destrucción (UNESCO, 1972; Maya-Ealo, 2016). La firma de la Convención es uno de los acuerdos ambientales multilaterales internacionales más antiguos, y hasta comienzos de 2017 había sido ratificada por 193 Estados Parte, lo que significa que la adhesión de ésta es casi universal (UNESCO, 2020).

Este trabajo se enfoca en la conceptualización del “patrimonio natural”; sin embargo, no se puede separar del todo el concepto de patrimonio cultural. En el Art. 2° de la Convención del Patrimonio Mundial, el “patrimonio natural” se entiende como: i) los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico; ii) las formaciones geológicas y fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies animales y vegetales amenazadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia o conservación; iii) los lugares naturales o las zonas naturales estrictamente delimitadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural (UNESCO, 1972).

Bajo este contexto, ¿dónde se ubican los fósiles?, el “patrimonio paleontológico” es un tipo de patrimonio geológico, que a su vez es un elemento constituyente e inseparable del patrimonio natural (Figura 10) (Díaz-Martínez *et al.*, 2013; Mourgues *et al.*, 2016). Diversos organismos y acuerdos internacionales, como el proyecto Global Geosites respaldado por la International Union of Geological Sciences (IUGS) y las resoluciones de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) del 2008 y 2012, han promovido la valorización y conservación de la geodiversidad y el patrimonio geológico, así como reconocer geosítios de relevancia global

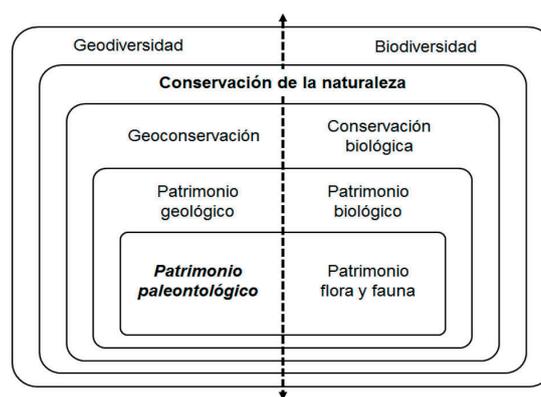


Figura 10. Relación entre el patrimonio paleontológico y el patrimonio biológico, clave para la promoción de la conservación de la naturaleza (modificado de Henriques y Pena dos Reis, 2015).

(Mourgues *et al.*, 2016; García-Aguilar *et al.*, 2018).

El patrimonio natural de cualquier país es representado por geosítios, materializados en el relieve por la presencia de rocas, “fósiles”, minerales o geoformas (Goso *et al.*, 2016). En el caso de los fósiles, se trata de elementos naturales de tipo geológico que, si el especialista (en paleontología) considera que tienen suficiente “valor” como para ser considerados patrimonio, entonces se hablará de “patrimonio paleontológico” (Díaz-Martínez *et al.*, 2013).

Pero hablar de “valor” o “interés” (ofrecer algún tipo de beneficio o interés, real o potencial) es un aspecto subjetivo del patrimonio, es decir, está sujeto a la opinión y es volátil, por lo que los valores, las preferencias y las prioridades de las personas y las sociedades cambian con el tiempo (Díaz-Martínez *et al.*, 2013). Por lo tanto, el patrimonio consta de una parte objetiva e inalterable que es el elemento o elementos que lo integran, y una parte subjetiva que puede cambiar el valor de estos (Díaz-Martínez, 2011).

Por lo que a la hora de definir el “patrimonio paleontológico” esto no es nada fácil, debido a la naturaleza compleja de los fósiles y por el número de cuestiones relacionadas con su protección jurídica e interés científico. Sin embargo, se puede definir como evidencias de vida pasada directas o indirectas de organismos, resultado de su actividad biológica, que se ha conservado en el registro geológico y testifican la existencia de vida pasada, y al cual se le ha asignado un valor científico, didáctico y/o “cultural” (Cabral-Perdomo, 2010; García-Aguilar *et al.*, 2018).

También debe de quedar claro, que los fósiles no son resultado de alguna actividad antrópica, por lo tanto, no tiene ningún sentido considerarlos como elementos culturales, ni tampoco se debe considerar el patrimonio paleontológico como patrimonio cultural. Por lo que una adecuada gestión, conservación y uso público de este patrimonio, debe formar parte del patrimonio geológico y natural (Díaz-Martínez *et al.*, 2013).

Ahora ¿cuál es el valor que actualmente se le da al estudio de la paleontología?, la puesta en valor de la paleontología

tiene como objeto comprender la biodiversidad actual y muchos de los problemas que ocupan y preocupan a la humanidad, ya que uno de los propósitos es comprender la dinámica global de la biosfera a lo largo del tiempo. Por lo tanto, la información contenida en el registro fósil es crucial para identificar los múltiples factores que controlan los mecanismos de la vida. Conservar el patrimonio paleontológico significa mantener las representaciones de la biodiversidad pasada y sus cambios evolutivos, un paso importante hacia la comprensión de las causas latentes de la pérdida de biodiversidad (Lieberman 2005; Reichenbacher et al., 2006; Henriques y Pena dos Reis, 2015).

Cabe mencionar que el patrimonio paleontológico de un país o de una región, puede entenderse como el registro fósil de dicha región (Meléndez y Molina, 2001). Sin embargo, éste se puede dividir en: (i) el “registro fósil”, que es el conjunto de materiales fosilizados en rocas sedimentarias de todas las edades geológicas; (ii) un “yacimientos”, considerado el lugar en donde se concentra y conserva una cantidad significativa de fósiles, de forma natural y en cierta extensión espacial y/o localización puntual; y (iii) los yacimientos llamados *fossilagerstätten*, que son lugares donde existe una gran riqueza de fósiles con un estado de conservación excepcional (Belinchón et al., 1999).

Entonces, a la hora de proteger, conservar, gestionar, legislar, el patrimonio paleontológico, ¿qué o cuáles son los bienes patrimoniales que se deben o deberían proteger? En la actualidad, para fines prácticos y estrictos en materia normativa, y por su naturaleza, el patrimonio paleontológico se divide en dos conceptos, “patrimonio mueble” y “patrimonio inmueble”. Siendo el patrimonio mueble el conjunto de colecciones, ejemplares, museos y exposiciones de fósiles, que conforman el material utilizado para fines de investigación, difusión y divulgación; mientras que el patrimonio inmueble se define como el conjunto de yacimientos y secciones fosilíferas conocidos y estudiados (Belinchón et al., 1999; Meléndez y Molina, 2001).

Es evidente que fósiles y yacimientos son importantes y poseen información valiosa sobre la historia de la vida y de la Tierra (Morales-Romero et al., 1999). Existen restos de microorganismos, con una edad estimada de 3,770 Ma, los cuales representan las formas de vida más antiguas de la Tierra (Dodd et al., 2017). Es claro que el hallazgo, explotación, clasificación y estudio de este patrimonio le corresponde a la comunidad paleontológica (Meléndez y Molina, 2001). Sin embargo, al momento de conservar y proteger, se pensaría que el “criterio científico” es el principal criterio para situar el “valor paleontológico” de los fósiles y los yacimientos, con la afirmación de que estos son recursos no renovables, por lo que se pensaría que es una de las principales razones para ser considerados patrimonio (Morales-Romero et al., 1999; Endere y Prado, 2014). Pero, es absurdo pensar que este criterio puede marcar la pauta para designar si tal o cual fósil o localidad tiene más o menos

importancia dentro del “patrimonio paleontológico”, ya que es interpretado conforme al interés de cada investigador(es) y/o investigación(es), y por lo tanto se deberían considerar otros valores, como el estético, cultural, turístico, económico con la finalidad de perpetuar este patrimonio para futuras generaciones (Morales-Romero et al., 1999).

Además, es impráctico creer que todo territorio donde se encuentren fósiles se debe o debería conservar y proteger. Existen formaciones geológicas donde hay un sinfín de macro y microfósiles que son verdaderamente extensas, por lo que resultaría ilógico proteger y que por logística nunca se hará. También, existe la eterna discusión de que no todos los registros fósiles tienen el mismo valor patrimonial. Por ejemplo, no es lo mismo conservar y preservar un invertebrado, tipo coral, erizo de mar, concha de molusco, etc., que un vertebrado, como un mamut o un *Tyrannosaurus rex*, simplemente no tienen el mismo valor ni científico, ni económico, ni social (CMNC, 2012; Canudo, 2018).

Generalmente, los invertebrados y las plantas aparecen en cuerpos de roca extensos y de tal abundancia, que su protección es casi innecesaria y en la práctica casi imposible, a menos que sean raros y/o excepcionales (criterio científico) como para conservar el área o ser extraídos y depositados dentro de una “colección paleontológica” y/o “museo” para ser preservados (generalmente ocurre lo último). En el caso de los vertebrados (excepto especies cartilaginosas, por ejemplo, dientes de tiburón), casi todos son considerados raros y/o excepcionales ya que existen pocos sitios que contienen estos fósiles; aunque la mayoría de ellos son extraídos (por especialistas o persona en general) y depositados en una colección y/o museo. Por otro lado, existen los llamados *fossilagerstätten*, que como ya se mencionó, son lugares de gran riqueza fosilífera excepcional y están bien geolocalizados en todo el mundo, por lo que son considerados patrimonio tanto geológico, como paleontológico. Con los microfósiles (ignorados por muchos autores) ocurre lo mismo, es innecesaria su protección, a menos de que se encuentren depositados en una colección y/o museo, y que verdaderamente representen un valor científico. En todos los casos, lo más sensato sería: “lo que no tiene ningún valor o interés no se debería considerar patrimonio” (Figura 3) (Diario de Debates, 1998; Belinchón et al., 1999; Díaz-Martínez, 2011; CMNC, 2012; Endere y Prado, 2014; Henriques y Pena dos Reis, 2015; Canudo, 2018).

Otros autores, consideran que solo los fósiles que se consideren “tipo” y que están catalogados en colecciones, además de todo el material que ha sido publicado y documentado, y los sitios que estén bien definidos y delimitados deberían ser considerados como patrimonio paleontológico (CMNC, 2012). Sin duda, este tema seguirá siendo controversial, pero permitirá una mejor protección de los bienes con verdadero interés patrimonial y científico (Canudo, 2018).

4.2. Colecciones paleontológicas

Cristín y Perrillat (2011) mencionan que, “la paleontología no sería una ciencia sin la existencia de colecciones paleontológicas”. La historia ha demostrado que el desarrollo del estudio de especímenes fósiles radica en el material almacenado en museos, colecciones e instituciones académicas de todo el mundo durante los últimos siglos (Henriques y Pena dos Reis, 2015).

Las colecciones científicas son entidades dinámicas, y están relacionadas con la generación y validación de conocimiento científico, por lo tanto, son imprescindibles para realizar dicha labor. Además, muchas de las colecciones se encuentran depositadas en museos y/o universidades públicas, por lo que tienen una gran responsabilidad social, sobre todo porque dependen económicamente de los contribuyentes, y como consecuencia de ello debe o debería traer beneficios sociales. A pesar de que se reconoce su valor monetario, educativo, público, cultural e histórico, muchas veces estos conceptos son olvidados por el mismo personal responsable (Cristín y Perrillat, 2011).

Es preciso indicar que desde la Convención de 1970 celebrada por la UNESCO, las colecciones han sido de gran interés y por ello se considera su conservación y protección. En dicha convención se cita (textual) – “Considerando que los bienes culturales son uno de los elementos fundamentales de la civilización y de la cultura de los pueblos, y que sólo adquieren su verdadero valor cuando se conocen con la mayor precisión su origen, su historia y su medio, ...”. Mientras que en el Art. 1 (cita textual). – “...se considerarán como bienes culturales los objetos que, por razones religiosas o profanas, hayan sido expresamente designados por cada Estado como de importancia para la arqueología, la prehistoria, la historia, la literatura, el arte o la ciencia y que pertenezcan a las categorías”: inciso, a) las colecciones y ejemplares raros de zoología, botánica, mineralogía, anatomía, y los objetos de interés paleontológico; ...”.

Cabe recordar que las colecciones paleontológicas y los ejemplares alojados en universidades, centros de investigación y/o museos, además de colecciones y/o exposiciones locales (públicas o privadas) constituyen el patrimonio mueble de un país. Subrayando que las colecciones científicas hoy en día son la mejor opción para asegurar la preservación y disponibilidad de estudio de los fósiles, además es la única forma de garantizar su conservación y protección a largo plazo. Los fósiles catalogados y ubicados en colecciones son la evidencia física y representan una fuente de información única e irremplazable, con los cuales se pueden hacer interpretaciones sobre de la historia de la vida y de la Tierra (Meléndez y Molina, 2001; Cristín y Perrillat, 2011, Goso *et al.*, 2016).

Actualmente, las colecciones paleontológicas son consideradas los primeros elementos de la “geodiversidad”; por lo tanto, requieren cuidados y acciones específicos

para poder llevar a cabo una “geoconservación” eficiente. Esto permitiría que las colecciones estén al alcance tanto de los especialistas, así como de la sociedad (Gray, 2008; Henriques y Pena dos Reis, 2015; Mourgues *et al.*, 2016). La geoconservación se puede aplicar para promover la conservación del patrimonio paleontológico, mediante inventarios y procedimientos de evaluación. Estos procedimientos son decisivos para la implementación de acciones como conservación, promoción y monitoreo (Henriques *et al.*, 2011).

Henriques y Pena dos Reis (2015) proponen un método cualitativo para evaluar el patrimonio paleontológico, el cual puede ser aplicable a muestras y yacimientos (*in situ*), y puede ajustarse para valorar colecciones (de todo tipo). Ellos designan los contenidos patrimoniales como: indicativo, iconográfico, documental, simbólico, escénico y conceptual. Esta clasificación se realizó dependiendo de la relevancia (asignada por la comunidad científica) y la percepción abstracta (comprensión pública, es decir, la relación con el uso social de los fósiles). Además, se clasificaron en tres categorías de importancia creciente: rango I. – contenido indicativo; rango II. – contenido documental, iconográfico y simbólico; y rango III. – contenido conceptual y escénico (Figura 11).

Bajo este contexto, los geositos conocidos como *fossillagerstätten*, son reconocidos por contener fósiles excepcionalmente bien conservados (incluso hasta con impresiones de partes blandas). Estos sitios generalmente se encuentran protegidos y particularmente son relevantes para la reconstrucción de la biota original de una región; según la clasificación propuesta por Henriques y Pena dos Reis (2015), el contenido patrimonial sería “documental” y alcanzaría un “rango III” (escénico) por su valor global. En muchos de los casos, en estos sitios se crean museos *in situ*, por su gran importancia científica y social (por ejemplo, el Geoparque Araripe, en el noreste de Brasil) (Henriques y Pena dos Reis, 2015; Ahrens-Haag y Henriques, 2016).

Otros ejemplos serían los “especímenes tipo” que son de importancia científica, destacando que cada uno de estos ejemplares son de referencia global, por lo tanto, son insustituibles. Según la propuesta, el contenido es a escala “global” y “conceptual”. Mientras que los “fósiles índice”, los cuales apoyan escalas bioestratigráficas establecidas para una cuenca y/o región, tendrían un contenido patrimonial a escala “regional”, mostrando contenido “documental”. En el caso del contenido simbólico de un fósil podría referirse a especímenes almacenados o ubicados en áreas frecuentadas por la gente con poca o nula experiencia en el área de la paleontología (Henriques y Pena dos Reis, 2015; Ahrens-Haag y Henriques, 2016).

Este sistema cualitativo abierto ha permitido incorporar al patrimonio paleontológico dentro de una metodología única de evaluación sobre geoconservación, que a su vez permite integrar procedimientos de evaluación aplicables a colecciones y sitios de interés paleontológico y geológico.

GRADO DE RELEVANCIA	Global			<i>Conceptual</i> (III)	
	Regional		<i>Documental</i> (II)		<i>Escénico</i> (III)
	Local	<i>Indicativo</i> (I)		<i>Iconográfico</i> (II)	<i>Simbólico</i> (II)
	Material	Demostrativo	Cognitivo	Social	
PERSPECTIVA ABSTRATA					

Figura 11. Sistema integrado de calificación y clasificación propuesto por Henriques y Pena dos Reis (2015). Los números romanos (I, II, III) señalan el rango del contenido patrimonial, siendo III el rango más alto (modificado de Ahrens-Haag y Henriques, 2016).

Como antecedente, este método ha sido implementado para evaluar la colección paleontológica de la Universidad Federal de Acre, Brasil (Ahrens-Haag y Henriques, 2016).

A pesar de reconocer que una metodología serviría (sea la que fuese) para evaluar qué colecciones paleontológicas cuidar o no, es decir, cuáles colecciones son de importancia científica, social o ambas, y con ello poder inferir su importancia patrimonial; existen otros problemas como la falta de recursos humanos y económicos para gestionar estos lugares, además de la falta de espacio y/o ausencia de mobiliario adecuado (Galindo y Delclòs, 2014).

Por ejemplo, en el Reino Unido una de las preocupaciones más grandes es la falta de dedicación y experiencia de los nuevos curadores; además de que se pasa más tiempo buscando subsidios que al trabajo sobre las colecciones (Fothergill, 2005). En otros museos como los de Cataluña, España se menciona la falta de organización, registro e inventarios de las colecciones provenientes de proyectos de investigación; la falta de personal técnico para la preparación y restauración de muestras fósiles; y la falta de recursos humanos para la gestión de las colecciones (Galindo y Delclòs, 2014). Por otro lado, Erwin y Ziegler (1997) mencionan que realizar una depuración de las colecciones permitiría mayor espacio y volumen en los anaqueles, lo que al mismo tiempo agilizaría su gestión, sin embargo, pero esto conlleva a otro problema, ¿qué eliminar y qué no?

Es indudable la necesidad de decidir o desarrollar metodologías para valorar las colecciones, ya que estas constituyen un importante recurso (no renovable), tanto para el desarrollo de la investigación paleontológica, como para el uso público (Galindo y Delclòs, 2014; Vegas *et al.*, 2018). Si bien todas las colecciones buscan permanentemente presupuesto, infraestructura, personal capacitado y personas encargadas para su administración, vale la pena preguntar si es posible o incluso práctico conservar y proteger todas

las colecciones de un país (Cristín y Perrillat, 2011; Endere y Prado, 2014).

4.2.1. Protección de las colecciones paleontológicas en México

Las colecciones paleontológicas en México están protegidas por la CPEUM, Art. 73 (cita textual). – “El Congreso tiene la facultad”; fracción XXV, (cita textual) “...para legislar sobre vestigios o restos fósiles y sobre monumentos arqueológicos, artísticos e históricos, cuya conservación sea de interés nacional; ...”. Y por la LFMZAAH, que en su Art. 36 (cita textual). – “Por determinación de esta Ley son monumentos históricos:”, fracción IV (cita textual). – “Las colecciones científicas y técnicas podrán elevarse a esta categoría, mediante la declaratoria correspondiente”.

Además, en la LGBN, Art. 3, señala (cita textual) ... “Son bienes nacionales”; fracción III y IV “...los bienes muebles e inmuebles de la Federación” y “los bienes muebles e inmuebles propiedad de las entidades;”. Mientras que el Art. 6 (cita textual). - “Están sujetos al régimen de dominio público de la Federación”; fracción XVIII. - “Los muebles de la Federación que por su naturaleza no sean normalmente sustituibles, como...; las piezas etnológicas y paleontológicas; ... y las piezas artísticas o históricas de los museos; ...”. Por otro lado, la LO-INAH menciona en su Art. 2°. - “... el INAH tendrá las siguientes funciones: fracción XII, (cita textual). - “llevar el registro público de las zonas y monumentos arqueológicos e históricos y de los restos paleontológicos.”

En este contexto, en México “no todos los fósiles son patrimonio nacional”, solo las piezas que se encuentren dentro de colecciones científicas o técnicas y/o museos (patrimonio mueble), y que estén catalogados y registrados ante Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, dependiente del INAH (Art. 21, LFMZAAH). Con dicho registro se adquiere la responsabilidad legal de la custodia y protección de los fósiles. Esto quiere decir, que intrínsecamente las colecciones paleontológicas mexicanas (públicas o privadas) tienen un “valor paleontológico” y se podrían considerar como “patrimonio paleontológico nacional” (CPEUM, Art. 73, - “...cuya conservación sea de interés nacional...”).

En el 2018, había 1,237 museos registrados en el Sistema de Información Cultural Nacional, de esos 142 cuentan con material paleontológico, aquí caben las preguntas: ¿vale la pena registrar todas las colecciones con especímenes fósiles?, existe una metodología para reconocer ¿qué colección realmente representa interés científico?, ¿el INAH cuenta con personal capacitado?, etc. El Director General del INAH Diego Prieto Hernández, menciona que (cita textual) “proteger este tipo de patrimonio se convirtió en un reto complejo para el INAH, el cual necesita trabajarse con otros centros de investigación” (Boletín-INAH, 2018b). Cabe mencionar que al instituto le ha llevado más de 30 años

(1986) afrontar este “reto complejo”, por lo que los avances en materia paleontológica son realmente pocos (Figura 8B).

A pesar de ello, el INAH sabe y reconoce que el desarrollo de la paleontología en nuestro país se debe principalmente a la academia (a la UNAM, Colección Nacional de Paleontología, al IPN y a las universidades estatales, donde se empezó la enseñanza de la paleontología) y a la creación de sus propias colecciones paleontológicas (depositadas en las mismas universidades y/o centros de investigación), las cuales en su mayoría no tienen los instrumentos de protección legal, por no estar registradas (Morales-Ortega, 2017, Boletín-INAH, 2018a). También, el instituto reconoce que se debe de trabajar con las universidades estatales de todo el país, por la gran riqueza paleontológica que existe en sus colecciones, así como con los centros de investigación que se encargan de registrar la historia de la vida y de la Tierra (Boletín-INAH, 2018b). Bajo este contexto, se podría señalar que solo estas colecciones son las que deben o deberían conservar y proteger por su importancia científica y académica, y para el desarrollo de futuras investigaciones (Figura 8C).

Por otro lado, es bien sabido que es imposible que una sola institución se haga cargo de las actividades de investigación, protección, conservación, restauración, recuperación y vigilancia del patrimonio paleontológico. Además, el INAH no cuenta ni con los recursos humanos y ni económicos para poder llevar acabo dichas funciones (Figura 8) (Morales-Ortega, 2017). Una manera de sobrellevar dichas tareas sería con la celebración de convenios y/o acuerdos de colaboración (LO-INAH; Art 7 [cita textual]. – “Son facultades y obligaciones del Director General, fracción XI. – Celebrar convenios con personas físicas o jurídicas y con organismos públicos o privados) con la finalidad de fomentar el registro y así poder proteger las colecciones, ya sea que la custodia quede a cargo del Instituto, o de la universidad y/o centro de investigación, o en concesión o comodato de terceros” (Boletín-INAH, 2018a).

4.3. Sitios de interés paleontológicos

El patrimonio paleontológico inmueble está constituido por yacimientos fosilíferos o afloramientos con especial interés para el registro fósil, ya sea por sus hallazgos, conservación, singularidad, abundancia, diversidad o importancia científica, además de que suelen tener cierta extensión espacial y/o localización puntual. Cabe recordar que el hallazgo, exploración, explotación, clasificación y estudio corresponde a la comunidad paleontológica, pero su gestión, definición legal, difusión social y utilización didáctica corresponde a la sociedad y a la autoridad política (Belichón *et al.*, 1999; Meléndez y Molina, 2001; García-Aguilar *et al.*, 2018).

En los últimos años, el interés en estos sitios o lugares de interés paleontológico se ha incrementado, suponiendo que son un recurso didáctico y de ocio cultural para la población.

Pero a la hora de definirlos, se deben considerar criterios científicos, como: la representatividad y/o singularidad del registro geológico y el intervalo cronoestratigráfico representado; su contenido paleontológico singular; y la importancia sobre la evolución geológica y biológica de la región y/o país (García-Aguilar *et al.*, 2018). Sin embargo, se insiste que los criterios científicos no son suficientes para realizar una gestión eficaz. Existen otros criterios que deberían estar integrados, como el rol social, económico y político, ya que esto podría contribuir en la clasificación y/o depuración de sitios de interés paleontológico de una región o país; además proporcionaría una perspectiva integral, tanto social como cultural (Morales, 1996; Alcalá, 1999; Morales-Romero *et al.*, 1999).

En el mismo contexto, diversos autores señalan la necesidad de identificar criterios de evaluación, que continuamente valoren los sitios o lugares de interés paleontológicos, con el fin de conservar o no, dichos lugares. Entre los criterios de evaluación propuestos son los culturales, estéticos, económicos, de investigación, educativos y funcionales (Endere y Prado, 2014; Reguero, 2019).

Endere y Prado (2014) publican “Characterization and Valuation of Paleontological Heritage: A Perspective from Argentina”, en donde proponen una metodología cuantitativa para evaluar “sitios de interés paleontológico” para ese país. Ellos formulan seis criterios de evaluación esenciales para influir en una política de planificación del territorio nacional y regional, así como aumentar la conciencia social y la apreciación de este patrimonio, desde diferentes perspectivas.

Los criterios propuestos en este estudio son: (1) paleontológicos, (2) geológicos, (3) contextuales, (4) integridad, (5) socioculturales y (6) socioeconómicos (ver anexo A). Los cuales se subdividen en 21 subcriterios, cada uno de ellos es evaluado cuantitativamente del 0 a 4 (dependiendo del subcriterio que se evalúe, la tabulación va del 0 al 2, del 0 al 3 o del 0 al 4). Por ejemplo, el (1) criterio paleontológico, se compone de cinco subcriterios: (1.1) naturaleza del fósil, (1.2) grado de preservación, (1.3) diversidad de fósiles, (1.4) tipo de localidades e (1.5) información tafonómica. El criterio geológico se compone de tres subcriterios; en el criterio contextual se califican tres subcriterios; los criterios de integridad se componen de dos; el sociocultural de cinco; y el socioeconómico de tres. Al finalizar la evaluación, si la suma es igual o mayor a 25 puntos el sitio puede ser considerado para ser propuesto en un esquema de conservación (ver suplemento).

Cabe recordar que Pena dos Reis y Henriques (2009) proponen una metodología cualitativa que puede ser empleada, tanto para sitios, como para colecciones de interés paleontológico. En este sentido, cualquiera de las metodologías mencionadas en este trabajo y que, de ser empleadas en un futuro para identificar, preservar, salvaguardar y difundir el patrimonio paleontológico de México, es necesario contar con una serie de indicadores que

permita evaluar de forma sistemática el estado y evolución de dicho patrimonio (Carcavilla *et al.*, 2011; Endere y Prado, 2014).

Finalmente, el objetivo principal no es solo la conservación y preservación de los activos sino la gestión sostenible, es decir, no es dejar el paisaje sin modificaciones, sino cómo mantenerlos y recrearlos para el interés de la ciencia y para el disfrute del público. Actualmente existe la necesidad de regular y mejorar la gobernanza ambiental, es decir, lograr que los diferentes niveles de gobierno, empresas privadas, profesionales y la comunidad se unan para implementar prácticas de conservación y protección del patrimonio natural (Endere y Prado, 2014; Romo y González-Franco de la Peza, 2018).

4.4. Uso sostenible: geoturismo

Durante el presente siglo, se ha trabajado en iniciativas que identifiquen, valoren y conserven el patrimonio geológico, y la creación de geoparques puede considerarse como una herramienta útil para su protección y al mismo tiempo para la divulgación del conocimiento en las ciencias de la Tierra. En el 2015, la UNESCO ratifica la creación de los Geoparques Globales UNESCO, donde se identifica y valora al patrimonio geológico en el entorno de su aprovechamiento sostenible, además de reconocer la importancia del manejo de estos sitios desde una perspectiva holística (UNESCO, 2014; Palacio-Prieto *et al.*, 2016).

Como ya se ha mencionado el patrimonio natural, no solo se representa con la biodiversidad, sino también se deben incluir los aspectos geológicos, geomorfológicos y paleontológicos, cuyas características son determinantes para explicar la distribución de la vida en la Tierra. De ahí el término geodiversidad, que se define como la variedad natural de la Tierra, en referencia a los aspectos geológicos y geomorfológicos, así como los sistemas creados por procesos naturales (endógenos y exógenos), además de incluir la apreciación ambiental, ecológica y biológica en el tiempo y espacio, y que por su valoración permite identificar aquellos lugares que poseen mayor relevancia para ser conservados y aprovechados de manera sostenible (geopatrimonio) (Palacio-Prieto *et al.*, 2016).

Bajo este contexto, el geopatrimonio se puede considerar como una construcción social y se identifica a partir de lugares, puntos o sitios de interés, cuyas características permiten reconocer y comprender las etapas evolutivas de una localidad y/o región, por lo que justifican su uso en la sociedad, con fines científicos, educativos y turísticos, y a su vez condensan valores, identidades e ideologías (Pérez-Winter *et al.*, 2013; Palacio-Prieto *et al.*, 2016). Con la conservación de estos sitios no sólo se busca evitar la destrucción del patrimonio geológico y paleontológico, también se busca prevenir, corregir y/o minimizar las afecciones que puedan sufrir, ya que su destrucción es irreversible y supone una pérdida del registro geológico (Figura 12) (García-Aguilar *et al.*, 2018).

En aras de ofrecer y generar un tipo de turismo, los recursos de origen geológico (rocas, minerales, formas de relieves y/o fósiles) representan un potencial para fomentar actividades turísticas, culturales y/o científicas, este tipo de actividad es conocida como “geoturismo”; específicamente en el caso de los fósiles, se le conoce como “turismo paleontológico”. El desarrollo de esta actividad puede significar la valorización y resignificación del patrimonio e inclusive promueve patrimonializar otros elementos que no suelen ser considerados como tal. Además de concientizar sobre la importancia de su conservación, también se generan recursos económicos para su preservación. Estudios demuestran que los visitantes a dichos lugares están dispuestos a pagar el precio de entrada si una parte sustancial de los ingresos se destinan a los gastos de funcionamiento y a la protección del sitio (Gaitán-Morán y Álvarez-Arellano, 2009; Pérez-Winter *et al.*, 2013, UNESCO, 2014).

Ejemplo de ello son los parques naturales de los EUA, centrados en la observación y disfrute de los recursos geológicos y paleontológicos. En dichos lugares se cobra la entrada, se controla el cupo de visitantes, se ofrecen servicios turísticos (visitas guiadas, museos, tiendas, restaurantes, vuelos en globo, etc.), actividades didácticas para escuelas y se realizan actividades científicas para especialistas. Otro ejemplo, son varios países de Europa, donde las familias van a canteras especiales donde les dan martillos y cinceles, y los niños pueden buscar fósiles (integrar a los niños puede generar interés en las áreas de geología y paleontología) (CMNC, 2012; García-Aguilar *et al.*, 2018).

Actualmente, muchos países (México y varios países latinoamericanos) tienen un especial interés en potencializar sitios o lugares de interés paleontológico; sin embargo, además de que se tiene que generar políticas y planes de manejos, también se necesitan grupos de trabajo que se encarguen de transformar los contenidos científicos

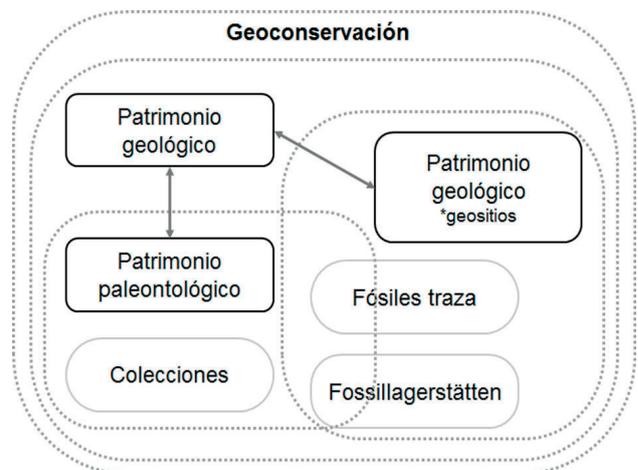


Figura 12. Geoconservación del patrimonio paleontológico, *ex situ* (colecciones) e *in situ* (lugares o sitios de interés) (modificado de Henriques y Pena dos Reis, 2015).

rígidos en un código que toda la gente puede entender e instituciones gubernamentales y privadas que participen viendo una oportunidad de negocio. Sin duda, este tipo de iniciativas permite la diversificación de la oferta turística de un estado o país (generación de empleos), pero al mismo tiempo demandan mayor cantidad de contenidos (nuevas rutas, nuevos enfoques, nueva generación de conocimiento, etc.) y una mayor demanda de bienes y servicios de la comunidad anfitriona (CMNC, 2012). Además, deben o deberían contemplar actividades de monitoreo (métodos de recolección de datos) y establecer o generar indicadores, así como contemplar los costos que implica esta actividad (Figura 9A) (UNESCO, 2014).

A pesar del creciente interés por estos sitios, las dificultades de conservación y protección son diversas, desde el punto de vista económico, político, social y científico; por ejemplo: (1) la protección completa del afloramiento geológico, no es viable desde el punto de vista económico y práctico; (2) el paso del patrimonio de ser algo identitario a algo comercializado (esto puede provocar conflicto entre los diferentes actores sociales que componen la comunidad); (3) la presión que ejerce el aumento del turismo, produce una alteración social y el desarrollo de un turismo insostenible, ya que al elevar el perfil del sitio, generaría una mayor afluencia de visitantes y provocaría cambios no contemplados en la gestión del sitio; (4) el aumento continuo del turismo y la huella científica, pueden producir alteraciones en las características geológicas y paleontológicas en aquellos sitios de alta representatividad; y (5) la colecta no regulada de muestras paleontológicas o el sobremuestreo con fines científicos pueden causar conflictos de interés (Aguilar, 1998; Pérez-Winter *et al.*, 2013; UNESCO, 2014; Reguero, 2019).

Si bien las posibilidades de generar un turismo paleontológico son numerosas, las iniciativas que se creen en un futuro deberán promover su conservación, uso y disfrute; además de buscar, identificar, valorar y divulgar aquellos sitios con elevado valor, mediante inventarios, la aprobación social y científica, el desarrollo de políticas adecuadas (planes de conservación) y ejecución de programas de divulgación. Los sitios fosilíferos de todo el mundo están en peligro por el desarrollo, la construcción, la colecta irresponsable y el vandalismo, por lo que la necesidad de su conservación se basa en su fragilidad, su valor intrínseco y su potencial, tras su adecuada investigación, para la divulgación, la educación y el desarrollo local (Fernández *et al.*, 2014; García-Aguilar *et al.*, 2018; Reguero, 2019).

4.5. Iniciativas para modificar la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas

Los fósiles en nuestro país están adscritos al INAH, bajo jurisdicción de la Secretaría de Cultura (Figura 8A). Sin embargo, distintos autores coinciden en la falta de una regulación coherente, pareciera que los términos “vestigios

o restos fósiles” y/o “paleontológico”, fueron anexados a las leyes a manera de “parches”. Es evidente que la legislación vigente presenta varias dificultades en la definición de conceptos, por lo que poner en práctica la conservación y preservación del patrimonio paleontológico de todo el país, no es una tarea fácil (Figura 6). También es claro, que la ley establece una equivalencia entre un bien paleontológico y un bien arqueológico, esta homología es inaceptable en la comunidad científica de nuestro país y en otros países (Morales-Ortega, 2017).

Es importante mencionar que, en ninguna de las leyes vigentes de nuestro país, ya sea la LFMZAAH, la LGBN y la LO-INAH, se definen los conceptos básicos como: ¿qué es un fósil?, ¿qué es paleontología?, ¿qué es vestigio o resto?, ¿qué se conserva o qué no?, etc. Además, es evidente la falta de metodologías y/o estrategias a seguir para evaluar y clasificar qué fósiles conservar y proteger.

En 1998, se publica en el Diario de Debates de la Cámara de Senadores, el “Decreto que establece la ley sobre vestigios y restos fósiles; que adiciona el Código penal para el distrito federal en materia de fuero común y para toda la república en materia de fuero federal; y que reforma diversas fracciones del artículo segundo de la Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia”; esto gracias al trabajo realizado por el primer Consejo de Paleontología y al consenso de voluntades de diferentes grupos, sectores e instituciones. A pesar de que este proyecto de “Decreto” no obtuvo el impacto esperado, sí logró la reforma del Art. 73, fracción XXV de la CPEUM.

Cabe mencionar que este “Decreto” es verdaderamente importante e histórico, y representa un parteaguas para dotar de un régimen legal al patrimonio paleontológico nacional, mismo que ha sido asimilado a una legislación ajena a su naturaleza y desde donde no se puede promover adecuadamente su protección y conservación. Los puntos más destacables del “Decreto” son:

1. Derogar el Art. 28 BIS de la LFMZAAH.
2. Establecer la “Ley sobre vestigios y restos fósiles”.
3. Que sea la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (hoy Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales -SEMARNAT-), a través del Instituto Nacional de Ecología (hoy, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático -INECC-), la responsable.

Además, en este “Decreto” se plantean puntos relevantes (algunos de ellos mencionados con anterioridad en este trabajo) como:

1. El patrimonio paleontológico de la nación se compone de innumerables vestigios o restos fósiles de seres orgánicos que habitaron el territorio nacional en épocas pretéritas y constituye una fuente de conocimiento y riqueza tanto del punto de vista científico como desde el punto de vista económico.
2. Los fósiles de utilidad industrial son tratados como recursos naturales y/o minerales no renovables y su

- explotación se ajusta a este tipo de normatividad. En cambio, los fósiles no utilizados por la industria están asociados a los contextos culturales y son tutelados como bienes arqueológicos a partir de la adición del Art. 28 BIS de la LFMZAAH.
3. Los restos paleontológicos son obra de la naturaleza, mientras que, los que estudian arqueología, la antropología y la historia, son creación humana. Por lo que el patrimonio paleontológico, debería verse desde la perspectiva de un recurso natural.
 4. La legislación hizo depender la protección de un fósil, bajo un concepto denominado “interés paleontológico”; concepto que se encuentra insuficientemente desarrollado en la legislación para determinar cuándo su conservación representa interés nacional, y cuándo no.
 5. La protección del patrimonio paleontológico, bajo la figura de monumento o zona de monumentos arqueológicos, no se ha instrumentado desde su inclusión en la LFMZAAH. En otras palabras, ha quedado como literatura jurídica y como un buen propósito; en la práctica no ha habido dicha protección.
 6. El INAH no ha cumplido cabalmente su misión. El INAH, alejado de su vocación natural, ha relegado a un ámbito secundario la protección del patrimonio paleontológico.
 7. No todos los vestigios o restos fósiles representan un interés científico, ya que mucho del patrimonio ha sido suficientemente estudiado, o bien, su abundancia en el territorio nacional no hace necesario declarar a todos los ejemplares de una especie de fósiles como monumentos.
 8. Se plantea una tipología de fósiles, para facilitar su identificación y determinar cuáles resultan de interés para la ciencia y la educación, y cuáles no.
 9. Se propone la apertura a la participación de diferentes sectores de la población en las labores de protección y conservación de los fósiles, pues dada su abundancia, no hay ninguna institución con capacidad humana y presupuestal para realizar las labores de exploración, investigación y vigilancia del total del patrimonio paleontológico nacional. Ello contribuirá a que la sociedad se sienta involucrada en la protección del patrimonio paleontológico y abatir el sentimiento de separación que se da entre la comunidad y el patrimonio de su entorno, por tener un carácter diferente al de sus expectativas.
 10. Se expone la creación de un área paleontológica con la finalidad de identificar y proteger numerosos yacimientos fosilíferos que se encuentran en el país. Dichas áreas paleontológicas han sido consideradas de utilidad pública, en la eventualidad de que sea necesaria la expropiación de los predios en que se encuentren, hecho que no siempre es necesario, pues los descubrimientos fosilíferos se dan muchas veces en profundidad más que en extensión y se definen dependiendo de la importancia del hallazgo paleontológico.
 11. Se establecen aspectos punitivos en el Código Penal que sentará un precedente importante no sólo en materia de delitos en contra del patrimonio paleontológico, sino de aquellos que se cometen en contra del patrimonio cultural. Las conductas delictivas tipificadas, lesionan el patrimonio nacional y, con ello, a la ciencia, la educación y la economía.
- Posterior a la propuesta de 1998, es hasta 2011, cuando el Grupo Parlamentario del Partido del Trabajo (PT), en la Gaceta Parlamentaria, Número 3394-IV, presenta una nueva iniciativa para modificar la LFMZAAH, sin embargo, esta iniciativa fue desechada en 2012. A pesar de ello, se podrían rescatar algunas propuestas, entre las que se pueden citar:
1. Incorporación en la ley, los conceptos “bienes de interés paleontológico” y “zonas de interés paleontológico”.
 2. Creación de un área especializada en paleontología dentro del INAH, con autonomía administrativa y académica de las otras áreas del Instituto.
 3. Creación de un Registro Federal de Paleontología, independiente del Registro Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, con objeto de garantizar la clasificación y conservación de los materiales fósiles de interés paleontológico.
 4. Abrir a la participación de personas físicas y morales los trabajos para descubrir o explorar bienes o zonas de interés paleontológico, previa autorización del área competente del INAH.
 5. Que los particulares que tengan en su poder o lleguen a descubrir bienes de interés paleontológico, puedan conservar su posesión cumpliendo con las condiciones que al respecto establezca el reglamento de la ley.
- A pesar de estas dos iniciativas, la reactivación del Consejo de Paleontología Nacional (2017) y el registro de algunas colecciones en el Inventario de Bienes Culturales Muebles – INAH (uno de los indicadores básicos de la sostenibilidad del patrimonio), los logros siguen siendo puntuales; ya que no todas las universidades y/o museos son apoyados; no todos los gobiernos, ya sea federal, estatal y/o municipal están interesados; la iniciativa privada, con gran interés pero mal orientada; y las empresas paraestatales (minería) que generalmente presentan algún interés por la conservación del registro fósil, no cuentan con un marco jurídico que las ampare, por lo que los fósiles quedan abandonados o simplemente destruidos. Y, por último, pero no por ello menos importante, la falta de voluntad y compromiso de la comunidad científica especializada para entender y respetar reglamentos y normas operativas (Cristín y Perrilliat, 2011; Boletín-INAH, 2017; Morales-Ortega, 2017).

4.6. Valoración de los bienes paleontológicos: sociocultural, socioeconómico y científico

El término “gobernanza” se refiere al “arte de gobernar con el objetivo de lograr un desarrollo económico, social e institucional, además de promover un equilibrio entre el Estado, la sociedad civil y el mercado” (DRAE, 2020). Por otro lado, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, o en inglés UNEP) promueve como uno de sus objetivos principales el concepto “gobernanza ambiental”, el cual se define como “las reglas, políticas e instituciones que dan forma a la interacción de los humanos con el medio ambiente”. Para el PNUMA, la gobernanza ambiental es un impulsor clave para lograr un desarrollo sostenible eficaz (Delgado *et al.*, 2007; UNEP, 2020).

Bajo este contexto, la conservación puede garantizar el uso sostenible de los recursos paleontológicos, mientras que al mismo tiempo se pueden preservar dichos recursos. En los últimos años, varios autores mencionan que, al momento de construir marcos regulatorios, así como establecer límites y restricciones sobre el uso de los bienes paleontológicos, se deben o deberían tomar en cuenta los criterios “científicos”, “socioculturales” y “socioeconómicos” (Figura 7). Tomar en cuenta dichos criterios permitiría crear una correcta y eficaz gestión, y que se satisfaga las necesidades de la comunidad científica, la sociedad civil y el sector privado (Morales-Romero *et al.*, 1999; Delgado *et al.*, 2007; Endere y Prado, 2014).

Es evidente que los fósiles y los yacimientos son importantes y que poseen información relevante sobre la historia de la vida y de la Tierra, por lo que se pensaría que el “criterio científico” es primordial para situar el valor paleontológico, pero sería absurdo pensar que este criterio puede marcar la pauta para designar si tal o cual fósil o localidad tiene más o menos importancia dentro del patrimonio paleontológico, ya que muchas veces es interpretado conforme al interés de cada investigación y/o investigador. Sin embargo, este criterio debe ser considerado primordial a la hora de establecer el valor científico de los fósiles y de los yacimientos, por la cantidad de información que puedan poseer y que solo un especialista puede y debería evaluar (Morales-Romero *et al.*, 1999; Endere y Prado, 2014).

Los “criterios socioculturales” se basan principalmente en lo que la sociedad demanda o pueda demandar como interés natural, histórico-cultural o de ocio. Estos determinan el uso no científico de los yacimientos e inclusive de las colecciones de sitio (colecciones muchas veces privadas), generalmente el recurso paleontológico es utilizado como material didáctico, cultural o turístico. Este criterio debería ser considerado, ya que en muchas ocasiones el valor estético, histórico y/o turístico del yacimiento (e inclusive de un fósil) es impuesto por las comunidades (locales, regionales o estatales) y comienzan a ver en los yacimientos y/o fósiles como un posible recurso turístico, y por lo tanto una manera en tener un ingreso extra, ya sea

de manera individual, comunal, regional o estatal (Aguilar, 1998; Morales-Romero *et al.*, 1999; Endere y Prado, 2014).

Por ejemplo, en el caso de existir un yacimiento paleontológico dentro de un área natural protegida y que además represente un potencial didáctico para la comunidad, el valor histórico y/o natural aumentaría, y podría ser contemplado para desarrollar un área turística o desarrollar aún más la que ya existe si es el caso. Indudablemente, el valor estará dado por los descubrimientos que se hallen en dicho sitio, y como consecuencia determinará la capacidad turística del lugar. Sin embargo, no se debe caer en la idea errónea que detrás de cada yacimiento debe existir un museo, parque o exposición, y que esto va a transformar económicamente la localidad o región que lo posee; razón suficiente para realizar inventarios sobre lugares de interés paleontológico, y al mismo tiempo implementar metodologías para reconocer si en esos lugares existe un verdadero potencial turístico, además de considerar que dichos lugares necesitan ser evaluados y monitoreados constantemente (García-Aguilar *et al.*, 2018).

Cabe recordar que la apuesta en valor del patrimonio paleontológico es promover la conservación y protección, divulgando el conocimiento científico para uso y disfrute de la sociedad, por lo que los paleontólogos tienen la responsabilidad de descubrir, generar nuevo conocimiento, resguardar el recurso y divulgar (esta última actividad no es nada fácil de realizar, ver Figura 5A). La divulgación es la herramienta básica para construir un vínculo entre los investigadores y la sociedad civil (Aguilar y Porrás-Múzquiz, 2009; Galliari *et al.*, 2015; García-Aguilar *et al.*, 2018).

En cuanto a los “criterios socioeconómicos”, es uno de los criterios más complejos de manejar y en el cual obviamente confluyen muchos intereses, pero sobre todo monetario, porque tiene que ver directamente con las actividades humanas. Es bien sabido, que existen yacimientos paleontológicos en zonas susceptibles de destrucción por actividad antrópica (áreas urbanizadas o cerca de ellas, vías de comunicación, en terrenos mineros –que suelen ser cientos de hectáreas–, e incluso playas o zonas submarinas, etc.), por lo que existe una urgente necesidad de coordinar acciones o planes de manejo entre los diferentes niveles de gobiernos (municipal, estatal y federal), pero en particular con las oficinas gubernamentales que conceden las licencias de urbanización, exploración y explotación (Aguilar, 1998; Morales-Romero *et al.*, 1999; Endere y Prado, 2014).

Un ejemplo de ello es la industria minera de Olavarría, provincia de Argentina, el mayor centro minero de aquel país (se extrae cal, caliza, dolomita, arcilla, arena, laja y pedregullo) y con un alto rendimiento económico. Cabe mencionar que, a pesar de que existe la ley nacional 25.743, donde señala la protección del registro fósil y arqueológico, la preocupación permanente se centra en mantener el rendimiento productivo y no en destinar recursos para la protección de dichos patrimonios; además se sabe que

algunos dueños de las concesiones obligan a sus obreros a dinamitar los hallazgos paleontológicos, de lo contrario puede ser despedidos (Merlo, 2018).

Sin ir más lejos, el pueblo minero de San Juan de la Costa, Baja California Sur, México, es reconocido por investigadores (nacionales y extranjeros) por la gran cantidad de fósiles con preservación excepcional (principalmente cetáceos, dientes de tiburón e impresiones de invertebrados, por mencionar algunos) (Gaitán-Morán y Álvarez-Arellano, 2009). Sin embargo, muchos de ellos son destruidos simplemente por desconocimiento, a pesar de ello existen trabajos científicos publicados de gran peso sobre la evolución de los cetáceos. El principal problema radica en que no se permite el acceso a los investigadores, pensando “erróneamente” que al momento minar se descubran nuevos hallazgos fósiles y por ende las actividades de explotación de la roca fosfórica se detendrían y se podrían expropiar los terrenos. Este es un claro ejemplo de que no existe un vínculo entre las instituciones gubernamentales y las empresas mineras (paraestatales o privadas).

Por todo lo anterior, los criterios “científicos, socioculturales y socioeconómicos” deben o deberían ser considerados como elementos fundamentales, con el fin de ser incorporados al momento de desarrollar un marco jurídico integral que apoye a la investigación, la protección y la conservación del patrimonio paleontológico, donde la sociedad, la comunidad científica y el estado, mantengan un equilibrio que le convenga a todas las partes (Morales-Ortega et al., 2019).

5. Conclusiones

Es claro que aún falta mucho trabajo por hacer y los resultados obtenidos en las encuestas son solo un muestreo preliminar; sin embargo de las respuestas obtenidas y de la revisión bibliográfica, se pueden concluir y recomendar los siguientes puntos de interés, que sin duda son ampliamente discutibles, pero a su vez pueden ser de utilidad para la promoción de un nuevo marco jurídico que ampare la conservación y protección de los vestigios o restos fósiles, y donde no solo se involucre la comunidad científica especializada (universidades, centros de investigación o museos), sino también a la sociedad civil, el sector privado y el estado.

1. Los “bienes paleontológicos” (muebles e inmuebles) son un tipo de patrimonio geológico, que a su vez es un elemento constituyente e inseparable del “patrimonio natural”, por lo que su protección, conservación y gestión debe regularse en el marco de una legislación relativa a los elementos naturales (geológicos y/o paleontológicos).
2. Se propone establecer una ley exclusiva sobre vestigios y restos fósiles.

3. Promover y actualizar el “Decreto que establece la ley sobre vestigios y restos fósiles”, publicado en 1998 en el Diario de Debates de la Cámara de Senadores.
4. Se deben considerar siempre los criterios socioculturales, socioeconómicos y científicos, ya que son de gran utilidad para realizar una gestión integral de los bienes paleontológicos del país, y como resultado traería avances en:
 - Potencializar el desarrollo científico en el área de la paleontología.
 - Desarrollar una relación entre los especialistas y la sociedad.
 - Provocar interés en el desarrollo sostenible de algunos sitios o lugares de interés paleontológico.
 - Fomentar el vínculo entre las universidades, instituciones gubernamentales y el sector privado (minería, turismo, museos, etc.).
5. Como parte de la geoconservación se requiere la celebración de convenios entre el INAH y las universidades y/o centros de investigación que posean un área dedicada a la paleontología y que tengan colecciones.
6. Crear metodologías para evaluar las colecciones y los sitios o lugares de interés paleontológico de nuestro país (que sí y que no, tiene “valor de interés patrimonial”). Sin embargo, se sugiere utilizar como base las metodologías propuestas por: Pena dos Reis y Henriques, 2009; Endere y Prado, 2014; Henriques y Pena dos Peis, 2015; Ahrens-Haag y Henriques, 2016.
7. Crear planes de manejo con sus respectivos indicadores, tanto para los sitios de interés paleontológico como para las colecciones (científicas – universitarias y de centros de investigación–, museos y colecciones –públicos y privados–), los cuales deberán ser supervisados regularmente.
8. Desarrollar técnicas de valoración económica (midan las expectativas de beneficios y costos derivados de utilizar un activo ambiental) de los servicios ecosistémicos culturales (beneficios inmateriales que las personas obtienen de los ecosistemas, por ejemplo, el turismo).
9. Si se desarrolla un “turismo paleontológico”, éste deberá promover, la conservación, la preservación, el uso y disfrute; y al mismo tiempo se deben buscar, identificar, valorar y divulgar nuevos sitios de interés, con el fin de generar recursos económicos para desarrollar la paleontología en el país. Entre sus principales encomiendas será la realización de inventarios, tener la aprobación social y científica y desarrollar políticas integrales, todo ello con el fin de valorar y resignificar los bienes paleontológicos.

10. Tomar como eje central los tres componentes de la sostenibilidad del patrimonio (UNESCO):
 - Registro e inscripciones de los recursos patrimoniales.
 - Protección, salvaguardia y gestión, para lo cual es necesario la voluntad y la intención públicas para que se aprueben y apliquen políticas y medidas concretas.
 - Transmisión y movilización de apoyos, con la finalidad de sensibilizar a las comunidades y acrecentar su conocimiento sobre el valor y el sentido del patrimonio, con la implicación del sector privado y de la sociedad civil.

Agradecimientos

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas para el desarrollo de este proyecto; y a los profesores-investigadores y estudiantes que participaron en la encuesta durante el XVI Congreso Nacional de Paleontología, 2019.

Referencias

- Aguilar, T., 1998, Protección del patrimonio geológico de Costa Rica, Escuela de Geología, UGR (En línea): Dialnet, *disponible en* [https://reflexiones.fcs.ucr.ac.cr/images/edicion_69_98/proteccion.pdf], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Aguilar-Arellano, F.J., Polaco-Ramos, O.J., 2006, El patrimonio paleontológico del norte de México, una propuesta para su protección, Segundo encuentro regional para el estudio del patrimonio cultural: Memorias, 88–91.
- Aguilar, F.J., Polaco, O.J., 2008, Qué hacer al descubrir fósiles: Nomádica, 36, 10–18.
- Aguilar F.J., Porras-Múzquiz, H., 2009, Los fósiles del Museo de Múzquiz A.C. y su resguardo patrimonial por el Instituto Nacional de Antropología e Historia: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61(2), 147–153. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2009v61n2a1>.
- Ahrens-Haag, N., Henriques, M.H., 2016, The Paleontological Heritage of the Acre (Amazonia, Brazil): Contribution Towards a National Paleontological Database. *Geoheritage*, 8: 381–391. <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0163-y>.
- Alcalá, L., 1999, Reflexiones acerca de la protección del patrimonio paleontológico en España: *Coloquios de Paleontología*, 50, 45–51.
- Belichón, M., de Renzi, M., Montoya, P., Robles, F., 1999, La Paleontología y la Ley del Patrimonio Cultural valenciano. *Propuestas y resultados: Coloquios de Paleontología*, 50, 37–43.
- Boletín-INAH, 2012, Atienden yacimientos paleontológicos con PET (En línea): México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Publicado el 8 de febrero de 2012, *disponible en* [https://www.inah.gob.mx/boletines/1591-atienden-yacimientos-paleontologicos-compet], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Boletín-INAH, No. 179, 2017, El INAH reactiva el Consejo de Paleontología. Instituto Nacional de Antropología e Historia (En línea): México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Publicado el 26 de mayo de 2017, *disponible en* [https://www.inah.gob.mx/attachments/article/6191/2017_179.pdf], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Boletín-INAH, No. 130, 2018a, INAH registra los fósiles Tipos de la Colección Nacional de Paleontología de la UNAM, la más importante de México (En línea): México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Publicado el 17 de abril de 2018, *disponible en* [https://www.inah.gob.mx/boletines/7119-inah-registra-los-fosiles-tipos-de-la-coleccion-nacional-de-paleontologia-de-la-unam-la-mas-importante-de-mexico], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Boletín-INAH, No. 175, 2018b, Consejo de Paleontología, primer aniversario de su reactivación (En línea): México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Publicado el 25 de mayo de 2018, *disponible en* [https://www.inah.gob.mx/attachments/article/7210/2018_175.pdf], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Cabral-Perdomo, M.A., 2010, Importancia del acervo paleontológico del estado de Hidalgo para el estudiante de historia, en Moragas-Segura, N., Morales Damián, M.A. (ed.), *Arqueología y patrimonio en el estado de Hidalgo: Estudios de Antropología e Historia*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 13–21.
- Canudo, J.I., 2018, Algunas reflexiones sobre la gestión del patrimonio paleontológico por parte de las administraciones españolas: *Revista PH94, Perspectivas*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 263–264.
- Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á., Vegas, J., 2011, Legislación para el inventario de lugares de interés geológico en las Comunidades Autónomas, en Fernández-Martínez, E., Castaño de Luis, R. (ed.), *Avances y retos en la conservación del patrimonio geológico en España: IX Reunión Nacional de la Comisión Patrimonio Geológico (SGE)*, 56–61.
- Carreño, A.L., Montellano-Ballesteros, M., 2005, La Paleontología mexicana; pasado, presente y futuro: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*: 2, 137–147. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n2a2>
- Casado-Peréz, F.J., 2018, El patrimonio paleontológico: valorización y simbolismo de un pasado desconocido: *Revista PH94, Perspectivas*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 255–256.
- CMNC – Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, 2012, Encuentro Internacional “Diálogos sobre Patrimonio”: Comisión de Patrimonio Natural Consejo de Monumentos Nacionales, 44 pp.
- CPEUM – Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2020, (En línea): México, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Última reforma: 06 de marzo de 2020, *disponible en* [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Cristin, A., Perrillat, M.C., 2011, Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 421–427. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2011v63n3a4>.
- Delgado, L.E., Bachmann, P.L., Oñate, B., 2007, Gobernanza ambiental: una estrategia orientada al desarrollo sustentable local a través de la participación ciudadana: *Revista Ambiente y Desarrollo*, 23(3), 68–73.
- Diario de los Debates de la Cámara de Senadores, 1998, DECRETO que establece la ley sobre vestigios y restos fósiles; que adiciona el código penal para el Distrito Federal en materia de fuero común y para toda la República en materia de fuero federal; y que reforma diversas fracciones del artículo segundo de la Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia, (En línea): México, Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión, Publicado el 16 de abril de 1998, *disponible en* [http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/1998/04/asun_1179_19980416_1121838.pdf], *consultado el* 01 de agosto de 2019.
- Díaz-Martínez, E., 2011, Typology of heritage: where does geoheritage fit in?, en Blicek, A., Auguste, P. Derycke, C. (ed.), *Forum GeoReg, Programme and Abstracts*, 102 pp.

- Díaz-Martínez, E., García-Cortés, A., Carcavilla Urquí, L., 2013, Los fósiles son elementos geológicos y el patrimonio paleontológico es un tipo de patrimonio natural, *en* Vegas, J., Salazar, A., Díaz-Martínez, E., Marchán, C. (ed.), *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo: Cuadernos del Museo Geominero*, n° 15, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 583–589. DOI: 10.13140/2.1.4825.2484.
- DOF – Diario Oficial de la Federación, 2000, DECRETO por el que se declara reformada la fracción XXV del artículo 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (En línea): México, Diario Oficial, Reforma publicada el 21 de septiembre de 2000, *disponible en* [https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?cod_diario=150327&pagina=3&seccion=1], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- DOF – Diario Oficial de la Federación, 2018, LEY Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas (En línea): México, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Última reforma el 16 de febrero de 2018, *disponible en* [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Dodd, M., Papineau, D., Grenne, T., Grenne, J.F., Slack, J.F., Rittner, M., Pirajno F., O’Neil, J., 2017, Evidence for early life in Earth’s oldest hydrothermal vent precipitates: *Nature*, 543, 60–64. <https://doi.org/10.1038/nature21377>.
- DRAE – Diccionario de la Real Academia Española, 2020 (En línea): España, Real Academia Española, *disponible en* [https://www.rae.es/], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Enderé, M.L., Prado, J.L., 2014, Characterization and Valuation of Paleontological Heritage: A Perspective from Argentina: *Geoheritage*, 7, 137–145. DOI:10.1007/s12371-014-0124-x.
- Erwin, D., Ziegler, W., 1997, Paleontology in museums and institutes in the 21st Century: Paper presented at the Paleontology in the 21st Century. Senckenberg International Conference, *disponible en* [www.nhm.ac.uk/hosted_sites/paleonet/paleo21/rr/me.html], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Fernández, D.E., Luci, L., Cataldo, C.S., Pérez, D.E., 2014, Paleontology in Argentina - History, heritage, funding, and education from a southern perspective: *Palaeontologia Electronica*, 17.3.6E: 1–18; <https://doi.org/10.26879/146>.
- Fothergill, H., 2005, The state and status of geological collections in United Kingdom museums, 2001: *Geological Curator*, 8, 53–136.
- Gaceta Parlamentaria, Número 3394-IV, INICIATIVA que reforma y adiciona diversas disposiciones de las Leyes Orgánicas de la Administración Pública Federal, y Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas (En línea): Cámara de Diputados, LXI Legislatura del Congreso de la Unión, Publicado el 17 de noviembre de 2011, *disponible en* [http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/61/2011/nov/20111117-IV/Iniciativa-6.html], *consultado el* 31 de enero de 2017.
- Gaitán-Morán, J., Álvarez-Arellano, A., 2009, The protection and use of the geological and paleontological heritage in Baja California Sur, Mexico, *en* Lipps J.H., Granier B.R.C. (ed.), *PaleoParks-The protection and conservation of fossil sites worldwide: Carnets de Géologie/Notebooks on Geology*, Brest, 35–48. <https://doi.org/10.4267/2042/34556>.
- Galindo, J., Delclòs, X., 2014, El Patrimonio paleontológico en los museos y colecciones visitables de Cataluña: evaluación de su gestión: *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Secc. Aula, Museos y Colecciones*, 1, 17 p.
- Galliari, F., Agualló, V., Magnin, L., Martins, E., Sarmiento, J., Simioli, J., Schierff, G., 2015, El museo y la ciudad, *en* Ciancio, M.R., Soibelzon, E., Francia, A. (ed.), *Caminando sobre gliptodontes y tigres dientes de sable. Una guía didáctica para comprender la evolución de la vida en la Tierra: Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina*, 120–130.
- García-Aguilar, J.M., Guerra-Merchán, A., Ros-Montoya, S., Espigares M.P., Palmqvist, P., 2018, Condicionantes geológicos en la conservación del patrimonio paleontológico: *Revista PH94, Investigación. Instituto andaluz del Patrimonio Histórico*, 28–63. <https://doi.org/10.33349/2018.0.4082>.
- Goso, C., Chulepin, H., Martínez, E., Rojas, A., Ubilla, M., Amir, K., 2016, Uruguay, *en* Palacio-Prieto, J.L., Sánchez-Cortez, J.L., Schilling, M.E. (ed.), *Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: situación y perspectivas nacionales: Instituto de Geografía, UNAM, México*, 247–266.
- Gray, M., 2008, Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm, *en* Burek, C.V., Prosser, C.D. (ed.), *The history of geoconservation: Geological Society, Special Publications* 300, London, 31–36. <https://doi.org/10.1144/SP300.4>.
- Henriques, M.H., Pena dos Reis, R., Brilha, J., Mota, T.S., 2011, Geoconservation as an emerging geoscience: *Geoheritage* 3(2), 117–128. DOI: 10.1007/s12371-011-0039-8.
- Henriques, M.H., Pena dos Reis, R., 2015, Framing the Palaeontological Heritage Within the Geological Heritage - An Integrative Vision: *Geoheritage*, 7, 249–259. DOI: 10.1007/s12371-014-0141-9.
- LFMZAAH – Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, 2018, (En línea): México, Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, Última reforma publicada el 16 de febrero del 2018, *disponible en* [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf], *consultado el* 1 de agosto de 2019.
- LGBN – Ley General de Bienes Nacionales, 2018, (En línea): México, Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, Última reforma publicada el 19 de enero de 2018, *disponible en* [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267_190118.pdf], *consultado el* 1 de abril de 2020.
- Lieberman, B.S., 2005, Geobiology and paleobiogeography: tracking the coevolution of the Earth and its biota: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219(1–2), 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.10.012>.
- LO-INAH – Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2015, (En línea): México, Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, Última reforma publicada el 17 de diciembre de 2015, *disponible en* [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/170_171215.pdf], *consultado el* 01 de abril de 2020.
- Maya-Ealo, S.P., 2016, Patrimonio paleontológico en Colombia - conceptos, importancia, estudio normativo y perspectivas de regulación: Colombia, Universidad Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico, Escuela de Derecho, Tesis de Licenciatura, 181 pp.
- Meléndez, G., Molina, A., 2001, El patrimonio paleontológico en España: una aproximación somera: *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 160–172.
- Merlo, J.F., 2018, El patrimonio paleontológico de mi comunidad: *Revista PH94, Perspectivas, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 335–336.
- Morales, J., 1996, El patrimonio paleontológico. Bases para su definición, estado actual y perspectivas futuras, *en* Cendrero, A. (ed.), *El Patrimonio Geológico: Bases para su valoración, protección, conservación y utilización: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, España*, 39–51.
- Morales-Ortega, P., 2015, Perspectiva sobre la conservación paleontológica en Baja California Sur, México, *en* XIV Congreso Nacional de Paleontología, Múzquiz, Coahuila: México, *Paleontología Mexicana*, 1, 47–48.
- Morales-Ortega, P., 2017, Legislación del patrimonio paleontológico: Una perspectiva para el futuro: *Nuestra Tierra*, 13(27), 16–19.
- Morales-Ortega, P., Aguilar-Arellano, F.J., Nava-Sánchez, E.H., 2019, ¿Empecemos de cero?, elementos a considerar para desarrollar un marco legal para la protección y preservación del patrimonio paleontológico en México, *en* Número especial: XVI Congreso Nacional de Paleontología, Chihuahua, Chihuahua: México, *Paleontología Mexicana*, 5, 53 p.

- Morales-Romero, J., Azanza-Asensio, B., Gómez-Ruiz, E., 1999, El Patrimonio Paleontológico Español: Coloquios de Paleontología, 50, 53–62.
- Mourgues, F.A., Contreras, K., Schilling, M.E., Benado, J., Partarrieu, D., 2016, Chile, en Palacio-Prieto, J.L., Sánchez-Cortez, J.L., Schilling, M.E. (ed.), Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: situación y perspectivas nacionales: Instituto de Geografía, UNAM, México, 81–120.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1970, Convención sobre las Medidas que Deben Adoptarse para Prohibir e Impedir la Importación, la Exportación y la Transferencia de Propiedad Ilícitas de Bienes Culturales (En línea): Naciones Unidas, disponible en [http://www.unesco.org/new/es/culture/themes/illicit-trafficking-of-cultural-property/1970-convention/text-of-the-convention/], consultado el 1 de abril de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2014, Gestión del Patrimonio Mundial Natural. Patrimonio Mundial, Manual de Referencia, París, Francia, 105 pp.
- Palacio-Prieto, J.L., Sánchez-Cortez, J.L., Schilling, M.E., 2016, Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: situación y perspectivas nacionales: Instituto de Geografía, UNAM, México, 266 pp. <https://doi.org/10.14350/riig.59719>.
- Pena dos Reis R., Henriques, M.H., 2009, Approaching an integrated qualification and evaluation system of the geological heritage: *Geoheritage*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12371-009-0002-0>.
- Pérez-Winter, C.V., Martinelli, A.C., Borges-Ribeiro, L.C., 2013, Terra Dos Dinossauros: la construcción e implementación del turismo paleontológico en el barrio rural de Peirópolis, Uberaba (MG, Brasil): *Revista de Cultura e Turismo (CULTUR)*, 7(1), 128–151.
- Reguero, M.A., 2019, Antarctic Paleontological Heritage: Late Cretaceous Paleogene vertebrates from Seymour (Marambio) Island, Antarctic Peninsula: *Advances in Polar Science*, 30(3), 328–355. DOI: 10.13679/j.advps.2019.0015.
- Reichenbacher, B., Blieck, A., Erwin, D., Piller, W., Sandulescu, M., Talent, J., 2006, Earth and life-origins of diversity: Earth Sciences for Society Foundation, Leiden, The Netherlands, 16 pp.
- Romo, J.S., González-Franco de la Peza, R., 2018, Marco de Gestión Ambiental y Social. Proyecto: Territorios Productivos Sostenibles México, 52 pp.
- UNEP – United Nations Environment Programme, 2020, (En línea): United Nations, disponible en [https://www.unenvironment.org/], consultado el 1 de abril de 2020.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1970, Convención sobre las Medidas que Deben Adoptarse para Prohibir e Impedir la Importación, la Exportación y la Transferencia de Propiedad Ilícitas de Bienes Culturales (En línea): Naciones Unidas, disponible en [http://www.unesco.org/new/es/culture/themes/illicit-trafficking-of-cultural-property/1970-convention/text-of-the-convention/], consultado el 1 de abril de 2020.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1972, Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (En línea): United Nations, disponible en [https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf], consultado el 1 de abril de 2020.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2014, Gestión del Patrimonio Mundial Natural. Patrimonio Mundial, Manual de Referencia, París, Francia, 105 pp.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2020, The World Heritage Convention. En línea: United Nations, disponibles en [https://whc.unesco.org/en/convention/], consultado el 1 de abril de 2020.
- Vegas, J., Delvene, G., Menéndez, S., Rábano, I., García-Cortés, Á., Díaz-Martínez, E., Jiménez, R., 2018, El patrimonio paleontológico en España: una necesidad de consenso sobre su gestión y marco legal: *Revista PH94, Perspectivas*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 326–329. DOI: 10.33349/2018.0.4189.

SUPLEMENTO

ANEXO. Criterios propuestos por Endere y Prado (2014) para la evaluación del patrimonio paleontológico, relacionados con diferentes valores: intrínsecos, culturales y estéticos, económicos, de investigación, educativos y funcionales.

Criterio paleontológico		
Criterio	Grados	Puntaje
Naturaleza de los fósiles	Fósiles de escasa significancia científica	1
	Fósiles de importancia científica	2
	Fósiles de gran importancia científica	3
Preservación	Mala conservación o fósiles fragmentados	0
	Buena conservación, fósiles completos	1
	Conservación excepcional, muestras articuladas	2
Diversidad de fósiles	Bajo	0
	Medio	1
	Alta	2
Localidades tipo	Ninguno	0
	Una especie	1
	Dos o más especies	2
Información tafonómica	Localidades estratificadas comunes	0
	Localidades con alto valor tafonómico	1
	Localidades con valor tafonómico excepcional	2

Criterio geológico		
Criterio	Grados	Puntaje
Significado geológico	Significado local	1
	Significado nacional	2
	Significado internacional	3
Integridad geológica del sitio	Sitios extensos	0
	Sitios finitos	1
	Sitios integrados	2
Potencial científico	Podre	0
	Débil	1
	Bueno	2
	Excelente	3

Criterios contextuales		
Criterio	Grados	Puntaje
Contexto	Bajo: grupos que consisten en restos parciales de un conjunto asociado o grupos que tienen poco valor científico o público	0
	Moderado: grupos con características parcialmente intactos y asociados; o grupos con valor científico o público moderado	1
	Alto: grupos con características intactas; o grupos que tienen un valor científico o público excepcional	2
Contribución visual del paisaje	Bajo: apenas visible en el suelo	1
	Medio: solo visible en proximidad relativamente cercana	2
	Alto: claramente visible desde cierta distancia	3
	Icónico: se destaca monumentalmente en el paisaje	4
Asociación con restos arqueológicos	Con ningún patrimonio asociado	0
	Asociado a un sitio arqueológico	1
	Asociado a más de un sitio arqueológico y forma un conjunto parcialmente único	2

Criterios de integridad		
Criterio	Grados	Puntaje
Situación geográfica	Demasiado pequeño o ubicado en un núcleo bloqueado que impide el desarrollo de alguna infraestructura para el uso	0
	Extensión y/o capacidad moderadas para habilitar infraestructuras	1
	Amplia difusión, también capacidad para permitir el desarrollo de infraestructura complementaria y rutas domésticas	2
Vulnerabilidad del daño relacionado con la colecta de fósiles	Algo vulnerable a la colecta de fósiles	0
	Muy vulnerable a la colecta de fósiles	1

Criterios socioeconómicos		
Criterio	Grados	Puntaje
Valor urbano	Sin posibilidad de preservación	0
	Bajo potencial de conservación	1
	Posibilidad de desarrollar un museo o centro de interpretación en el sitio	2
Valor mineral	Ninguno	0
	Fósiles encontrados en minas abandonadas	1
	Fósiles encontrados en la explotación minera	2
Trabajos públicos	Ninguno	0
	Posibilidad de rescate patrimonial	1
	Capacidad de rescatar el patrimonio y desarrollar un centro de interpretación	2

Criterios socioculturales		
Criterio	Grados	Puntaje
Valor histórico	Ninguno	0
	Localmente significativo	1
	Regionalmente significativo	2
	Nacionalmente significativo	3
	Internacionalmente significativo	4
Valor educativo y de interpretación	Malo: características principalmente ocultas y totalmente inaccesible	0
	Aceptable: algunas características visibles, pero de difícil acceso	1
	Moderado: características muy visibles, buen acceso e instalaciones educativas o turísticas cercanas	2
	Excelente: alta visibilidad, intacta, instalaciones educativas cercanas y/o turísticas	3
Interés turístico	Falta de interés turístico o ninguna posibilidad de desarrollo	0
	Cumple con la extensión, accesibilidad y conexión a pesar de que no hay infraestructura adecuada	1
	Cumplen con las condiciones e infraestructura adecuada	2
Valor complementario	Ninguno	0
	Posibilidad de integración a otros sitios de valor patrimonial (geológicos, arqueológicos, etc.)	1
	El sitio está cerca o integrado a otros sitios de valor patrimonial, como un parque nacional o reserva natural	2
Asociación comunitaria o estima pública para:	Asociaciones desconocidas o valores de la comunidad	0
	Débil: característica conocida por la comunidad local	1
	Moderado: la característica tiene cierta asociación con una comunidad local	2
	Bueno: valor significativo para la comunidad local	3
	Alto: valor clave para la comunidad regional o nacional	4



Estudios Paleontológicos en Isla Monserrat, Baja California Sur, México

Paleontological Studies in Monserrat Island, Baja California Sur, Mexico

Hernández Pérez, Cindy Fabiola^a; Carreño, Ana Luisa^{b,*}

^aServicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria – SENASICA, Carretera Federal Mexico-Pachuca Km 37.5, Tecamac de Felipe Villanueva, 55740 Estado de México, México.

^bDepartamento de Paleontología, Instituto de Geología, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, 04510 CDMX, México.

* anacar@unam.mx

Resumen

Se presenta una relatoría de los estudios paleontológicos desde el siglo XVIII; incluidos algunos descubrimientos serendípicos que han sido realizados en la isla Monserrat, ubicada en el golfo de California, México. Ésta constituye una pieza del rompecabezas insular que se formó durante los procesos geológicos asociados a la abertura y evolución del golfo. Estos estudios se contextualizan dentro del marco histórico que los propicia y, finalmente, son los responsables del conocimiento que actualmente se tiene sobre la biota reciente y fósil que se encuentra en esta extensa área de tierra y mar.

Palabras clave: fósiles, golfo de California, isla Monserrat, México.

Abstract

An account of paleontological studies since the 18th Century is presented, including serendipitous discoveries, which have been made on Monserrat Island, located in the Gulf of California, Mexico. The island constitutes a piece of the insular puzzle that was formed during the geological processes associated with the opening and evolution of the Gulf of California. These studies are contextualized within the known historical framework and which, ultimately, are responsible for the knowledge that we currently have about the recent and fossil biota found in this extensive area of land and sea.

Keywords: fossils, Gulf of California, Mexico, Monserrat Island.

1. El Golfo de California y sus islas

Desde julio de 2005, las islas y áreas protegidas del golfo de California (Figura 1) son consideradas Patrimonio Mundial Natural de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia, y la Cultura (UNESCO, 2005). Este reconocimiento, que se hace sólo a aquellos bienes culturales y naturales del mundo considerados de valor extraordinario para la humanidad, es un recordatorio simbólico de la larga historia de fascinación que el golfo de California y sus islas han ejercido sobre

quienes las han conocido desde los primeros pobladores hasta nuestros contemporáneos.

El golfo de California, también conocido como mar Bermejo¹ o mar de Cortés², se ubica en el noroeste de México (Figura 1). Es una cuenca marina de forma alargada con una orientación de noroeste a sureste, limitada al oeste por la península de Baja California y al este por el macizo continental. En su seno alberga a 898 accidentes insulares en sus diferentes tipos (islas, islotes, rocas e isletas) de los cuales sólo 309 tienen nombre (SEMARNAT, 2001) y 244 son considerados patrimonio mundial (UNESCO, 2005).

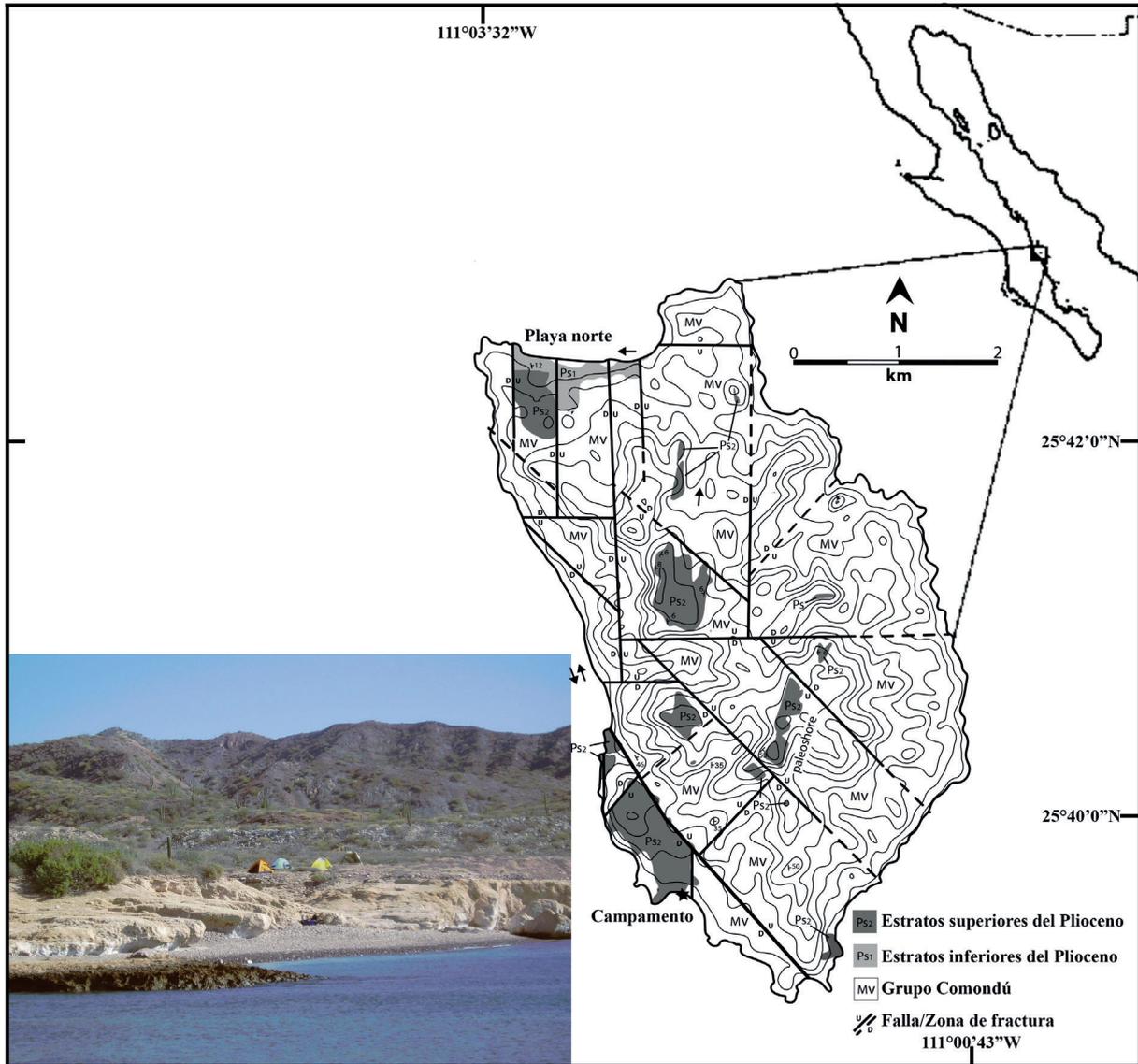


Figura 1. Ubicación de isla Monserrat en el Golfo de California, México. Mapa geológico simplificado de la misma de acuerdo con Johnson (2014) y vista de la Punta Norte de la isla (cortesía de A.Y. Miranda-Martínez, Facultad Ciencias, UNAM).

Esto convierte al golfo de California en la principal zona insular del país, pues cuenta con 50% del total de las islas nacionales (Castro y Cariño, 1998).

Las islas han fungido como escenario geográfico para el desarrollo de una biota única. Sus aguas adyacentes forman parte de uno de los mares con mayor productividad primaria del planeta³ y su inherente aislamiento ha promovido un

gran número de endemismos en varios grupos taxonómicos⁴, principalmente en reptiles, cactáceas y mamíferos. Además, constituyen sitios estratégicos para el descanso y reproducción de aves migratorias y mamíferos en grandes colonias⁵ (SEMARNAT, 2001). Finalmente, los recursos culturales también son parte de su riqueza, pues existe evidencia de que algunas islas estuvieron habitadas por

¹ De acuerdo con Bassols-Batalla y Guzmán-Huerta (1959), Hernán Cortés bautizó al golfo como *Bermejo*, debido a la coloración producida por el florecimiento del dinoflagelado *Alexandrium catenella* ([Whedon & Kofoid] Balech) que causa la marea roja. Sin embargo, León-Portilla (1989) señala que Francisco de Ulloa es quien, al llegar al extremo norte del golfo en 1539, bautiza a la región como Ancón de San Andrés y nombra mar Bermejo a esa porción del golfo, tal vez debido al color rojizo de las aguas turbias del estuario del río Colorado.

² La designación "mar de Cortés" se hizo popular en la cartografía de la región por lo menos a partir de 1770, según lo mostrado por Barrera (1992). Sin embargo, tanto la península como el mar han recibido numerosos nombres, por lo que se sugiere revisar el ensayo sobre la evolución de la toponimia de ambas regiones elaborada por Monteforte y Cariño (2009).

indígenas en tiempos prehispánicos o fueron frecuentadas por los mismos (Bowen, 2004)⁶.

El conocimiento de las islas del golfo de California ha sido producto de una intermitente historia de exploraciones, cuyos intereses eran muy diversos, pues iban desde el mero descubrimiento hasta la investigación expansionista y la explotación de recursos. Hasta donde fue posible revisar, no existe un texto de referencia que trate formalmente sobre la investigación científica en el golfo de California en lo general ni de muchas de sus islas en particular. Por lo anterior, nuestro objetivo centrado en isla Monserrat (INEGI, 1983), o Monserrate, como se le refiere en mapas desde el siglo XVIII, es narrar los estudios geológicos y paleontológicos en la isla contextualizados dentro de un marco histórico (Figura 1).

2. Monserrat, una isla en el golfo

El testimonio más antiguo que existe de la isla Monserrat es probablemente el de su primer avistamiento por europeos, expedicionarios comisionados por el Virreinato de la Nueva España⁷. El capitán Francisco de Ortega, quien tenía, entre otras, la misión de "*descubrir y reconocer los puertos y ensenadas de aquellas islas y costa*"⁸, en su segundo viaje

de demarcación realizado entre septiembre de 1633 y abril de 1634, señala: "*navegando por la dicha ensenada, está una isla a ocho legua de la San Carlos Borromeo, pelada y amotagada, a la cual pusimos por nombre, Nuestra Señora de Moserrate, la cual está apegada a la tierra firme: tendrá de boj⁹ ocho leguas, corre de Norte a Sur, y navegando de vuelta del Norte a dos legua de esta Isla Monserrate, esta una isla muy grande*". Los informes de Francisco Ortega no tuvieron gran resonancia, de manera que no quedó constancia cartográfica de sus descubrimientos (Barrera, 1992).

Fue hasta 1685 que Monserrat, con aproximadamente 19 km², tuvo su primera representación gráfica. El jesuita Eusebio Francisco Kino¹⁰ participó en los viajes capitaneados por Isidro de Atondo y Antillón en 1683 y 1685, hechos con el objetivo de iniciar la colonización y la pesca de perlas. De estos, Kino realizó varios mapas entre los que destaca el titulado *Delineación de la Nueva Provincia de S. Andrés, del Puerto de la Paz, y de las Islas circunvecinas de las Californias, o Carolinas*¹¹, donde aún la península se representa como una isla. Sería hasta 1701 que el propio Kino representaría a California como una península en su mapa *PASSO POR TIERRA A LA CALIFORNIA y sus confinantes Nuevas Naciones y Nuevas Miffiones de la Comp^a de JESUS EN LA AMERICA SEPTENTRIONAL*.

³ Los vientos que cambian estacionalmente de dirección y las fuertes mareas causadas por el perfil del fondo marino promueven la formación de fuertes surgencias (movimientos ascendentes de agua subsuperficial llevada a la superficie, desde profundidades ≈100–200 m que llevan nutrientes a las aguas empobrecidas por el consumo biológico). Éstas hacen posible la existencia de grandes cantidades de plancton, que a su vez son la base de la cadena alimentaria en el golfo (SEMARNAT, 2001).

⁴ De las 115 especies de reptiles con registro insular (la mayoría lagartijas, serpientes y tortugas), 48 son endémicas de una sola o varias islas y representan cerca del 10% de la diversidad herpetológica de México. Desafortunadamente, el 25.8% del total de especies de reptiles se encuentran bajo las categorías de peligro de extinción, raras, amenazadas y sujetas a protección especial (SEMARNAT, 2001). Para la Familia Cactácea, cerca del 50% de las 120 especies encontradas en las islas son endémicas (Lindsay y Engstrand, 2002). Se conocen 154 especies de aves terrestres; 45 de ellas, migratorias. De la flora y fauna marina se ha registrado 891 especies de peces (90 endémicas), 4 848 especies de macroinvertebrados, 626 especies de macro-algas y 34 especies de cetáceos, lo que representa un tercio de las especies mundiales de ballenas. Los mamíferos terrestres no son considerados diversos; se conocen 31 especies entre las que predominan los roedores (UNESCO, 2005).

⁵ Como ejemplos de sitios de reproducción de aves está la isla Rasa, menor a 1 km², donde de marzo a junio anida el 95% de la población mundial de la gaviota ploma (*Larus heermanni* Cassin) y del charrán elegante (*Sterna elegans* [Gambel]), observándose hasta 500 000 ejemplares (Velarde, 2005); la isla San Pedro Mártir, que alberga a la cuarta colonia más importante a nivel mundial del pájaro bobo de patas azules (*Sula neobouxi* Milne-Edwards); y la isla Partida donde se encuentran importantes colonias de paño mínimo (*Oceanodroma microsoma* [Coues]), paño negro (*O. melania* [Bonaparte]) y gaviota patas amarillas (*Larus livens* [Dwight]), esta última endémica del golfo de California. También hay colonias reproductoras del lobo marino de California (*Zalophus californianus* [Lesson]) en las islas San Jorge y San Esteban, entre otras de la región de las grandes islas (SEMARNAT, 2001).

⁶ Documentos, historia oral y sitios arqueológicos muestran que los indígenas han sido residentes a largo plazo en distintos momentos de por lo menos seis islas: Tiburón, San Esteban, San José, Partida Sur, Espíritu Santo y Cerralvo. Las evidencias también señalan que los indígenas visitaron la mayoría de las grandes islas y muchas de las pequeñas incluyendo a Ángel de la Guarda, San Lorenzo Norte, Partida Norte, Dátil, Alcatraz, San Marcos, Carmen, Danzante, Monserrat, San Francisco, Santa Catalina y Santa Cruz (Bowen, 2004).

⁷ A pesar de que hubo varios viajes a lo largo del golfo (entre los que destacan los capitaneados por Francisco de Ulloa en 1539 y Francisco de Alarcón en 1540), es en el relato del Capitán Francisco de Ortega donde se evidencia, al parecer por vez primera, cómo los indígenas que habitan islas aledañas a Monserrat, Danzante y Carmen, tienen su primer contacto con europeos (Ortega, 1632).

⁸ En agosto de 1628, llegó a México una Real Cédula de Felipe IV en la que se comisionaba a Francisco de Ortega para "*hacer viaje vía recta a las dichas Californias, descubrir y reconocer los puertos y ensenadas de aquellas islas y costas... procurando enterarse de qué naturales había en aquella tierra, sus costumbres y modo de vivir, sin hacerles ofensa ni maltrato... e informarse si tienen alguna riqueza, plata, oro, y perlas, y si hay pesquerías dellas como por diversas relaciones se ha entendido y qué partes*". Como resultado de las tres expediciones que realizó entre 1632 y 1636, Ortega descubrió, bautizó y describió muchas de las islas (León-Portilla, 2000). Luego de esta expedición siguió otra serie de intentos infructuosos por poblar y conquistar la península, hasta que en el Real Acuerdo se concluyó que la California era inconquistable por los medios usados hasta entonces, por lo cual, se renunciaba a su conquista; sin embargo, se encomendaba a los jesuitas la conversión de los naturales a la fe cristiana (Garza, 1976).

⁹ Del cat. *vogir*, hacer girar; lat. *volvere*, dar vueltas. 1. v. tr. Náutica: medir el perímetro de una isla o un cabo u otro accidente geográfico marino; 2. v. intr. Náutica: tener una isla, o cualquier porción de costa, un perímetro determinado; 3. Náutica: navegar una embarcación a lo largo de una costa. *Costear*. También se escribe *bojear*. (<https://es.thefreedictionary.com/bojar>; marzo 03, 2021).

¹⁰ Unos años después obtuvo junto con Juan María Salvatierra licencia para la colonización de la Península bajo la promesa de no causar gastos al real erario (Garza, 1976).

Entre 1697 y 1767, los jesuitas lograron el establecimiento definitivo en la península y varios integrantes de la orden realizaron expediciones por tierra firme, el golfo y sus islas. Como testimonios de su estancia, sus viajes o las noticias que de esta tierra recibían destacan cuatro escritos: *Empresas Apostólicas*, manuscrito de 600 páginas de Miguel Venegas que fue terminado en 1739 y publicado en 1757; dos obras póstumas, *Historia natural y crónica de la Antigua California* de Miguel del Barco e *Historia de la Antigua ó Baja California* de Francisco Xavier Clavijero; y, por último, *Nachrichten von der Amerikanischen Halbinsel Californien* de Johann Jakob Baegert, elaborado durante el invierno de 1841–1842. Estos escritos son considerados visiones de conjunto elaborados en el siglo XVIII, en los que se habla, entre otros aspectos, de la historia natural de la región (Lindsay y Engstrand, 2002).

La información referente a Monserrat es verdaderamente escasa. Miguel Venegas en 1757 sólo menciona su presencia: "*Rodean Efta Enfenada (de Loreto) las islas de Monferrate y san Marcial, pequeñas; la del Carmen mas dentro del Golfo, y mayor [...]*". Por su parte, Miguel del Barco (1706–1790) realizó un mapa en el que registró burdamente a Monserrat, así como a las islas aledañas, desde Cerralvo hasta San Ildefonso (Barco, 1988). Resulta sumamente interesante la disertación que este misionero jesuita hace sobre el posible pasado geológico de la península; sobre todo porque en los albores del siglo XXI, los temas respecto a esta región siguen sin agotarse, como lo muestra el presente trabajo. Aquella comienza a partir de la observación de conchas presentes en sitios elevados o muy alejados de la costa. Del Barco escribe lo siguiente:

No solamente en el mar y sus playas, sino también muy lejos de ellas y aún en medio de la península, y en tierras muy altas respecto al mar, se hallan muchas conchas marinas [...] cosa que ha dado materia de discurrir a algunos sobre cómo pudo juntarse allí tanta multitud de conchas. Si alguno quisiere decir que acaso los indios antiguamente traían de una y otra costa las conchas cerradas para abrirlas en aquel paraje, y comer ahí el pez que contienen, arrojando la concha ya despojada en aquel determinado lugar, haciendo montón [...] Otros se inclinan a creer que tanta concha se juntó allí en el tiempo del diluvio universal, (aunque) es difícil de entender cómo pudo esto formarse allí, si esta tierra no estuvo en algún tiempo dilatado sumergida en el mar; porque un año sólo, que duró el diluvio universal, no parece bastante tiempo para que tan grande y tan alta no se petrificase. Otros discurre, y con más probabilidad, que la California, o toda, o gran parte,

estuvo antiguamente sumergida en el mar, de donde después fue levantando la cabeza, y elevándose poco a poco sobre el mar, hasta llegar a ser tierra alta como ahora lo es [...] (Barco, 1988).

Después de la expulsión de los jesuitas en 1767, en virtud de la real orden de Carlos III, se sucedieron en la península otras órdenes religiosas: los franciscanos y dominicos. Los integrantes de esas órdenes no publicaron observaciones sobre historia natural regional, aunque no por ello dejó de generarse información relacionada. A partir de esta época, fueron expedicionarios venidos de otras tierras quienes enriquecieron el conocimiento sobre la península, sus islas, mares y recursos.

Por último, cabe mencionar al novohispano Joaquín Velázquez y Cárdenas de León, quien viajó en 1768 a la península como acompañante del visitador José de Gálvez. En una misiva dirigida a este último, Don Joaquín mostró sus dotes como naturalista al describir de forma diligente no sólo la flora y fauna, sino también los recursos mineros de la región sur de la península en las áreas mineras de Santa Ana (Velázquez de León, 1975).

3. Investigación geológica y paleontológica en la isla

Desde la expedición científica emprendida a la Alta y Baja California, Nuevo México y Guatemala entre 1791 y 1792 por el cirujano y naturalista español José Longinos Martínez Garrido (Lindsay y Engstrand, 2002), auspiciada por los Borbones, ocurrió un sesgo informativo que prevalece hasta la actualidad al haber permanecido los hallazgos de flora, fauna, geología y mineralogía inéditos hasta el siglo XX (Simpson, 1961). Esta expedición tenía como objetivo aumentar el conocimiento sobre sus recursos naturales, geografía y poblaciones. Junto al farmacéutico Jaime Senseve, Longinos recorre la Península desde Cabo San Lucas hasta San Francisco y establece su base en Loreto, recolectando numerosas plantas en isla del Carmen y ágatas muy curiosas. Envío indios como comisionados a las islas de Lobos, de San Buenaventura y de San Gabriel para que le trajesen las producciones naturales que encontrasen (Maldonado, 2000). En su camino, realizó algunas observaciones paleontológicas (Bernabéu, 1994) pues al parecer era un tema que le interesaba especialmente (Maldonado, 2000). Sobre isla Monserrat no hace ningún comentario en su diario de expedición (Bernabéu, 1994).

La pequeña y menos atractiva isla Monserrat en comparación con su vecina, isla del Carmen (que además cuenta con sal y cobre)¹², ha sido deliberadamente omitida

¹¹ Se proporciona al lector el título completo de la obra "*Delineación de la Nueva Provincia de S. Andrés, del Puerto de la Paz, y de las Islas circunvecinas de las Californias, o Carolinas, que al Excel^{mo} Señor D. Thomás Antonio, Lorenzo Manuel Manrique de la Zerda Enriquez y Afán de Ribera Portocarrero y Cárdenas, Conde de Paredes, Marqués de la Laguna, Comendador de la Moraleja en la Orden y Caballería de Alcántara, del Consejo de su Magestad, Cámara y Junta de Guerra de Indias, su Virrey, Lugarteniente, Gobernador y Capitán general de la Nueva España y Presidente de la R. Audiencia de la Nueva España y Chanzellería della, Dedicada y consagra la Mission de la Compa de IESVS de dichas Californias o Carolinas en 21 de Dic. día del Glorioso Apóstol de las Indias S. Thomas, de 1683 años*".

o apenas mencionada como muestran los reportes de Guillemín¹³ (1867) y Gabb¹⁴ (en Browne, 1868), entre otros. En la década de 1870, Monserrat fue cartografiada fielmente por vez primera. De la expedición comandada por George Dewey resultó una breve descripción de la isla que reafirma su esterilidad y señala su origen volcánico (Dewey, 1874); así como una carta en la que se la presenta con cierto detalle topográfico junto con el de las islas aledañas¹⁵. Al conjunto de cartas y reportes originales, se le hicieron sucesivas adiciones y correcciones¹⁶ (*United States Hydrographic Office*, 1887, 1893) hasta que en 1897 se publicaron como un conjunto de mapas en el que ningún accidente natural de la zona quedó sin registro (Barrera, 1992).

Mientras tanto, el Ministerio de Fomento, Colonización, Industria y Comercio en funciones desde el 22 de abril de 1853, durante el porfiriato, orienta su política al reconocimiento del territorio nacional. Entonces, se crearon comisiones científicas como la Comisión Exploradora del Territorio de la Baja California, la cual se generó principalmente por el interés por minerales y, en particular, por sus placeres auríferos. Un extenso reconocimiento que se enfocó especialmente en el área del Triunfo y de la Purísima en 1883 a cargo del Ingeniero Joaquín M. Ramos es llevado a cabo como parte de esta iniciativa. Un año después, se publicaron los informes de los trabajos ejecutados en los Anales del Ministerio de Fomento de la República Mexicana (Blanco y Moncada, 2011).

A partir del descubrimiento del petróleo en California en 1875 y, sobre todo, del inicio de la explotación comercial a gran escala de aquél tras la Primera Guerra Mundial (Kleinpell, 1980), los estudios geológicos, estratigráficos y paleontológicos relacionados fueron intensamente promovidos por las compañías petroleras (Addicott, 1981). Finalmente, el desarrollo de la región sur de California alentó el interés en los problemas científicos del vecino golfo (Byrne y Emery, 1960). Estos hechos promovieron

la investigación en las áreas mencionadas de forma más o menos intensa durante el siglo XX.

Por estas fechas y con el objetivo de tener un inventario del territorio insular de nuestro país, algunas publicaciones oficiales fueron generadas. Entre ellas destaca el *Catálogo de islas* de García Cubas (en Méndez-Buenos Aires, 1990) o la de Muñoz-Lumbier (1919) que contiene la primera descripción de isla Monserrate (*sic.*) a la cual define como:

Isla de origen volcánico y completamente árida; tiene una extensión de N. a S. como de 4 millas y en dirección opuesta como 2, siendo su punto más culminante de 734 pies de elevación. Su extremidad meridional queda al NE. $\frac{3}{4}$ E. mag., 7 millas de punta de San Cosme, que es el punto más cercano a ella y su punta septentrional al S. 83° v. de la Punta de los Candeleros. Las costas meridional y orientales de dicha isla, son una sucesión de escarpas rocallosas que proyectan mar afuera en varios lugares muchos crestones ahogados con una extensión de $\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{4}$ de milla. Por el través de sus extremidades N. y NE. hay rocas salientes; en su lado N. existe una pequeña caleta con una tira estrecha de playa arenosa que se halla muy cercana a la punta extrema NW. de la isla. La costa occidental de ésta es baja y rocallosa, con una punta saliente de plano inclinado. La punta extrema S. de la isla Monserrate se halla, según la carta número 621 de la Oficina Hidrográfica de los Estados Unidos, en lat. $25^\circ 38' N.$ y long. $111^\circ 03' W.$ de Greenwich. A $1 \frac{3}{4}$ millas al N. de las islas se encuentran los dos islotes llamados las Galeras, que antes se han mencionado. La isla de Monserrate queda a $11 \frac{3}{4}$ millas de la de Santa Catalina; en el mismo litoral y entre ambas los sondeos no han dado fondo en ninguna parte del canal que las separa.

De los estudios realizados con fines petroleros destacan los de Heim de 1915 (publicados en 1922), por cuenta de la Compañía Mexicana de Petróleo El Águila (Mina-

¹² Bien ganado tiene Carmen ese preponderante papel, tan sólo por su relevancia en el devenir histórico sudcaliforniano. La salina que posee fue descubierta por los jesuitas en 1698 y su explotación y envío a Sinaloa contribuyó de forma importante a la construcción de la misión de Loreto "Capital de las Californias", justo frente a ella (Castro-Liera y Carño, 2002). La primera colección de plantas fue realizada por el explorador ruso Ilya Gavrilovich Voznesensky en el invierno de 1841 en la costa peninsular del golfo. Además, los colonos rusos en Alaska necesitaban de la sal del lugar, pues ésta les permitiría curtir sus pieles. La colección quedó depositada en el Museo Zoológico de la Academia de Ciencias Rusa en San Petersburgo (Carter, 1979).

¹³ Edmond Guillemín Tarayre fue miembro de la Comisión Científica Francesa (*Commission Scientifique du Mexique*) creada por mandato de Napoleón III durante el periodo del Segundo Imperio con el objetivo de "reunir un conjunto de estudios o investigaciones propias para dar a conocer, desde todos puntos de vista a México y sus regiones limítrofes". El mineralogista y geólogo exploró algunas islas del Pacífico y del golfo de California de 1864 a 1867. Se concentró en aquéllas que contaban con yacimientos minerales (por ejemplo, Carmen y San José) y describió sus condiciones, productividad, costos de exportación y posible evolución (Pichardo-Hernández, 2001).

¹⁴ William Gabb, paleontólogo del *California Geological Survey*, participó en el primer reconocimiento geológico de toda la Península en 1867 reportando sus recursos minerales. Esta exploración gozó de la inversión de capital estadounidense y de una extensa concesión que adquirieron particulares al gobierno mexicano para su colonización. Atendiendo este interés, el reporte concluye indicando que tan sólo por sus minas, hay suficiente razón para la compra del territorio (La Península) por los Estados Unidos. Sus resultados, publicados por J. Ross Browne, indican que Gabb no visitó ni Monserrat ni las islas aledañas (incluida Carmen aunque la reconoce como notable por su sal); sólo menciona lo siguiente: "la presencia de numerosas islas adyacentes a la costa, la mayoría de las cuales son abruptas e inhóspitas y enteramente inapropiadas para propósitos agrícolas o ganaderos" (Browne, 1868).

¹⁵ Dewey (1874) menciona que "El extremo sur de Isla Monserrate se encuentra a $N 14^\circ W 8$ millas de punta Marcial y cerca de la misma distancia de tierra firme. Tiene cerca de 4 millas de largo en línea paralela a la costa, y de una a dos millas de ancho. Alcanza de 200 a 500 pies de altitud y presenta una apariencia menos hostil que Santa Catalina. Sin embargo, es como las otras islas de la región de origen volcánico y perfectamente estéril".

¹⁶ George Dewey, Capitán de la Armada Norteamericana, recorrió el golfo de California con la misión de levantar un estudio topográfico bajo el amparo de la Oficina Hidrográfica de aquel país (Barrera, 1992). En esta expedición también se reconoció el piso marino del golfo. Los mapas resultantes constituyeron la base de casi todas las cartas de navegación de la región publicadas hasta 1940 (Byrne y Emery, 1960).

Uthink, 1957); en ellos, aunque no hicieron investigación en las islas, estudiaron el Cenozoico de la península¹⁷ y designaron las formaciones que fueron empleadas posteriormente en la descripción litoestratigráfica de Monserrat: Comondú (Heim, 1922) y Salada (Heim, 1922). También sobresalen los estudios geológicos de Darton (1921) y Beal, comisionado por la *Marland Oil Company de México* (se publicó como reporte comercial preliminar Anónimo en 1924 y posteriormente como Beal, 1948). En este último, Beal señala que "*Monserrate está constituida por rocas de la formación Comondú (Heim, 1922), subyaciendo en algunos sitios a la formación Salada (Heim, 1922). Se encuentra sobre una cresta submarina que se extiende hacia el norte y parece ser la prolongación de una cordillera menor que termina en Punta San Marcial (con una elevación de 1131 pies)*". Estos primeros estudios estratigráficos hacen uso de zonaciones basadas en moluscos para determinar la edad¹⁸.

Con este mismo impulso de exploración por recursos petrolíferos, se crea la Comisión Exploradora del Pacífico, organizada por el Instituto Geológico de México en 1918, donde el paleontólogo Enrique Díaz Lozano tiene por vez primera participación en este tipo de campañas científicas en México. Los resultados (publicados por el Ing. de minas Vicente Gálvez, 1922) muestran que los estudios fueron principalmente encaminados a exploración en búsqueda de recursos minerales y petroleros, mientras que la región insular no fue considerada.

En el ámbito académico, la década de 1920 también generó información sobre Monserrat. Una de las organizaciones científicas con mayor interés en el golfo de California y sus islas es la Academia de Ciencias de California, la cual hasta la actualidad las ha considerado como uno de sus principales campos de exploración e investigación científica (Lindsay y Engstrand, 2002). Entre 1921 y 1923, realizó tres expediciones en las que visitó prácticamente todas las islas del golfo (Hanna, 1927). Los objetivos de éstas fue realizar un estudio exhaustivo de la fauna y flora de las islas y localidades aledañas en tierra firme, así como realizar extensas colectas de ejemplares de distintos grupos¹⁹ (Slevin, 1923). Las expediciones permitieron obtener información geológica sobre las islas que hasta

entonces era desconocida, y desmentir aseveraciones como que todas tenían un origen volcánico o que algunas tenían un potencial petrolero que resultó más bien exagerado (Hanna, 1927). Monserrat fue reconocida como una isla que, aunque pequeña, poseía extensos yacimientos fosilíferos (Hanna, 1927). En ella se colectaron macroinvertebrados que permitieron determinar una edad de Plioceno para la localidad 835 (donde recolectaron *Flabellipecten bosei* Hanna y Hertlein y *Sthenorytis toroensis* [Dall]) y de la localidad 836 (¿Plioceno?) ubicada en una colina en el norte de la isla, frente a Las Galeras (donde se recolectaron los corales *Arca multicostata* [Sowerby] y *Cassis coarctata* [Sowerby]). De esta expedición no se publicaron informes sobre microfósiles a pesar de que el encargado del reporte geológico, el Dr. G. Dallas Hanna, fue pionero en la aplicación de foraminíferos en bioestratigrafía²⁰.

Durante el siglo XX, innumerables expediciones visitaron las islas del golfo²¹, principalmente con fines de investigación biológica (Lindsay y Engstrand, 2002). La que *The Geological Society of America* y *Scripps Institution of Oceanography of the University of California* realizaron durante 78 días en 1940 resulta notable para la geología y paleontología de Monserrat y de la región en general. En ella, se recorrieron muchas de las islas del margen oriental de la península. Los resultados de esta expedición llenaron por mucho los huecos que existían hasta entonces sobre el conocimiento de la geología y paleontología de las islas del golfo (Anderson *et al.*, 1950) (Figura 2). Aunque sólo se dedicó parte de un día para visitar Monserrat y las observaciones se limitaron al área suroeste, en el informe geológico de Anderson (1950) se realiza la descripción de la isla más completa hecha hasta el momento.

El primer estudio de los foraminíferos fósiles de las islas del golfo de California (Natland, 1950) fue otra aportación importante pese a ser muy general (se estudiaron sólo 16 muestras de todas las colectadas por Anderson y Durham, de las cuales sólo una pertenece a Monserrat), pues permitió un primer acercamiento a estas asociaciones de microfósiles. Por la presencia de *Aquipecten revellei* Durham y *Patinopecten bakeri* (Hanna and Hertlein) subsp. *diasi* Durham en las localidades 3566 (lado E del extremo sur) y 3568 (extremo sur) de Monserrat, se infiere

¹⁷ Heim asignó una edad Terciaria a una gran extensión de la Península que, aunque originalmente había sido identificada como Miocénica por Gabb (en Browne, 1868), fue reconocida como Cretácica por investigadores posteriores (Willis, 1912).

¹⁸ Desde que en 1906 se desarrolló un esquema de zonaciones del Cenozoico en la Costa del Pacífico que emplea moluscos, estos trabajos fueron la única base para determinar edades, correlacionar formaciones e incluso definir unidades mapeables hasta que en 1914 J. A. Cushman demostró, por primera vez, que los foraminíferos podrían ser utilizados en la correlación de unidades geológicas subsuperficiales. Esto comenzó el desarrollo de zonaciones que utilizan a estos microfósiles (Addicott, 1981).

¹⁹ Slevin (1923) menciona que antes de 1906 se contaban con colecciones grandes y valiosas de la región del golfo como resultado de expediciones auspiciadas por la Academia desde 1888 (Lindsay y Engstrand, 2002); sin embargo, un incendio provocado por un sismo hizo que se perdieran.

²⁰ El Dr. F. Dallas Hanna, a pesar de ser inicialmente especialista en diatomeas, en 1923 erigió el primer laboratorio comercial de micropaleontología en la Costa del Pacífico (Addicott, 1981).

²¹ La *Allan Hancock Foundation* auspició varias expediciones con fines de investigación biológica marina. Entre 1931 y 1941, el *Velero III* realizó cruceros que cubrieron prácticamente toda la línea de costa del Pacífico desde San Francisco hasta las islas Galápagos. Éstos recorrieron el golfo de California, la costa de México, América Central, y el norte de Sudamérica con el objetivo de estudiar la biota de las aguas someras que hasta entonces habían gozado de poca atención (Aleem, 2002).

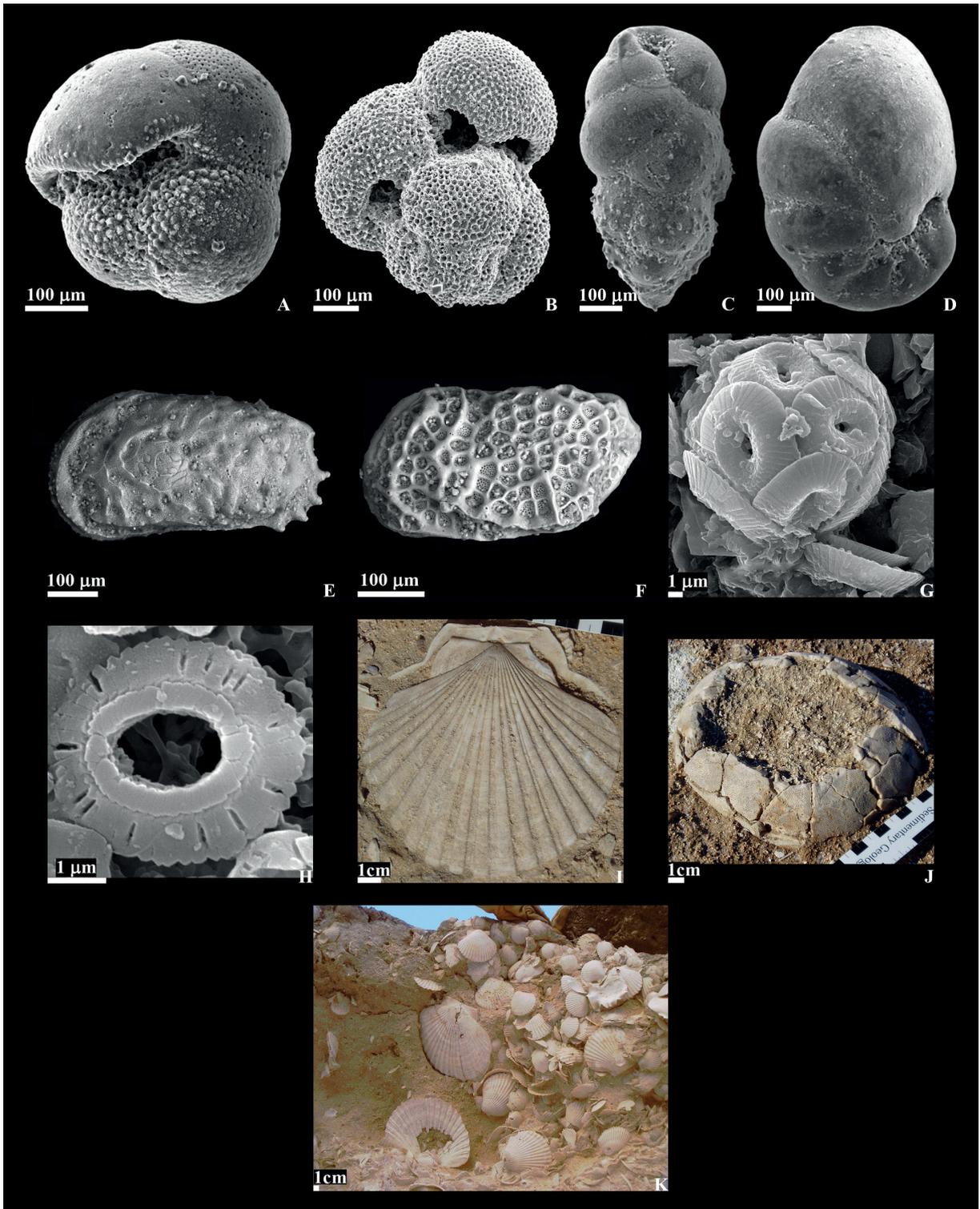


Figura 2. Fósiles clásicos de isla Monserrat mencionados en múltiples trabajos publicados sobre la geología y la paleontología de la Baja California y sus islas. Cada fotografía tiene escala gráfica. Los microfósiles (Carreño *et al.* 2015) se encuentran depositados en la Colección de Micropaleontología del Museo de Paleontología del Instituto de Geología, Carmen Perrilliat UNAM. Macrofósiles son por cortesía de J. Ledesma-Vázquez de la UABC en Ensenada, Baja California. A. *Pulleniatina primalis* Banner y Blow; IGM1410-Mi, muestra IMN1, vista umbilical; B. *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny); IGM1380-Mi, muestra IMN1, vista espiral; C. *Buliminella basispinata* Stewart y Stewart; IGM-1423-Mi, muestra IMN7, vista lateral; D. *Cancris carmenensis* Natland; IGM-1436-Mi, IMN7, vista espiral; E. *Cancris auriculus* (Fichtel y Moll); IGM1332-Mi, muestra IMN2, vista espiral; F. *Pterolaxa guaymasensis* Swain; IGM-1091-Mi, muestra IMN4, vista externa, valva izquierda; G. *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller; cocósfera, IGM-208-Mi, muestra IMN1; H. *Pseudoemiliania ovata* (Bukry) Young, escudo distal IGM-260-Mi; muestra IMN13; I. *Patinopecten bakeri* (Hanna y Hertlein) *diazi* Durham, sección sedimentaria Monserrat Sur; J. *Clypeaster bowersi* Weaver, sección sedimentaria Monserrat Sur; K. Clasto armado de *Aequipeecten* spp. y *Patinopecten* spp. sección sedimentaria Monserrat Sur.

una correlación con la formación Carmen (Anderson, 1950) cuya sección tipo se encuentra en la isla homónima y es considerada del Plioceno medio²² (Anderson, 1950; Durham, 1950).

En la década de 1940, Petróleos Mexicanos (PEMEX) exploró la mitad sur de la península. Los resultados de la investigación publicados por Mina-Uhink (1957) no mencionan a Monserrat²³, aunque sí describen las formaciones que Beal (1948) y Lozano-Romen (1975) identifican en ella (Mina-Uhink, 1957). Posteriormente, en 1958, la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística auspició la llamada Primera exploración Geográfico-Biológica en la península de Baja California. De este muy tardío primer acercamiento no se generó información relevante sobre Monserrat; sin embargo, es destacable la mención en el reporte que se hace al desconocimiento que a la fecha se tenía en México de este territorio: "*un alejado trozo del país*" hasta esa época investigado y recorrido casi de forma exclusiva por extranjeros, urgido de la atención de científicos mexicanos, y de la publicación y difusión de los estudios sobre él generados (Bassols-Batalla y Guzmán-Huerta, 1959).

El interés científico internacional y nacional por el golfo y sus islas fue reavivado a finales de la década de 1960, a partir de la consolidación de la Teoría de tectónica de placas. Los conceptos que ésta plantea (movimiento de placas, generación de piso oceánico, etc.) tienen aplicaciones directas en el esclarecimiento del origen e historia del golfo (Chase *et al.*, 1970). Simultáneamente, la Teoría de biogeografía de islas (MacArthur y Wilson, 1967) convirtió al golfo en un escenario inigualable para su comprobación debido a que éste fue catalogado como uno de los lugares más prístinos del planeta (Gastil *et al.*, 1983). Por lo anterior, las islas del golfo son consideradas laboratorios naturales para la investigación geológica y evolutiva (UNESCO, 2005).

Más adelante, en 1975, como parte de una nueva evaluación petrolera de la península hecha por PEMEX, Lozano-Romen menciona lo siguiente: "*Monserrat está compuesta por una sierra abrupta, formada por conglomerados volcánicos en capas gruesas a masivas semejantes a los de la Sierra de la Giganta en la Península, constituida por la formación Comondú. En algunas partes de la isla, hacia el Noroeste, esta formación se encuentra cubierta por la Formación Salada del Pleistoceno*".

En el primer texto que comprendió gran parte de la información biológica sobre las islas que se había

acumulado a la fecha, *Island Biogeography in the Sea of Cortez* (Gastil *et al.*, 1983), se indica que Monserrat está formada por rocas volcánicas del Mioceno y rocas marinas del Plioceno; además, se señala que la isla se conformó como tal probablemente durante el Pleistoceno y que fue originada posiblemente por un mecanismo de *uplift*. Asimismo, en el libro *A new Biogeography of the Sea of Cortés*, Carreño y Helenes (2002) indican que las rocas marinas (calizas fosilíferas) de una supuesta edad del Plioceno medio se encuentran cubiertas por gravas pleistocénicas y que el posible mecanismo que originó su condición insular fue el fallamiento y levantamiento durante el Pleistoceno tardío (?).

Carreño y Smith (2007) mencionan que los ejemplares de moluscos marinos colectados por J.A. Minch en 1987 en rocas no designadas formalmente del noroeste de Monserrat forman parte de facies de agua profunda que contienen el gasterópodo epitoniido marino *Sthenorthis toroense* asociado con especímenes abundantes desarticulados de *Flabellipecten bosei* Hanna y Hertlein de probable edad Plioceno. Como se mencionó anteriormente, ambas especies habían sido reportadas ya por Hanna y Hertlein (1927) y al respecto de *Epitonium (Sthenorthis) toroense* Dall cabe señalar que, de acuerdo con DuShane (1974, 1977), ésta corresponde a una especie holocénica *E. (S.) turbina* Dall.

Respecto a la edad de Monserrat, estudios como el de Ledesma *et al.* (2007) proponen una edad de Plioceno temprano a medio para las unidades sedimentarias situadas en la parte sur de la isla, basándose en la presencia del equinoideo fósil índice *Clypeaster bowersi* Weaver. El ambiente de depósito de los sedimentos que dieron origen a estas rocas es sugerido como uno marino somero sublitoral, debido a la abundante presencia de *Aequipecten abietis* [Jordan y Hertlein] y la rara presencia de *Lyropecten subnodosus* [Sowerby]. Por lo anterior, señalan que Monserrat es una paleoisla que desde el Plioceno temprano a medio formó un borde sedimentario (carbonatado) en torno a su núcleo volcánico. En 2009, Luca y colaboradores determinan una edad Ar-Ar de ≈ 18 Ma para las rocas volcánicas de isla Monserrat, e indican que se pueden correlacionar con las ignimbritas fechadas entre 19 y 23 Ma que se encuentran al norte de La Paz.

En el mismo año de 2009, se inicia en el Instituto de Geología de la UNAM un proyecto interdisciplinario de prospección por microfósiles en la península de Baja California que incluyó la visita de varias localidades asociadas a la formación y evolución temprana del golfo de California. En 2006, un grupo de investigadores de la

²² Por años, la subdivisión del Plioceno no fue rígida ni definida de forma inequívoca. Aunque la división bipartita (Piso Inferior y Superior) fue la de mayor aceptación y uso, varios especialistas establecieron su propia división, donde incluyeron el Piso Medio o emplearon "definiciones bioestratigráficas" para los límites cronoestratigráficos que, en muchos casos, tienen significados cronológicos diferentes (Rio y Sprovieri, 1994). En 1996 la IUGS (*International Union of Geological Sciences*) ratificó al Gelasiano como un tercer Piso de la Serie Plioceno, con lo que se formalizó la división tripartita: Zancleano (Plioceno inferior), Placenziano (Plioceno medio) y Gelasiano (Plioceno superior) (Rio *et al.*, 1998). A partir del año 2009, el Gelasiano se convirtió en la base del Pleistoceno y, a la vez, del Cuaternario (Gibbard *et al.*, 2010), por lo que se regresó a la división bipartita (Bassols-Batalla y Guzmán-Huerta, 1959).

²³ Se menciona únicamente la presencia de depósitos de guano explotados por la empresa Guanos y Fertilizantes, S.A. (Bassols-Batalla y Guzmán-Huerta, 1959).

Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad de Baja California y del Instituto de Geología de la UNAM visitan isla Monserrat y miden una columna litoestratigráfica en sedimentos marinos depositados en la porción norte de la isla. Lo anterior tenía la intención de hacer un estudio a detalle de los microfósiles. Se identificó la presencia de microfósiles calcáreos, en particular de foraminíferos planctónicos y bentónicos (Hernández-Pérez, 2012); a partir de ellos se concluyó que la isla estuvo sumergida hace entre 5.72 y 5.06 Ma aproximadamente, bajo condiciones de oxígeno reducido a una máxima profundidad de 150 m. Más tarde, con base en foraminíferos y nanofósiles calcáreos (Carreño *et al.*, 2015) se obtiene una edad consenso de 5.06–3.3 Ma para este evento. Otras investigaciones que se realizan en este intervalo de tiempo corresponden a microfósiles, particularmente corales, recuperados de la Formación San Marcos aflorante en la isla (*Porites panamensis* Verrill) y asignada al Plioceno inferior, y de la Formación Carmen del Plioceno "medio" superior con la presencia de *Porites carrizensis* Vaughan, *Pocillopora capitata* Verrill (López-Pérez, 2008) y la nueva especie *Favia maitreyiae* (López-Pérez, 2012). Más tarde, Miranda-Martínez (2019) durante una segunda visita, realiza un muestreo más extenso y detallado y con base en foraminíferos planctónicos establece una edad para la Formación Carmen de ≤ 5.8 Ma a ≥ 5.2 Ma.

Por último, vale mucho la pena mencionar "El Canto de la Amazona de isla Monserrat" (Johnson, 2014) que narra el seguimiento que este autor hace a los pasos de Anderson (1950) y confirma la presencia de megafauna originalmente identificada y descrita por Durham (1950). Al mismo tiempo, el autor realiza un reconocimiento y observación detallada de las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas y fósiles a través de su recorrido. Aquí se presenta el primer mapa topográfico y geológico de la isla y se ilustran muchas de las localidades previamente descritas en trabajos de prospección geológica en la isla.

Monserrat, al igual que las otras islas que se encuentran en el golfo de California, contiene en sus rocas el registro geológico, segundo a segundo, de la historia y evolución de este magnífico cuerpo de agua. Ello le valió ser denominada por el oficial naval francés Jacques-Yves Cousteau como el Acuario del Mundo; mientras que la extensa franja de tierra peninsular, no menos espléndida, despertó la imaginación de muchos. Ejemplo de lo anterior es la historia de la reina Calafia, bellamente plasmada en la novela de la Edad Media *Las Sergas de Esplandián*²⁴ (Rodríguez de Montalvo, 1998).

4. Conclusiones

Desde los viajes de reconocimiento al territorio de Baja California y la circunnavegación de las aguas del golfo y sus islas de alrededor en 1539 pasaron varios siglos para que vieran la luz importantes obras como las de Anderson (1950)²⁵, Andel y Shor (1964) y que tuvieran lugar proyectos de gran envergadura como la del "*Deep Sea Drilling Project* (DSDP)"²⁶ (Curry y Moore, 1982). La creación de universidades y centros de investigación en Baja California, Sonora y Sinaloa favoreció no sólo un incremento de estudios biológicos y de aspectos diversos en ciencias de la tierra y del mar, sino que propició que estos cada vez más frecuentemente estén liderados por investigadores mexicanos; aunque no han disminuido de manera alguna las aportaciones importantes de científicos extranjeros, como los recopilados en Dauphin y Simoneit (1991), entre muchos otros. A pesar de ello, aún falta mucho trabajo por hacer en todos los campos del conocimiento y, en particular, en Paleontología, donde muchos grupos fósiles aguardan en la porción insular y terrestre para contar su versión sobre las condiciones que prevalecieron durante su vida, no sólo mientras vivieron en las aguas del golfo, sino también durante el proceso que los llevó a conservarse en este maravilloso lugar lleno de riqueza geológica y biológica.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. M. Johnson (Williams College) por permitir el uso del mapa de Isla Monserrat que ilustra el trabajo. De igual forma, se reconoce el apoyo brindado por la M. en C. A.A. Jiménez-Mendoza. Se agradecen las sugerencias y comentarios de dos revisores anónimos y, en particular, la revisión meticulosa y el apoyo documental brindado por uno de ellos, contribuyendo sustancialmente a mejorar el presente escrito. Se agradece el impecable trabajo editorial por la Mtra. S. Ramos y el Mtro. J.R. Ovando-Figueroa.

Referencias

Addicott, W.O., 1981, Brief history of Cenozoic marine biostratigraphy of the Pacific Northwest: Geological Society of America, Special Paper 184, 3–15. <https://doi.org/10.1130/SPE184-p3>.

²⁴ Se atribuye el origen de la Reina Calafia a esta novela cuya publicación escrita es adjudicada a Garci Rodríguez de Montalvo en 1510.

²⁵ Esta obra incluyó aspectos de geología, oceanografía, batimetría y fallamiento, anomalías gravimétricas, refracción sísmica, perfiles magnéticos, geofísica, historia estructural y evolución geológica, sedimentos recientes y laminados, macroinvertebrados, ostrácodos, foraminíferos bentónicos y radiolarios.

²⁶ Aunque circunscrito a la cuenca de Guaymas y la boca del golfo, esta obra incluyó dentro de la amplia gama de estudios geológicos y micropaleontológicos a especialistas mexicanos como un requisito de la Secretaría de Relaciones Exteriores para el otorgamiento de los permisos para navegar y coleccionar en aguas mexicanas.

- Aleem, A.A., 2002, The Allan Hancock Pacific Expedition (1931–1962) and their contributions to marine biology, en. K. R. Benson and P. F. Rehbock (eds.), *Oceanographic history: the Pacific and beyond*: Seattle, Washington University of Washington Press, 316–319.
- Anderson, Ch. A., Durham, J.W., Shepard, F.P., Natland, M.L., Revelle, R., 1950, 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California: Geological Society of America, Memoir 43. <https://doi.org/10.1130/MEM43>.
- Anderson, Ch.A., 1950, Part 1: Geology of islands and neighboring land areas, en. Ch. A. Anderson; J.W. Durham; F.P. Shepard; M.L. Natland; R. Revelle, (eds.), 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California: EUA, Geological Society of America, Memoir 43, 1–53. <https://doi.org/10.1130/MEM43-1-p1>.
- Anónimo, 1924, Informe sobre la exploración geológica de la Baja California por la Marland Oil Company, *Boletín del Petróleo*, 17(16): 417–453.
- Barco, M. del, 1988, Historia natural y crónica de la antigua California. Adiciones y correcciones a la noticia de Miguel Venegas (En línea): México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas, 482 pp., *disponible en* [http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/141a/historia_natural.html], *consultado el* 26 de agosto de 2020.
- Barrera, B.J., 1992, Islas de Baja California, en Reyes V. M. (coord.), *Cartografía histórica de las islas mexicanas*: México, Secretaría de Gobernación, 219–262.
- Bassols-Batalla, A., Guzmán-Huerta, G., 1959, Primera exploración geográfica-biológica en la Península de Baja California: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, Tomo LXXXVIII (1–3), 279 pp.
- Beal, C.H., 1948, Reconnaissance of the Geology and oil possibilities of Baja California, Mexico: The Geological Society of America Memoir, 31, 130 pp. <https://doi.org/10.1130/MEM31>.
- Bernabéu, S., 1994, *Diario de las expediciones a las Californias de José Longinos*: España, Doce Calles, 315 pp.
- Blanco, M.; Moncada, J.O., 2011, El Ministerio de Fomento, impulsor del estudio y el reconocimiento del territorio mexicano (1877-1898): *Investigaciones Geográficas*, *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (74), pp. 74–91.
- Bowen, T., 2004, Archaeology, biology and conservation in islands in the Gulf of California: *Environmental Conservation*, 31(3), 199–206. <https://doi.org/10.1017/S0376892904001419>.
- Browne, J.R., 1868, Report on the Mineral Resources of the States and Territories West of the Rocky Mountains: San Francisco, California, Bancroft y Co., 688 pp.
- Byrne, J.V., Emery, K.O., 1960, Sediments of the Gulf of California: *Bulletin of the Geological Society of America*, 71(7), 983–1010. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1960\)71\[983:SOTGOC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1960)71[983:SOTGOC]2.0.CO;2).
- Carreño, A.L., Helenes, J., 2002, Geology and ages of the islands, en T.J. Case, M.L. Cody y E. Excurra, (eds.), *New Island biogeography in the Sea of Cortés*: Inglaterra, Oxford University Press, 14–40.
- Carreño, A.L., Ledesma-Vázquez, J., Hernández-Pérez, C.F., Gío-Argáez, F.R., 2015, Microfossils from the Early Pliocene Carmen Formation, Monserrat Island, Baja California Sur, Mexico: *Micropaleontology*, 61(3), 199–225.
- Carreño, A.L., Smith, J.T., 2007, Stratigraphy and correlation for the ancient Gulf of California and Baja California peninsula: Mexico, *Bulletins of American Paleontology*, 371, 146 pp.
- Carter, A.M., 1979, I.G. Voznesenskii, Early Naturalist in Baja California, Mexico, *Taxon*, 28(1/3), 27–33. <http://dx.doi.org/10.2307/1219552>.
- Castro-Liera, E., Cariño-Olvera, M., 1998, Estudio de los contratos para la explotación del guano expedidos durante el porfirato en sudcalifornia: *Clío*, 6(22), 15–32.
- Castro-Liera, E., Cariño-Olvera, M., 2002, Estudio de los contratos para explotación de sal durante el porfirato en Sudcalifornia: *Clío*, Nueva Época, 1(28), 59–76.
- Chase, C.G., Menard, H.W., Larson, R.L., Sharman III, G.F., Smith, S.M., 1970, History of sea-floor spreading West of Baja California: *Geological Society of America Bulletin*, 81(2), 491–498. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[491:HOSSWO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[491:HOSSWO]2.0.CO;2).
- Curry, J.R., Moore, D.G., *et al.* (eds.), 1982, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. DSDP, 64, Pt. 1 & 2: Washington, EUA, Government Printing Office, 1313 pp.
- Darton, N.H., 1921, Geological reconnaissance in Baja California: *The Journal of Geology*, 29(8), 720–748.
- Dauphin, J.P., Simoneit, B.R.T. (eds.), 1991, The Gulf and Peninsula Province of the Californias: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47. <https://doi.org/10.1306/M47542>.
- Dewey, G., 1874, Remarks on the coasts of Lower California. U.S. Hydrographic Office (No. 56) (En línea): Washington Government Printing Office, 65 pp., *disponible en* [<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044080605082&view=1up&seq=10://catalog.hathitrust.org/Record/100365695>], *consultado el* 26 de agosto de 2020.
- Durham, J.W., 1950, Part II. Megascopic Paleontology and Marine Stratigraphy, en Ch. A. Anderson; J.W. Durham; F.P. Shepard; M.L. Natland; R. Revelle, (eds.), 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California: Geological Society of America, Memoir 43 (2), 1–216. <https://doi.org/10.1130/MEM43-2-p1>.
- DuShane, H., 1974, The Panamic-Galapagan Eptiniid: *The Veliger*, 16(suppl.), 1–84.
- DuShane, H., 1977, A new species of *Amaea* (*Scalina*) from the Pliocene of Baja California Sur, Mexico (Mollusca: Gastropoda): *Journal of Paleontology*, 51(5), 953–958.
- Gálvez, V., 1922, Exploración en la Península de Baja California por la Comisión Geológica Exploradora del Pacífico: *Boletín del Instituto Geológico de México*, (39), 108 pp.
- Garza, R., M.L., 1976, El Golfo de California, mar nacional: México, UNAM, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Serie Estudios 49, 295 pp.
- Gastil, G., Minch, J., Phillips, P., 1983, The geology and ages of the islands, en T.J. Case and M.L. Cody (eds.), *Island biogeography in the Sea of Cortez*: EUA, University California Press, Berkeley, 13–21.
- Gibbard, P.L., Head, M.J., Walker, M.J.C. and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy, 2010, Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma: *Journal of Quaternary Science*, 25, 96–102. <https://doi.org/10.1002/jqs.1338>.
- Guillemin, E., 1867, Archives de la Commission Scientifique du Mexique (ACSM-3) (1867): Paris, Ministère de l'Instruction Publique, Imprimerie Impériale.
- Hanna, G.D., 1927, Geology of the West Mexican Islands: *Pan-American Geologist*, 48, 1–24.
- Hanna G.D., Hertlein, L.G., 1927, Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921: *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 4th series, 16(6), 137–157.
- Heim, A., 1922, Notes on the Tertiary of Southern California: *Geological Magazine*, 59(12), 529–547. <https://doi.org/10.1017/S0016756800109069>.
- Hernández-Pérez, C.F., 2012, Foraminíferos neogénicos de la Formación Carmen, Isla Monserrat, Baja California Sur: *Bioestratigrafía y Paleambiente*: México, Facultad de Ciencias, Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Licenciatura, 133 pp. http://132.248.9.41:8880/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000695914.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1983, Carta topográfica Liguí G12C29, escala 1:50,000: Baja California Sur, Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Johnson, M.E., 2014, *Off-Trail Adventures in Baja California: Exploring Landscapes and Geology on Gulf Shores and Islands*: EUA, University of Arizona Press, 272 pp.
- Kino, E.F., 1683, Delineación de la Nueva Provincia de S. Andrés, del Puerto de la Paz, y de las Islas circunvecinas de las Californias, o Carolinas, en *Archivo General de Indias*: México, Pares. Portal de Archivos Españoles, 1 mapa con texto, *disponible en* [<http://pares.mcu.es/ParesBusquedas20/catalogo/show/20900>], *consultado el* 24 de marzo de 2021.
- Kleinpell, R.M., 1980, The Miocene stratigraphy of California Revisited: *AAPG Studies in Geology*, 11, 1–182. <https://doi.org/10.1306/03B5B69B-16D1-11D7-8645000102C1865D>.

- Ledesma-Vázquez, J., Montiel-Boehrer, A.Y., Backus, D., Johnson, M., Fernández-Díaz, V., 2007, Armored mud balls in tidal environments, Pliocene in the Gulf of California, en E. Díaz-Martínez and I. Rábano (eds.), 4th European Meeting on the Paleontology and Stratigraphy of Latin America: Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, Cuadernos del Museo Geominero, 8, 235–238.
- León-Portilla, M., 1989, Cartografía y crónicas de la Antigua California: México, UNAM, 207 pp.
- León-Portilla, M., 2000, El ingenioso Don Francisco de Ortega, sus viajes y noticias californianas, 1632-1636, en León Portilla M. (ed.), La California Mexicana. Ensayos acerca de su Historia: México, UNAM, Instituto de Investigaciones Históricas, 151–394.
- Lindsay, G.E., Engstrand, I.H.W., 2002, History of Scientific Exploration in the Sea of Cortés, en T.J. Case, M.L. Cody, E. Ezcurra (eds.), A new Island Biogeography of the Sea of Cortés: Inglaterra, Oxford University Press, 3–13.
- López-Pérez, A., 2008, Fossil Corals from the Gulf of California, México: still a depauperate fauna but it bears more species than previously thought: Proceedings of the California Academy of Sciences, Series 4, 59(12), 503–519.
- López-Pérez, R.A., 2012, Late Miocene to Pleistocene Reef Corals in the Gulf of California: Bulletins of American Paleontology, 383, 78 p.
- Lozano-Romen, F., 1975, Evaluación Petrolífera de la Península de Baja California, México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, XXVII (4-6), 104–329.
- Luca, F., López, M.M., Orozco, E.M.T., Piñero, L.D., Martini, M., Duque T.J., 2009, Extensión del magmatismo silíceo del Mioceno inferior en la parte sur del Golfo de California: integrando Geología continental y marina: Geos, 29(1), 198.
- MacArthur, R.H., Wilson, E.O., 1967, The Theory of Island Biogeography: Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 203 pp.
- Maldonado, P.J.L., 2000, El primer gabinete de Historia Natural de México y el reconocimiento del Noroeste novohispano: Revista de Estudios de Historia Novohispana, 21, 49–66. <https://doi.org/10.22201/iih.24486922e.1999.021.3499>.
- Méndez-Buenos Aires, A., 1990, Las islas mexicanas: importancia económica, régimen jurídico y proyecciones internacionales (En línea): Revista Mexicana de Política Exterior, IMRE, Secretaría de Relaciones Exteriores, (28), 33–39, [disponible en \[https://revistadigital.sre.gob.mx\]](https://revistadigital.sre.gob.mx), [consultado el 6 de abril de 2021](https://doi.org/10.22201/iih.24486922e.1999.021.3499).
- Mina-Uhink, F., 1957, Bosquejo Geológico del Territorio Sur de la Baja California: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 93(3), 141–269.
- Miranda-Martínez, A.Y., 2019, Edad de los depósitos marinos asociados a la evolución temprana del Golfo de California: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Estratigrafía y Paleontología, Tesis doctoral, 52 pp.
- Muñoz-Lumbier, M., 1919, Algunos datos sobre las islas mexicanas para contribuir al estudio de sus recursos naturales: Anales del Instituto Geológico de México, 7, 54 pp.
- Natland, M.L., 1950, Part IV Report on the Pleistocene and Pliocene Foraminifera, en Ch. A. Anderson; J.W. Durham; F.P. Shepard; M.L. Natland; R. Reville, (eds.), 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California: EUA, Geological Society of America, Memoir 43, 1–65. <https://doi.org/10.1130/MEM43-4-p1>.
- Monteforte, M., Cariño, M., 2009, El Mar de Cortés no existe: Biodiversitas CONABIO, 86, 12–15.
- Ortega, F., 1632, Descripción y demarcación de las Islas Californias (En línea): 500 años de México en documentos, [disponible en \[http://www.biblioteca.tv/artman2/publish/1630-1639_402/index.shtml\]](http://www.biblioteca.tv/artman2/publish/1630-1639_402/index.shtml).
- Pichardo-Hernández, H., 2001, La Comisión Científica Francesa y sus exploraciones en el territorio insular mexicano, 1864–1867: Revista Política y Cultura, (16), 125–142.
- Rio, D.; Sprovieri, R., 1994, Pliocene Standard Chronostratigraphy: A proposal: Subcommission on Neogene Stratigraphy Newsletter, 35–38.
- Rio, D., Sprovieri, R., Castradori, D., DiStefano, E., 1998, The Gelasian Stage (Upper Pliocene): A new unit of the global standard chronostratigraphic scale: Episodes, 21(2), 82–87. <https://doi.org/10.18814/epiuiugs/1998/v21i2/002>.
- Rodríguez de Montalvo, G., 1998, Las Sergas de Esplandián: España, Ed. Doce Calles, 116 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2001, Aviso mediante el cual se informa al público en general que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha concluido la elaboración del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California, asimismo se da a conocer el II Resumen del Programa de Manejo respectivo, el plano de localización y zonificación de dicha área: México, Diario Oficial de la Federación, Publicado el 17 de abril de 2001, [disponible en \[http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=767360&fecha=17/04/2001\]](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=767360&fecha=17/04/2001).
- Simpson, L.B., 1961, Journal of José Longinos Martínez: notes and observations of the Naturalist of the Botanical Expedition in Old and New California and the South Coast. 1791-1792. San Francisco: John Howell–Books, V-XVII, 103-114.
- Slevin, J.R., 1923, Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921: General Account: Proceedings of the California Academy of Sciences, 4th series, XII(6), 55–72.
- Tjeerd H. van A., Shor, Jr. G.G., 1964, Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium: EUA, American Association of Petroleum Geologists, 3, 408 pp. <https://doi.org/10.1306/M3359>.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2005, World Heritage Scanned Nomination: Islands and Protected Areas of the Gulf of California (En línea): Publicado el 15 de julio de 2005, [disponible en \[http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1182ter.pdf\]](http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1182ter.pdf), [consultado el 29 de septiembre de 2019](https://doi.org/10.22201/iih.24486922e.1999.021.3499).
- United States Hydrographic Office, 1887, The West Coast of Mexico and Central America. From the boundary line between the United States and Mexico to Panama, including the Gulf of California: USA, 84, 1–135.
- United States Hydrographic Office, R.C. Ray (comp.), 1893, The West coast of Mexico and Central America from the United States to Panama, including the gulfs of California and Panama (En línea): USA, Washington Government Printing Office, 84, 284 pp., [disponible en \[https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044080605256&view=1up&seq=7\]](https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044080605256&view=1up&seq=7), [consultado el 9 de abril de 2021](https://doi.org/10.22201/iih.24486922e.1999.021.3499).
- Velarde, E., 2005, Isla Rasa: espejo del Golfo de California: Biodiversitas, CONABIO, (58), 1–6.
- Velázquez de León, J., 1975, Descripción de la Antigua California: 1768. (Transcripción paleográfica, presentación y notas de Ignacio del Río Chávez): La Paz, Baja California Sur, H. Ayuntamiento de la Paz, B.C. Sur, Colección Cabildo, no. 2, 53 pp.
- Venegas, S.J.M., 1757, Noticia de la California y de su conquista temporal y espiritual hasta el tiempo presente, sacada de la historia manuscrita, formada en Mexico año de 1739. por el padre Miguél Venegas, de la compañía de Jesus; y de otras noticias, relaciones antiguas, y modernas. Añadida de algunos mapas particulares, y uno general de la America Septentrional, Asia Oriental, y Mar del Sur Intermedio, formado fobre las memorias mas recientes, y exactas, que fe publican juntamente: Dedicada al Rey N.tro Señor por la provincia de nueva España.-de la compañía de Jesus Tomo Segundo Con Licencia. En Madrid: Imprenta de la Viuda de Manuel Fernández y del Supremo Consejo de la Inquisición, 1757. (Reimpresión en México por Luis Álvarez de la Cadena, 1943), 568 pp. [disponible en http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcn0162](http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcn0162).
- Willis, B., 1912, Index to the Stratigraphy of North America, accompanied by a geological map of North America: EUA, Washington, Government Printing Office, United States Geological, Geological Survey of Canada, Instituto Geológico de México, supervisado por Bailey Willis y George W. Stose, paper 71, 894 pp. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.55642>.

Corals from the Early Cretaceous (?Late Valanginian – Aptian) of Puebla (Mexico): Family Solenocoeniidae

Corales del Cretáceo Temprano (?Valanginian tardío – Aptiano) de Puebla (México): Familia Solenocoeniidae

Löser, Hannes^{a,*}

^a Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Luis Donaldo Col. Los Arcos, Colosio S/N y Madrid, 83250 Hermosillo, Sonora, Mexico.

*loeser@paleotax.de

Abstract

The present contribution is the second instalment of a systematic revision of the Early Cretaceous corals of the area of San Juan Raya and San Antonio Texcala, Puebla, Mexico. The corals of the family Solenocoeniidae (superfamily Eugyroidea) are revised. The family is represented by the genera *Adelocoenia* (two species), *Cryptocoenia* (seven species), and *Pentacoenia* (eight species). The coral species show the most relationships to species from the Hauterivian of the Paris Basin.

Keywords: Corals, Cretaceous, Mexico, Puebla, Taxonomy.

Resumen

*Este trabajo es el segundo en una serie de revisiones sistemáticas de los corales del Cretácico Inferior de las áreas de San Juan Raya y San Antonio Texcala, Puebla, México. Se revisaron los corales de la familia Solenocoeniidae (superfamilia Eugyroidea). La familia se encuentra representada por los géneros *Adelocoenia* (dos especies), *Cryptocoenia* (siete especies) y *Pentacoenia* (ocho especies). Las especies de corales encontradas en el área de estudio muestran una fuerte relación con las encontradas en el Hauteriviano de la Cuenca de París.*

Palabras clave: corales, Cretácico, México, Puebla, taxonomía.

1. Introduction

The outcrop area in the south-eastern part of the Mexican state Puebla (southwest of the Tehuacán Valley) has been known for a long time as an extremely fossiliferous area, containing abundant shallow marine invertebrate fossil remains. Corals represent some of the most abundant body fossils, second only to molluscs (bivalves, gastropods). A first instalment of a systematic revision of the corals applying modern methods was published by Löser *et al.* (2013). Here, this revision is continued with a second contribution.

2. Study area

The study area is located in the Zapotitlán Basin (Martínez-Amador *et al.*, 2001). The area is limited on the east by Cenozoic deposits of the Tehuacán Valley, by the Pozo Hondo fault on the west (Mendoza-Rosales *et al.*, 2010), by the basement high consisting of the Cozahuico granite and Acatlán and Oaxaca metamorphic complexes on the South (Elías-Herrera and Ortega-Gutiérrez, 2002), and by the Albian and Cenomanian platform deposits on the north (Calderón-García, 1956). The depositional environment of the Zapotitlán Basin consists of a mixed

marine sedimentary system with syndimentary faults in an extensive regime (Mendoza-Rosales, 2010).

3. Stratigraphy

The stratigraphy was already discussed in Löser *et al.* (2013). Generally, a Barremian age for the Zapotitlan Formation and an Aptian age for the San Juan Raya Formation was accepted, but never supported by proper biostratigraphic data. More recent studies (González León *et al.*, 2015) have revealed that at least some parts of the San Juan Raya Formation are older and may have an Upper Valanginian to Lower Hauterivian age. The most examined coral material from this formation – the Aguilar collection – does not derive from a specific point, but rather from the area of San Juan Raya. Newly collected material could be partially better constrained in age. Nevertheless, the Aguilar collection comprises a large amount of the available coral material, therefore should not be neglected just because its uncertain provenance.

Nearly fifty coral genera could be found amongst the coral material of the San Juan Raya Formation, for which a critical stratigraphic range is available in Löser (2016). When the ranges of these genera are summarised and compared to the summarised ranges of all Cretaceous coral genera, it seems that the corals of the San Juan Raya Formation represent an Aptian age (Figure 1) but the Aptian is – compared to other stages – very rich in genera. When the proportion of the genera found in the San Juan Raya Formation is compared to the total number of genera, a peak can be found in the Hauterivian (Figure 1, blue percentage line). Therefore, the coral fauna supports the new age assignment. A Valanginian age cannot be excluded, but coral faunas of this period are hardly available for comparison. Thus, the real first occurrence of coral genera found in Hauterivian coral localities may be earlier. A Barremian age and even Aptian also cannot be excluded based on coral data. The coral faunas of the Hauterivian to Albian are taxonomically very similar and represent a comparable faunal inventory.

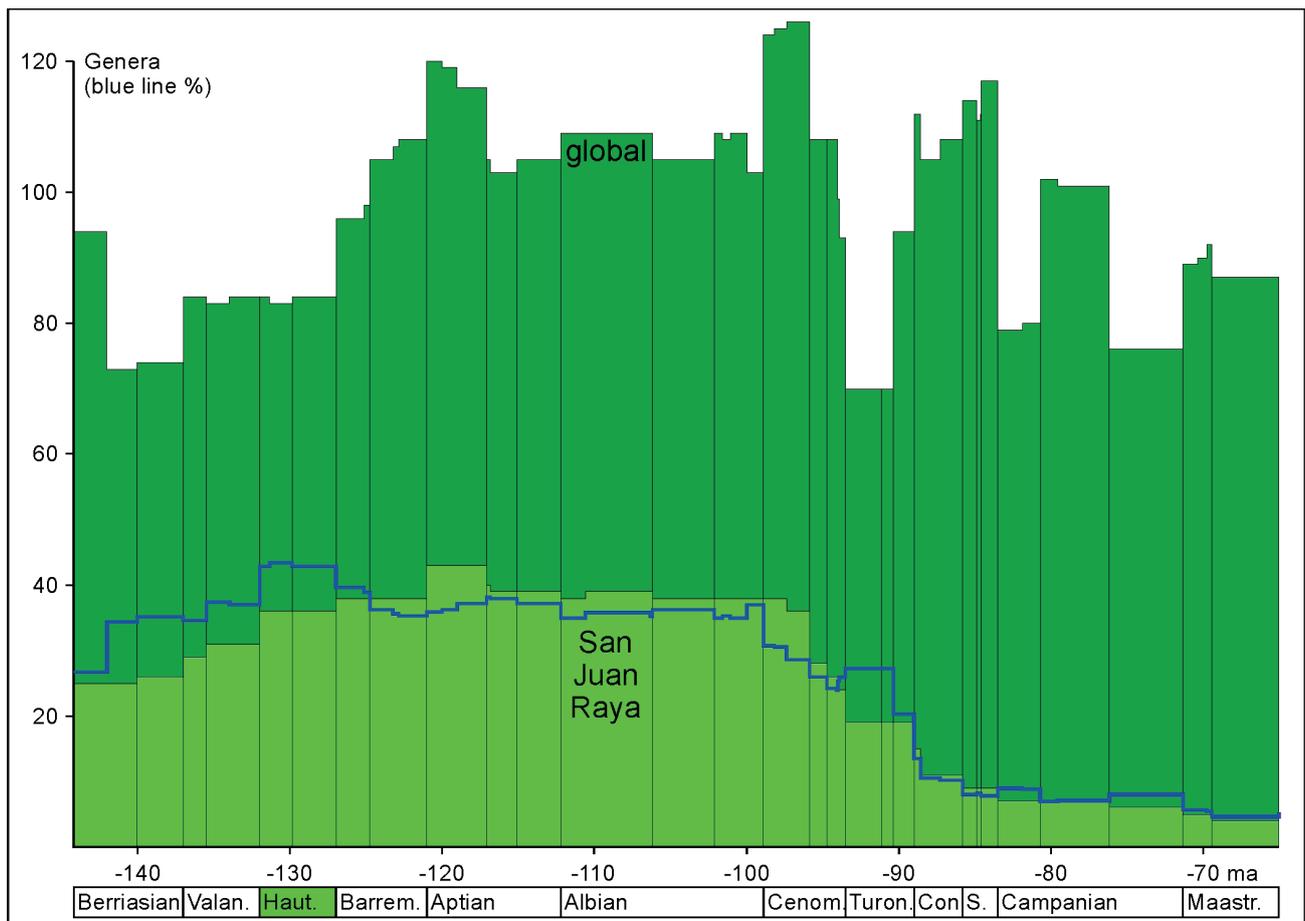


Figure 1. Summarised ranges of all coral genera (dark green) and coral genera from the San Juan Raya area (light green). The blue line marks the percentage of San Juan Raya genera of the total number. A Hauterivian for the San Juan Raya coral fauna age seems to be possible. Ranges of genera mainly follow Löser (2016).

4. Outcrop areas and localities

The coral samples come from four outcrop areas close to the road from Tehuacán to Santiago Chazumba (Figure 2).

(1) San Antonio Texcala.

The riverbed north of San Antonio Texcala sediments of the Zapotitlán Fm (Barremian) is exposed. The material described by Felix (1891) is supposedly from here, see Löser (2006) for more explanations.

(2) San Lucas Teteletitlán.

Outcrop area located to the north of San Lucas Teteletitlán, containing sediments of the upper San Juan Raya Fm and probably having an Aptian age.

(3) San Juan Raya.

A large area with several riverbeds with well exposed sections and rich fossil material. All belong to the San Juan Raya Fm (Late Valanginian to Early Hauterivian for the moment). The sample material comes mainly from the historic Aguilera collection without an exact sample location, but there are also more recent collections.

(4) Atecoxco.

East of Atecoxco the La Compañía section (Mendoza-Rosales, 2010) yielded rich coral material in several beds. The section is preliminarily assigned to the Zapotitlán Fm and ranges from the Late Barremian (sample point CIA 26) to the Early Aptian (sample points AC 89, CIA 45, CIA 48, CIA 56, CIA 58).

Coral colonies are always small. Most colonies have a diameter of 5 cm, colonies larger than 10 cm are rare. The corals do not form bioconstructions, there are only found in limestone banks that are intercalated in the generally

marly-silty sediments of the San Juan Raya Formation, see Löser *et al.* (2013). Locally, corals are concentrated on small mounds that were probably slightly elevated above the sea floor.

5. Methods

Coral specimens were cut and polished. Thin sections in both transversal and longitudinal orientation were prepared where possible. Thin sections were scanned by passing light through them using a flatbed scanner with an optical resolution of 6400 dpi. Scanned images were then transferred to grey scale bit maps. Their quality was amended by histogram contrast manipulation (contrast stretching) where possible.

In order to gain more insight into the intraspecific variation of fossil corals and to obtain a better strategy for comparing species, calicular dimensions of one or two thin sections of each species were systematically measured. To achieve statistical significance, the largest number of possible measurements was taken. This number was mainly determined by the size and quality of the thin section and the size of the single corallites in relation to the size of the thin sections.

For each type of measurement (here mainly the calicular diameter) in one thin section, the following values were obtained:

- n number of measurements.
- min–max lowest and highest measured values.
- μ arithmetic mean (average).
- s standard deviation.
- v coefficient of variation according to K. Pearson.
- $\mu \pm s$ first interval.

Thin sections were measured and values were calculated using the Palaeontological Database System PaleoTax, module PaleoTax/Measure (www.paleotax.de/measure); for details on the mathematical background, see Löser (2012). Characters visible on the fossils were compared against those on specimens in worldwide fossil coral collections and an associated image database (27250 specimens, approximately 15500 illustrated, located in the Estación Regional de Noroeste (ERNO), Sonora, Mexico). Data storage and processing were carried out using the PaleoTax database program (Löser, 2004).

To compare the studied fauna with other coral faunas outside the study area, a computer database of about 2700 worldwide coral localities with coral indications was used (Löser *et al.*, 2002, 2005). To simplify the analysis, localities of the same age located in the same basin, on the same continental margin or the same interoceanic platform were grouped together into one palaeo-province, a type of large faunule, *sensu* Johnson (2007). Altogether, this produced 310 provinces of Cretaceous age. Only firmly dated localities were assigned to a province to ensure that the following analysis is valid, and the studied localities

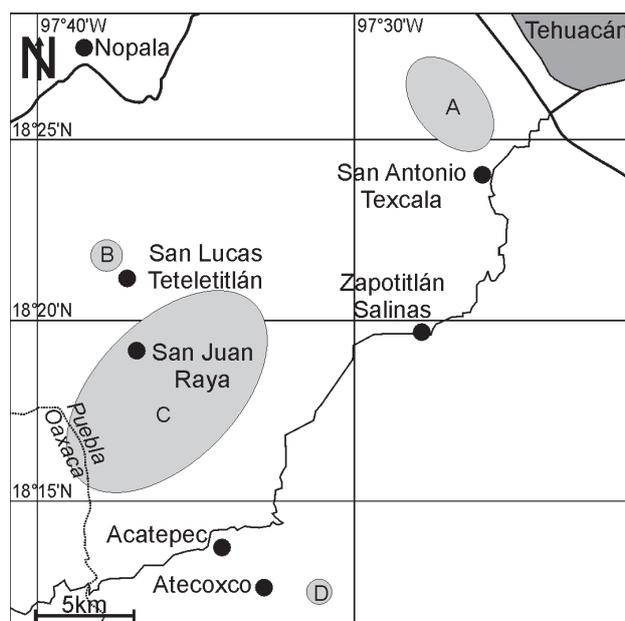


Figure 2. A, Study area, region of San Antonio Texcala; B, San Lucas Teteletitlán; C, San Juan Raya; D, La Compañía section.

were not included in any existing province. For the study area, independent provinces were created to allow a clear comparison between the existing provinces and the new material. Interregional comparisons were carried out between the new provinces and existing provinces having at least three species in common with the fauna of the studied area. For details, see also Löser (2008) and Löser and Minor (2007).

The following abbreviations are used to describe the dimensions of the corals:

ccd, distance between calicular centres (mm).

clmin, smaller calicular diameter (calicular pit; mm).

clmax, smaller calicular diameter (calicular pit; mm).

The abbreviations used in the synonymy lists follow Matthews (1973):

*, earliest valid publication of the species name.

p, the reference applies only in part to the species under discussion.

v, the specimen was observed by the author.

Collection abbreviations as follows: ERNO, Estación Regional de Noroeste, UNAM (Hermosillo, Mexico); GPSL, Geologische und Paläontologische Sammlung der Universität Leipzig (Germany); IGM, Instituto de Geología, UNAM (Mexico City, Mexico).

6. Systematic palaeontology

Order Scleractinia Bourne, 1900

As explained in many previous publications (Löser *et al.*, 2018; Löser and Heinrich, 2018) the classification of the order Scleractinia into suborders is neither practical nor possible. It was therefore proposed to apply superfamilies

in place of suborders (Löser, 2016). Twenty-seven superfamilies with 56 families (or informal groups) are distinguished that have a range in the Cretaceous. In contrast to former classification systems based on suborders, the superfamilies may constitute monophyletic groups.

Superfamily Eugyroidea Achiardi, 1875

The superfamily encompasses only colonial (cerioid, flabelloid, hydnothoroid, meandroid, phaceloid, plocoid) corals. The septa are compact. The septal symmetry is generally regular in various systems or in size order. The septal microstructure is poorly known and probably consists of small trabeculae. Synapticulae and pali are absent. A columella is rare. The tabular endotheca is always well developed. The wall is compact, parathecal, septothecal, or paraseptothecal. The families are separated by their corallite arrangement: flabelloid, hydnothoroid and meandroid in the Eugyridae and felixigyrids; phaceloid in the Cladophylliidae; plocoid and cerioid in the Solenocoeniidae. The superfamily ranges from the Middle Jurassic to the Cretaceous. Its occurrence from the Turonian on is questionable.

Family Solenocoeniidae Roniewicz, 2008

The Late Jurassic to Early Cretaceous coral family encompasses nine genera. The first member of the family appeared in the Middle Jurassic, another four in the Late Jurassic and the remaining four genera in the Early Cretaceous (Figure 3). The genera of the family belong to the most common genera in the fossil record of the Late Jurassic and Cretaceous, up to the Cenomanian, when the family became extinct. According to the literature, the family encompasses approximately 200 species, most of them

Septal symmetry	Coenosteum	Perithecal connections	Genus (Range)
Trimeral			<i>Cyathophoropsis</i> (Aptian - Early Albian)
Tetrameral			<i>Holocystis</i> (Barremian - Early Albian)
Pentameral			<i>Pentacoenia</i> (Late Valanginian - Early Cenomanian)
Hexameral / Decameral	Coenosteum with isolated trabeculae		<i>Pseudocoeniopsis</i> (Oxfordian - Kimmeridgian)
	Coenosteum without isolated trabeculae	With perithecal connections	<i>Solenocoenia</i> (Oxfordian - Valanginian)
		Without perithecal connections	<i>Cryptocoenia</i> (Bathonian - Cenomanian)
Octameral			<i>Adelocoenia</i> (Oxfordian - Early Aptian)
Bilateral			<i>Bilaterocoenia</i> (Middle Oxfordian - Early Valanginian)
Irregular			<i>Confusaforma</i> (Valanginian - Cenomanian)

Figure 3. Classification of the family Solenocoeniidae.

in the genus *Cryptocoenia* Orbigny, 1849 (130 species). However, a critical revision of type material yielded about 35 species for this genus.

The family gathers exclusively cerioid and plocoid genera that are all characterised by relatively short septa and the general absence of a columella (except in *Pseudocoeniopsis* Roniewicz, 1976). The skeletal morphology varies little within the family: the corallites are small (less than 10 mm in diameter) with short septa in a regular symmetry. The septa are not connected to each other. The coenosteum is mostly narrow. The endotheca is well developed. The genera are distinguished by their septal symmetry, and the formation of the coenosteum.

For this material, the literature applies the family name Cyathophoridae. The systematic position of the genus *Cyathophora* Michelin, 1843 is unknown. The type of the type species *C. richardi* Michelin, 1843 is poorly preserved. It differs in one characteristic clearly from the Solenoeniidae: it has long septa that are connected to each other. The studies published by Zaman and Lathuilière (2014) and Morycowa and Roniewicz (2016) are based on a conceptual idea, rather than on the type material.

Genus *Adelocoenia* Orbigny, 1849

Type species. *Astrea castellum* Michelin, 1844.

Remarks. The genus shows an octamerale septal symmetry. It is more common in the Late Jurassic. In previous literature, the name *Pseudocoenia* is applied to comparable material. This genus cannot be used anymore for plocoid corals of the Solenoeniidae with an octamerale septal symmetry because the type species of *Pseudocoenia* belongs to the genus *Alloiteucoenia* or vice versa, see the discussion in Löser *et al.* (2021).

Adelocoenia micrommatos (Felix, 1891)

*v 1891 *Cryptocoenia micrommatos* Felix, p. 154, pl. 24, fig. 5, 5 a–b.

v 2006 *Pseudocoenia micrommatos* (Felix, 1891). Löser, p. 20, fig. 2B, C.

Material examined. GPSL FLX 2102.

Dimensions.

(GPSL FLX 2102)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu \pm s$
clmin	25	0.92–1.18	1.04	0.08	8.4	0.95–1.12
clmax	25	1.09–1.41	1.24	0.09	7.6	1.14–1.33
ccd	30	1.52–2.28	1.83	0.19	10.4	1.64–2.02
septa	8+8					

Remarks. The species was presented in larger detail in Löser (2006).

Other occurrences. Late Jurassic of the western (France) and central Tethys (Germany).

Adelocoenia poblana (Reyeros Navarro, 1963)

*v 1963 *Procyathophora poblana* Reyeros Navarro, p. 9, pl. 3, fig. 4.

Material examined. IGM 1204.

Dimensions.

(IGM 1204)

clmin	1.2–1.3 mm
clmax	1.4–1.5 mm
ccd	1.5–2 mm
septa	8+8

Remarks. The type is poorly preserved and not sectioned. Systematic measurements could not be carried out.

Other occurrences. Late Jurassic of the central (Germany) and western Tethys (Spain).

Genus *Cryptocoenia* Orbigny, 1849

Type species. *Astrea alveolata* Goldfuss, 1826

Remarks. The genus shows a hexamerale or decamerale septal symmetry. The genus is very common from the Late Jurassic to early Late Cretaceous and counts, as mentioned above, with a high number of species. The species of the study area are summarised in Figure 4.

Septal cycles	Small corallite diameter	Species
2	1.3 - 1.6 mm	<i>Cryptocoenia desori</i>
	2.1 - 2.3 mm	<i>Cryptocoenia incerta</i>
	2.4 - 2.6 mm	<i>Cryptocoenia regularis</i>
3	1.8 - 1.9 mm	<i>Cryptocoenia antiqua</i>
	2.3 - 2.6 mm	<i>Cryptocoenia annae</i>
	2.7 - 2.9 mm	<i>Cryptocoenia aguilerai</i>
	3.0 - 3.3 mm	<i>Cryptocoenia jacobi</i>

Figure 4. Distinction of the species of the genus *Cryptocoenia* within the study area.

Cryptocoenia aguilerai (Reyeros Navarro, 1963)

*v 1963 *Procyathophora aguilerai* Reyeros Navarro, p. 8, pl. 3, fig. 3, 5.

v 2016 *Cryptocoenia aguilerai* (Reyeros Navarro, 1963). Löser and Zell, p. 14, fig. 5.1–3. [= here detailed synonymy].

Material examined. IGM 1199, IGM 6833, IGM 6834.

Dimensions

(IGM 1199)

clmin	2.5–3 mm
clmax	2.7–3.2 mm
septa	6+6+12

Remarks. IGM 1199 and 6833 are the holotype and paratype of *Procyathophora aguilerai* Reyeros Navarro, 1963. The material is not sectioned, making difficult a comparison to other material. Systematic measurements could not be carried out.

Other occurrences. Tithonian to Middle Cenomanian of the western (France, Spain) and central Tethys (Czech Republic, Germany, Greece), and the European Boreal (England).

Cryptocoenia annae (Volz, 1903)

Figure 5, A–B

- * 1903 *Cyathophora annae* Volz, p. 26, pl. 4, fig. 9–13.
- v 2016 *Cryptocoenia annae* (Volz, 1903). Löser and Zell, p. 14, fig. 5.4–6 [= here detailed synonymy].

Material examined. ERNO L-4412, L-7481, L-7480, L-7481, L-7482, IGM 1201, 9241, 9267; 7 thin sections.

Dimensions.

(IGM 9241)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	10	2.38–2.78	2.53	0.14	5.5	2.39–2.67
clmax	10	2.36–2.90	2.58	0.16	6.4	2.41–2.75
ccd	15	2.40–3.18	2.76	0.24	8.8	2.52–3.01
septa	6+6+12					

Other occurrences. Hauterivian to Early Cenomanian of the European Boreal (France), western (Spain), central (Romania, Serbia) and eastern Tethys (Iran).

Cryptocoenia antiqua Orbigny, 1850

Figure 5, C–E

- * 1850 *Cryptocoenia antiqua* Orbigny, (2), p. 92.
- v 1964 *Cyathophora steinmanni* Fritzsche 1924. Morycowa, p. 24, pl. 3, fig. 2, pl. 5, fig. 2, 3.
- vp 1996 *Pentacoenia elegantula* d'Orbigny, 1850. Baron-Szabo and Steuber, p. 8, pl. 3, fig. 3.
- v 1996 *Pseudocoenia annae* (Volz, 1903). Baron-Szabo and Steuber, p. 8, pl. 2, fig. 1.
- v 2010 *Cryptocoenia atempa* (Felix, 1891). Löser, p. 591, fig. 3.4.
- v 2013 *Cryptocoenia bulgarica* (Toula, 1884). Löser, Werner and Darga, p. 64, pl. 9, fig. 2–3.
- v 2016 *Cryptocoenia atempa* (Felix, 1891). Löser and Zell, p. 15, fig. 5.7–9.

Material examined. ERNO L-7118, L-7486; 3 thin sections.

Dimensions.

(ERNO L-7118)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	10	1.65–1.94	1.82	0.1	5.5	1.72–1.92
clmax	10	1.72–2.13	1.91	0.12	6.5	1.78–2.03
ccd	10	3.83–5.14	4.48	0.41	9.2	4.07–4.90
septa	6+6+12					

Other occurrences. Hauterivian to Cenomanian of the European Boreal (France), central (Germany, Greece, Poland) and western Tethys (France, Spain).

Cryptocoenia desori (Koby, 1897)

Figure 5, F–H

- *v 1897 *Convexastraeta desori* Koby, p. 30, pl. 2, fig. 9, 10.
- v 2010 *Cryptocoenia desori* (Koby, 1897). Löser, Castro and Nieto, p. 323, fig. 3.12 [= here detailed synonymy].

Material examined. ERNO L-7490, IGM 9256; 2 thin sections.

Dimensions.

(IGM 9256)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	30	1.17–1.69	1.42	0.14	10	1.28–1.56
clmax	30	1.44–1.92	1.64	0.13	8	1.51–1.78
ccd	30	1.10–2.04	1.49	0.24	16.2	1.24–1.73
septa	6+6					

Other occurrences. Barremian to Cenomanian, worldwide.

Cryptocoenia incerta Achiardi, 1880

Figure 6, A–C

- *v 1880 *Cryptocoenia ?incerta* Achiardi, p. 298, pl. 20, fig. 4 + p. 275.
- v 2010 *Cryptocoenia bulgarica* (Toula, 1884). Löser, p. 592, fig. 3.5 [= here detailed synonymy (as *C. bulgarica*)].

Material examined. ERNO L-7244, IGM 9221; 3 thin sections.

Dimensions.

(IGM 9221)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	10	1.83–2.83	2.32	0.3	12.9	2.02–2.62
clmax	10	2.72–2.99	2.83	0.09	3.2	2.74–2.93
ccd	20	2.26–3.73	3.05	0.45	14.9	2.59–3.50
septa	6+6					

Remarks. After examination of the type material of *Cryptocoenia incerta* it was found that material formerly assigned to *C. bulgarica* (Toula, 1884) at least partly belongs to *C. incerta*.

Other occurrences. Late Jurassic to Cenomanian, worldwide.

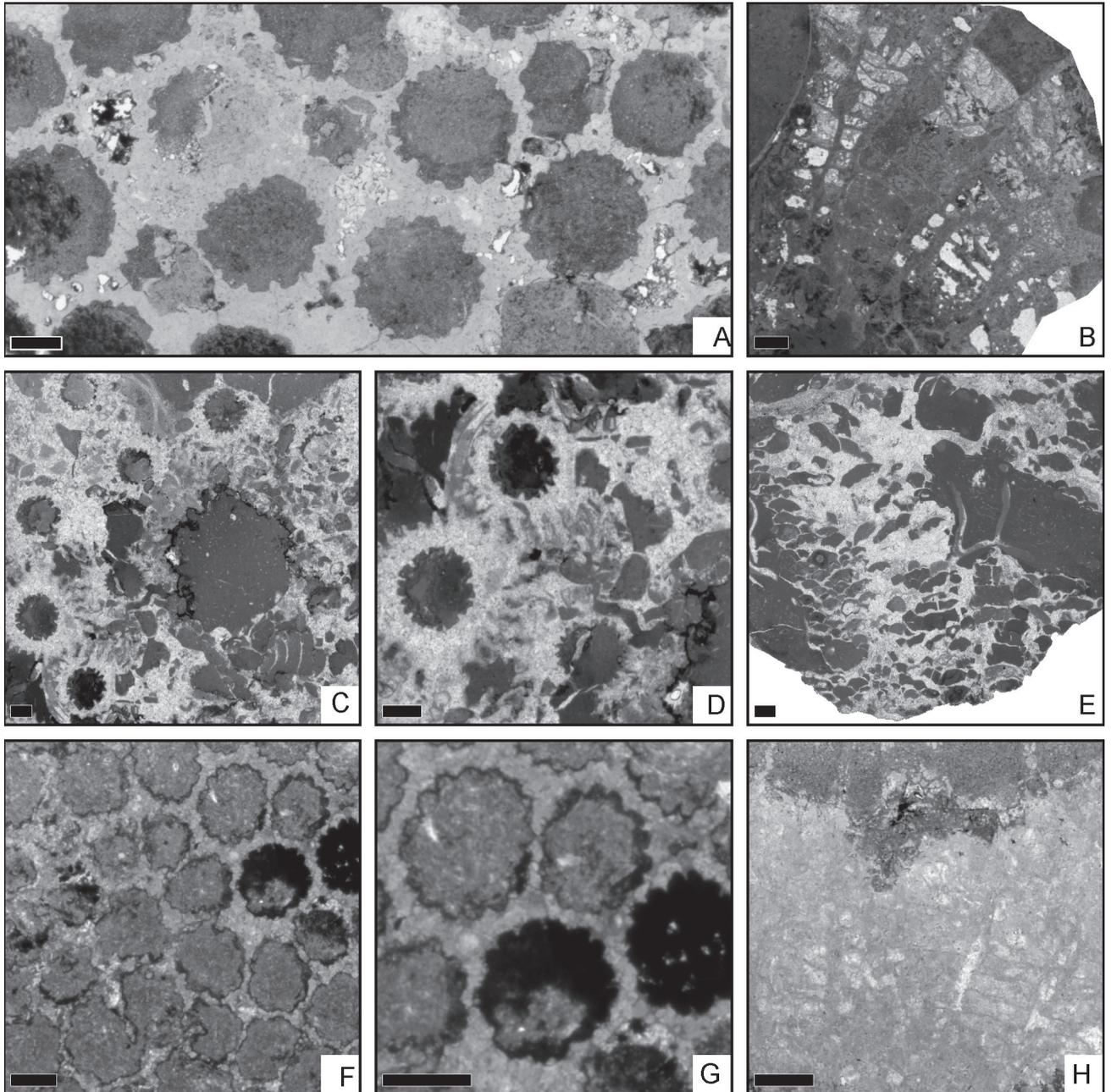


Figure 5. A–B, *Cryptocoenia annae* (Volz, 1903), IGM 9241.

A, transversal peel.

B, longitudinal thin section.

C–E, *Cryptocoenia antiqua* Orbigny, 1850, ERNO L-7118.

C, transversal thin section.

D, transversal thin section, detail.

E, longitudinal thin section.

F–H, *Cryptocoenia desori* (Koby, 1897), IGM 9256.

F, transversal thin section.

G, transversal thin section, detail.

H, longitudinal thin section.

Scale bar 1 mm.

Cryptocoenia jacobi (Alloiteau, 1948)

Figure 6, D–E

- *v 1948 *Cyathophora jacobi* Alloiteau, p. 722, pl. 27, fig. 1, 7, 8.
 v 2018 *Cryptocoenia jacobi* (Alloiteau, 1948). Löser, Steuber and Löser, p. 49, pl. 7, fig. 4–6 [= here detailed synonymy].

Material examined. ERNO L-7239, IGM 1197, IGM 9270; 1 thin section.

Dimensions.

(ERNO L-7239)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	10	2.61–3.71	3.11	0.41	13.3	2.70–3.53
clmax	10	2.95–4.10	3.46	0.36	10.5	3.09–3.82
ccd	15	3.33–4.82	3.96	0.42	10.6	3.54–4.38
septa	6+6+12					

Other occurrences. Tithonian to Cenomanian of the western (France, Spain), central (Czech Republic) and eastern Tethys (India, Iran), and the European Boreal (England, France).

Cryptocoenia regularis (Fromentel, 1884)

Figure 6, F–G

- vp 1881 *Convexastrea bachmanni* Koby. Koby, p. 103, pl. 23, fig. 5.
 vp 1881 *Convexastrea meriani* Koby. Koby, p. 102, pl. 23, fig. 1–4.
 *v 1884 *Cyathophora* (*Cyathocoenia*) *regularis* Fromentel, p. 540, pl. 149, fig. 2.
 v 1897 *Cryptocoenia picteti* Koby, p. 32, pl. 2, fig. 11, 11a.
 v 1966 *Adelocoenia bachmanni* Koby. Beauvais, p. 992, pl. 2, fig. 1.

Material examined. ERNO L-7243, GPSL FLX 2090; 1 thin section.

Dimensions.

(ERNO L-7243)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	20	2.23–3.02	2.53	0.26	10.5	2.27–2.80
clmax	20	2.63–3.45	3.08	0.23	7.6	2.84–3.32
ccd	15	2.72–4.43	3.66	0.43	11.7	3.23–4.09
septa	6+6					

Other occurrences. Late Jurassic to Middle Albian of the European Boreal (France), the western Tethys (France, Spain), and the western Atlantic (Mexico).

Genus *Pentacoenia* Orbigny, 1850**Type species.** *Pentacoenia elegantula* Orbigny, 1850**Remarks.** The genus shows a pentameral septal

symmetry. The genus occurs rarely in the Early Cretaceous and Early Cenomanian, but is more common from the Hauterivian to Early Aptian. Currently, only five species are assigned to the genus. For three of them, type material is available. About 15 species reaching from the Late Valanginian to Early Cenomanian can be distinguished based on sample material. For this reason, a number of species in open nomenclature are reported from the study area. The creation of new species might be necessary in the future. The species of the study area are summarised in Figure 7.

Septal cycles	Small corallite diameter	Species
2	1.4 - 1.5 mm	<i>P. pulchella</i>
	1.6 - 1.8 mm	<i>P. atempa</i>
	1.8 - 1.9 mm	<i>P. sp. 1</i>
	2.0 - 2.1 mm	<i>P. sp. 2</i>
	2.2 - 2.3 mm	<i>P. sp. 3</i>
	2.8 - 3.0 mm	<i>P. tombecki</i>
3	1.0 - 1.2 mm	<i>P. sp. 4</i>
	1.6 - 2.0 mm	<i>P. elegantula</i>

Figure 7. Distinction of the species of the genus *Pentacoenia* within the study area.

Pentacoenia atempa (Felix, 1891)

Figure 6, H

- v 1889 *Cryptocoenia* (?) spec. - Toula, p. 83.
 *v 1891 *Cyathophora atempa* Felix, p. 155, pl. 25, fig. 7, 8.
 v 1998 *Pentacoenia pulchella* d'Orbigny, 1850. Morycowa and Masse, p. 744, fig. 13.1.

Material examined. GPSL FLX 1994.

Dimensions.

(GPSL FLX 1994)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	10	1.62–1.83	1.75	0.06	3.6	1.69–1.82
clmax	10	1.79–2.15	1.94	0.11	5.7	1.83–2.06
ccd	10	1.73–2.65	2.21	0.29	13.1	1.92–2.51
septa	5+5					

Other occurrences. Hauterivian to Early Albian of the European Boreal (France), the western (France, Spain) and central Tethys (Bulgaria, Greece).

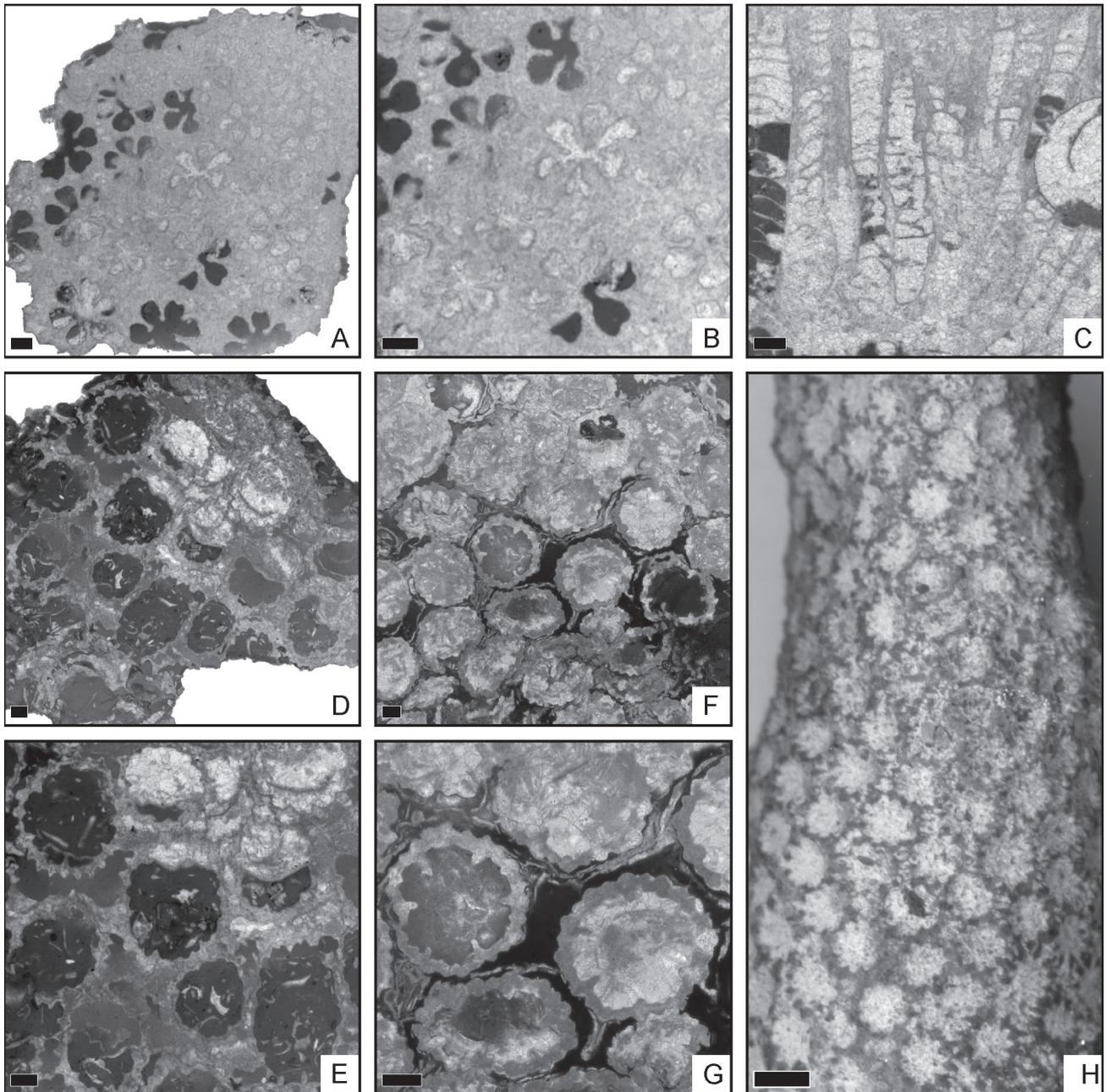


Figure 6. A–C, *Cryptocoenia incerta* Achiardi, 1880, IGM 9221.

A, transversal thin section.

B, transversal thin section, detail.

C, longitudinal thin section.

D–E, *Cryptocoenia jacobi* (Alloiteau, 1948), ERNO L-7239

D, transversal thin section.

E, transversal thin section, detail.

F–G, *Cryptocoenia regularis* (de Fromentel, 1884), ERNO L-7243.

F, transversal thin section.

G, transversal thin section, detail.

H, *Pentacoenia atempa* (Felix, 1891), Lectotype of *Cyathophora atempa*, GPSL FLX 1994, coral surface.

Scale bar 1 mm.

Pentacoenia elegantula Orbigny, 1850
Figure 8, A–C

- * 1850 *Pentacoenia elegantula* Orbigny, (2), p. 92.
1857 *Pentacoenia elegantula* .- Fromentel, p. 51, pl. 7, fig. 6, 7.
- v 1964 *Pentacoenia pulchella* d'Orbigny, 1850. Morycowa, p. 33, text-fig. 3 b, pl. 6, fig. 5, pl. 7, fig. 2, 3.
- v 1971 *Pentacoenia pulchella* d'Orbigny, 1850. Morycowa, p. 43, text-fig. 6e, pl. 6, fig. 2, 3.
- vp 1996 *Pentacoenia elegantula* d'Orbigny, 1850. Baron-Szabo and Steuber, p. 8, pl. 3, fig. 3.
- v 1996 *Pentacoenia tombecki* Fromentel, 1857. Baron-Szabo and Steuber, p. 9, pl. 2, fig. 5.

Material examined. SLD 120601; 2 thin sections.

Dimensions

(ERNO L-120601)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	30	1.37–2.05	1.71	0.18	10.9	1.52–1.90
clmax	30	1.40–2.10	1.72	0.19	11.4	1.52–1.91
ccd	30	1.95–3.02	2.43	0.26	11	2.16–2.70
septa	10	12–19	16.6	2.27	13.6	14–19

Other occurrences. Hauterivian to Early Aptian of the European Boreal (France), the central Tethys (Greece, Romania), and the western Atlantic (Mexico).

Pentacoenia pulchella Orbigny, 1850
Figure 8, D–F

- * 1850 *Pentacoenia pulchella* Orbigny, (2), p. 92.
- vp 1996 *Pentacoenia elegantula* d'Orbigny, 1850. Baron-Szabo and Steuber, p. 8, pl. 3, fig. 3.
- v 2010 *Pentacoenia* aff. *elegantula* d'Orbigny, 1850. Löser, p. 598, fig. 3.12.

Material examined. IGM 9239; 2 thin sections.

Dimensions.

(IGM 9239)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	20	1.11–1.53	1.29	0.13	10.4	1.15–1.42
clmax	20	1.09–1.68	1.38	0.16	11.5	1.22–1.54
ccd	20	1.29–2.07	1.66	0.23	14.3	1.43–1.90
septa	10	10–15	12	2.1	17.5	10–14

Other occurrences. Hauterivian to Early Albian of the European Boreal (France), central (Greece) and the western Tethys (France), and western Atlantic (Mexico).

Pentacoenia tombecki Fromentel, 1857
Figure 9, A–B

- * 1857 *Pentacoenia tombecki* Fromentel, p. 51.
- v 1983 *Cyathophora haysensis* Wells, 1932. Reyeros de Castillo, p. 15, pl. 2, fig. 3, pl. 3, fig. 1.

Material examined. IGM 9272; 1 thin section.

Dimensions.

(IGM 9272)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	20	2.41–3.30	2.78	0.22	8.1	2.55–3.01
clmax	20	2.82–3.95	3.38	0.28	8.4	3.10–3.67
ccd	20	2.59–3.62	3.19	0.27	8.7	2.91–3.47
septa	10–14					

Other occurrences. Early Hauterivian of the European Boreal (France).

Pentacoenia sp. 1

Figure 9, C–D

Material examined. IGM 9273; 1 thin section.

Dimensions.

(IGM 9273)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu\pm s$
clmin	20	1.53–2.17	1.86	0.18	9.9	1.67–2.05
clmax	20	1.92–2.29	2.09	0.09	4.7	2.00–2.19
ccd	20	2.79–3.74	3.14	0.26	8.4	2.87–3.41
septa	10	9–15	10.5	2.01	19.1	8–13

Other occurrences. Early Hauterivian of the European Boreal (France).

Pentacoenia sp. 2

Figure 8, G–I

- v 2001 *Pentacoenia pulchella* d'Orbigny 1850. Löser, p. 43, pl. 2, fig. 1.
- v 2001 *Pentacoenia* sp. - Löser, p. 43, pl. 2, fig. 3.
- v 2001 *Pentacoenia tombecki* de Fromentel 1857. Löser, p. 43, pl. 2, fig. 2.
- v 2016 *Pentacoenia* sp. - Löser, fig. P41abc.

Material examined. IGM 9229, 9268; 3 thin sections.

Dimensions.

(IGM 9229)

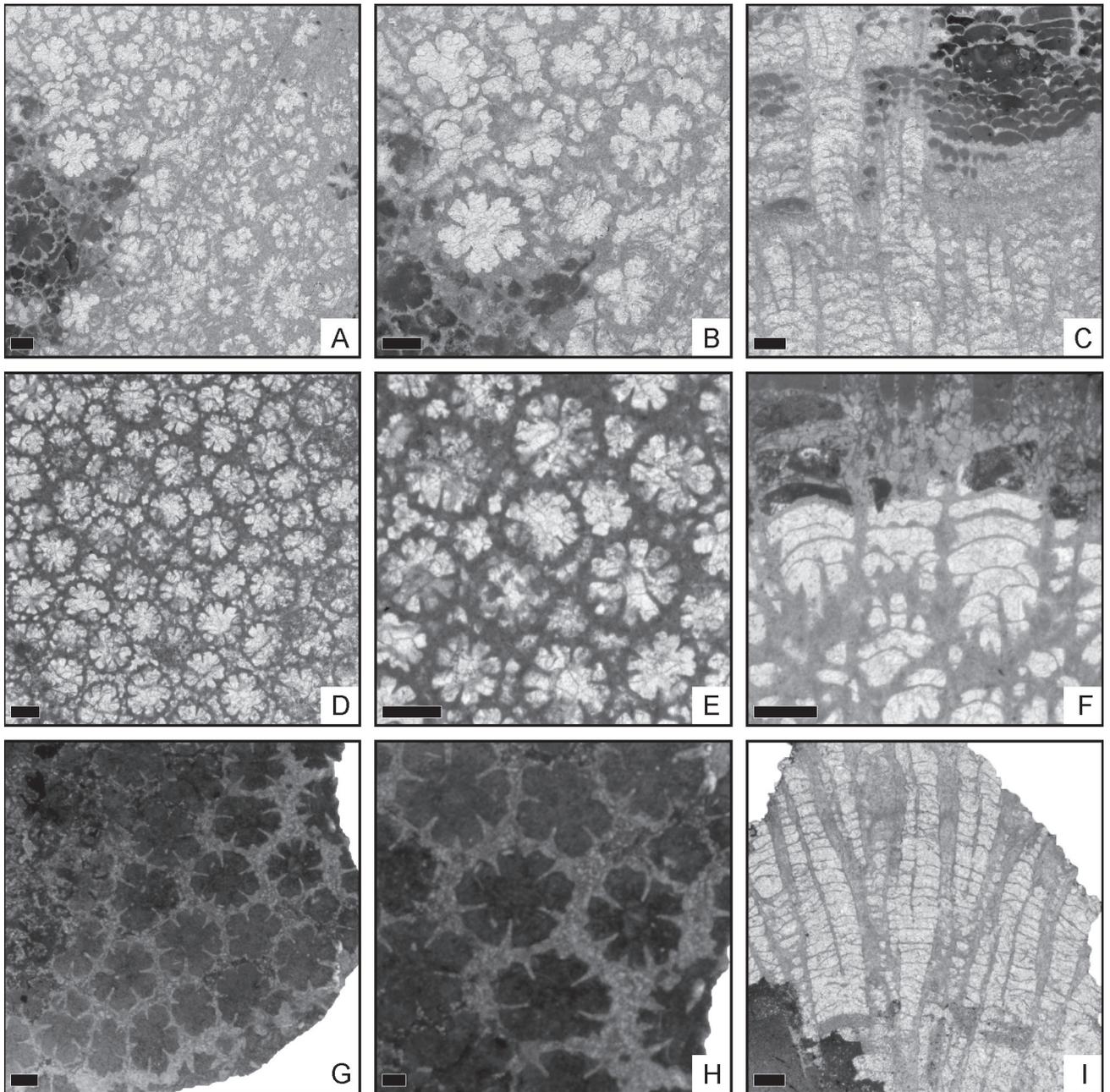


Figure 8. A–C, *Pentacoenia elegantula* Orbigny, 1850, ERNO L-120601.

A, transversal thin section.

B, transversal thin section, detail.

C, longitudinal thin section.

D–F, *Pentacoenia pulchella* Orbigny, 1850, IGM 9239.

D, transversal thin section.

E, transversal thin section, detail.

F, longitudinal thin section.

G–I, *Pentacoenia* sp., IGM 9229.

G, transversal thin section.

H, transversal thin section, detail.

I, longitudinal thin section.

Scale bar 1 mm.

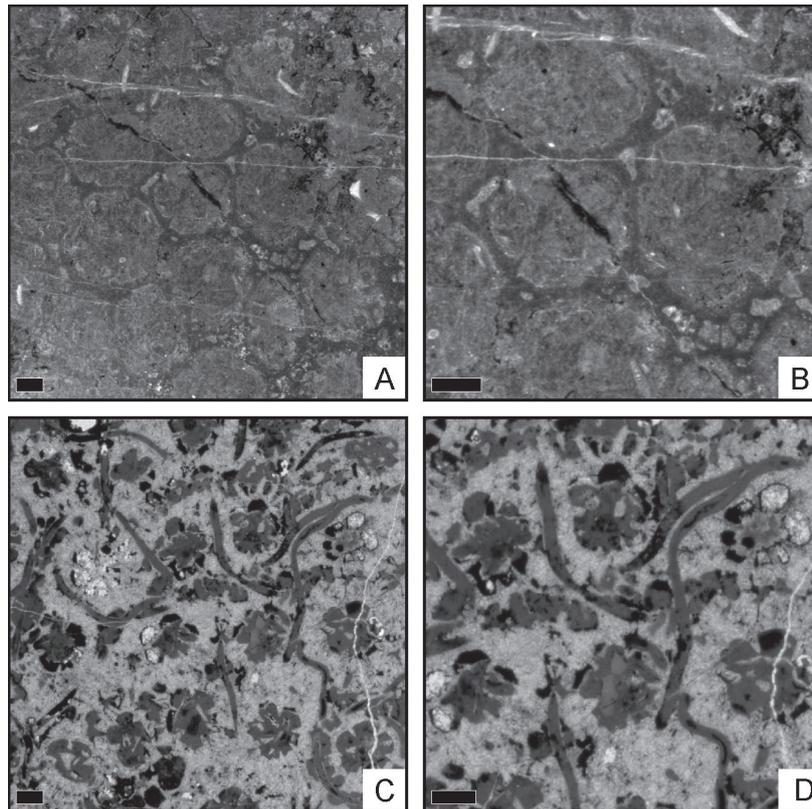


Figure 9. A–C, *Pentacoenia tombecki* de Fromentel, 1857, IGM 9272.

A, transversal thin section.

B, transversal thin section, detail.

C–D, *Pentacoenia* sp., IGM 9273.

C, transversal thin section.

D, transversal thin section, detail.

Scale bar 1 mm.

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu \pm s$
clmin	30	1.65–2.41	1.99	0.19	9.5	1.80–2.18
clmax	30	1.90–2.66	2.3	0.18	8	2.12–2.49
ccd	30	1.69–3.13	2.27	0.37	16.5	1.89–2.65
septa	10	8–11	10	0.94	9.4	9–11

Other occurrences. Hauterivian to Early Aptian of the European Boreal (France) and the central Tethys (Greece).

Pentacoenia sp. 3

Figure 10, A

Material examined. IGM 1195.

Dimensions.

(IGM 1195)

	n	min-max	μ	s	cv	$\mu \pm s$
clmin	9	2.08–2.72	2.36	0.21	9	2.15–2.58
clmax	9	2.36–2.96	2.69	0.25	9.6	2.44–2.95
ccd	7	2.39–3.63	2.99	0.39	13.2	2.59–3.38
septa	5+5					

Remarks. According to Reyeros Navarro (1963), IGM 1195 is the type specimen of *Stylina vaughani*. The present specimen with number 1195 is not identical to the illustration in Reyeros Navarro (1963) and belongs to the genus *Pentacoenia*. The specimen IGM 1194, illustrated by Reyeros Navarro (1963, pl. 2, fig. 2) as *Stylina vaughani*, is not a coral. According to a personal communication with Carmen Perrilliat, the former curator of the IGM collection, the holotype *Stylina vaughani* has to be considered lost. Specimen IGM 1194 cannot be considered the type even if it was present when the new species was established.

Other occurrences. Early Hauterivian of the European Boreal (France).

Pentacoenia sp. 4

Figure 10, B–C

- vp 1889 *Cryptocoenia ramosa* Toulou, p. 83, pl. 5, fig. 10, 11.
 v 1964 *Pentacoenia microtrema* d'Orbigny, 1850.

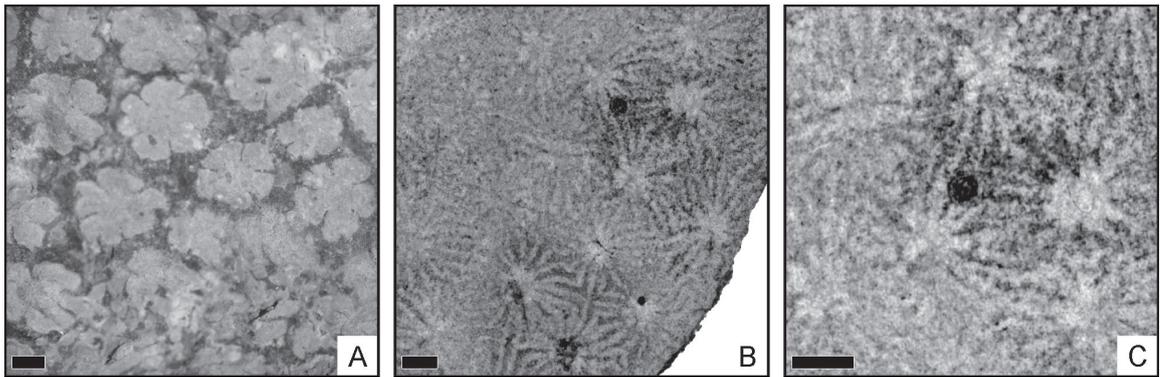


Figure 10. A, *Pentacoenia* sp., IGM 1195, coral surface. B–C, *Pentacoenia* sp., IGM 9269. B, transversal thin section. C, transversal thin section, detail. Scale bar 1 mm.

Morycowa, p. 33, text-fig. 3 c, pl. 6, fig. 6.

Material examined. IGM 9269; 1 thin section.

Dimensions.

(IGM 9269)

clmin	12	1.03–1.31	1.16	0.09	7.7	1.07–1.25
clmax	12	1.13–1.36	1.27	0.07	6	1.19–1.35
ccd	15	1.79–2.76	2.28	0.28	12.3	2.00–2.56
septa	5	17–19	18.6	0.89	4.8	18–20

Remarks. The type material of *Cryptocoenia ramosa* Toulou, 1889 consists of various syntypes that belong to at least three different genera. A lectotype must be designated but the material was not found at the Vienna Natural History Museum in August 2016.

Other occurrences. Hauterivian to Aptian of the European Boreal (France) and the central Tethys (Bulgaria, Poland).

7. Discussion

The distribution of the species described in other areas (Figure 11) ranges from the Late Jurassic to the early Late Cretaceous, when the family became extinct. Seven species are already known from the Late Jurassic and five reach into the Cenomanian. Most (13) species occur in Hauterivian localities, with another 12 in the Aptian. Both times are marked by species-rich faunas: on the one hand, the faunas of the Paris Basin (basal Hauterivian), and on the other, the faunas of the Early Aptian age distributed worldwide. Towards the Cenomanian, less and less species of the studied fauna are found. When compared to other areas (Figure 12), the Valanginian/Hauterivian species of the present fauna shows most relationships to the above-mentioned faunas of

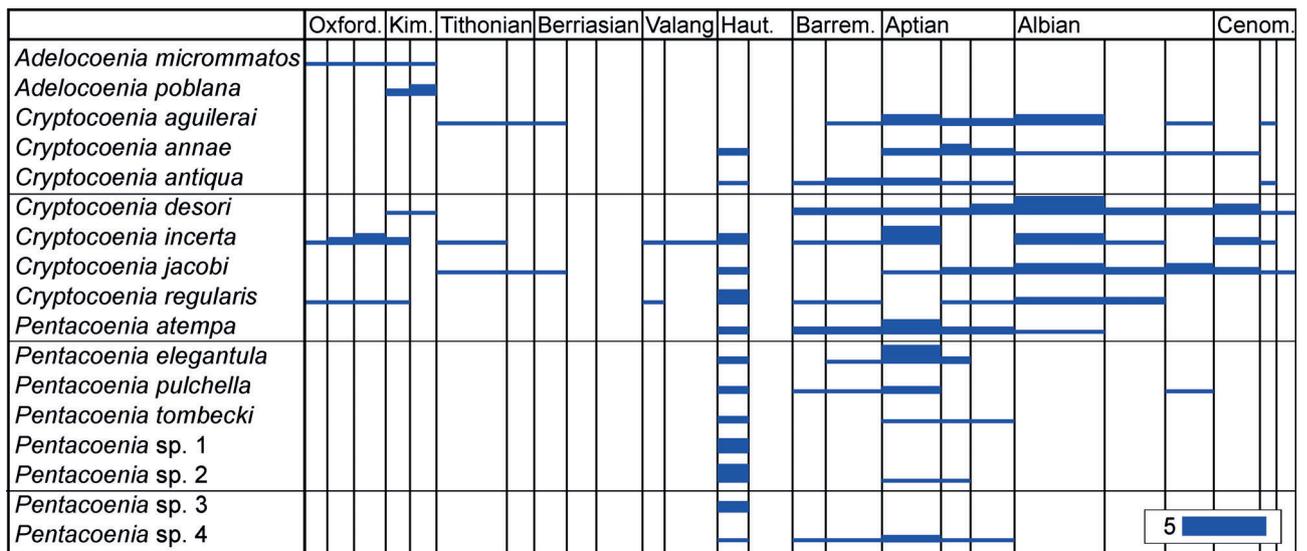


Figure 11. Stratigraphic distribution and commonness of species. The thickness of the bars indicates the number of localities in which the concerned species were found.

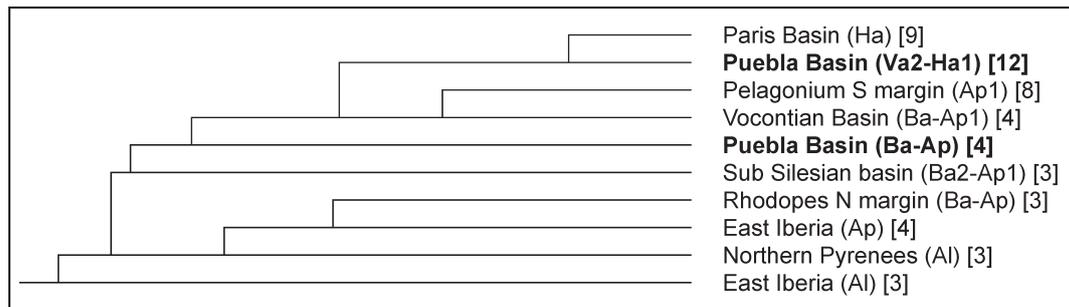


Figure 12. Correlation of provinces with joint species of the study area. The Correlation Ratio coefficient was applied; the graph is logarithmic. Provinces with less than three species are not shown.

the Paris Basin, but also to the extreme species-rich faunas of the southern margin of the Pelagonium (now Greece).

Acknowledgements

Sample preparation was financed by CONACyT project 52442-Q and UNAM DGAPA PAPIIT project IN101111. Much of the measuring of the corallite dimensions was done by L. Puebla Clark (Hermosillo). Thin sections were mainly prepared by Aimée Orcí (Hermosillo). English text correction by Proof-Reading-Services.com (Letchworth Garden City). Two anonymous reviews helped to improve the manuscript and are kindly acknowledged. Sandra Ramos from the Publication Department was a great help in compiling the final version of the text.

References

- Achiardi, A. de, 1875, Coralli eocenici del Friuli. Parte 3: Atti della Società Toscana di Scienze naturali, 1(3), 147–222.
- Achiardi, A. de, 1880, Coralli giurassici dell'Italia settentrionale: Atti della Società Toscana di Scienze naturali, 4(2), 233–310.
- Alloiteau, J., 1948, Polypiers des couches albiennes à grandes trigonies de Padern (Aude): Bulletin de la Société géologique de France (5), 18, 699–738.
- Baron-Szabo, R.C., Steuber, T., 1996, Korallen und Rudisten aus dem Apt im tertiären Flysch des Parnass-Gebirges bei Delphi-Arachowa: Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen (E), 18, 3–75.
- Beauvais, L., 1966, Révision des madréporaires du Dogger de la collection Koby: Eclogae Geologicae Helvetiae, 59(2), 989–1024.
- Bourne, G.C., 1900, The Anthozoa, *in* Lankester, R. (ed.), Treatise on Zoology, Part 2, Porifera and Coelenterata: London, A. & C. Black, 59–79.
- Calderón-García, A., 1956, Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla. Guía de campo, *in* XX Congreso Geológico Internacional: Mexico, Maldonado-Koerdell, M. *et al.* (eds.), 7–91.
- Eliás-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., 2002, Caltepec fault zone: an Early Permian dextral transpressional boundary between the Proterozoic Oaxacan and Paleozoic Acatlán complexes, southern Mexico and regional tectonic implications: Tectonics, 21(3), 4–19.
- Felix, J., 1891, Versteinerungen aus der mexicanischen Jura und Kreideformation: Palaeontographica, 37, 140–194.
- Fromentel, E., 1857, Description des polypiers fossiles de l'étage Néocomien: Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne, 1–78.
- Fromentel, E., 1884, Zoophytes, terrain crétacé (13): Paléontologie française, 8, 529–560.
- Goldfuss, A., 1826, Petrefacta Germaniae (1, 1): Düsseldorf, Arnz, 1–76.
- González León, O., Jeremiah, J., Schlagintweit, F., Bover Arnal, T., Moreno Bedmar, J.A., Mendoza Rosales, C.C., Vega, F.J., 2015, Novel contributions and errata to the work "Morphology and ontogeny of the fossil lobster *Meyeria magna* M'Coy, 1849 (Astacidae: Mecochiridae) from the Lower Cretaceous (Lower Aptian) of Mexico, United Kingdom and Spain": Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 276(3), 323–334.
- Johnson, K.G., 2007, Reef-coral diversity in the Late Oligocene Antigua Formation and temporal variation of local diversity on Caribbean Cenozoic Reefs: Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 17, 471–491.
- Koby, F., 1881, Monographie des polypiers jurassiques de la Suisse (2): Abhandlungen der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft, 8, 61–108.
- Koby, F., 1897, Monographie des polypiers crétacés de la Suisse (2): Abhandlungen der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft, 23, 29–62.
- Löser, H., 2001, Le site de Vallières (département de l'Aube, France), résultats préliminaires sur des coraux de l'Hauteriviens inférieur (Crétacé): Bulletin annuel de l'Association géologique de l'Aube, 22, 39–53.
- Löser, H., 2004, PaleoTax - a database program for palaeontological data: Computer & Geosciences, 30(5), 513–521.
- Löser, H., 2006, Barremian corals from San Antonio Texcala, Puebla, Mexico - A review of the type material of Felix 1891[CD-ROM]: Boletín del Instituto de Geología, 114, 1–68.
- Löser, H., 2008, Early Cretaceous coral faunas from East Africa (Tanzania, Kenya; Late Valanginian–Aptian) and revision of the Dietrich collection (Berlin, Germany): Palaeontographica, 285(1–3), 23–75.
- Löser, H., 2010, The Barremian coral fauna of the Serre de Bleyton mountain range (Drôme, France): Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien (A), 112, 575–612.
- Löser, H., 2012, Intraspecific variation in the genus *Stelidioseris* (family Actinastraecidae, suborder Archeocaeiniina, order Scleractinia; Jurassic–Cretaceous): Geologica Belgica, 15(4), 382–387.
- Löser, H., 2016, Systematic part: Catalogue of Cretaceous Corals, 4, 1–710.
- Löser, H., Castro, J.M., Nieto, L.M., 2010, A small Albian coral fauna from the Sierra de Seguilí (Alicante province, SE Spain): Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 255(3), 315–326.
- Löser, H., García-Barrera, P., Mendoza Rosales, C.C., Ortega-Hernández, J., 2013, Corals from the Early Cretaceous (Barremian–Early Albian) of Puebla (Mexico) - Introduction and family Stylinidae: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 30(2), 385–403.

- Löser, H., Heinrich, M., 2018, New coral genera and species from the Rußbach/Gosau area (Late Cretaceous; Austria): *Palaeodiversity*, 11(1), 127–149.
- Löser, H., Minor, K., 2007, Palaeobiogeographic aspects of Late Barremian to Late Albian coral faunas from Northern Mexico (Sonora) and the southern USA (Arizona, Texas): *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 245(2), 193–218.
- Löser, H., Nieto, L.M., Castro, J.M., Reolid, M., 2021, A Lower Valanginian coral fauna from the South Iberian Palaeomargin (Internal Prebetic, South Spain): *Palaeontologia Electronica*, 24(1), 1–57.
- Löser, H., Steuber, T., Löser, C., 2018, Early Cenomanian coral faunas from Nea Nikopoli (Kozani, Greece; Cretaceous): *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, 18(3), 23–121.
- Löser, H., Werner, W., Darga, R., 2013, A Middle Cenomanian coral fauna from the Northern Calcareous Alps (Bavaria, Southern Germany) – new insights into the evolution of Mid-Cretaceous corals: *Zitteliana (A)*, 53, 37–76.
- Löser, H., Zell, P., 2016, Late Aptian corals from the South Iberian Sub-Basin (Cretaceous; Eastern Spain): *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(1), 3–20.
- Löser, H. *et al.*, 2002, List of Citations: *Catalogue of Cretaceous Corals*, 2, 1–784.
- Löser, H. *et al.*, 2005, List of Localities: *Catalogue of Cretaceous Corals*, 3, 1–366.
- Martínez-Amador, H., Zárate-Barradas, R., Loaeza-García, J.P., Saenz-Pita, R., Cardoso-Vázquez, E.A., 2001, Carta geológica minera Orizaba E14–6, escala 1:250000: Mexico City, Servicio Geológico Mexicano.
- Matthews, S.C., 1973, Notes on open nomenclature and on synonymy lists: *Palaeontology*, 16(4), 713–719.
- Mendoza-Rosales, C.C., 2010, Estratigrafía y facies de las cuencas cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico: Mexico City, Universidad Nacional Autónoma de México, Ph.D dissertation, 190 pp.
- Mendoza-Rosales, C.C., Centeno-García, E., Silva-Romo, G., Campos-Madrugal, E., Bernal, J.P., 2010, Barremian rift-related turbidites and alkaline volcanism in southern Mexico and their role in the opening of the Gulf of Mexico: *Earth and Planetary Science Letters*, 295(3–4), 419–434.
- Michelin, H., 1840–47, *Iconographie zoophytologique. Description par localités et terrains des polypiers fossiles de France*: Paris, Bertrand, 348 pp.
- Morycowa, E., 1964, Hexacoralla des couches de Grodziszcz (Néocomien Carpathes): *Acta Palaeontologica Polonica*, 9(1), 1–114.
- Morycowa, E., 1971, Hexacorallia et Octocorallia du Crétacé inférieur de Rarau (Carpathes orientales roumaines): *Acta Palaeontologica Polonica*, 16(1–2), 1–149.
- Morycowa, E., Masse, J.P., 1998, Les Scléactiniaires du Barrémien-Aptien inférieur de Provence (SE de la France): *Geobios*, 31(6), 725–766.
- Morycowa, E., Roniewicz, E., 2016, Microstructural evidence of the stylophyllid affinity of the genus *Cyathophora* (Scleractinia, Mesozoic): *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86(1), 1–16.
- Orbigny, A. de, 1849, *Note sur les polypiers fossiles*: Paris, Masson, 12 pp.
- Orbigny, A. de, 1850, *Prodrôme de Paléontologie stratigraphique universelle des animaux mollusques et rayonnés (1–2)*: Paris, Masson, 394 pp., 428 pp.
- Reyer de Castillo, M.M., 1983, Corales de algunas formaciones cretácicas del estado de Oaxaca: *Paleontología Mexicana*, 47, 1–67.
- Reyer de Navarro, M.M., 1963, Corales del Cretácico inferior de San Juan Raya, Estado de Puebla: *Paleontología Mexicana*, 17, 1–21.
- Roniewicz, E., 1976, Les scléactiniaires du Jurassique supérieur de la Dobrogea centrale Roumanie: *Palaeontologia Polonica*, 34, 17–121.
- Roniewicz, E., 2008, Kimmeridgian–Valanginian reef corals from the Moesian platform from Bulgaria: *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 78(2), 91–134.
- Toula, F., 1884, *Geologische Untersuchungen im westlichen Theile des Balkans und in den angrenzenden Gebiete (X) Von Pirot nach Sofia auf den Vitos, über Pernik nach Trn und über Stol nach Pirot*: *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (1)*, 88, 1279–1348.
- Toula, F., 1889, *Geologische Untersuchungen im centralen Balkan*: *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 55, 1–108.
- Volz, W., 1903, Über eine Korallenfauna aus dem Neokom der Bukowina: *Beiträge zur Paläontologie und Geologie Österreich-Ungarns und des Orients*, 15(1), 9–30.
- Zaman, S., Lathuilière, B., 2014, A lectotype for *Cyathophora richardi* Michelin 1843: *Zootaxa*, 3795(2), 198–200.



Revisión bioestratigráfica y paleoambiental de los protistas e invertebrados marinos de Tamaulipas, México

Biostratigraphical and paleoenvironmental revision of marine protists and invertebrates from Tamaulipas, Mexico

Becerra-Rodríguez, Ángel G.^a; Torres-Martínez, Miguel A.^{b,*}; Correa-Sandoval, Alfonso^a

^aLaboratorio de Malacología, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil, #1301, Pte. A.P. 175, 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

^bDepartamento de Paleontología, Instituto de Geología, Circuito de la Investigación Científica S/N, Colonia Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

*miguelatm@geologia.unam.mx

Resumen

Tamaulipas posee numerosas secuencias sedimentarias de origen marino. Las unidades litológicas preservadas poseen un abundante registro fósil de diversos grupos de protistas e invertebrados, representando distintos periodos y épocas del Fanerozoico. A pesar de la gran diversidad faunística reportada, el conocimiento de estas biotas es limitado, requiriendo de una mayor atención, incluyendo a grupos que son prácticamente desconocidos, tal como trilobites, bivalvos, gasterópodos, corales, esponjas y briozoos paleozoicos; esponjas, corales y crinoideos mesozoicos; cefalópodos y corales cenozoicos. Se plantea que los fósiles índice deberían ser revisados o actualizados, ya que algunos taxones han sido reclasificados, descritos incorrectamente o que actualmente se les reconoce con alcances estratigráficos mayores. Las rocas sedimentarias de Tamaulipas poseen valiosa información para el entendimiento de la historia geológica del noreste mexicano debido a los cambios en el nivel del mar y evolución de sus cuencas sedimentarias; sin embargo, los ambientes deposicionales tampoco han sido estudiados íntegramente para la región. Cabe resaltar que en localidades como el Cañón del Novillo (Victoria), “El Cielo” (Gómez Farías), Cañón de la Servilleta (Mante), así como en los yacimientos de los municipios de Bustamante, Hidalgo, Tula y San Carlos, afloran rocas con potencial fosilífero que no han sido estudiadas hasta el momento.

Palabras clave: estratigrafía, facies, invertebrados, paleogeografía, protistas, Tamaulipas.

Abstract

Tamaulipas state has numerous sedimentary sequences of marine origin. The preserved lithological units have an abundant fossil record composed of diverse protists and invertebrates, representing different Phanerozoic periods and epochs. Despite the great diversity of fauna reported, the knowledge of these biotas is still limited and require major attention, including practically unknown groups, such as trilobites, bivalves, gastropods, corals, sponges, and bryozoans from the Paleozoic; sponges, corals, and crinoids from the Mesozoic; cephalopods and corals from the Cenozoic. It is suggested that the index fossils should be revised or updated since some taxa have been reclassified, wrongly described, or currently are recognized with larger stratigraphic ranges. Tamaulipas sedimentary rocks have valuable information for understanding the geologic history of Mexican northeastern because of the sea-level changes and evolution of its sedimentary basins. However, depositional environments have not been sufficiently studied for the region either. It is worth noting that in the localities Cañón del Novillo (Victoria), “El Cielo” (Gómez Farías), Cañón de la Servilleta (Mante), as well as in the deposits from Bustamante, Hidalgo, Tula, and San Carlos Municipalities outcrop strata with fossil potential that have not been studied so far.

Keywords: stratigraphy, facies, invertebrates, paleogeography, protists, Tamaulipas.

1. Introducción

En el noreste de México existen numerosas localidades donde afloran secuencias sedimentarias de origen marino, para las cuales se han realizado estudios enfocados en la geología, estratigrafía y paleontología de la región. En particular, los protistas e invertebrados fósiles han sido una herramienta fundamental para establecer las edades de las rocas portadoras, así como para determinar los tipos de paleoambientes que predominaban en el pasado. En este contexto, el noreste mexicano resulta ser de gran importancia, ya que aquí se han registrado diversos grupos marinos pertenecientes a diferentes edades fanerozoicas. Ejemplo de esto son algunos trabajos, sin incluir al estado de Tamaulipas, enfocados en fusulínidos (p.ej. Dunbar, 1944), conuláridos (p.ej. Quiroz-Barroso *et al.*, 2019), gasterópodos (p.ej. Guajardo-Cantú *et al.*, 2019; Vega *et al.*, 2019), braquiópodos (p.ej. Cloud, 1944; Heredia-Jiménez *et al.*, 2019; Torres-Martínez *et al.*, 2019); trilobites (p.ej. Sour-Tovar *et al.*, 2016), crustáceos (p.ej. Vega *et al.*, 2007, 2013, 2016; Martínez-Díaz *et al.*, 2017; Torres-Martínez *et al.*, 2020), crinoideos (p.ej. Esquivel-Macías *et al.*, 2004; Villanueva-Olea *et al.*, 2021) y amonoideos (p.ej. Miller, 1944; Humphrey, 1949; Cantú-Chapa, 1976; Barragán y Maurrasede, 2008; Ovando-Figueroa *et al.*, 2015; Zell y Stinnesbeck, 2016a, 2016b; Zell *et al.*, 2016a; Mendoza-Maya *et al.*, 2017; Ifrim *et al.*, 2017, 2019; Ifrim, 2019), los cuales, no solo se han encaminado en la descripción taxonómica de un grupo particular, sino también en la caracterización estratigráfica y/o paleoambiental del área estudiada.

En el estado de Tamaulipas también se pueden encontrar diversos grupos fósiles preservados en rocas fanerozoicas de distintas edades (Becerra-Rodríguez *et al.*, 2020). El Paleozoico se caracteriza principalmente por faunas compuestas de diferentes invertebrados como braquiópodos, crinoideos y trilobites (Boucot *et al.*, 1997; Buitrón-Sánchez *et al.*, 1998; Sour-Tovar *et al.*, 2005), mientras que para las secuencias mesozoicas ocurren comúnmente calpiónelidos (Eguiluz-De Antuñano *et al.*, 2012) y amonites (Imlay, 1937, 1938, 1940; Cantú-Chapa, 2012; Ifrim y Stinnesbeck, 2013). Por otro lado, existen varios estudios que reportan foraminíferos bentónicos, pertenecientes al denominado límite K/Pg (Alegret y Thomas, 2001; Alegret *et al.*, 2002); en tanto que para el Paleógeno y Neógeno se han descrito varios taxones de bivalvos, gasterópodos y equinoideos (Israelsky, 1933; Gardner, 1945).

Aunque algunos de estos taxones no son considerados fósiles índice, su edad fue establecida por la asociación que formaban con otros grupos taxonómicos. Esta información resalta la diversidad de faunas marinas ocurriendo en el estado de Tamaulipas, las cuales, no solo han permitido afinar las edades de los afloramientos, sino también han brindado detalles importantes para poder considerarlas como elementos de asociaciones bióticas que habitaron ambientes específicos. Desafortunadamente,

aún prevalecen numerosas localidades y material que no han sido estudiados, ya sea por falta de información o por problemas para acceder a las localidades en cuestión. En este sentido, y dado que existe la necesidad de definir la edad de las rocas portadoras para reconocer eventos evolutivos, geológicos o paleogeográficos, es que se plantea el presente trabajo, ya que actualiza la información acerca de la fauna y bioestratigrafía del estado de Tamaulipas, basada en estudios previos sobre los protistas e invertebrados marinos de la región. Con esto, se espera poder facilitar los trabajos de índole geológica o paleontológica, que más adelante se puedan llevar a cabo en el noreste de México.

2. Estratigrafía y bioestratigrafía

2.1. Paleozoico

En Tamaulipas, el Paleozoico (Tabla 1) se encuentra representado por rocas que afloran en los cañones de Caballeros y La Peregrina, en el municipio de Victoria, los cuales dividen al Anticlinorio Huizachal-Peregrina (AHP) que forma parte de la provincia morfo-tectónica de la Sierra Madre Oriental (Eguiluz-De Antuñano *et al.*, 2000) (Figura 1). Con respecto al basamento del AHP, las rocas más antiguas corresponden al complejo Gneis Novillo, que se encuentra representado por gneis de cuarzo y feldespato con antorsita masiva, seguidos de una secuencia de gneis cuarzo-feldespático con intercalaciones de mármol y esquistos grafitico, mientras que dentro de dicha unidad también ocurren migmatitas, nelsonitas y diques pre y post-metamórficos (Ortega-Gutierrez, 1978; Ramírez-Ramírez, 1992; Alemán-Gallardo *et al.*, 2019). La edad establecida para esta unidad es de entre 1,200–1,100 Ma (Cameron *et al.*, 2004; Weber *et al.*, 2010).

Sobreyaciendo al complejo Gneis Novillo, se encuentra el Esquistos Granjeno (Carrillo-Bravo, 1961), compuesto por rocas metamorizadas en facies de esquistos verdes, las cuales ocurren en forma de rocas metavolcánicas y metasedimentarias esquistosas, así como filitas, cuarcitas, serpentinas y metagabros, que se han datado entre los 433 y 458 Ma (Barboza-Gudiño *et al.*, 2011). Descansando sobre el Esquistos Granjeno se encuentra la secuencia sedimentaria paleozoica, referida por Alemán-Gallardo *et al.* (2019) y Casas-Peña *et al.* (2021) como el Grupo Tamatán, el cual posee un espesor de aproximadamente 1700 metros con rocas que van en forma discontinua, del Silúrico al Pérmico (Boucot *et al.*, 1997).

Silúrico. El Silúrico se encuentra representado en la Formación Cañón de Caballeros que aflora en los cañones de Caballeros y La Peregrina, la cual se ha dividido en tres miembros: Inferior, Caliza Santa Anna y Superior (Stewart *et al.*, 1999).

El Miembro Inferior aflora en el Cañón de La Peregrina, compuesto de areniscas y conglomerados de granos finos a gruesos color café claro, ricos en cuarzo, ocurriendo arenas

Tabla 1. Unidades litológicas del Paleozoico de Tamaulipas, México.

Unidad	Edad	Biota	Paleoambientes y facies
Fm. Cañón de Caballeros	Silúrico superior (Wenlockiano-Ludloviano).	Braquiópodos (<i>Baturria mexicana</i> , <i>Craniops</i> sp., <i>Skenidioides</i> sp., <i>Mclearnitesella</i> sp., <i>Mesopholidostrophia</i> sp., <i>Coolinia</i> sp., <i>Gypidula</i> sp., <i>Amerista</i> sp., <i>Nucleospira</i> sp., <i>Macropleura</i> sp., <i>Sphaerirhynchia</i> sp., <i>Dalejina</i> sp., <i>Strophoprion</i> cf. <i>euglypha</i> , <i>Nucleospira</i> sp., <i>Pentamerus</i> sp., <i>Orbiculoidea</i> sp., <i>Isorthis</i> sp., <i>Howellella</i> sp., <i>Delthyris</i> sp., <i>Resserella</i> sp., <i>Dicoelosia</i> sp., <i>Leptaena</i> "romboidalis", "Rhynchonella" aff. <i>stricklandi</i> , <i>Atrypa</i> "reticularis", <i>Meristina</i> sp., <i>Eospirifer</i> sp., <i>Cyrtia</i> sp.) gasterópodos (<i>Poleumita</i> sp., <i>Tropidodiscus</i> sp., <i>Euomphalopterus</i> sp.) trilobites (<i>Exallaspis</i> sp., <i>Stenopareia</i> sp., <i>Bumastus</i> sp., <i>Calymene</i> sp., <i>Cheirurus</i> cf. <i>niagarensis</i> , <i>Dalmanites</i> sp.), briozoos fenestélidos, cornulites (<i>Cornulites</i> sp.), pelmatozoos, corales rugosos y tabulados.	Plataforma terrígena de aguas someras.
Fm. Vicente Guerrero	Misisípico Inferior (Tournaisiano superior-Viseano inferior).	Braquiópodos (<i>Yagonia collinsoni</i> , <i>Lamellosathyris lamellosa</i> , <i>Cleiothyridina</i> cf. <i>tenulinea</i> , <i>Camarophorella</i> sp., <i>Alispirifer tamaulipensis</i> , <i>Tylothyris</i> ? sp., <i>Torynifer pseudolineatus</i> , <i>Syringothyris</i> cf. <i>typa</i> , <i>Syringothyris</i> ? sp., <i>Punctospirifer</i> sp., <i>Barroisella</i> sp., <i>Orbiculoidea</i> sp., <i>Derbyia</i> ? sp., <i>Rugosochonetes multicostatus</i> , <i>Camarotoechia</i> sp., <i>Rotaia subtrigonia</i> , <i>Actinoconchus lamellosus</i> , <i>Beecheria chouteauensis</i>), briozoos, crinoideos y gasterópodos (<i>Mourlonia mississippiensis</i>).	Plataforma terrígena somera, con una posible influencia deltaica.
Fm. Del Monte	Misisípico Inferior (Tournaisiano superior-Viseano inferior).	Crinoideos (<i>Cyclocaudex costatus</i> , <i>C. jucundus</i> , <i>C. plenus</i> , <i>Cylindrocauliskus fiski</i> , <i>Heterostelechus texanus</i>), amonoideos (<i>Pseudoparagloceras amotapense</i> , <i>Peritrochia (Marathonites)</i> cf. <i>genti</i> , <i>Eoasintes</i> sp.) y fusulinidos (<i>Millerella</i> sp., <i>Eostafella</i> sp., <i>Stafella</i> sp., <i>Profusulinella</i> sp., <i>Fusulinella</i> cf. aff. <i>acuminata</i>).	Plataforma terrígena somera con influencia cercana del continente.
Fm. Guacamaya	Misisípico Inferior (Tournaisiano superior-Viseano inferior).	Fusulinidos (<i>Triticites</i> sp., <i>Ozawainella</i> sp., <i>Stafella</i> sp., <i>Schwagerina</i> sp.) e icnofósiles (<i>Nereites</i> , <i>Scalartituba</i> , <i>Chondrites</i>).	Depósito tipo <i>flysch</i> de aguas profundas de alta energía.

volcánicas interestratificadas suprayacentes. La fauna reportada para el Miembro Inferior comprende corales rugosos y tabulados, briozoos fenestélidos, trilobites, bivalvos rostroconchos y braquiópodos esperiféridos (*Delthyris*? sp.), atrípidos (*Atrypa*? "reticularis"), y pentaméridos (stricklándidos) (Boucot *et al.*, 1997; Stewart *et al.*, 1999). Boucot *et al.* (1997) le asignaron una edad correspondiente al Wenlockiano temprano-medio (Silúrico medio) al Miembro Inferior de la Formación Cañón de Caballeros, debido a la presencia de braquiópodos stricklandidos, cuyos taxones no fueron especificados por los autores.

Por otro lado, el Miembro Caliza Santa Anna, que aflora en ambos cañones, está compuesto por una capa delgada de calizas con bioclastos tipo grainstone, con granos de cuarzo monocristalinos y policristalinos (Boucot *et al.*, 1997; Stewart *et al.*, 1999). La fauna reportada para esta unidad comprende numerosos braquiópodos, tal como *Sphaerirhynchia* sp., *Dalejina* sp., *Strophoprion* sp., *Pentamerus* sp., *Orbiculoidea* sp., *Isorthis* sp., *Howellella* sp., *Delthyris* sp., *Resserella* sp., *Dicoelosia* sp., *Leptaena* "romboidalis", "Rhynchonella" aff. *stricklandi*, *Atrypa* "reticularis", *Meristina* sp., *Eospirifer* sp. y *Cyrtia* sp. También se reportan gasterópodos belerofóntidos, trilobites dalmanítidos, corales rugosos y tabulados (favosítidos), así como columnas desarticuladas de pelmatozoos (Boucot *et al.*, 1997). En lo que concierne a la edad de la unidad, Boucot *et al.*, (1997) sugirieron que correspondía al

Wenlockiano medio (Silúrico medio), debido a la presencia de *Sphaerirhynchia* sp. y *Pentamerus* sp.

El Miembro Superior de la Formación Cañón de Caballeros aflora en ambos cañones, y se encuentra representado por estratos de limolita gris oscura con areniscas de grano muy fino, así como algunos estratos de areniscas de grano fino a medio (Boucot *et al.*, 1997; Stewart *et al.*, 1999). Para esta unidad se han reportado numerosos braquiópodos, como *Amphistrophiella (Sulcastrophiella) stinnesbecki*, *Macropleura* sp., *Sphaerirhynchia* sp., y *Baturria* sp., los cuales estaban asociados a trilobites, gasterópodos, corales y briozoos (Boucot *et al.*, 1997). En lo que concierne a la edad, Boucot *et al.*, (1997) propusieron el Wenlockiano tardío-Ludloviano temprano (Silúrico medio-tardío), debido a la presencia de *Amphistrophiella (Sulcastrophiella) stinnesbecki*.

Misisípico. En Tamaulipas, el Misisípico se encuentra representado por la Formación Vicente Guerrero, que aflora en los Cañones de La Peregrina y Caballeros. Dicha unidad litoestratigráfica se encuentra descansando sobre la Formación Cañón de Caballeros y presenta un espesor de aproximadamente 110 metros. Está se compone, desde la base al techo, por 40 metros de arenisca rojiza con dique-estratos de riolita, 40 metros de arenisca café con intercalaciones de lutita y 30 metros de arenisca, arenisca arcillosa, lutita y calcarenita alternadas, con bancos lenticulares donde se pueden observar restos de

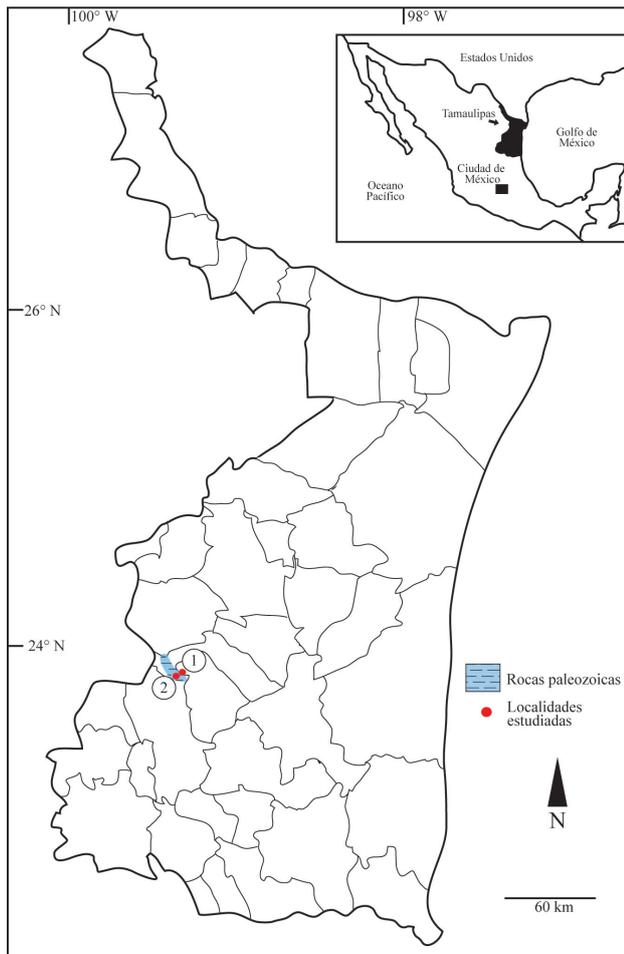


Figura 1. Mapa de Tamaulipas, señalando la distribución aproximada de las rocas del Paleozoico, así como las localidades previamente estudiadas: 1) Cañón de la Peregrina, 2) Cañón de Caballeros (Modificado de Servicio Geológico Mexicano, 2006).

braquiópodos (Sour-Tovar y Martínez-Chacón, 2004). La fauna de dicha unidad está conformada principalmente por gasterópodos, crinoideos y briozoos fenestélidos, además de una gran abundancia de braquiópodos, entre los que se encuentran *Alispirifer tamaulipensis*, *Lamellosathyris lamellosa*, *Torynifer pseudolineatus*, *Syringothyris* cf. *typa*, *Yagonia collinsoni*, *Camarophorella* sp. y *Punctospirifer* sp. (Sour-Tovar, 1999; Sour-Tovar y Martínez-Chacón, 2004; Sour-Tovar et al., 2005). En lo que se refiere a la edad de esta formación, Sour-Tovar et al. (2005) propusieron que era del Tournaisiano tardío–Viséano temprano (=Osageano), correspondiente al Misisípico Temprano, debido a la presencia de los braquiópodos *Lamellosathyris lamellosa* y *Torynifer pseudolineatus*.

En discordancia con la Formación Vicente Guerrero, se encuentra la Formación La Yerba, compuesta litológicamente por un flujo bandeado de riolita gris densa, de grano fino y brecha (Stewart et al., 1999). En lo que se refiere a la edad de la misma Stewart et al., (1999) propusieron que

correspondía al Misisípico Tardío (334 ± 39 Ma), basado en análisis de U-Pb.

Pensilvánico. Sobreyaciendo a la Formación Vicente Guerrero, se encuentra una secuencia sedimentaria de 200 metros de espesor, asignada a la Formación Del Monte, que aflora en el Cañón de La Peregrina, compuesta por bioclastos tipo grainstone con arena cuarcítica de granos fino a medios, calizas arenosas, areniscas, limolitas y lutitas (Carrillo-Bravo, 1961; Stewart et al., 1999). La fauna reportada para la Formación Del Monte comprende a los crinoideos *Cyclocaudex costatus*, *Cyclocaudex jucundus* y *Cylindrocauliskus fiski* (Buitrón-Sánchez et al., 1998), los amonoideos *Pseudoparalagoceras amotapense*, *Peritrochia* (*Marathonites*) cf. *genti* y *Eoasintes* sp. (Murray et al., 1960) y los fusulinidos *Millerella* sp., *Eostafella* sp., *Stafella* sp., *Profusulinella* sp. y *Fusulinella* cf. aff. *acuminata*, a partir de los cuales Carrillo-Bravo (1961) dató a la Formación Del Monte como del Moscoviano (Pensilvánico Medio).

Pérmico. La secuencia Paleozoica finaliza con la Formación Guacamaya, la cual aflora en el Cañón de La Peregrina, presentando una secuencia tipo *flysch* de más de 1200 metros, compuesta por arenisca de grano fino interestratificada con limolita, conglomerado y lutita (Carrillo-Bravo, 1961; Stewart et al., 1999). En lo que se refiere a la fauna, únicamente se han reportado los fusulinidos *Triticites* sp., *Ozawainella* sp., *Stafella* sp. y *Schwagerina* sp., así como trazas de los icnogéneros *Nereites*, *Scalarituba* y *Chondrites* para la parte superior de la unidad (Carrillo-Bravo, 1961; Stinnesbeck, 1994). En particular, los fusulinidos fueron utilizados por Carrillo-Bravo (1961) para plantear que la formación pertenecía al Pérmico inferior (Cisuraliano) (Tabla 2).

2.2. Mesozoico

Rocas mesozoicas de distintas edades están ampliamente expuestas en diversas localidades del estado (Tabla 3), las cuales han sido objeto de estudios paleontológicos, litológicos, sedimentológicos, estratigráficos y geocronológicos (Fastovsky et al., 1995; Montellano et al., 2008; Cantú-Chapa, 2009, 2012; Barboza-Gudiño et al., 2010, 2014; Rubio-Cisneros et al., 2011; Eguluz-De Antuñano et al., 2012) (Figura 2).

Triásico. Sobreyaciendo al basamento Paleozoico mencionado previamente, se encuentra una potente sucesión de rocas rojizas de origen continental que afloran principalmente en el Cañón del Huizachal, así como en los Cañones de Caballeros, La Peregrina y Novillo, el cual forma parte del Anticlinorio Huizachal-Peregrina. Dichas rocas fueron nombradas por Mixon et al. (1959) como Grupo Huizachal. Posteriormente, Barboza-Gudiño et al. (2014) analizó dicho grupo, y lo subdividió en tres unidades: una correspondiente al Triásico (Formación El Alamar) y dos al Jurásico (Formación La Boca y La Joya).

La Formación El Alamar, expuesta en el Cañón del Novillo, La Peregrina y Caballeros, esta compuesta por

bancos de areniscas conglomeráticas de color gris a ocre y café rojizo y limolitas (Barboza-Gudiño *et al.*, 2014). Referente a la edad de la unidad, Barboza-Gudiño *et al.* (2010) la asoció al Triásico Tardío (216-214 Ma), empleando un análisis de fechamiento mediante zircones de U-Pb.

Jurásico. Este periodo se encuentra representado en la Formación La Boca que aflora en el Cañón Huizachal. La unidad está constituida por intercalaciones de material volcánico, volcanoclástico y sedimentario, principalmente lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados de color rojizo (Mixon *et al.*, 1959; Rubio-Cisneros *et al.*, 2011; Barboza-Gudiño *et al.*, 2014). Para dicha formación se han descrito faunas de vertebrados continentales, compuestas por los mamíferos *Bocatherium mexicanum*, *Bocaconodon tamaulipensis*, *Victoriaconodon inaequalis* y *Huasteconodon wiblei* (Clark y Hopson, 1985; Montellano

et al., 2008), los reptiles *Cynosphenodon huizachalensis*, *Zapatodon ejidoensis* y *Sphenovipera jimmysjoyi* (Reynoso, 1996, 2005; Reynoso y Clark, 1998), *Tamaulipasaurus moorenoi* (Clark y Hernández-Rivera, 1994), y el pterosaurio *Dimorphodon weintraubi* (Clark *et al.*, 1998), al igual que se ha reportado la ocurrencia de material de dinosaurios terópodos, ornitisquios y cocodrilos neosúquidos (Clark y Hernández-Rivera, 1994; Clark *et al.*, 1998). Rubio-Cisneros y Lawton (2011) dataron la edad de la Formación La Boca, entre 167-163 Ma Jurásico Medio (Bathoniano–Calloviano), mediante isótopos U-Pb. Descansando sobre esta unidad se encuentra la Formación La Joya, de igual manera datada por Rubio-Cisneros y Lawton (2011), mediante isótopos U-Pb, asignadola al Calloviano (164 ± 3Ma), Jurásico Medio–Superior. Dicha unidad se compone de limolitas, lutitas, arenisca cuarzosa fina y conglomerados de granos finos a gruesos de coloración rojiza con intercalaciones de caliza cristalina (Rubio-Cisneros *et al.*, 2011).

Sobreyaciendo la secuencia de rocas rojizas que afloran en el Cañón del Huizachal, se encuentran sedimentos del Jurásico Superior que comprenden dos unidades litoestratigráficas. La primera es la Formación La Casita con un espesor de 40 metros, compuesta por limolitas y lutitas color gris oscuro a negro de estratificación laminar, con trazas de material carbonoso, brechas y conglomerado anguloso con matriz de arenisca y lutita, así como caliza tipo mudstone. Eguiluz-de Antuñano *et al.* (2012) asignaron dicha unidad al Tithoniano superior debido a la presencia de los amonites *Durangites* sp. y *Suarites* (*Hildoglochiceras*) sp., así como de los calpionélidos *Crassicollaria brevis* y *C. massutiniana*.

Por otro lado, Zell *et al.* (2016b) reportaron para el valle del Huizachal la Formación La Caja, a la que asignaron una edad del Tithoniano tardío–Berriasiano temprano (Jurásico–Cretácico) debido a la presencia del amonite *Salinites finicostatum*.

Cretácico. En discordancia paralela a la Formación La Casita, se encuentra la Formación Taraises que aflora en el Cañón del Huizachal. Dicha unidad posee un espesor de 60 metros y se encuentra compuesta litológicamente por capas de calizas tipo mudstone de color gris oscuro, así como por lutita de color gris claro (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2012). Referente a su contenido paleontológico, se han reportado los calpionélidos *Calpionella* sp., *Calpionellopsis* sp. y *Tintinnopsella* sp. De igual manera, se reportan los amonites *Olcostephanus* sp., *Spiticeras* sp. y *Karakaschiceras* sp., así como bivalvos, esponjas y corales (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2012). Eguiluz-de Antuñano *et al.* (2012) asignaron la parte inferior de la Formación Taraises al Berriasiano inferior–Berriasiano medio (Cretácico Inferior) debido a la presencia de los calpionélidos *Calpionella alpina* y *C. elliptica*. El nivel medio de la formación fue relacionado al Berriasiano superior–Valanginiense inferior (Cretácico Inferior), por la presencia de *Calpionellopsis oblonga*, *Tintinnopsella carpathica* y *T. longa*, asociadas con el amonoideo *Karakaschiceras* sp. Por otro lado, la zona

Tabla 2. Correlación y alcances estratigráficos de las formaciones del Paleozoico de Tamaulipas, México.

Sst.	Strte	Cañón de Caballeros	Cañón de la Peregrina	
PÉRMICO	L.			
	Gua.			
	Cis.			
PENSILVÁNICO	Sup.		Fm. Guacamaya	
	Med.		Fm. Del Monte	
	Inf.			
MISISÍPICO	Sup.	Fm. La Yerba		
	Medio			
	Inferior			Fm. Vicente Guerrero
DEVÓNICO	Sup.			
	Med.			
	Inf.			
SILÚRICO	Pri.	Fm. Cañón de Caballeros	Miembro Superior	
	Ludlov.			Miembro Caliza Santa Anna
	Wenlock.			Miembro Inferior

superior de dicha unidad fue asociada al Valanginiano inferior–Hauteriviano inferior (Cretácico Inferior) por la ocurrencia de *Calpionellites darderi*, *Tintinnopsella carpathica*, *T. longa* y *Olcostephanus* sp. (Eguiluz-de Antuñano et al., 2012).

Aflorando en distintas zonas del estado se puede observar a la Formación Tamaulipas Inferior, la cual se ha descrito en el Cañón del Huizachal, donde la presencia del amonite *Hegaratella* sp. permitió asignarla al Berriasiano (Cretácico Inferior) (Cantú-Chapa, 2012). Asimismo, está representada en el municipio de Tampico, con los amonites *Capeloites* sp. y *Thurmanniceras* sp. del Valanginiano (Cretácico Temprano) (Cantú-Chapa, 2009), así como en el municipio de Miquihuana, datada por Imlay (1937) para el “Neocomiano temprano” (=Berriasiano–Valanginiano), debido a la presencia del bivalvo *Exogyra reedi* y el amonite *Thurmannites* sp.

Por otra parte, Longoria (1977) describió la Caliza Tamaulipas, unidad informal, que se encuentra sobreyaciendo a la Formación Taraises en el Cañón del Huizachal. Está se encuentra representada por una secuencia homogénea de calizas tipo mudstone de color gris claro a crema, con estratos de espesor masivo a grueso en su parte inferior y medianos en la parte alta de dicha unidad. Referente

a la edad, se ha asociado al Cretácico Temprano, ya que Longoria (1977) asignó la parte baja de la Caliza Tamaulipas al Valanginiano debido a la presencia de los tintínidos *Remaniella cadischiana*, *Tintinnopsella longa* y *Calpionellites darderi*, mientras que la parte alta de dicha unidad fue relacionada al Albiano medio debido a la presencia del foraminífero *Ticinella roberti* y del tintínido *Colomiella* sp.

Referente al Cretácico Superior, en el municipio de Victoria en el Cañón del Huizachal sobreyaciendo en edad a la unidad Caliza Tamaulipas, se encuentra la Formación Cuesta del Cura, compuesta por calizas masivas tipo mudstone, dispuestas en estratificación ondulada. Longoria (1977) infirió que los estratos de la unidad se depositaron entre el Cenomaniano inferior–Turoniano inferior debido a la presencia de los foraminíferos *Planomalina buxtorfi*, *Thalmaninella evoluta*, *Rotalipora montsalvensis* y *R. turonica*.

Sobreyaciendo en edad a la Formación Caliza Cuesta del Cura se encuentra la Formación Agua Nueva, caracterizada por una alternancia rítmica de calizas tipo mudstone oscuras, margas y bentonitas, para la que Longoria (1977), basado en la presencia de los foraminíferos planctónicos *Dicarinella* sp., *Thalmaninella brotzeni*, *T. appeninica*, *Rotalipora*

Tabla 3. Unidades litológicas formales e informales del Mesozoico de Tamaulipas, México.

Unidad	Edad	Biota	Paleoambientes y facies
Fm. La Casita	Jurásico Superior (Tithoniano).	Amonites (<i>Durangites</i> sp., <i>Suarites</i> (<i>Hildoglochiceras</i>) sp.), calpionélidos (<i>Crassicollaria brevis</i> , <i>C. massutiniana</i>) y crinoideos (<i>Saccocoma</i> sp.).	Plataforma abierta y somera, con variaciones de ambientes someros y profundos.
Fm. La Caja	Jurásico Superior (Tithoniano).	Amonites (<i>Salinites finicostatum</i>).	Plataforma carbonatada.
Fm. Taraises	Cretácico Inferior (Berriasiano).	Amonites (<i>Spiticeras</i> sp., <i>Karakaschiceras</i> sp., <i>Olcostephanus</i> sp.), bivalvos, esponjas, corales y calpionélidos (<i>Calpionella alpina</i> , <i>C. elliptica</i> , <i>Calpionellopsis simplex</i> , <i>C. oblonga</i> , <i>Calpionellites</i> sp., <i>Calpinellites darderi</i> , <i>Tintinnopsella longa</i> , <i>T. carpathica</i>).	Plataforma carbonatada, con facies profundas.
Fm. Tamaulipas inferior	Cretácico Inferior (Berriasiano–Valanginiano).	Amonites (<i>Hegaratella</i> sp., <i>Capeloites</i> sp., <i>Thurmanniceras</i> sp., <i>Thurmannites</i> sp.) y bivalvos (<i>Exogyra reedi</i>).	—
Caliza Tamaulipas*	Cretácico Inferior (Valanginiano–Albiano).	Tintínidos (<i>Remaniella cadischiana</i> , <i>Tintinnopsella longa</i> , <i>Calpinellites darderi</i> , <i>Colomiella</i> sp.) y foraminíferos (<i>Ticinella roberti</i>).	Facies pelágicas.
Fm. Cuesta del Cura	Cretácico Superior (Cenomaniano–Turoniano).	Foraminíferos planctónicos (<i>Planomalina buxtorfi</i> , <i>Thalmaninella evoluta</i> , <i>Rotalipora montsalvensis</i> , <i>Rotalipora turonica</i>) y radiolarios.	Facies oceánico–pelágicas.
Fm. Agua Nueva	Cretácico Superior (Turoniano–Santoniano).	Foraminíferos plantónicos (<i>Dicarinella</i> sp., <i>Thalmaninella brotzeni</i> , <i>T. appeninica</i> , <i>Rotalipora cushmani</i> , <i>Helvetoglobotruncana helvetica</i> , <i>Dicarinella concavata</i> , <i>D. carinata</i>).	Ambientes profundos con aportes de terrígenos.
Fm. San Felipe	Cretácico Superior (Santoniano–Campaniano).	Foraminíferos planctónicos (<i>Globotruncana fornicata</i> , <i>G. arca</i> , <i>G. linneiana</i> , <i>Dicarinella concavata</i> , <i>Archaeoglobigerina cretacea</i> , <i>Globotruncanita elevata</i>).	Ambientes profundos con aportes de terrígenos.
Fm. Méndez	Cretácico Superior (Campaniano–Maastrichtiano).	Amonites (<i>Phyllopachyceras forbesianum</i> , <i>Tetragonites superstes</i> , <i>Gaudryceras kayei</i>), foraminíferos planctónicos (<i>Globotruncana arca</i> , <i>G. linneiana</i> , <i>G. rosetta</i> , <i>G. stuartiformis</i> , <i>G. contusa</i> , <i>Globotruncanita stuarti</i> y <i>Globotruncanella havanensis</i> , <i>Abathomphalus mayoraensis</i> , <i>Rosita contusa</i> , <i>Racemiguembelina fructicosa</i>).	Facies de talud.

*= Unidades informales.

cushmani, *Helvetoglobotruncana helvetica*, *Dicarinella concavata* y *D. carinata* determinó que se depositó entre el Turoniano y el Santoniano inferior.

Por otro lado, la Formación San Felipe aflora en el Cañón de la Peregrina, compuesta de una alternancia irregular de lutitas calcáreas y calizas tipo mudstone fuertemente arcillosas, con presencia de abundantes foraminíferos planctónicos, entre los que se encuentran *Globotruncana fornicata*, *G. linneiana*, *G. arca*, *Dicarinella concavata*, *Archaeoglobigerina cretacea* y *Globotruncanita elevata*. Estos taxones permitieron ubicar a la formación entre el Santoniano superior–Campaniano inferior (Gamper, 1977).

También en el Cañón de la Peregrina, sin una ubicación estratigráfica clara, se encuentra la Formación Méndez, que corresponde a una potente secuencia de lutitas y margas de coloraciones amarillas (Gamper, 1977). En lo que se refiere a su contenido paleontológico, la parte inferior de la unidad contiene a los foraminíferos planctónicos *Globotruncana arca*, *G. linneiana*, *G. rosetta*, *G. lapparenti*, *G. stuartiformis* y *Archeoglobigerina cretacea*. Mientras que la parte superior de la sección contiene a *Globotruncana contusa*,

G. canica, *Globotruncanita stuarti* y *Globotruncanella havanensis*. Debido a estas especies, Gamper (1977) señaló que la edad de la formación se ubicaba entre el Campaniano tardío y Maastrichtiano medio. Esta formación también aflora, en la localidad de El Zancudo, en el municipio de Nuevo Laredo, al noroeste del estado, y para la que se han descrito los amonites *Brahmaites (Anabrahmaites) vishnu*, *Diplomoceras cylindraceum*, *Fresvilla* sp., *Hypophylloceras (Neophylloceras)* cf. *H. (N.) surya*, *Discoscaphites* sp., *Phyllopachyceras forbesianum*, *Tetragonites superstes* y *Gaudryceras kayei* (Ifrim y Stinnesbeck, 2013). Dicha asociación fue atribuida al Maastrichtiano inferior (Cretácico Superior) por Ifrim y Stinnesbeck (2013). De igual forma, la Formación Méndez se encuentra aflorando en la localidad El Mimbral, localizada a 10 km de la carretera Victoria-Tampico. Está sección pertenece a la parte superior de la unidad, para la que Keller *et al.*, (1994), reportó la presencia de los foraminíferos *Abathomphalus mayoraensis*, *Rosita contusa* y *Racemiguembelina fructicosa* que permitieron asignar dicha sección al Maastrichtiano superior (Keller *et al.*, 1994) (Tabla 4).

2.3. Cenozoico

En Tamaulipas también afloran una amplia variedad de rocas cenozoicas de origen marino (Tabla 5), las cuales, principalmente han sido objeto de estudios bioestratigráficos y paleontológicos (Jackson, 1937; Miller y Furnish, 1938; Gardner, 1945; Alegret y Thomas, 2001; González-Terrazas, 2006) (Figura 3).

Paleógeno. En la anteriormente mencionada localidad de El Mimbral, sobreyaciendo a la Formación Méndez, se encuentra la Formación Velasco, constituida por estratos de dos metros de espesor de lutitas grisáceas, margas y bentonitas. Keller *et al.*, (1994) asociaron a las rocas de dicha unidad con el Paleoceno inferior, debido a la presencia de los foraminíferos *Parvularuglobigerina eugubina*, *P. longiapertura* y *Globoconusa daubjergensis*.

Por otro lado, en el municipio de Mier, Gardner (1945) reconoció informalmente a la formación Indio, compuesta litológicamente por estratos de areniscas calcáreas azul grisáceas de grano fino, lutitas y conglomerados de color café rojizos, en los que ocurren los bivalvos *Ostrea intermedoides*, *Acar domiguensis* y *Vanericardia diga*, así como el gasterópodo *Galeoda* sp., permitiendo relacionar a esta unidad con el Eoceno inferior (Gardner, 1945).

De igual forma, en el municipio de Mier, fue reconocido el grupo Claiborne (Gardner, 1945), para el cual se identificó la Formación Carrizo, compuesta por estratos de areniscas amarillentas a marrones y conglomerados. En cuanto a su contenido paleontológico, Gardner (1945) describió el gasterópodo *Calyptrophorus carrizensis*, vinculado al Eoceno medio. En el mismo municipio y dentro del grupo Claiborne, sobreyaciendo a la Formación Carrizo, se encuentra la Formación Mount Selman, una unidad informal constituida por areniscas calcáreas marrones y grisáceas de

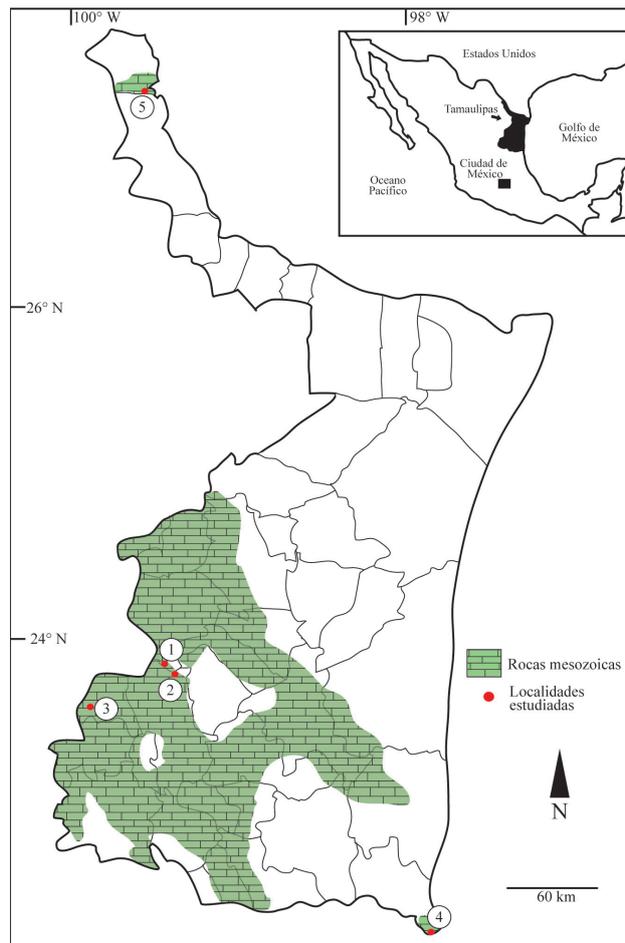


Figura 2. Mapa de Tamaulipas, señalando la distribución aproximada de las rocas del Mesozoico, así como las localidades previamente estudiadas: 1) Cañón del Huizachal, 2) Cañón de la Peregrina, 3) Miquihuana, 4) Tampico, 5) "El Zancudo" (Modificado de Servicio Geológico Mexicano, 2006).

grano fino, en donde se han reportado los bivalvos *Ostrea gierharti* y *Corbula (Variocorbula) sp.*, referidas al Eoceno medio (Gardner, 1945).

Perteneciendo a este mismo grupo estratigráfico, Gardner (1945), también describió, la Formación Laredo, representada por una secuencia de lutitas grisáceas, calizas de color gris fuerte a marrón y areniscas. Está formación contiene abundantes bivalvos, como *Crassostraea contracta*, *Nucula (Nucula) mauricensis*, *Tellina (Eurytellina) mooreana* y *Pteropsella lapidosa*, así como los gasterópodos *Ampullina dumblei*, *Neverita limula*, *Architectonica (Stellaxis) alveatum*, *Lacina santander* y *Cornulina*

armigera, permitiendo asociarla al Eoceno medio (Gardner, 1945). La última unidad del grupo Claiborne corresponde a la Formación Yegua, que aflora en el municipio de Mier y se encuentra representada por una secuencia de arcillas arenosas, arcillas de color verdoso a marrón y areniscas, en las que ocurren los gasterópodos *Ampullina quitrinensis* y *Pseudoliva vetusta*, al igual que los bivalvos *Orthoyoldia psammotaea* y *Phacoides quintamaia*, del Eoceno medio (Gardner, 1945).

Gardner (1945) estudió la Formación Jackson que aflora en el municipio de Camargo, conformada por arenisca calcárea de grano fino, así como calizas arenosas y arcillas

Tabla 4. Correlación y alcances estratigráficos de las formaciones mesozoicas de Tamaulipas, México.

Sistema	Serie	Cañón de Caballeros	Cañón de la Peregrina	Cañón del Novillo	Cañón del Huizachal	Tampico	Miquihuana	Nuevo Laredo
CRETÁCICO	Superior		Fm. Méndez					Fm. Méndez
			Fm. San Felipe					
	Inferior		Fm. Agua Nueva					
			Fm. Cuesta del cura					
JURÁSICO	Superior				Caliza Tamaulipas			
	Medio				Fm. Tamaulipas Inferior			
	Inf.							
TRIÁSICO	Superior				Fm. La Casita			
	Med.				Fm. La Boca			
	Inf.							

arenosas. Aquí se han registrado los bivalvos *Nucula sphenopsis*, *Corbula azucar*, *Pteria limula* y *Mesodesma singleyi*, los escafópodos *Cadulus jacksonensis* y *Dentalium mississippiensis*, y los gasterópodos *Architectonica (Stellaxis) alveatum*, *Kapalmerella arenicola*, *Calyptraphorus velatus*, *Pseudoliva vetusta*, *Mitra (Fusimitra) mellingtoni* y *Conus sauridens*. Todos los taxones de invertebrados en conjunto permitieron señalar que la unidad pertenece al Eoceno superior (Gardner, 1945). Posteriormente, Eguiluz-De Antuñano *et al.* (2020) estudiaron una sección de la misma formación, en la cual reconocieron a ostréido *Crassostrea* cf. *alabamiensis*, relacionándolo geoquímicamente con el Priaboniano (Eoceno superior).

Sobreyaciendo en edad, se encuentra la formación Lower Marine Sandstone, una unidad informal descrita por Gardner (1945) y que de igual manera aflora en el municipio de Camargo. Está se encuentra compuesta por estratos de areniscas café y grises de grano medio, en las que ocurren los bivalvos *Corbula engonata*, *Macrocallista chantui* y *Chione matutina*, así como los gasterópodos *Ficus mississippiensis* y *Terebra (Strioterebrum) tantula*. Está unidad es referida al Oligoceno inferior (Gardner, 1945).

También, Gardner (1945) describió dos unidades informales, las cuales afloran en el municipio de San Fernando. La primera es denominada miembro Limestone, correspondiente a una secuencia de calizas color gris claro, en las que se presenta el bivalvo *Kuphus incrassatus* y los gasterópodos *Holospira eva*, *Orthaulax pugnax* y *Ampullina (Ampullinopsis) amphora*, referidos al Oligoceno superior. La segunda es el miembro Sandstone, compuesto por una secuencia de areniscas café grisáceas de grano medio, en donde se reportaron los bivalvos *Lopha (Lopha) vicksburgensis* y *Nemocardium (Nemocardium) diversum*, al igual que los gasterópodos *Fusimitra conquisita* y *Ficus mississippiensis*, permitiendo relacionar la unidad con el Oligoceno superior (Gardner, 1945).

Por otra parte, en el municipio de Abasolo, aflora la Formación Mesón, representada por estratos de tres metros de espesor compuestos de arenisca, caliza, marga arenosa o lutita arenosa (González-Terrazas, 2006). A esta se le ha asignado una edad chattiana-aquitania (Oligoceno tardío–Mioceno temprano), basada en la presencia de los foraminíferos *Lepidocyclina (Eulepidina) cf. undosa* y *Heterostegina cf. panamensis*. En la misma unidad, también ocurren los equinoideos *Echinolampas depressa*, *Macropneustes mexicanus* y *Diadema* sp. (González-Terrazas, 2006).

Neógeno. En el municipio de San Fernando aflora la formación Guajolote, una unidad informal representada por estratos de areniscas en los que ocurren los bivalvos *Lyropecten dumblei*, *Dinocardium cabezai*, *Agriopoma (Pitarella) calceola* y *Clementina (Egesta) grayi*, así como los gasterópodos *Turritela subgrandifera*, *Nassarius (Uzita) waltonensis* y *Oliva* sp. La asociación faunística permitió establecer que esta formación se depositó en el Mioceno inferior (Gardner, 1945).

Para el municipio de Reynosa, Gardner (1945) reportó la Formación Oakville, la cual se compone de estratos de caliza arenosa y arenisca en los que se encuentra el bivalvo *Striostraea cahobasensis*, referido al Mioceno medio (Tabla 6).

3. Facies y paleoambientes de Tamaulipas

Con respecto a la determinación de los ambientes de depósito, es evidente que existe una escasez de información referente al tema. Esto no solo es importante para conocer donde vivieron los organismos como una asociación en vida, sino también porque ayuda a determinar cómo han ido evolucionando algunas de las cuencas sedimentarias del estado de Tamaulipas. De estos trabajos, la minoría presentaba un análisis paleoambiental concreto, mientras que en otros, solo había una descripción sencilla del ambiente deposicional, inferida por la fauna y la litología de las rocas portadoras. Cabe resaltar que la mayoría de los estudios revisados omitieron completamente el tema en cuestión.

3.1. Paleozoico

Para el Silúrico tardío (Wenlockiano–Ludloviano) de la Formación Cañón de Caballeros en el municipio de Victoria, Boucot *et al.* (1997), mencionaron un paleoambiente de depósito de aguas someras, inferido por la presencia de braquiópodos típicos de este ambiente, así como por la ocurrencia de trilobites y corales en areniscas de grano fino a medio.

En relación con el Mississípico Inferior (Tournaisiano superior–Viseano inferior), correspondiente a la Formación Vicente Guerrero, Sour-Tovar (1999) describió un ambiente de plataforma terrígena somera, con una posible influencia deltaica, baja luminosidad, alta turbidez y bajas temperaturas, inferido por la diversidad de braquiópodos, presencia de gasterópodos y, fragmentos de colonias de briozoos. Esto también por la presencia de areniscas calcáreas y areniscas intercaladas con lutitas, bancos de formas lenticulares, conglomerado y brechas de grano fino.

Para el Pensilvánico (Moscoviano), Stewart *et al.* (1999) mencionaron que la Formación del Monte se depositó en un ambiente de plataforma somera con un aporte constante de terrígenos por parte de un continente cercano. Subsecuentemente, para la Formación Guacamaya, del Pérmico inferior (Cisuraliano), Stewart *et al.* (1999), describieron que la asociación fósil fue depositada en un ambiente tipo *flysch*, de aguas profundas y alta energía.

3.2. Mesozoico

Por otro lado, para el Jurásico Tardío (Tithoniano), en la Formación La Casita aflorante en el municipio de Victoria, Eguiluz *et al.* (2012) reportaron facies de un ambiente de depósito deltaico, basándose principalmente en las capas

de conglomerado intercaladas. Para el Cretácico Inferior, correspondiente a la Formación Taraises, en la misma localidad, dichos autores plantearon la ocurrencia de una plataforma abierta y somera, tipo rampa, basado en facies de caliza. Esta presentaba variaciones entre ambientes profundos y someros, representadas por los cambios de facies de caliza tipo mudstone a lutita, así como a carbonatos con cristales de yeso, arenisca y caliza con ostreidos.

Para 1977, Gamper hizo una descripción de los ambientes de depósito basados en microfacies de la secuencia cretácica del Anticlinorio Huizachal-Peregrina en el municipio de Victoria. Registró que para las formaciones La Casita y Taraises se produjo un episodio transgresivo,

sustentado por los marcados cambios en las microfacies de estas unidades. La Formación La Casita muestra facies someras constituidas principalmente por oosporitas, mientras que la Formación Taraises contiene microfacies de calpionélidos de profundidades considerables, con sedimentos calcáreos arenosos, así como gran cantidad de terrígenos finos a medios, señalando una cercanía al continente, el cual contribuía fuertemente a la aportación de los mismos. También describió que la parte inferior de la Caliza Tamaulipas se depositó en facies pelágicas con abundantes foraminíferos planctónicos, mientras que la parte media de la misma unidad, de edad albiana, fue depositada en aguas pelágicas. La presencia de brechas

Tabla 5. Unidades estratigráficas formales e informales del Cenozoico de Tamaulipas, México.

Unidad	Edad	Biota	Paleoambientes y facies
Fm. Velasco	Paleógeno inferior (Paleoceno inferior).	Foraminíferos bentónicos (<i>Parvularuglobigerina eugubina</i> , <i>P. longiapertura</i> , <i>Globoconusa daubjergensis</i>).	Facies de talud.
Fm. Indio*	Paleógeno medio (Eoceno inferior).	Bivalvos (<i>Ostrea intermedoides</i> , <i>Acar domiguensis</i> , <i>Vanericardia diga</i>) y gasterópodos (<i>Galeoda</i> sp.).	Ambientes someros con aportes de terrígenos.
Fm. Carrizo	Paleógeno medio (Eoceno medio).	Gasterópodos (<i>Calyptrophorus carrizensis</i>).	—
Fm. Mount Selman*	Paleógeno medio (Eoceno medio).	Bivalvos (<i>Ostrea gierharti</i> , <i>Corbula (Variocorbula)</i> sp.).	—
Fm. Laredo	Paleógeno medio (Eoceno medio).	Gasterópodos (<i>Ampullina dumblei</i> , <i>Neverita limula</i> , <i>Architectonica (Stellaxis) alveatum</i> , <i>Lacina santander</i> , <i>Cornulina armigera</i>) y bivalvos (<i>Crassostraea contracta</i> , <i>Nucula (Nucula) mauricensis</i> , <i>Tellina (Eurytellina) mooreana</i>).	—
Fm. Yegua	Paleógeno medio (Eoceno medio).	Gasterópodos (<i>Ampullina quitrinensis</i> , <i>Pseudoliva vetusta</i>) y bivalvos (<i>Orthoyoldia psammotaea</i> , <i>Phacoides quintamaia</i>).	—
Fm. Jackson	Paleógeno medio (Eoceno superior).	Gasterópodos (<i>Architectonica (Stellaxis) alveatum</i> , <i>Kapalmerella arenicola</i> , <i>Calyptrophorus velatus</i> , <i>Pseudoliva vetusta</i> , <i>Mitra (Fusimitra) mellingtoni</i> , <i>Conus sauridensis</i>), escafópodos (<i>Cadulus jacksonensis</i> , <i>Dentalium mississippiensis</i>), bivalvos (<i>Nucula sphenopsis</i> , <i>Corbula azucar</i> , <i>Pteria limula</i> , <i>Mesodesma singleyi</i>) y ostréidos (<i>Crassostrea</i> cf. <i>alabamiensis</i>).	Subambientes de barra, laguna y planicie fluvio-lacustre de costa litoral, dominada por olas y mareas, en un episodio transgresivo.
Fm. Lower Marine Sandstone*	Paleógeno superior (Oligoceno inferior).	Gasterópodos (<i>Ficus mississippiensis</i> , <i>Terebra (Strioterebrum) tantula</i>) y bivalvos (<i>Corbula engonata</i> , <i>Macrocallista chantui</i> , <i>Chione matutina</i>).	—
Miembro Limestone*	Paleógeno superior (Oligoceno superior).	Gasterópodos (<i>Holospira eva</i> , <i>Orthaulax pugnax</i> , <i>Ampullina (Ampullinopsis) amphora</i>) y bivalvos (<i>Kuphus incrassatus</i>).	—
Miembro Sandstone*	Paleógeno superior (Oligoceno superior).	Gasterópodos (<i>Fusimitra conquistata</i> , <i>Ficus mississippiensis</i>) y bivalvos (<i>Lopha (Lopha) vicksburgensis</i> , <i>Nemocardium (Nemocardium) diversum</i>).	—
Fm. Mesón	Paleógeno superior-Neógeno inferior (Oligoceno superior-Mioceno inferior).	Foraminíferos (<i>Lepidocyclina (Eulepidina)</i> cf. <i>undosa</i> , <i>Heterostegina</i> cf. <i>panamensis</i>) y equinoideos (<i>Echinolampas depressa</i> , <i>Macropneustes mexicanus</i> , <i>Diadema</i> sp.).	Playa abierta somera de alta energía.
Fm. Guajolote*	Neógeno inferior (Mioceno inferior).	Gasterópodos (<i>Turritella subgrandifera</i> , <i>Nassarius (Uzita) waltonensis</i> , <i>Oliva</i> sp.) y bivalvos (<i>Lyropecten dumblei</i> , <i>Dinocardium cabezai</i> , <i>Agriopoma (Pitarella) calceola</i> , <i>Clementina (Egesta) grayi</i>).	—
Fm. Oakville	Neógeno inferior (Mioceno medio).	Bivalvos (<i>Striostraea cahobasensis</i>).	—

*= Unidades informales.

intraformacionales de clastos grandes evidenciaron que hubo un evento de inestabilidad tectónica, el cual tuvo como consecuencia el transporte de grandes clastos de áreas cercanas al sitio de depósito.

Asimismo, Gamper (1977) mencionó que las condiciones de depósito de facies oceánico-pelágicas se mantuvieron hasta el Cenomaniano, correspondiendo con la Formación Cuesta del Cura, determinado por la presencia del foraminífero planctónico de aguas oceánicas *Planomalina buxtrofi* y la ocurrencia de abundantes radiolarios. Finalmente, el mismo autor describió importantes eventos de inestabilidad tectónica al inicio del depósito de las formaciones Agua Nueva y San Felipe. Esto, por un cambio abrupto de la sedimentación calcárea, la cual se ve interrumpida por grandes cantidades de terrígenos finos, influyendo en la deposición de calizas micríticas arcillosas y lutitas calcáreas, ocasionalmente intercaladas con bentonitas. El depósito de la Lutita Méndez indica el inicio de movimientos orogénicos que finalizan con el levantamiento laramídico.

Finalmente, Alegret *et al.* (2004) realizaron una reconstrucción paleoambiental de la transición Cretácico–Paleógeno, correspondientes a las formaciones Méndez y Velasco del afloramiento “El Mimbral”. Los autores mencionaron que dicho afloramiento se depositó a una profundidad cercana a los 1000 m, en la parte inferior del talud, inferido por asociaciones de foraminíferos bentónicos. Sin embargo, también existe la presencia de clastos correspondientes a medios someros (neríticos) mezclados con microesférulas, lo cual fue interpretado por los autores como consecuencia de flujos de masas originado por el impacto del límite K/Pg.

3.3. Cenozoico

De manera muy general, Gardner (1945), atribuyó características de aguas someras con aportes de terrígenos a la unidad informal descrita como formación Indio, municipio de Mier. Para esto, se basó en la litología compuesta por areniscas calcáreas de grano fino, así como por las faunas de bivalvos y gasterópodos acompañantes. Eguiluz-De Antuñano *et al.* (2020) detectaron la presencia de diferentes ambientes de depósito para una sección de la Formación Jackson. Subambiente lagunar o de estuario que se vinculan con un medio salobre, esto por la presencia de *Thalassinoides* isp. y fragmentos de ostréidos. Un ambiente con corriente intermitente que se genera por cambio hidrodinámico del flujo en planicies de intermarea o hipersalino, inferido por los terrígenos y rizolitos de ambiente lagunar en las rocas carbonatadas. Eguiluz-De Antuñano *et al.* (2020) también identificaron un paleoambiente con un flujo hidrodinámico laminar de baja energía y un ambiente fluviolacustre, con formación intermitente de suelo y acumulación de material volcánico en una planicie de inundación subaérea, con posible intemperismo de arcillas y oxidación, lo cual fue determinado por la intercalación de capas de terrígenos de grano fino con laminación paralela y cruzada de ángulo bajo e intervalos de caliche y yeso, con posible bentonita.

Finalmente, González-Terrazas (2006) describió para la Formación Mesón (Oligoceno–Mioceno) del municipio de Abasolo, un ambiente de depósito correspondiente a una zona de playa abierta, somera, bien oxigenada, con una intensidad de corriente y oleaje media, basándose en las formas de equinoides típicas de la zona litoral, en la gran cantidad de bioclastos y al depósito de matriz micrítica en las rocas.

4. Discusión

4.1. Consideraciones bioestratigráficas

El análisis de los trabajos paleontológicos sobre los invertebrados y protistas marinos de Tamaulipas demuestra que aún existe una fuerte escasez de información faunística de las diversas localidades fanerozoicas del estado, lo cual

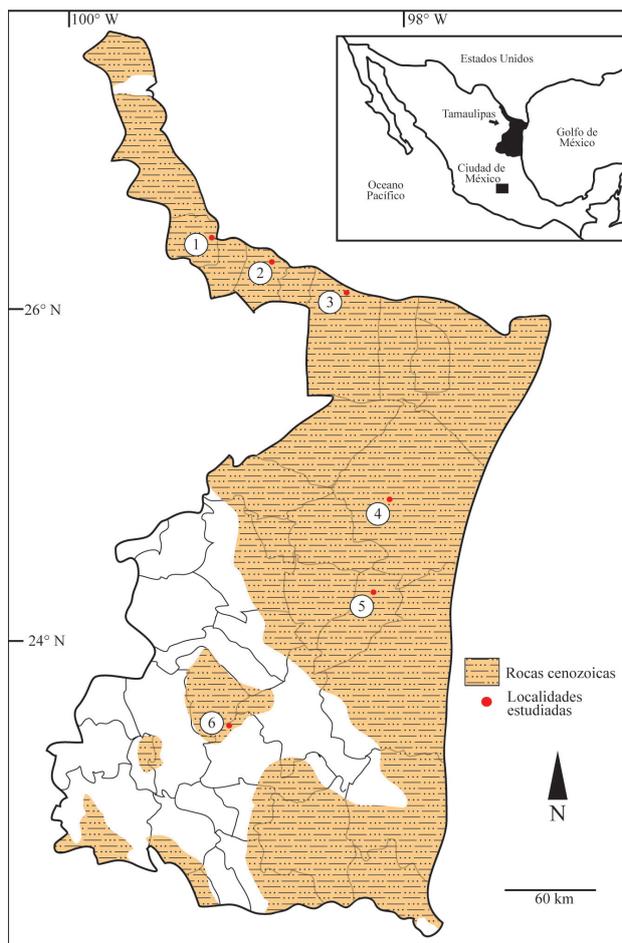


Figura 3. Mapa de Tamaulipas, señalando la distribución aproximada de las rocas del Cenozoico, así como las localidades previamente estudiadas: 1) Mier, 2) Camargo, 3) Reynosa, 4) San Fernando, 5) Abasolo, 6) “El Mimbral” (Modificado de Servicio Geológico Mexicano, 2006).

no permite tener un mayor control bioestratigráfico de las diferentes unidades litoestratigráficas de la región. A pesar de esto, se cuenta con valiosos fósiles índice que han permitido asignar edades muy precisas a las rocas portadoras. No obstante, muchos trabajos solo se han limitado a reportar la presencia de distintos grupos sin estudiarse a fondo, los cuales (como asociación) podrían coadyuvar a afinar aún más las edades anteriormente establecidas. Por otro lado, también es necesario hacer una revisión del material previamente utilizado, ya que algunos taxones pudieron haber sido reclasificados, descritos erróneamente o

actualmente presentan alcances estratigráficos mayores a los planteados en el trabajo original. Esto modificaría drásticamente la bioestratigrafía de Tamaulipas, sugerida por los invertebrados o protistas analizados.

Por ejemplo, Boucot *et al.* (1997) asignaron a la Formación Cañón de Caballeros una edad del Wenlockiano tardío–Ludloviano temprano, equivalente al Silúrico tardío, determinada por la presencia de los braquiópodos *Macropleura* sp., *Sphaerirhynchia* sp., *Baturria* sp. y *Strophoprion* sp. Sin embargo, sólo se alcanzó el nivel de género, los cuales, actualmente se sabe que presentan un

Tabla 6. Correlación y alcances estratigráficos de las unidades litoestratigráficas cenozoicas del estado de Tamaulipas, México.

Sistema	Serie	El Mimbrel	Mier	Camargo	San Fernando	Abasolo	San Fernando	Reynosa							
NEÓGENO	Plioceno							Fm. Oakville							
	Mioceno								Fm. Guajolote						
OLIGOCENO													Fm. Mesón		
															Miembro Sandstone
															Miembro Limestone
															Lower Marine Sandstone
PALEÓGENO	Eoceno									Grupo Clairbone					
															Fm. La Yegua
															Fm. Laredo
															Fm. Mount Selman
		Fm. Carrizo													
Paleoceno															
								Fm. Indio							
		Fm. Velasco													

alcance estratigráfico más amplio, desde el Wenlockiano (Silúrico medio) hasta el Emsiano (Devónico Inferior) (Gibson, 1992; Balinski, 2012).

En lo que concierne a la edad de la Formación La Yerba, recientemente ha sido puesta en duda, sin llegar a un consenso general de la misma. Esto es porque Carrillo-Bravo (1961), por posición estratigráfica y algunos braquiópodos reportados, relacionó dicha sucesión estratigráfica con el Devónico. Posteriormente, Stewart *et al.* (1999), establecieron que podría presentar una edad Pre-Pensilvánica temprana, basándose en la posición estratigráfica.

Por otra parte, algunas unidades litoestratigráficas que requieren de una revisión más detallada, son las descritas de manera informal por Gardner (1945). La primera es la formación Indio, que es del Eoceno inferior, ya que los taxones en que se basó no son fósiles índice precisos, ya que entre ellos se menciona a *Ostrea (Ostrea) intermedoides*, que también está presente en rocas del Paleoceno (Palmer y Brann, 1965). De la misma manera Gardner (1945) describió a la unidad informal miembro Limestone que es referida al Oligoceno superior, basándose en los moluscos *Kuphus incrassatus*, *Holospira eva*, *Orthaulax pugnax* y *Ampullina (Ampullinopsis) amphora*, los cuales también han sido referidos en localidades del Mioceno (King y Wright, 1979).

4.2. Paleogeografía y paleoambientales

Con la presente revisión fue posible apreciar los cambios en las facies de las rocas fanerozoicas de Tamaulipas. No obstante, hay una fuerte carencia de este conocimiento para el estado, ya que ningún autor ha realizado una interpretación paleoambiental a través de una sucesión estratigráfica completa. Cabe resaltar, que la mayor parte de los trabajos que versan sobre el registro fósil de protistas e invertebrados de Tamaulipas datan del siglo pasado (Becerra-Rodríguez *et al.*, 2020), y no hacen referencia de las implicaciones ambientales en dichos estudios.

4.2.1. Paleozoico

Las biotas fósiles han ayudado al entendimiento de la evolución paleogeográfica de lo que actualmente es el estado de Tamaulipas. De este modo, Boucot *et al.* (1997) establecieron que para el Silúrico superior (Wenlockiano–Ludloviano), una porción litosférica del estado correspondía a la parte Norte-noroeste de Gondwana, inferido por las afinidades paleobiogeográficas de las faunas de braquiópodos de la Formación Cañón de Caballeros con las de la Provincia Europea de la Región del Atlántico Norte, que cubrió el océano de la porción Norte-noreste de Gondwana (Boucot *et al.*, 1997).

Para el Tournaisiano tardío–Viseano temprano (Mississípico inferior), Tamaulipas se ubicaba al sudoeste de Laurasia, así como al sureste de la Provincia del Mid-Continent (Sour-Tovar, 1999), lo cual fue inferido

gracias a la asociación de braquiópodos depositados en la Formación Vicente Guerrero. Estas faunas además de ser similares a las de ciertas localidades de Norteamérica, también se correlacionaban con las depositadas en rocas de Oaxaca, que en conjunto con una porción de Hidalgo, se ha señalado que formaron parte del microcontinente Oaxaquia (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995; Centeno-García, 2005). Esta similitud con el Mid-continent, era el inicio de la regionalización de braquiópodos de Norteamérica, la cual bien pudo haber comenzado hasta el Pensilvánico (Porrás-López, 2017). Al final del Pérmico, la Provincia del Mid-Continent y la Provincia Apalachiana (provincia perteneciente a norteamérica) se fusionaron parcialmente, cerrando el Prototethys, esto debido al desplazamiento de las placas litosféricas tras lo que se originaría Pangea (Sour-Tovar, 1999). Para ese momento, aumenta la regionalización específica y genérica de distintos invertebrados marinos y protistas, los cuales eran fuertemente afines a las provincias paleobiogeográficas norteamericanas (Torres-Martínez *et al.*, 2019).

Las potentes secuencias siliciclásticas Paleozoicas que afloran en dicho estado, así como sus faunas compuestas mayormente por braquiópodos, trilobites, crinoideos, briozoos y corales muestran que durante dicha era predominaron ambientes de plataformas terrígenas someras (Boucot *et al.*, 1997; Sour-Tovar, 1999).

4.2.2. Mesozoico

Para el Triásico Superior–Jurásico Inferior, Tamaulipas formó parte de la región occidental de Pangea, tiempo durante el cual se depositaron sedimentos continentales que dieron origen a las secuencias rojizas del valle del Huizachal (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010). A la par, durante el límite Triásico–Jurásico comenzó la separación de Pangea, dado que la placa Norteamericana se separó de las placas sudamericana y africana (Padilla, 1986). Este proceso dio como resultado la apertura del Golfo de México, y a su vez, inició la formación de diferentes estructuras geológicas, como orógenos y cuencas, lo que controló la distribución de los mares y los procesos de sedimentación del noreste de México (Goldhammer y Johnson, 2001; Fastovsky *et al.*, 2005). El proceso de apertura del Golfo de México finalizó en el Jurásico Medio–Tardío, tiempo en que ocurrió una transgresión marina en el noreste de México. Dicho evento dio origen al Golfo de Sabinas, la Isla de Coahuila y la Península y Archipiélago de Tamaulipas (Morán-Zenteno, 1986). Para el Jurásico Superior, el Golfo de México se caracterizó por sus plataformas de aguas someras, en las que se depositaron grandes cantidades de carbonatos (Williams-Rojas y Hurley, 2001).

Para el Cretácico Inferior (Berriasiano–Barremiano) las condiciones tectónicas se mantuvieron estables, acumulándose grandes cantidades de carbonatos hacia las tierras emergidas, las cuales fueron bordeadas por sedimentos clásticos, predominando ambientes de plataformas carbonatadas (Mckee *et al.*, 1990). Basándose

en el taxón *Hegaratella baezi*, Cantú-Chapa (2012), estableció que durante el Berriasiano, Tamaulipas formó parte de la región occidental del mar de Tethys, que se encontraba conectada con ciertas regiones de Europa. Así mismo, durante el Cretácico Temprano los ambientes pelágicos y de aguas someras experimentaron una serie de cambios paleoambientales, relacionados con el Evento Anóxico Oceánico 1a, en el noreste de México, observado un recambio de comunidades marinas de ambientes someros a faunas de aguas profundas (Núñez-Useche *et al.*, 2020). Por otro lado, en el Cretácico Tardío, el Golfo de México se encontraba conectado con el Mar Interior Occidental de los Estados Unidos, ocurriendo una serie de transgresiones y regresiones marinas y cambios en los patrones de sedimentación en el noreste de México, (McFarlan y Menes, 1991; Goldhammer y Johnson, 2001). Específicamente, en la parte final del Cretácico Tardío (Campaniano–Maastrichtiano), el aporte de sedimentos clásticos provenientes del oeste de México incrementó considerablemente, además de que en el Golfo de México aumentó la subsidencia, lo que dio origen a potentes secuencias de margas y lutitas (Padilla, 1986).

Con esto, se puede observar que las facies marinas de Tamaulipas cambiaron fuertemente a lo largo del Mesozoico. Para el Triásico, así como para el Jurásico Inferior los depósitos de sedimentos señalan medios continentales con influencia volcánica (Mixon *et al.*, 1959; Rubio-Cisneros *et al.*, 2011; Barboza-Gudiño *et al.*, 2014), mientras que para el Jurásico Superior, las unidades litoestratigráficas están representadas por una potente secuencia de rocas carbonatadas, por lo que se refleja un episodio transgresivo a aguas someras (Gamper, 1977). Posteriormente, para el Cretácico Inferior, las facies cambiaron a condiciones oceánico-pelágicas, en las que se desarrollan faunas de amonites y bivalvos, así como calpionélidos y foraminíferos (Gamper, 1977; Eguiluz-De Antuñano *et al.*, 2012). En las rocas del Cretácico Superior comienzan a notarse modificaciones en las características sedimentológicas, cambiando de carbonatos a terrígenos, los cuales formaron lutitas y margas principalmente. Para este momento, los ambientes correspondían a un talud de cerca de 1000 m de profundidad, en dónde se desarrollaron foraminíferos bentónicos (Alegret *et al.*, 2004).

4.2.3. Cenozoico

Coincidiendo con el inicio del Cenozoico (Paleoceno temprano), se desarrolló el orógeno mexicano del Cretácico–Paleógeno, evento que influyó en la formación de las cadenas plegadas y cabalgadas de la Sierra Madre Oriental (Fitz *et al.*, 2018). Este evento produjo el plegamiento y levantamiento de las potentes secuencias carbonatadas mesozoicas, las cuales aportaron grandes cantidades de terrígenos y clastos (Sohl *et al.*, 1991). Al inicio del Eoceno comenzaron a depositarse dichos clastos, formando diferentes cuencas sedimentarias (de Cserna, 1989), entre ellas la cuenca de Burgos en la parte noroeste de Tamaulipas, desarrollada en un sistema de barras-barreras y deltas que dieron origen a

grandes secuencias de lutitas y areniscas (Padilla, 1986). Para el Oligoceno, los constantes aportes de sedimentos en las cuencas continuaron, hasta que disminuyeron en el Mioceno, completándose la formación de las cuencas de antepaís, entre ellas la cuenca Tampico-Misantla depositada al este de Tamaulipas (Salvador, 1991).

A inicios del Paleógeno inferior continuaron las condiciones de depósito similares a las mesozoicas, en ambientes de profundidades considerables y con un buen aporte de sedimentos terrígenos, donde se desarrollaron foraminíferos bentónicos (Alegret *et al.*, 2004). Los continuos flujos de material terrígeno perduraron durante el Eoceno–Oligoceno, mientras que para el Mioceno disminuyó, dando origen a la formación de cuencas de antepaís, entre ellas la Cuenca Tampico-Misantla (Salvador, 1991). No obstante, existían ambientes transicionales, ya que González-Terrazas (2006) describió un medio de playa abierta formada durante el Oligoceno tardío–Mioceno temprano, la cual dió paso a la Formación Mesón que forma parte de dicha cuenca.

4.3. Perspectivas

De las tres eras correspondientes al Fanerozoico, las más estudiadas en Tamaulipas son el Mesozoico y el Cenozoico, con pocos trabajos para el Paleozoico. Para el Paleozoico, el Misisípico es el más estudiado, seguido del Silúrico, mientras que el Pensilvánico y Pérmico han sido pobremente trabajados. Los braquiópodos representan el grupo mejor conocido, tanto para el Silúrico como para el Misisípico. A pesar de que hay reportes de pelmatozoos, corales rugosos y tabulados silúricos, no se han realizado estudios sistemáticos de ninguno de estos grupos. Lo mismo sucede con los invertebrados carboníferos, donde se han registrado bivalvos, gasterópodos y briozoos misisípicos, al igual que crinoideos pensilvánicos, y hasta la fecha siguen sin ser descritos. Otro grupo poco estudiado son los fusulínidos, tanto pensilvánicos como pérmicos, así como los amonoideos pensilvánicos, para los que sólo existe un estudio.

Con respecto al Mesozoico, las rocas del Cretácico Inferior han sido muy estudiadas, pero son las del Cretácico Superior a las que se les ha prestado mayor atención. Referente a los taxones mesozoicos, los amonites del Cretácico Inferior representan el grupo más estudiado, seguido por los calpionélidos. A pesar de existir reportes de bivalvos, crinoideos, esponjas y corales para las rocas de dicha edad, no se han realizado estudios taxonómicos de tales grupos. En lo que concierne al Cretácico Superior, los foraminíferos son el grupo mejor conocido, seguido de los bivalvos y amonites. Aunque se tienen reportes de crinoideos y decápodos para dicha edad, no se han abordado estudios taxonómicos para los mismos.

Referente al Cenozoico, las rocas del Paleoceno inferior son las más estudiadas, mientras que los estratos del Eoceno y Oligoceno han sido poco trabajados, al igual que las

localidades del Mioceno (Neógeno inferior). Referente a los grupos más estudiados, son los foraminíferos del Paleoceno inferior los mejor conocidos, seguidos de los bivalvos y gasterópodos del Eoceno, Oligoceno y Mioceno, así como los equinoideos del Oligoceno y Mioceno. Por otro lado, los corales, cefalópodos y decápodos han sido pobremente estudiados para las rocas del Cenozoico en general.

Esto demuestra que el estado de Tamaulipas aún cuenta con material diverso de protistas e invertebrados marinos que no ha sido estudiado, ya que a pesar de que se han descrito numerosos ejemplares fósiles, aún hay grupos que son prácticamente desconocidos. Además, no se cuenta con información suficiente para establecer como fueron cambiando las condiciones paleoambientales a lo largo del tiempo, siendo inherente la necesidad de realizar más estudios de esta índole.

5. Conclusiones

El Estado de Tamaulipas cuenta con un registro estratigráfico muy completo, con unidades litológicas, tanto formales como informales, que representan distintas edades de las tres eras del Fanerozoico, ya sea del Paleozoico (Silúrico medio-tardío, Misisípico Temprano, Pensilvánico Medio, Pérmico temprano), en las que ocurren principalmente braquiópodos y crinoideos en ambientes de plataforma continental; del Mesozoico (Triásico Tardío, Jurásico, Cretácico), donde se reportan especialmente amonites, calpionélidos y foraminíferos que se depositaron en plataformas carbonatadas y facies de aguas profundas; y del Cenozoico (Paleógeno, Neógeno), en donde se presentan comúnmente foraminíferos, bivalvos, gasterópodos y equinoideos en facies de aguas profundas y playas someras. Esto denota que las rocas de Tamaulipas poseen una gran importancia para el entendimiento de la historia geológica del noreste de México, debido a los distintos eventos registrados en las mismas, tales como modificaciones en el nivel del mar y cambios en sus cuencas sedimentarias.

A pesar de la gran diversidad faunística reportada para la región, el conocimiento de sus biotas aún es limitado y requiere de una mayor atención, principalmente aquellos taxones que carecen de estudios sistemáticos formales, incluyendo grupos paleozoicos (p. ej. trilobites, bivalvos, gasterópodos, corales, esponjas y briozoos), mesozoicos (p. ej. esponjas, corales y crinoideos) y cenozoicos (p. ej. cefalópodos y corales). Otro aspecto que requiere consideración es la revisión del material depositado en las colecciones, esto último con el objetivo de actualizar la taxonomía del material estudiado en el siglo pasado, el cual es abundante. Esto, subsecuentemente ayudará a establecer edades relativas fehacientes a ciertas unidades litoestratigráficas del Estado de Tamaulipas, ya que algunas aún se encuentran en discusión.

Del mismo modo, un aspecto importante para el entendimiento de las biotas y la historia geológica del país es

el conocimiento de la evolución paleoambiental, que hasta la fecha sigue siendo poco estudiada en la región. Debido a esto, no solo es necesario centrarse en el estudio petrográfico de las rocas carbonatadas sino también en ciertos grupos que aporten información al respecto, como son los briozoos y crinoideos paleozoicos, así como los crinoideos mesozoicos.

Finalmente, en localidades como el Cañón del Novillo (Victoria), “El Cielo” (Gómez Farías), El Cañón de la Servilleta (Mante), así como los yacimientos de los municipios de Bustamante, Hidalgo, Tula y San Carlos, afloran rocas con potencial fosilífero, las cuales no han sido estudiadas hasta el momento. Es evidente que las secuencias marinas de Tamaulipas siguen siendo de gran interés paleontológico y sedimentológico, por lo que su estudio ayudaría a enriquecer el conocimiento sobre la evolución geológica, ambiental y paleogeográfica del noreste de México.

Agradecimientos

El primer autor agradece los apoyos brindados por el Gobierno del Estado de Tamaulipas, el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología y el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, así como al programa XXIX Verano de la Investigación Científica de la Academia Mexicana de Ciencias, para el desarrollo del proyecto “Protozoos e invertebrados fósiles de Tamaulipas, México”. Los autores agradecen las observaciones y sugerencias brindadas por los árbitros, Dra. Claudia Serrano-Brañas (Benemérita Escuela Normal de Coahuila/Smithsonian Institution) y Dr. Francisco Sánchez-Beristain (Facultad de Ciencias, UNAM), las cuales enriquecieron ampliamente el manuscrito original. Asimismo, se aprecia considerablemente el apoyo brindado por el Dr. Josep Moreno-Bedmar, Editor en Jefe de Paleontología Mexicana. MATM agradece el apoyo parcial proporcionado por el proyecto PAPIIT IA103920 (DGAPA-UNAM) para la realización de este trabajo.

Referencias

- Alegret, L., Thomas, E., 2001, Upper Cretaceous and lower Paleogene benthic foraminifera from northeastern Mexico: *Micropaleontology*, 47(4), 269–316. <https://doi.org/10.2113/47.4.269>.
- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Liesa, C., Meléndez, A., Molina, E., Thomas, E., 2002, The Cretaceous/Tertiary boundary: sedimentology and micropaleontology at El Mulato section, NE Mexico: *Terra Nova*, 14(5), 330–336. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2002.00425.x>.
- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Molina, E., 2004, Bioestratigrafía y reconstrucción paleoambiental del tránsito Cretácico-Paleógeno en El Mimbral (México): *Geo-Temas*, 6(4), 357–360.
- Alemán-Gallardo, E.A., Ramírez-Fernández, J.A., Weber, B., Velasco-Tapia, F., Casas-Peña, J.M., 2019, Novillo Metamorphic Complex, Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Tamaulipas, Mexico: Characterization and development based on whole-rock geochemistry and Nd-isotopic ratios: *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102382>.

- Baliński, A., 2012, The brachiopod succession through the Silurian–Devonian boundary beds at Dnistrove, Podolia, Ukraine: *Acta Palaeontologica Polonica*, 57(4), 897–924. <http://dx.doi.org/10.4202/app.2011.0138>.
- Barboza-Gudiño, J.R., Zavala-Monsiváis, A., Venegas-Rodríguez, G., Barajas-Nigoche, L.D., 2010, Late Triassic stratigraphy and facies from northeastern Mexico: Tectonic setting and provenance: *Geosphere*, 6(5), 621–640. <https://doi.org/10.1130/GES00545.1>.
- Barboza-Gudiño, J.R., Ramírez-Fernández, J.A., Torres-Sánchez, S.A., Valencia, V.A., 2011, Geocronología de circones detríticos de diferentes localidades del Esquistos Granjeno en el noreste de México: *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, 63(2), 201–216. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2011v63n2a5>.
- Barboza-Gudiño, J.R., Ocampo-Díaz, Y.Z.E., Zavala-Monsiváis, A., López-Doncel, R.A., 2014, Procedencia como herramienta para la subdivisión estratigráfica del Mesozoico temprano en el noreste de México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31(3), 303–324. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2014.3.236>.
- Barragán, R., Maurrasse, F.J.-M.R., 2008, Lower Aptian (Lower Cretaceous) ammonites from the basal strata of the La Peña Formation of Nuevo León State, northeast Mexico: biochronostratigraphic implications: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(1), 145–157.
- Becerra-Rodríguez, A.G., Correa-Sandoval, A., Torres-Martínez, M.A., 2020, Revisión histórica del registro fósil de protozoos e invertebrados marinos del estado de Tamaulipas, México: *Paleontología Mexicana*, 9(2), 135–143.
- Boucot, A.J., Blodgett, R., Stewart, J.H., 1997, European province late Silurian brachiopods from the Ciudad Victoria area, Tamaulipas, northeastern Mexico: *Geological Society of America, Special Paper*, 321, 273–294. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2321-3.273>.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Arellano-Gil, J., Flores de Dios, L.A., 1998, Crinoideos del Pensilvánico del Cañón de la Peregrina, Estado de Tamaulipas, México (resumen), en *Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, México D.F., México: México, Unión Geofísica Mexicana*, p. 55.
- Cameron, K.L., Lopez, R., Ortega-Gutiérrez, F., Solari, L.A., Keppie, J.D., Schulze, C., 2004, U–Pb geochronology and Pb isotopic compositions of leached feldspars: Constraints on the origin and evolution of Grenville rocks from eastern and southern Mexico: *Geological Society of America Memoir*, 197, 755–768. DOI: <https://doi.org/10.1130/0-8137-1197-5.609>.
- Cantú-Chapa, C.M., 1976, Estratigrafía de la Formación La Peña (Aptiano Sup.) en el área de Monterrey, N.L.: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 8(4), 7–16.
- Cantú-Chapa, A., 2009, Ammonites of the Cretaceous Taraises and lower Tamaulipas formations in eastern Mexico, en Bartolini, C., Román Ramos J.R. (eds.), *Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico: American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 90, 191–216.
- Cantú-Chapa, A., 2012, Présence d'*Hegaratella* Nikolov & Sapunov 1977, ammonite du Berriasien (Crétacé inférieur) à Victoria, au nord-est du Mexique: *Revue de Paléobiologie*, 11, 53–61.
- Carrillo-Bravo, J., 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13, 1–98.
- Casas-Peña, J.M., Ramírez-Fernández, J.A., Velasco-Tapia, F., Alemán-Gallardo, E.A., Augustsson, C., Weber, B., Frei, D., Jenchen, U., 2021, Provenance and tectonic setting of the Paleozoic Tamatán Group, NE Mexico: Implications for the closure of the Rheic Ocean: *Gondwana Research*, 91, 205–230. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.12.012>.
- Centeno-García, E., 2005, Review of upper Paleozoic and lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments, central and west Mexico: Constraints on terrane analysis and paleogeography: *Geological Society of America, Special Paper*, 393, 233–258. DOI: <https://doi.org/10.1130/0-8137-2393-0.233>.
- Clark, J.M., Hopson, J.A., 1985, Distinctive mammal-like reptile from Mexico and its bearing on the phylogeny of the Tritylodontidae: *Nature*, 315, 398–400. DOI: <https://doi.org/10.1038/315398a0>.
- Clark, J.M., Hernández-Rivera, R., 1994, A new burrowing diapsid from the Jurassic La Boca Formation of Tamaulipas, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 14, 180–195. DOI: <https://doi.org/10.1080/002724634.1994.10011551>.
- Clark, J.M., Hopson, J.A., Hernández, R., Fastovsky, D.E., Montellano, M., 1998, Foot posture in a primitive pterosaur: *Nature*, 391, 886–889. DOI: <https://doi.org/10.1038/36092>.
- Cloud Jr., P.E., 1944, Permian brachiopods, en King, R.E., Dunbar, C.O., Cloud Jr. P.E., Miller, A.K. (eds.), *Geology and Paleontology of the Permian Area Northwest of Las Delicias, Southwestern Coahuila, Mexico: Geological Society of America, Special Paper*, 52, 49–69. <https://doi.org/10.1130/SPE52-p1>.
- de Cserna, Z., 1989, An outline of the geology of Mexico: The Geology of North America - An overview: The Geological Society of America, A, 233–264. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-A.233>.
- Dunbar, C.O., 1944, Permian and Pennsylvanian(?) fusulines, en King, R.E., Dunbar, C.O., Cloud Jr., P.E., Miller A.K. (eds.), *Geology and Paleontology of the Permian Area Northwest of Las Delicias, Southwestern Coahuila, Mexico: Geological Society of America Special Paper*, 52, 35–49. <https://doi.org/10.1130/SPE52-p1>.
- Eguiluz-De Antuñano, S., Aranda-García, M., Marrett, R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53(1), 1–26. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2000v53n1a1>.
- Eguiluz-de Antuñano, S., Olivares-Ramos, D., López-Martínez, R., 2012, Discordancia entre el Jurásico y Cretácico en Huizachal, Tamaulipas, México. Su posible correlación con un límite de secuencia global: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), 87–102.
- Eguiluz-de Antuñano, S., Solís Pichardo, G., Vega, F.J., 2020, Contribución al conocimiento paleontológico, geocronológico y paleoambiental de la Formación Jackson inferior (Eoceno Superior), en la Cuenca de Burgos, Tamaulipas, México: *Paleontología Mexicana*, 9(2), 121–134.
- Esquivel-Macías, C., Solís-Marín, F.A., Buitrón-Sánchez, B., 2004, Nuevos registros de placas columnares de crinoideos (Echinodermata, Crinoidea) del Paleozoico Superior de México, algunas implicaciones paleobiogeográficas y paleoambientales: *Coloquios de Paleontología*, 54, 15–23.
- Fastovsky, D.E., Clark, J.M., Strater, N.H., Montellano, M., Hopson, J.A., 1995, Depositional environments of a Middle Jurassic terrestrial vertebrate assemblage, Huizachal Canyon, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 15(3), 561–575. <http://dx.doi.org/10.1080/002724634.1995.10011249>.
- Fastovsky, D.E., Hermes, D., Strater, N.H., Bowring, S.A., Clark, J.M., Montellano, M., Hernández, R., 2005, Pre–Late Jurassic, fossil-bearing volcanic and sedimentary red beds of Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico, en Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., Steiner, M.B. (eds.), *The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives: Geological Society of America, Special Paper*, 393, 259–282. <http://dx.doi.org/10.1130/0-8137-2393-0.401>.
- Fitz-Díaz, E., Lawton, T.F., Juárez-Arriaga, E., Chávez-Cabello, G., 2018, The Cretaceous–Paleogene Mexican orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics: *Earth-Science Reviews*, 183, 56–84. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.002>.
- Gamper, M.A., 1977, Estratigrafía y microfácies cretácicas en el Anticlinorio de Huizachal-Peregrina (Sierra Madre Oriental): *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 38, 1–17. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1977v38n1a1>.
- Gardner, J., 1945, Mollusca of the Tertiary Formations of Northeastern Mexico: *Geological Society of America, Memoir*, 11, 1–322. <https://doi.org/10.1130/MEM11>.
- Gibson, M.A., 1992, Some epibiont-host and epibiont-epibiont relationships from the Birdsong Shale member of the lower Devonian Ross Formation (west-central Tennessee, USA): *Historical Biology*, 6(2), 113–132. <http://dx.doi.org/10.1080/10292389209380422>.

- Goldhammer, R.K., Johnson, C.A., 2001, Middle Jurassic-Upper Cretaceous Paleogeographic evolution and sequence stratigraphic framework of the northwest Gulf of Mexico rim, *en* Bartolini, C., Buffler, T., Cantú-Chapa, A. (eds.), *The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins and petroleum systems: American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 75, 45–81. <https://doi.org/10.1306/M75768C3>.
- González-Terrazas, D.I., 2006, Estudio paleontológico de algunos equinoides terciarios de la localidad Guadalupe Victoria, municipio de Abasolo, Tamaulipas, México: México, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis profesional, 61 pp.
- Guajardo-Cantú, E., de la Cruz, F.T., Hernández-Ocaña, M.I., Chacón-Baca, E., López, J.C.J., 2019, Gasterópodos (Mollusca, Gastropoda) del Eoceno en el municipio General Bravo de la Cuenca de Burgos, Nuevo León, México: *Paleontología Mexicana*, 8(2), 109–120.
- Heredia-Jiménez, D.P., Alanís-Pavón, A., Quiroz-Barragán, J., Becerra-Rodríguez, A.G., Torres-Martínez, M.A., 2019, Braquiópodos del Pérmico medio (Wordiano) de las Delicias, Coahuila, México: *Paleontología Mexicana*, 8(2), 89–96.
- Humphrey, W.E., 1949, Geology of Sierra de Los Muertos area, Mexico (with descriptions of Aptian cephalopods from the La Peña Formation): *Geological Society of America Bulletin*, 60, 89–176. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1949\)60\[89:GOTSDL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1949)60[89:GOTSDL]2.0.CO;2).
- Ifrim, C., 2019, *Schlueterella stinnesbecki* n. sp. (Ammonoidea, Diplomoceratidae) del Turoniano-Coniaciano del noreste de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(3), 841–849. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n3a13>.
- Ifrim, C., Stinnesbeck, W., 2013, Ammonoids from the Maastrichtian (Late Cretaceous) at El Zancudo, Nuevo Laredo, Tamaulipas, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(1), 189–200. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2013v65n1a14>.
- Ifrim, C., Lara-de la Cerda, J.E., Peña-Ponce, V.H., Stinnesbeck, W., 2017, The Upper Campanian-lower Maastrichtian cephalopod fauna of Botellos, Nuevo León: a key to understand faunal turnover across the Campanian-Maastrichtian boundary in NE Mexico: *Acta Geologica Polonica*, 67(1), 145–162. <https://doi.org/10.1515/aggp-2017-0009>.
- Ifrim, C., Múzquiz, H.P., Stinnesbeck, W., 2019, Ammonoids, their biozonation and their palaeobiogeographic relation across the Turonian-Coniacian boundary in northern Coahuila, Mexico: *Cretaceous Research*, 102, 170–195. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2019.03.014>.
- Imlay, R.W., 1937, Lower Neocomian fossils from the Miquihuana Region, Mexico: *Journal of Paleontology*, 11(7), 552–574.
- Imlay, R.W., 1938, Ammonites of the Taraises Formation of northern Mexico: *Geological Society of America, Bulletin*, 49, 539–602. <https://doi.org/10.1130/GSAB-49-539>.
- Imlay, R.W., 1940, Neocomian faunas of northern Mexico: *Geological Society of America, Bulletin*, 51, 117–190. <https://doi.org/10.1130/GSAB-51-117>.
- Israelsky, M.C., 1933, A new species of echinoids from Tamaulipas, México: *San Diego Society Natural History Transactions*, 8(22), 275–276.
- Jackson R., 1937, Mexican fossil Echini: *Proceedings United States Natural Museum*, 84, 227–237.
- Keller, G., Stinnesbeck, W., Lopez-Oliva, J.G., 1994, Age, deposition and biotic effects of the Cretaceous/Tertiary boundary event at Mimbral, NE Mexico: *Palaios*, 9(2), 144–157. <https://doi.org/10.2307/3515102>.
- King, K.C., Wright, R., 1979, Revision of the Tampa Formation, West-Central Florida: *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 29, 257–262.
- Longoria, J.F., Gamper, M.A., 1974, Two new species of Upper Cretaceous planktonic Foraminifera from the *Abathomphalus mayaroensis* Zone of Mexico: *Micropaleontology*, 20(4), 473–477.
- Martínez-Díaz, J.L., Aguillón-Martínez, M.C., Luque, J., Vega, F.J., 2017, Paleocene decapod crustacea from northeastern Mexico: Additions to biostratigraphy and diversity: *Journal of South American Earth Sciences*, 74, 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.01.005>.
- McFarlan Jr., E., Menes, L.S., 1991, Lower Cretaceous, *en* Salvador, A. (ed.), *The Gulf of Mexico basin: Geological Society of America, The Geology of North America*, J, 181–204. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-J.181>.
- Mckee, J.W., Jones, N.W., Long, L.E., 1990, Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico: *Geological Society of America, Bulletin*, 102(5), 593–614. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1990\)102<0593:SAPOSA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1990)102<0593:SAPOSA>2.3.CO;2).
- Mendoza-Maya, A.K., Moreno-Bedmar, J.A., Chávez-Cabello, G., 2017, Amonites del Aptiano superior de la Formación La Peña de la sección de Los Chorros, Coahuila, noreste de México: *Paleontología Mexicana*, 6(1), 43–49.
- Miller, A.K., 1944, Permian cephalopods, *en* King, R.E., Dunbar, C.O., Cloud Jr., P.E., Miller, A.K., (eds.), *Geology and Paleontology of the Permian Area Northwest of Las Delicias, Southwestern Coahuila, Mexico: Geological Society of America, Special Paper*, 52, 71–128. <https://doi.org/10.1130/SPE52-p1>.
- Miller, A.K., Furnish, W.M., 1938, Aturias from the Tertiary of Mexico: *Journal of Paleontology*, 12(2), 149–155.
- Mixon, R.B., Murray, G.E., Díaz, G.T., 1959, Age and correlation of Huizachal Group (Mesozoic), state of Tamaulipas, Mexico: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 23, 757–771.
- Montellano, M., Hopson, J.A., Clark, J.M., 2008, Late Early Jurassic mammaliaforms from Huizachal Canyon, Tamaulipas, México: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28(4), 1130–1143. <https://doi.org/10.1671/0272-4634-28.4.1130>.
- Morán-Zenteno, D.J., 1986, Breve revisión sobre la evolución tectónica de México: *Geofísica Internacional*, 25(1), 9–38.
- Murray, G.E., Furnish, W.M., Carrillo B.J., 1960, Carboniferous goniatites from Caballeros Canyon, State of Tamaulipas: *Journal of Paleontology*, 34, 731–737.
- Núñez-Useche, F., Barragán, R., Torres-Martínez, M.A., López-Zúñiga, P.A., Moreno-Bedmar, J.A., Chávez-Cabello, G., Canet, C., Chacón-Baca, E.C., 2020, Response of the western proto-North Atlantic margin to the early Aptian Oceanic Anoxic Event (OAE) 1a: an example from the Cupido platform margin-Gulf of Mexico, NE Mexico: *Cretaceous Research*, 113, 104488. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104488>.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978, El Gneis Novillo y rocas metamórficas asociadas en los Cañones del Novillo y de la Peregrina, área de Ciudad Victoria, Tamaulipas: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2(1), 19–30.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E., 1995, Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: *Geology*, 23(12), 1127–1130. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023%3C1127:OAPMAT%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023%3C1127:OAPMAT%3E2.3.CO;2).
- Ovando-Figueroa, J.R., Moreno-Bedmar, J.A., Chávez-Cabello, G., Minor, K.P., 2015, Lower Aptian ammonites of the Sierra de Parras, Coahuila State, northern Mexico: *Carnets de Géologie*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.4267/2042/56250>.
- Padilla, R.J., 1986, Post-Paleozoic tectonics of northeast Mexico and its role in the evolution of the Gulf of Mexico: *Geofísica Internacional*, 25(1), 157–206.
- Palmer, K.V., Brann, D.C., 1965, Catalogue of the Paleocene and Eocene Mollusca of the southern and eastern United States. Part 1. Pelecypoda, Amphineura, Pteropoda, Scaphopoda and Cephalopoda: *Bulletins of American Paleontology*, 48, 1–471.
- Porras-López, E.P., 2017, Análisis paleobiogeográfico de los braquiópodos productidos (Strophomenata: Productidina) del Carbonífero de la región de Nochistlán, Oaxaca, México: México, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis profesional, 73 pp.
- Quiroz-Barroso, S.A., Sour-Tovar, F., Quiroz-Barragán, J., 2019, Dos especies nuevas de *Paraconularia* (Scyphozoa, Conulariidae) en la Formación Las Delicias, Pérmico inferior-medio de Coahuila, México: *Revista Brasileira de Paleontologia*, 22(2), 120–130. <http://10.4072/rbp.2019.2.04>.

- Ramírez-Ramírez, C., 1992, Pre-Mesozoic geology of Huizachal-Peregrina Anticlinorium. Ciudad Victoria, Tamaulipas, and adjacent parts of eastern Mexico: U.S.A., University of Texas, Tesis doctoral, 450 pp.
- Reynoso, V.H., 1996, A Middle Jurassic Sphenodon-like sphenodontian (Diapsida: Lepidosauria) from Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 16, 210–221. <https://doi.org/10.1080/02724634.1996.10011309>.
- Reynoso, V.H., 2005, Possible evidence of a venom apparatus in a Middle Jurassic sphenodontian from the Huizachal red beds of Tamaulipas, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 25, 646–654. [https://doi.org/10.1671/02724634\(2005\)025\[0646:PEOAVA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/02724634(2005)025[0646:PEOAVA]2.0.CO;2).
- Reynoso, V.H., Clark, J.M., 1998, A dwarf sphenodontian from the Huizachal Formation of Tamaulipas, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18, 333–338. <https://doi.org/10.1080/02724634.1998.10011061>.
- Rubio-Cisneros, I.I., Lawton, T.F., 2011, Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle de Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early-Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extension: *Geosphere*, 7(1), 159–170. <https://doi.org/10.1130/GES00567.1>.
- Rubio-Cisneros, I.I., Ramírez-Fernández, J.A., García-Obregón, R., 2011, Análisis preliminar de procedencia de rocas clásticas jurásicas del valle de Huizachal, Sierra Madre Oriental: Influencia del vulcanismo sinsedimentario y el basamento cristalino: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2), 137–156. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2011v63n2a1>.
- Salvador, A., 1991, Origin and development of the Gulf of Mexico Basin, in Salvador, A. (ed.), *The Gulf of Mexico basin: Geological Society of America, The Geology of North America*, J, 389–444. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-J.389>.
- Sohl, N.F., Martínez, E., Salmerón-Ureña, P., Soto-Jaramillo, F., 1991, Upper Cretaceous, *en* Salvador, A. (ed.), *The Gulf of Mexico basin: Geological Society of America, The Geology of North America*, J, 205–244. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-J.205>.
- Sour-Tovar, F., 1999, Braquiópodos del Misisípico Inferior (Osageano) de la Formación Vicente Guerrero en el anticlinorio Huizachal-Peregrina, Norte de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México: México, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis doctoral, 69 pp.
- Sour-Tovar, F., Martínez-Chacón, M.L., 2004, Braquiópodos chonetoideos del Carbonífero de México: *Revista Española de Paleontología*, 19(2), 125–138. <https://doi.org/10.7203/sjp.19.2.20527>.
- Sour-Tovar, F., Álvarez, F., Martínez-Chacón, M.L., 2005, Lower Mississippian (Osagean) spire-bearing brachiopods from Cañón de la Peregrina, north of Ciudad Victoria, Tamaulipas, northeastern Mexico: *Journal of Paleontology*, 79(3), 469–485. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2005\)079%3C0469:LMOSBF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2005)079%3C0469:LMOSBF%3E2.0.CO;2).
- Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S.A., Quiroz-Barragán, J., Torres-Martínez, M.A., González-Mora, S., 2016, Presencia de *Anisopyge perannulata* y *Ditomopyge* cf. *D. whitei* (Trilobita, Proetidae) en el Pérmico (Guadalupeense medio) de la Formación Las Delicias, Coahuila, norte de México: *Paleontología Mexicana*, 5(2), 103–109.
- Stewart, J.H., Blodgett, R.B., Boucot, A.J., Carter, J.L., López-Ramos, R., Keppie, J.D., 1999, Exotic Paleozoic strata of Gondwanan provenance near Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico: *Geological Society of America, Special Paper*, 336, 227–252. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2336-1.227>.
- Stinnesbeck, W., 1994, Icnofósiles de la Formación Guacamaya (Pérmico inferior) del Cañón La Peregrina, al noreste de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 7(2), 47–55.
- Torres-Martínez, M.A., Heredia-Jiménez, D.P., Quiroz-Barroso, S.A., Navas-Parejo, P., Sour-Tovar, F., Quiroz-Barragán, J., 2019, A Permian (late Guadalupian) brachiopod fauna from northeast Mexico and their paleobiogeographic affinities: *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.03.002>.
- Torres-Martínez, M.A., Núñez-Useche, F., Barragán, R., 2020, Ichnologic note first occurrence of the microcoprolite *Palaxius salataensis* in the Aptian (Lower Cretaceous) of northeast Mexico and its paleoecological implications: *Ichnos*, 27(4), 361–368. <https://doi.org/10.1080/10420940.2020.1747060>.
- Vega, F.J., Nyborg, T.G., Fraaije, R.H.B., Espinosa, B., 2007, Paleocene decapod crustacea from the Rancho Nuevo Formation (Parras Basin-Difunta Group), Northeastern México: *Journal of Paleontology*, 81(6), 1442–1451. <https://doi.org/10.1666/06-018R.1>.
- Vega, F.J., Garassino, A., Zapata-Jaime, R., 2013, *Enoploclytia tepeyacensis* n. sp. (Crustacea, Decapoda, Erymidae) from the Cretaceous (Campanian) of Coahuila, NE Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(2), 207–211. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2013v65n2a1>.
- Vega, F.J., Centeno-García, E., Martínez-Díaz, J.L., Espinosa, B., Ventura, J.F., 2016, Late Cretaceous brachiuran crustaceans from Northeastern Mexico, *en* Khosla, A., Lucas, S.G. (eds.), *Cretaceous Period: Biotic diversity and biogeography: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 71, 307–315.
- Vega, F.J., Naranjo-García, E., Aguillon, M.C., Posada-Martínez, D., 2019, Additions to continental gastropods from the Upper Cretaceous and Paleocene of NE Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(1), 169–191. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n1a9>.
- Villanueva-Olea, R., Quiroz-Barroso, S.A., Quiroz-Barragán, J., Torres-Martínez, M.A., Sour-Tovar, F., 2021, Placas columnares de crinoideos de la Formación Las Delicias, Pérmico inferior y medio de Coahuila, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73(1), 1–17. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2020v73n1a040820>.
- Weber, B., Scherer, E.E., Schulze, C., Valencia, V.A., Montecinos, P., Mezger, K., Ruiz, J., 2010, U–Pb and Lu–Hf isotope systematics of lower crust from central-southern Mexico—Geodynamic significance of Oaxaquia in a Rodinia Realm: *Precambrian Research*, 182(1–2), 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.07.007>.
- Williams-Rojas, C.T., Hurley, N.F., 2001, Geologic controls in reservoir performance in Muspac and Catedral gas fields, Southeastern Mexico, *en* Bartolini, C., Buffler, R.T., Cantú-Chapa, A. (eds.), *The Western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, Sedimentary Basins, and Petroleum Systems: American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 75, 443–472. <https://doi.org/10.1306/M75768C21>.
- Zell, P., Stinnesbeck, W., 2016a, *Salinites grossicostatum* (Imlay, 1939) and *S. finicostatum* sp. nov. from the latest Tithonian (Late Jurassic) of northeastern Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(2), 305–311. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2016v68n2a8>.
- Zell, P., Stinnesbeck, W., 2016b, Paleobiology of the latest Tithonian (Late Jurassic) ammonite *Salinites grossicostatum* inferred from internal and external shell parameters: *PloS one*, 11(1), e0145865. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145865>.
- Zell, P., Stinnesbeck, W., Beckmann, S., 2016a, Late Jurassic aptychi from the La Caja Formation of northeastern Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 515–536. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a8>.
- Zell, P., Stinnesbeck, W., Hering, F., 2016b, A coral-rich unit of Berriasian (Early Cretaceous) age in the Sierra Madre Oriental of northeastern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 69, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.03.010>.



Nuevo registro xilológico de los géneros fósiles *Agathoxylon* sp. y *Protophylocladoxylon* sp. del Jurásico Medio de Oaxaca, México.

New xylological record of the fossil genera Agathoxylon sp. and Protophylocladoxylon sp. from the Middle Jurassic of Oaxaca, Mexico.

Ortega Chávez, Elizabeth^{a,*}; Velasco De León, Ma. Patricia^b; Estrada Ruiz, Emilio^b

^aFacultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Guelatao 66, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa, 09230, CDMX, México

^bLaboratorio de Ecología, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, 11340, CDMX, México.

* elioch.26@gmail.com

Resumen

En la Formación Tecmazúchil del Jurásico Medio de la región de Partideño, Oaxaca, se ha registrado paleoflora de Bennetiales, además de haberse recolectado material de maderas fósiles. De este material se describen dos nuevos registros con base en estructuras anatómicas, las cuales nos permitió relacionarlas con los géneros de fósiles *Agathoxylon* y *Protophylocladoxylon*. El taxón identificado como *Agathoxylon* sp. se caracteriza por la ausencia de anillos de crecimiento, punteaduras radiales, predominantemente biseriadas alternas y, ocasionalmente, parcialmente uniseriadas de forma circular, punteaduras en los campos de cruzamiento de tipo araucarioide, con cuatro a ocho punteaduras. La segunda madera tiene afinidad con el género fósil *Protophylocladoxylon* sp., el ejemplar no presenta anillos de crecimiento, en su lugar presenta punteaduras radiales biseriadas alternas parcialmente uniseriadas, ocasionalmente triseriadas de forma poligonal y circular, punteaduras de tipo phyllocladoide de una a dos de forma elíptica que ocupan todo el campo de cruzamiento. Estos dos nuevos registros del Jurásico Medio amplían su distribución espacial y temporal para América del Norte, siendo que *Agathoxylon* ha sido ampliamente descrito y reportado para el Hemisferio Sur del continente.

Palabras clave: Anatomía, Araucariaceae, coníferas, madera, Mesozoico, Podocarpaceae.

Abstract

In the Tecmazúchil Formation of the Middle Jurassic of the Partideño region, Oaxaca, paleoflora from Bennetiales have been recorded, but fossil wood material has also been collected. Two new records of this material are described based on anatomical structures, which allowed us to relate them to the fossil genera Agathoxylon and Protophylocladoxylon. The taxon identified as Agathoxylon sp. it is characterized by the absence of growth rings, predominantly alternate and occasionally partially uniseriate radial pits of a circular shape, araucarioid-type pits with four to eight pits. The second fossil wood has an affinity with the fossil genus Protophylocladoxylon sp. The specimen does not show growth rings, it has partially uniseriate alternating biseriate radial pits, occasionally polygonal and circular triseriate, phyllocladoid-type pits one to two elliptical in shape that occupy the entire crossover field. These new records from the Middle Jurassic extend its spatial and temporal distribution for North America, and Agathoxylon has been widely described and reported for the Southern Hemisphere of the continent.

Keywords: Anatomy, Araucariaceae, conifers, wood, Mesozoic, Podocarpaceae.

Manuscrito recibido: 10 de agosto del 2020

Manuscrito corregido recibido: 10 de agosto del 2020

Manuscrito aceptado: 10 de agosto del 2020

1. Introducción

Durante el Mesozoico el territorio mexicano ocupaba una posición de particular interés ya que se encontraba en el límite de la placa tectónica entre el Norte y Sur América. Debido a su paleogeografía, la evolución geológica de México durante el Mesozoico temprano fue controlada por la actividad de fallas normales y laterales, que determinaron una configuración cortical compleja, caracterizada por numerosas cuencas subsidentes que fueron los sitios de depósito de potentes sucesiones continentales a marinas (Martini *et al.*, 2017).

Algunas de estas sucesiones contienen el registro fósil más abundante de la flora jurásica de México, por ejemplo, en las cuencas de Ayuquila y Otlaltepec (Velasco de León *et al.*, 2019) y Tezoatlán en el estado de Oaxaca, donde existieron comunidades con diversos grupos de gimnospermas bien representadas. Las coníferas son uno de los grupos más antiguos que adquirió gran diversificación durante el Mesozoico principalmente en el Triásico y Jurásico (Wieland, 1914; Silva Pineda, 1978; Anderson *et al.*, 2007; Taylor *et al.*, 2009).

Los estudios realizados con base en maderas fósiles proporcionan información no sólo taxonómica sino también sobre la vegetación, biodiversidad y paleoambientes que existieron en un área determinada (Poole, 2000). También proveen una de las mejores fuentes de datos para evaluar los patrones biogeográficos a escala continental y poder analizar las variaciones regionales de la paleoflora en intervalos prolongados (Philippe *et al.*, 2004).

En el mundo, se han efectuado diversos estudios sobre anatomía de maderas fósiles relacionadas con el orden de las coniferales (Morgans, 1999; Bamford, 1999; Bamford y Philippe, 2001; Brison *et al.*, 2001; Philippe *et al.*, 2004; Cantrill y Poole, 2005; Gnaedinger, 2006a, 2007b; Bodnar y Artabe, 2007; Jiang *et al.*, 2008; Philippe y Bamford, 2008; Gnaedinger y Herbst, 2009; Crisafulli y Herbst, 2010; Zhang *et al.*, 2010; Oh *et al.*, 2011; Pujana *et al.*, 2014; Kloster y Gnaedinger, 2018; Wan *et al.*, 2019). En México, la investigación con maderas fósiles de coniferales inició con trabajos que se remontan a Wieland (1914) quien propone la especie *Araucarioxylon mexicanum* para la Formación Rosario del estado de Oaxaca. Ocho décadas después, Cevallos-Ferriz (1992) describe al género fósil *Brachyoxylon* Hollick y Jeffrey (1906) en el área de Lampazos, Sonora, del Cretácico Inferior, además de *Podocarpoxyylon* Gothan, 1905 y *Taxodioxyylon* Harting, 1848 de la Formación Olmos del Cretácico Superior en Coahuila. Ortega-Chavez (2013) de la Formación Tecomazúchil del Jurásico Medio describe ejemplares de maderas de los géneros fósiles *Araucarioxylon* y *Podocarpoxyylon*. Otro hallazgo para la familia Araucariaceae es el registro de Grajeda-Cruz (2015) de *Agathoxylon* para la Formación Otlaltepec (Jurásico Medio) y la Unidad Magdalena (Cretácico Inferior) en el

estado de Puebla. García-Hernández *et al.* (2016) describió una madera con caracteres en *Agathoxylon*, en sedimentos de la Formación San Carlos (Cretácico Superior) en Chihuahua, este registro aumenta el alcance estratigráfico para este género en México. Ríos-Santos (2016) propone el género y especie *Rosarioxylon fusiformis* Ríos-Santos, 2016 y la especie *Protopodocarpoxyylon oaxacensis* Ríos-Santos, 2016 del Jurásico Inferior, pero se queda en un trabajo informal. Posteriormente Ortega-Chavez *et al.* (2017) en sedimentos de la Formación Rosario describe la presencia de *Agathoxylon* sp. Un par de años después Ríos-Santos y Cevallos-Ferriz (2019) dan a conocer los registros de nuevas especies fósiles del Jurásico Superior: *Agathoxylon gillii* Ríos-Santos y Cevallos-Ferriz, 2019 y *Agathoxylon jericense* Ríos-Santos y Cevallos-Ferriz, 2019 del Miembro Jericó de la Formación Todos Los Santos, Chiapas. Cevallos-Ferriz *et al.* (2019) registran una nueva especie fósil *Abies cuitlahuacii* Cevallos-Ferriz *et al.*, 2019 en el estado de México de edad cuaternaria, por lo que se incrementa el listado para el Sur de México. Por último, Ríos-Santos *et al.* (2020) proponen una especie fósil de *Cupressinoxylon* de la Cuenca Cabullona del Cretácico Superior en el estado de Sonora.

A pesar de que hay varias localidades con maderas fósiles de coníferas su estudio es aún incompleto y es clave para entender la biodiversidad del pasado en el territorio mexicano. Por lo que el objetivo de este trabajo es dar a conocer el registro de los géneros fósiles *Agathoxylon* sp. y *Protophyllocadoxyylon* sp. para el Jurásico Medio de México de la Formación Tecomazúchil.

2. Material y métodos

Se recolectaron fragmentos rodados de maderas fósiles en la localidad de Partideño Oaxaca, localizada en el municipio de San Juan Ihualtepec, cerca del poblado Cieneguillas, que pertenece a la Formación Tecomazúchil (Figura 1). La Formación Tecomazúchil tiene una edad asignada de Jurásico Medio (174 millones de años) fechada con circones empleando el método de ablación laser y espectrometría de masas (Campos-Madriral *et al.*, 2013). La litología de la formación en su conjunto corresponde a conglomerado, arenisca, limolita y lutita que indican diferentes niveles de energía en el depósito, condición que también se refleja en las estructuras sedimentarias, entre las que destacan grietas de desecación y canales que denotan un ambiente continental fluvial, con un río principal y varios afluentes, llanuras de inundación, lagos y abanicos aluviales (Campos-Madriral *et al.*, 2013) (Figura 2).

Se seleccionaron dos ejemplares que preservaron xilema secundario. Para su estudio se realizaron láminas delgadas en tres planos tridimensionales, (Transversal: Tr, Longitudinal Tangencial: CLTg, Longitudinal Radial:

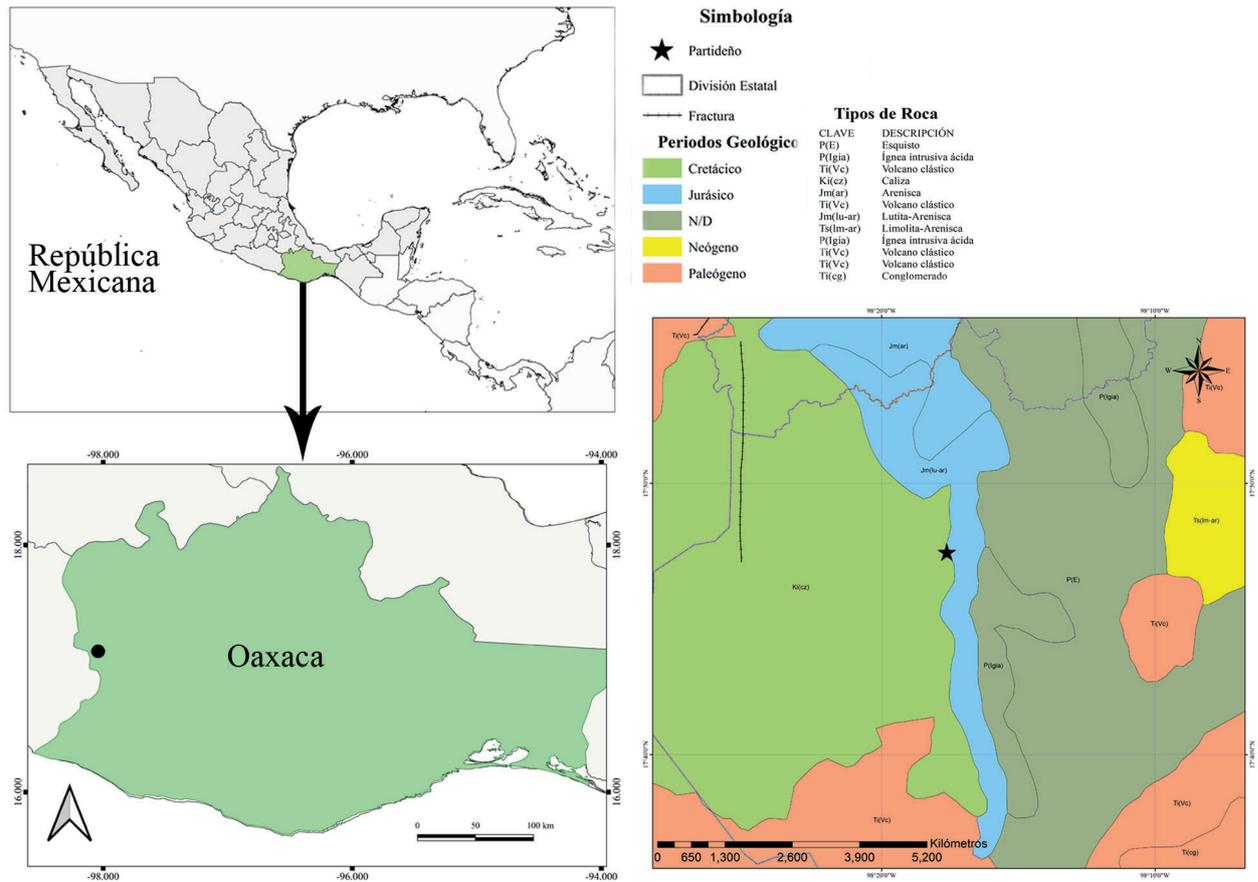


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio, localidad Partideño, estado de Oaxaca, al sur de la República Mexicana.

CLR). Las observaciones y fotografías se realizaron con un microscopio OLYMPUS E-330, y una cámara digital OLYMPUS E-620. De acuerdo con los caracteres observados, se describió la anatomía de cada madera. Se hizo un promedio de 25 mediciones (mínimo y máximo) de los distintos elementos anatómicos. La terminología empleada para su descripción se basa en la lista de caracteres microscópicos de maderas blandas de la IAWA Committee (2004), además de la comparación con literatura especializada con madera de coníferas fósiles y actuales (Greguss, 1955; García-Esteban *et al.*, 2002; García Esteban *et al.*, 2003; Philippe y Bamford, 2008).

El material está resguardado en la Colección de Paleontología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las láminas delgadas de micropaleontología quedaron integradas a la colección con los acrónimos MTzTr, MTzCLTg, MTZCLR, (Muestra Tecamazúchil Corte Transversal, Corte Longitudinal Tangencial, Corte Longitudinal Radial, respectivamente). Un aspecto importante que debe considerarse dentro de la identificación, son los problemas nomenclaturales. En este trabajo se siguió

el Código Internacional de nomenclatura botánica (ICBN) de Turland *et al.* (2018) y se respeta el principio de prioridad de *Agathoxylon* de acuerdo a la sección III Artículo 11 y 12 y formalizada por Rößler *et al.* (2014).

3. Resultados

3.1. Descripción sistemática

División Pinophyta Meyen 1984.
Clase Pinopsida (Coniferopsida) Gifford y Foster 1989.
Orden Pinales (Coniferales) Dumortier 1829.
Familia Araucariaceae Henckel y Hochstetter 1865.

Género *Agathoxylon* Hartig 1848, p. 188.
Especie tipo. *Agathoxylon carbonaceum* Hartig 1848,
p. 188.

Agathoxylon sp.
Figura 3, A-H

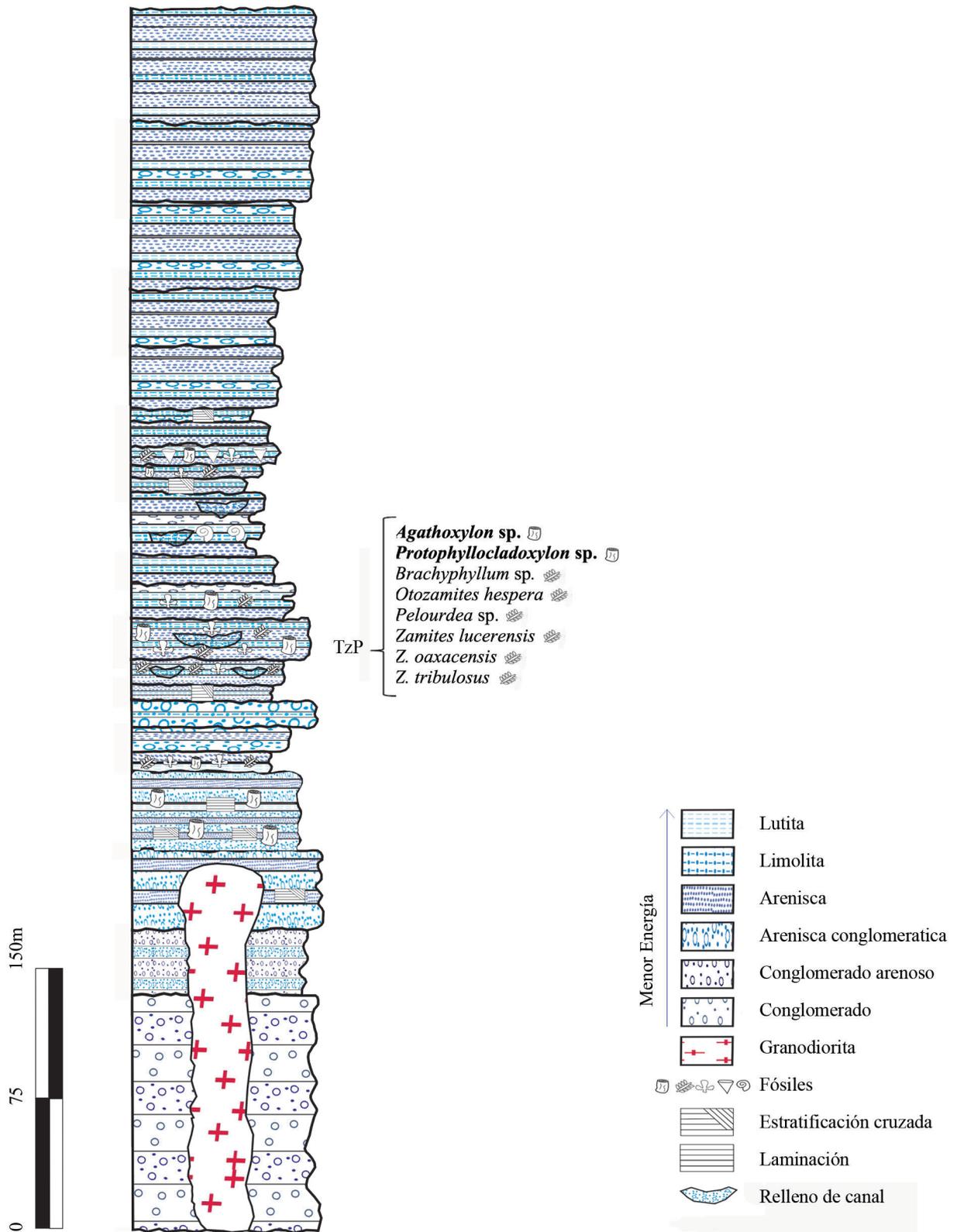


Figura 2. Columna estratigráfica de la Formación Tecmazúchil donde se ubica la zona de muestreo.

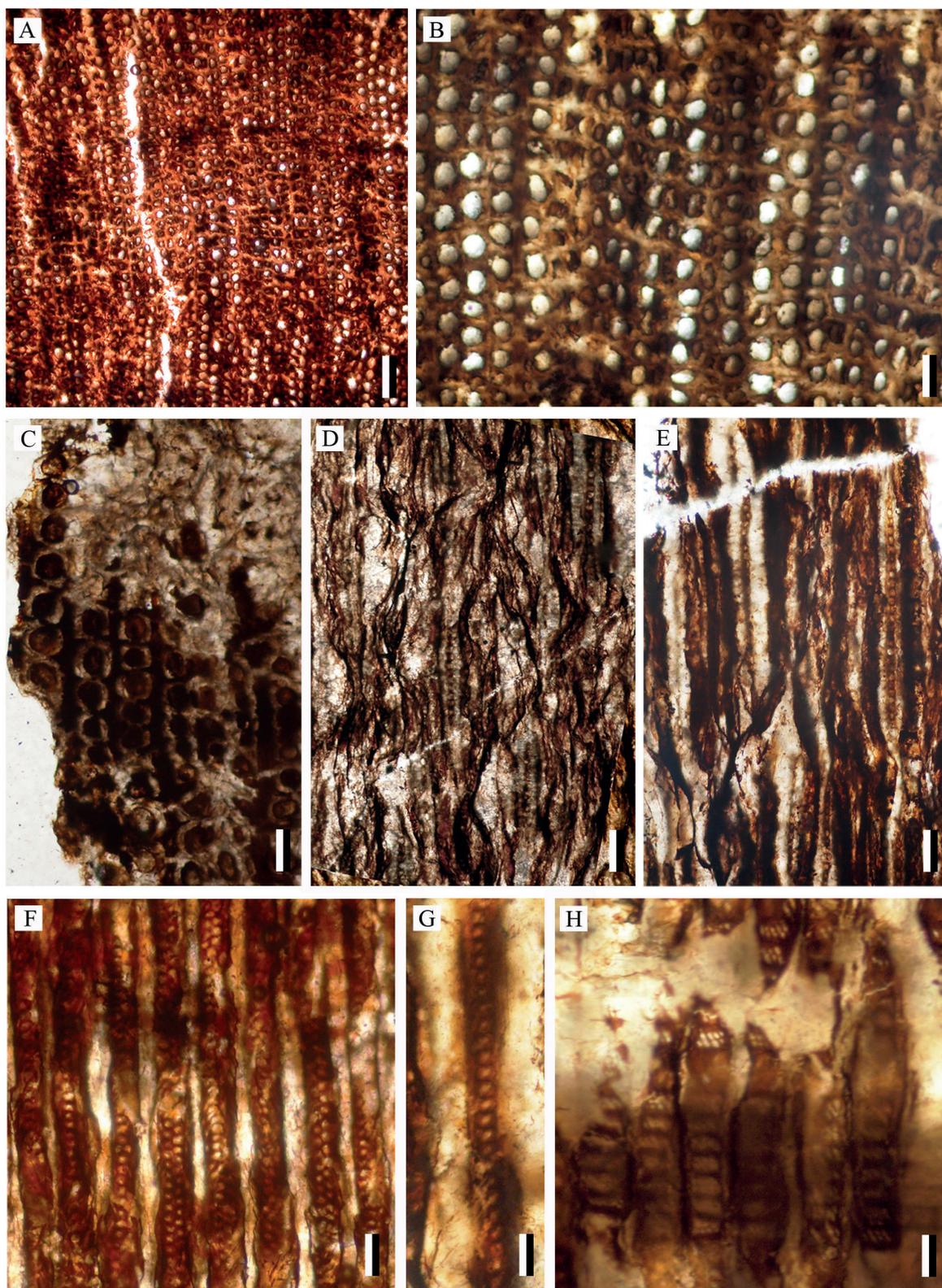


Figura 3. *Agathoxylon* sp. A. (CTr) Ausencia de anillos de crecimiento, parénquima axial y canales resiníferos, MTzCTr-05, escala = 200 μ m. B. C. (CTr) Traqueidas de forma rectangular con presencia de lumen, MTzCTr-22, escala = 100 μ m. D. E. (CTg) Radios homocelulares uniseriados, MTzCLTg-25, escala = 1000 μ m. F. G. (CR) Punteaduras en las paredes radiales biseriadas y uniseriadas de forma circular, escala = 100 μ m. H. (CR) Punteaduras en los campos de cruzamiento tipo araucarioide, MTzCLR-13, escala = 1000 μ m.

Material estudiado: CFZ-TzP 118, (MTzCTr-01, MTzCTr-05, MTzCLTg-07, MTzCLTg-09, MTzCLR-11, MTzCLR-11, MTzCLR-13, MTzCLR-15, MTzCLR-17). CFZ-PTz 119 (MTzCTr-18, MTzCTr-22, MTzCLTg-25, MTzCLTg-26, MTzCLR-30).

Distribución: Jurásico Medio en la Formación Tecmazúchil, estado de Oaxaca (Campos-Madrigal *et al.*, 2013).

Descripción: madera permineralizada, diámetro aproximado de 32 cm con un alto de 24 cm. Ausencia de anillos de crecimiento, parénquima axial y canales resiníferos (Figura 3A). Presenta traqueidas de contorno circular, con un diámetro radial de 79 (49 – 90) μm , la pared de las traqueidas tienen un espesor promedio de 20 μm , algunas traqueidas presentan forma rectangular (Figura 3B–C). Los radios son homocelulares uniseriados y de tamaño bajo con dos a 26 células de alto (Figura 3D–E). Se observan punteaduras radiales de las traqueidas biseriadas alternas parcialmente uniseriadas con forma circular (Figura 3F–G). Los campos de cruzamiento tienen punteaduras tipo araucarioide con un número de cuatro a ocho dispuestas en hileras (Figura 3H).

Discusión taxonómica: de acuerdo con Philippe y Bamford (2008) la madera de Oaxaca se asigna al género fósil *Agathoxylon*, por presentar punteaduras radiales araucarioides (alternas) y campos de cruzamiento araucarioides (Hartig, 1848). Los registros sobre este género fósil para el Mesozoico de México son de Wieland (1914) quien propuso para el Jurásico Inferior la especie *Araucarioxylon mexicanum*, el ejemplar en estudio se comparó con esta especie. Se encontraron las siguientes diferencias: *A. mexicanum* presenta radios homocelulares muy altos (hasta 40 células) y las punteaduras en las paredes radiales que presenta pueden ser hasta triseriadas, y en el ejemplar estudiado se observan radios homocelulares bajos con dos a 26 células y punteaduras radiales biseriadas alternas parcialmente uniseriadas. También se comparó con el material de *Agathoxylon* sp. de Ortega-Chavez *et al.* (2017) al realizar la comparación con el ejemplar de Rosario; los caracteres principales que los diferencia son: la cantidad y orden de punteaduras en los campos de cruzamiento, en el ejemplar de Rosario presenta de una a tres punteaduras de tipo araucarioide desordenadas en los campos de cruzamiento, las punteaduras radiales de las traqueidas son biseriadas de forma hexagonal con apertura visible y las del ejemplar en estudio (ambas son de Oaxaca) sus punteaduras radiales son de forma circular, además presentan punteaduras tipo araucarioide de cuatro a ocho en hilera por cada campo de cruzamiento, las cuales pudieran corresponder a especies diferentes. También se comparó con las especies *A. gillii* Ríos-Santos y Cevallos-Ferriz, 2019 y *A. jericense* Ríos-Santos y Cevallos-Ferriz, 2019 de una edad del Jurásico superior; con la primera especie difiere en los radios que ocasionalmente pueden ser biseriados.

En el caso de *A. jericense* esta especie presenta radios tetraseriados por cual no pueden compararse con el ejemplar CFZTzP118. También se comparó con el registro de una madera con afinidad al género *Agathoxylon* sp. de edad cretácica del estado de Coahuila, la comparación con este registro permite concluir que también se tratan de diferentes especies, ya que el ejemplar cretácico presenta punteaduras de tipo cupresoide de una a tres por campo de cruzamiento, y la aquí estudiada presenta punteaduras de tipo araucarioide de cuatro a ocho punteaduras por campo de cruzamiento, lo que permite diferenciarlas.

Se comparó también con especies fósiles de edad mesozoica empleando la revisión que realizaron a nivel mundial Kloster y Gnaedinger (2018). También se incluyeron los géneros que se consideran sinonimias (*Araucarioxylon* y *Dadoxylon*). El ejemplar en estudio asignado al género *Agathoxylon* sp. de Oaxaca se comparó con las especies: *D. (A.) jurassicum* Bhardwaj, 1953; *D. rajmahalense* Sahni (en Suryanarayna), 1956; *A. agathioides* Kräusel y Jain, 1964; *A. santanlense* Sah y Jain, 1964; *D. agathioides* Krausel y Jain, 1964; *D. bindrabanense* Sah y Jain, 1964; *D. mandroense* Sah y Jain, 1964; *D. parenchymatosum* Vogellehner, 1965; *D. (A.) dallonni* Duperon-Laudoueneix y Lejal-Nicol, 1981; *D. sudanense* Duperon-Laudoueneix y Lejal-Nicol, 1981; *A. kellerense* Lucas y Lacey, 1981; *A. pichasquense* Torres y Rallo, 1981; *A. pranhitaensis* Rajanikanth y Sukh-Dev, 1989; *A. ohzuanum*, (Nishida, Ossawa, Nishida y Rancusi) Gnaedinger y Herbst, 1992; *D. tordoxylodes* Vozenin- Serra y Salard-Chebaldoeff, 1992; *A. mosureense* Jeyasingh y Kumarasamy, 1995; *A. protoaraucana* Brea, 1997; *A. chapmanae* Poole y Cantrill, 2001; *A. sp.* Falcon-Lang y Cantrill, 2001; *A. liguanensis* Torres y Philippe, 2002; *A. matildense* Zamuner y Falaschi, 2005; *A. termieri* Gnaedinger y Herbst, 2009; *A. protoaraucana* (Brea) Gnaedinger y Herbst, 2009; *A. lamaibandianus* Crisafulli y Herbst, 2011; *A. sriperumbudurensis* Kumarasamy, 2014; *A. waganensis* Rai *et al.*, 2016; *A. santacruzense* Kloster y Gnaidenger, 2018; *A. africanum* Bamford, 2020; *A. karoensis* Bamford 2020. Todas estas especies presentan punteaduras radiales de formas hexagonales aplanadas y alternas además de radios uniseriados ocasionalmente biseriados. Estos caracteres no están presentes en el ejemplar de Oaxaca, que se caracteriza por punteaduras radiales biseriadas alternas parcialmente uniseriadas de forma circular, además de solo presentar radios uniseriados; por consiguiente, no presenta similitud con las especies antes mencionadas.

Los caracteres que presenta *Agathoxylon* sp. son: punteaduras radiales de las traqueidas con contorno circular, biseriadas alternas parcialmente uniseriados. Por la cantidad de punteaduras en los campos de cruzamiento de tipo araucarioide y además de radios únicamente unicelulares, podría tratarse de una nueva especie, sin embargo, es necesario contar con más ejemplares para

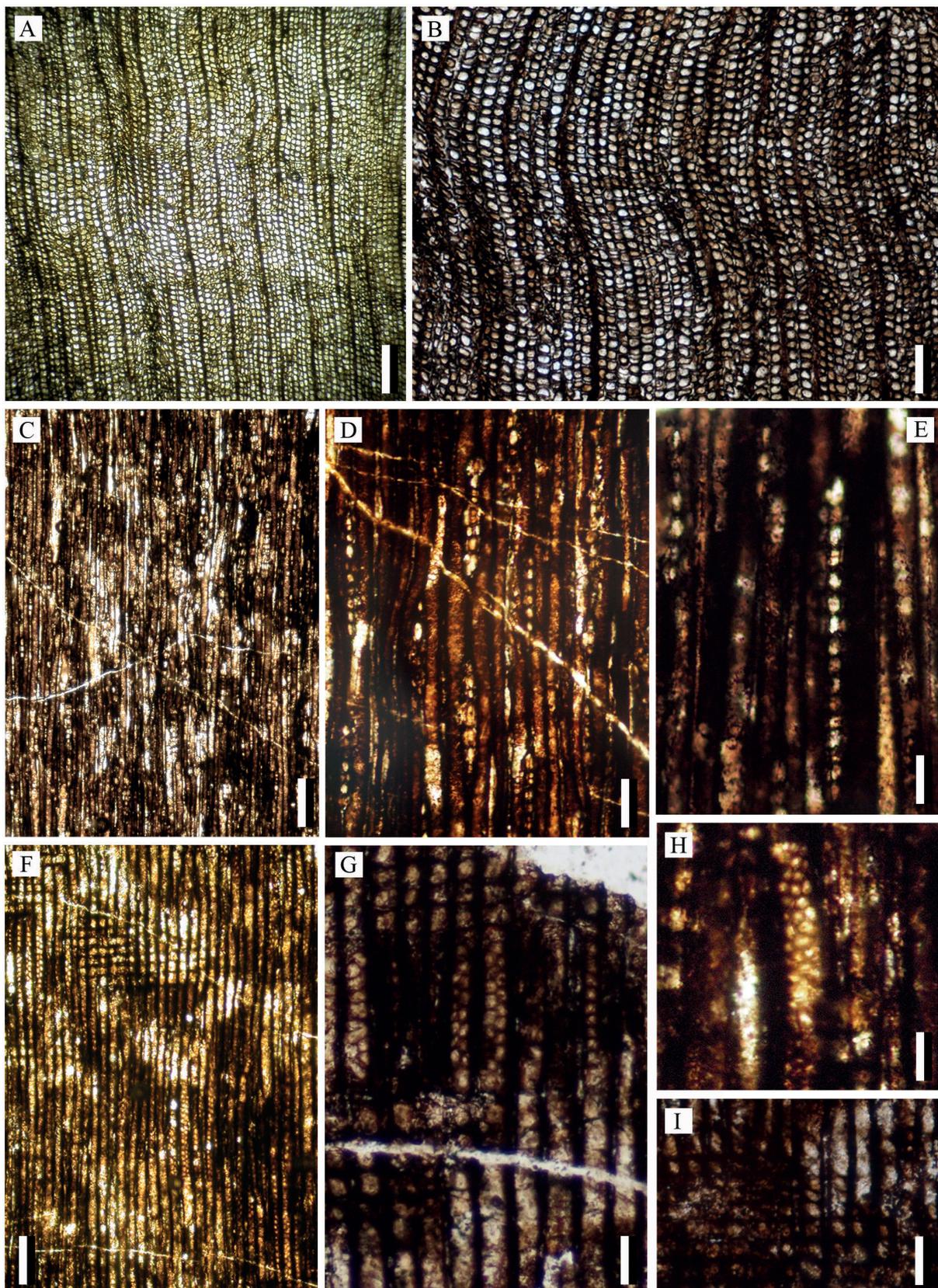


Figura 4. *Protophyllocladoxylon* sp. A. (CTr) Ausencia de anillos de crecimiento, canales resiníferos y parénquima axial, MTz CTr-01, escala = 20000 μm . B. (CTr) Traqueidas de forma cuadrada, MTz CTr-03, escala = 150 μm . C. D. E. (CTg) Radios homocelulares uniseriados, MTzCLTg-09, escala = 150 μm . F. G. I. (CR) Punteaduras en los campos de cruzamiento de tipo cupresoides de forma elíptica, escala = 40 μm . F. G. H. (CR). Punteaduras en las paredes radiales biseriadas, parcialmente uniseriadas, rara vez triseriadas alternas con forma poligonal y circular, escala = 150 μm .

realizar una asignación a este nivel. La descripción se basó en una sola muestra, si bien se examinó un segundo ejemplar, ambos presentaron los mismos caracteres debido a una preservación deficiente, ya que al existir demasiada recristalización en el ejemplar se pudieron haber perdido estructuras anatómicas. De acuerdo con los estándares de IAWA Committee (2004), faltan caracteres por cuantificar.

Familia Podocarpaceae Endlicher 1847.

Género *Protophyllocladoxylon* Kräusel 1939.

Especie tipo. *Protophyllocladoxylon leuchsi* Kräusel 1939.

Protophyllocladoxylon sp.

Figura 4, A-I

Material estudiado: CFZ-TzP 94 (MTz CTr-01, MTz CTr-03, MTz CTr-05, MTzCLTg-06, MTzCLTg-08, MTzCLTg-09, MTzCLR-12, MTzCLR-13).

Distribución: Jurásico Medio en la Formación Tecmazúchil, estado de Oaxaca (Campos-Madrigal et al., 2013).

Descripción: madera permineralizada con una medida de 19 cm de diámetro. Anillos de crecimiento, canales resiníferos y parénquima axial ausentes (Figura 4A). Las traqueidas son de contorno cuadrado a rectangular, el diámetro radial de las traqueidas es de 39 (29 – 59) μm , la pared con un espesor promedio de 15 μm (Figura 4B). Los radios son homocelulares uniseriados ocasionalmente biseriados, presentan una altura de dos hasta 18 células. (Figura 4C–D–E). Los campos de cruzamiento tienen punteaduras de tipo phyllocladoide con una o dos por campo (Figura 4F–G–I). Las punteaduras radiales de las traqueidas son biseriadas alternas parcialmente uniseriadas ocasionalmente triseriadas con forma circular a poligonal (Figura 4G–H).

Discusión taxonómica: las características que permiten asignar al ejemplar en estudio al género fósil *Protophyllocladoxylon* (Podocarpaceae) son: traqueidas de forma cuadradas con las punteaduras en los campos de cruzamiento de tipo phyllocladoide, presentan de una a dos por campo de cruzamiento, punteaduras radiales uniseriadas y biseriadas alternas, raramente triseriadas. Existen aproximadamente 29 especies fósiles de *Protophyllocladoxylon* Kräusel descritas a nivel mundial con edades desde el Carbonífero hasta el Paleógeno (Zhang et al., 2010, Pujana et al., 2014). En México existe la evidencia fósil de la familia Podocarpaceae con los géneros *Podocarpoxylon* sp. para el Cretácico Inferior (Cevallos-Ferriz, 1992) y *Protopodocarpoxylon oaxacensis* Ríos-Santos (2016), siendo *P. oaxacensis* un trabajo informal. Por lo tanto, el género fósil *Protophyllocladoxylon* sp. descrito en este trabajo sería el primer registro más antiguo para México.

Existen registros para el territorio mexicano de la familia Podocarpaceae, donde se encuentra *Protophyllocladoxylon*. Los reportes para México hasta la fecha son de *Podocarpoxylon* sp. para el Cretácico Inferior de Sonora (Cevallos-Ferriz, 1992) además de la propuesta de un trabajo inédito de Ríos-Santos (2016) que propone *Protopodocarpoxylon oaxacensis* Ríos-Santos, 2016 del Jurásico Inferior de Oaxaca. Al realizar la comparación con estos registros, sus características como el tipo de punteaduras en los campos de cruzamiento de tipo podocarpoide y cupresoide, no coinciden con el ejemplar de este trabajo ya que en nuestro fósil como primer carácter diferente son las punteaduras de los campos de cruzamiento de tipo phyllocladoide, punteaduras radiales de forma poligonal biseriadas, parcialmente uniseriadas y rara vez triseriadas

De acuerdo con el trabajo de recopilación de Zhang et al. (2010) de las especies fósiles descritas a nivel mundial, se realizó una comparación solamente con las especies del Mesozoico y las que posean mayor número de caracteres compartidos con *Protophyllocladoxylon* sp. de Oaxaca. Se determinó que tiene una mayor afinidad con la especie *P. leuchsi* Kräusel, 1939 ya que ambas presentan punteaduras de las traqueidas radiales uniseriadas hasta triseriadas de forma circular y poligonal, radios unicelulares rara vez biseriadas generalmente presenta 1 a 6 células, aunque llega a presentar hasta 20. En el caso del ejemplar de estudio de este trabajo no comparte ese carácter ya que presenta regularmente de tres a nueve células y el mayor es hasta 18. Además, las punteaduras en los campos de cruzamiento son de forma elíptica de una a dos, mientras en *P. leuchsi* son solo de forma oval. Otra especie con la que comparte similitud es con *P. cortaderitaense* Menendez, 1956, como el tipo de punteaduras radiales, comúnmente biseriadas y hasta triseriadas con una disposición alterna de forma poligonal, sus radios son unicelulares de una a 15 células pero generalmente de tres a cinco y las punteaduras de los campos de cruzamiento son de forma circular oblicua, mientras que en el fósil de Oaxaca los radios tienen generalmente una altura de tres a nueve células, las punteaduras radiales son de forma poligonal, también de contorno circular, y las punteaduras de los campos de cruzamiento en su mayoría son de forma elíptica. Otras especies fósiles con las que se asemeja la madera fósil de Oaxaca descrita en este trabajo son: *Protophyllocladoxylon uzbekistanicum* Junusov, 1977 y *P. capense* Kräusel, 1949, las similitudes entre ellas son los radios homogéneos uniseriados, así mismo la altura máxima de 20 células, punteaduras en los campos de cruzamiento de forma elíptica de una a dos. Sin embargo, las punteaduras radiales de *P. uzbekistanicum* son uniseriadas, rara vez biseriadas y de forma circulares. En el caso de *P. capense* sus punteaduras radiales son uniseriadas y biseriadas pero de forma elíptica, mientras que para el fósil de Oaxaca son punteaduras radiales biseriadas, parcialmente uniseriadas y rara vez triseriadas de forma poligonal y circular, lo que no permite su asignación con ninguna de

estas especies conocidas. Mientras que las especies fósiles *Protophyllocladoxylon diphtericum* Batton y Boureau, 1965 *P. huzinamiense* Ogura, 1960, por el tipo de punteaduras y tamaño de los radios que son diferentes al ejemplar fósil de Oaxaca, para *P. diphtericum* Batton y Boureau, 1965 presenta punteaduras radiales de tipo araucarioide y solo una punteadura por campo de cruzamiento y en *P. huzinamiense* Ogura, 1960 sus punteaduras radiales son solamente uniseriadas contiguas y radios de 3 a 6 células de alto lo que no permite la asignación del material aquí estudiado a estas especies.

No se propone especie, ya que al igual que con el género anterior se contó con una sola muestra, con la cual no se pueden analizar con mayor detalle otros caracteres taxonómicos importantes, p. ej., forma de las punteaduras radiales, presencia de otro tipo de punteaduras en los campos de cruzamiento o también presencia de parénquima axial.

4. Discusión

En México el estudio de maderas de gimnospermas para el Jurásico comienza a tomar relevancia en la última década (Ortega-Chavez, 2013; Grajeda-Cruz, 2015; García-Hernández *et al.*, 2016; Ríos-Santos, 2016; Ortega-Chávez *et al.* 2017, Ríos-Santos y Cevallos Ferriz, 2019; Ríos Santos *et al.*, 2020) si se compara con los registros de otros órganos de plantas de diferentes grupos taxonómicos estudiados en las diferentes localidades del territorio mexicano de la misma edad (p. ej., Wieland, 1914; Silva-Pineda, 1978; Person *et al.*, 1982; Silva-Pineda, 1992; Ángeles, 2009; Silva-Pineda *et al.*, 2011; Ortiz-Martínez *et al.*, 2013; Velasco de León *et al.*, 2013; Velasco de León *et al.*, 2015; Lozano-Carmona y Velasco de León, 2016; Flores-Barragan *et al.*, 2017; Velasco de León *et al.*, 2019).

Estudios biogeográficos más específicos, son por ejemplo, los de las familias Araucariaceae y Podocarpaceae, de los géneros *Agathoxylon* y *Protophyllocladoxylon*, con una amplia distribución desde el Pérmico en Argentina, Uruguay, Paraguay, Brasil y África (Bamford, 1999; Tadeu *et al.*, 2004; Crisafulli *et al.*, 2009; Crisafulli y Herbst 2009; Merlotti y Kurzawe, 2011; Leiva *et al.*, 2012) que se continúan en el Jurásico de Arizona, Chile, Uruguay, Argentina, Antártida, Inglaterra, India, China y África (Morgans, 1999; Bamford *et al.*, 2002; Zamuner y Falaschi, 2005; Gnaedinger, 2006; Pujana *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2008; Hinz *et al.*, 2010; Kumarasamy, 2014). La presencia de los géneros *Agathoxylon* y *Protophyllocladoxylon* para el Jurásico medio de México contribuyen a apoyar la idea de que poseían una amplia distribución.

Una de las explicaciones que se ha dado a la amplia distribución del género *Agathoxylon* es la presencia de caracteres plesiomórficos, como son las punteaduras de las traqueidas y punteaduras de tipo araucarioide en los campos

de cruzamiento. Esto permitió que este taxón pudiera sobrevivir en diferentes zonas climáticas. Lo anterior permitió un proceso de especiación que se ve reflejado en el alto número de especies endémicas (Philippe *et al.*, 2004). Otros autores proponen que las condiciones ideales para el crecimiento de especies *Protophyllocladoxylon* son cálidas y húmedas más que frías y secas (Zhang *et al.*, 2010). Los trabajos realizados por Philippe (1995) para zonas climáticas húmedas en el norte de Suramérica y en el Hemisferio Norte en el Cretácico temprano apoyan el desarrollo en condiciones húmedas para este género; para México, Philippe *et al.* (2004), proponen que el territorio mexicano fue una zona climática desértica para el Jurásico tardío, fundamentado en el trabajo de Rees *et al.* (2000). Una propuesta muy diferente es la de McElwain y Willis (2002) quienes proponen un clima tropical húmedo con base en la distribución de plantas. Es importante mencionar que estas investigaciones fueron a escala mundial. Los estudios locales de facies realizados en la Formación Tecomazúchil (Grimaldo, 2010; Campos-Madrigal *et al.*, 2013) han propuesto un ambiente húmedo estacional. Resultados del método empleando fisonomía foliar dan como resultado que el clima cálido seco predominó en el Jurásico medio del sur de México (Ortiz-Martínez, 2014). En este trabajo aún no se puede hacer una propuesta paleoclimática en la que se desarrollaron *Agathoxylon* sp. y *Protophyllocladoxylon* sp.

Los nuevos registros de *Agathoxylon* sp. y *Protophyllocladoxylon* sp. en el sur de México contribuyen al incremento de los listados florísticos que se tienen para esta localidad y a nivel nacional. Además, se espera contar en un futuro con más hallazgos y presencia de más caracteres en los ejemplares que permitan realizar la asignación a nivel de especie y más datos que aporten información sobre las condiciones climáticas.

5. Conclusiones

Se registra la presencia de las familias Araucariaceae y Podocarpaceae con los géneros *Agathoxylon* sp. y *Protophyllocladoxylon* sp. en el Jurásico medio. Estos nuevos registros permiten incrementar la distribución geográfica de estos géneros y este estudio contribuye al incremento de los listados florísticos para México en el Jurásico Medio.

Agradecimientos

Se agradece a las personas que colaboraron en la recolecta del material, que forman parte del grupo de trabajo de la Colección de Paleontología FES Zaragoza. Se agradece el financiamiento del proyecto PAPIIT-IN IN100721 "Estudio Paleobotánica y Geológico de las

cuencas sedimentarias del Jurásico en el Terreno Mixteco”. Finalmente, un agradecimiento a los revisores por los comentarios vertidos en este manuscrito. En particular al Jefe editorial de Paleontología Mexicana, el Dr. Josep A. Moreno Bedmar, a la Unidad Editorial del Instituto de Geología coordinada por la Mtra. Sandra Ramos Amézquita y los colaboradores editoriales, Mtro. León Felipe Álvarez Sánchez, Biol. Oscar Monzón y el Mtro. José Roberto Ovando Figueroa.

Referencias

- Anderson, M.J., Anderson, M.H., Cleal, J.C., 2007, Brief History of the gymnosperms: classification, biodiversity, phytogeography and ecology: South African National Biodiversity Institute, Pretoria, Strelitzia, 20, 280 pp.
- Ángeles, F.R., 2009, El género *Brachyphyllum*, en el Mesozoico de México: México D.F., Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 64 pp.
- Bamford, M., 1999, Permo-Triassic fossil Woods from the South African Karoo Basin: *Palaeontologia africana*, 35, 25–40.
- Bamford, M., 2000, Fossil woods of Karoo age deposits in Sout Africa and Namibia as an aid to biostratigraphical correlation: *Journal of African Earth Sciences*, 1, 119–132.
- Bamford, M.K., Philippe, M., 2001, Jurassic-Early Cretaceous Gondwanan homoxylous woods: a nomenclatural revision of the genera with taxonomic notes: *Review of Palaeobotany and Palynology*, 113, 287–297.
- Bamford, K.M., Roberts, M.E., Sissoko, F., Bouaré L.M., O’Leary, M.A., 2002, An extensive deposit of fossil conifer Wood from the Mesozoic of Mali, southern Sahara: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186, 115–126.
- Batton, G., Boureau, E., 1965, Étude des flore fossils du Nord du Cameroun: *Prophyllocladoxylon diphtericum* n. sp., bois fossile du Crétacé moyen du Lagon: *Recherche Zones Arides, Série Géologie*, 6(3), 97–114.
- Bhardwaj, D.C., 1953, Jurassic Woods from the Rajmahal Hills Bihar: *Palaeobotanist*, 2, 59–70.
- Bodnar, J., Artabe, E.A., 2007, Estudio sistemático y paleodendrología del leño de una Cupressaceae triásica de la Formación Ischigualasto, provincia de San Juan Argentina: *Ameghiniana*, 44(2), 303–319.
- Brisson, A.L., Philippe, M., Thevenard, F., 2001, Are Mesozoic Wood growth rings climate-induced?, *Paleobiology*, 27(3), 531–538.
- Campos-Madrigal, E., Centeno-García, E., Mendoza-Rosales, C.C., Silva-Romo, G., 2013, Sedimentología, reconstrucción paleoambiental y significado tectónico de las sucesiones clásticas del Jurásico Medio en el área de Texcalapa, Puebla Huajuapán de León, Oaxaca: Revisión de las formaciones Ayuquila y Tecmazúchil: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1), 24–50.
- Cantrill, D.J., Poole, I., 2005, Taxonomic turnover and abundance in Cretaceous to Tertiary Wood floras of Antarctica: implications for changes in forest ecology: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 215, 205–219.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1992, Tres maderas de gymnospermas cretácicas del Norte de México: *Anales Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 63(2), 111–137.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., Ríos-Santos, C., Lozano-García, S., 2019, *Abies cuicillahuacii* sp. nov., a mummified late Quaternary fossil Wood from Chalco, Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(1), 193–206.
- Crisafulli, A., Herbst, R., 2009, Gymnospermous woods (Coniferales, Taxales, and Gynkgoales) from the Upper Permian Tacuary Formation, Eastern Paraguay: *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 89, 95–109.
- Crisafulli, A., Herbst, R., Manza, S.L., 2009, Maderas gimnospermas de la formación Tres Islas (Pérmico Inferior) de Uruguay: *Journal of Geoscience*, 5(1), 1–4.
- Crisafulli, A., Herbst, R., 2010, Leños gimnospermas de la Formación Llantés (Triásico Superior), Provincia de Mendoza, Argentina: *Journal of Geoscience*, 6(1), 14–20.
- Crisafulli, A., Herbst, R., 2011, La flora Triásica del Grupo el Tranquilino, provincia de Santa Cruz (Patagonia), leños fósiles: *Ameghiniana*, 48(3), 275–288.
- Dumortier, B.C.J., 1829, Analyse des familles des Plantes avec l’indication des principaux genres qui s’y rattachent: Casterman, Tournay, 104 pp.
- Duperon-Laudoueneix, M., Lejal-Nicol, A., 1981, Sur deux bois homoxylés du Sud-Ouest de l’Egypte: *Congrés national des Sociétés savantes*, 106, Section Sciences, 1, 9–40.
- Endlicher, S., 1847, Synopsis coniferarum: Scheitlin y Zollikofer, Sangalli, 368 pp.
- Falcon-Lang, H.J., Cantrill, D.J., 2001, Gymnosperm woods from the Cretaceous (mid-Aptian) Cerro Negro Formation, Byers Peninsula, Livingston Island, Antarctica: The arborescent vegetation of a volcanic arc: *Cretaceous Research*, 22(3), 277–293.
- Flores-Barragan, M.A., Velasco-de León, M.P., Corro-Ortiz, M.G., 2017, El género *Williamsoniella* (Thomas) y flora asociada de la formación Zorrillo-Taberna Indiferencias (Jurásico Medio) Oaxaca, México: *Paleontología Mexicana*, 6(2), 59–65.
- García-Esteban, L., Palacios de Palacios, P., Guindeo-Casasús, A., 2002, Clave de identificación de maderas de coníferas a nivel de especie. Región Europea y Norte Americana: *Investigación Agraria Sistema de Recursos Forestales*, 9(1), 118–136.
- García-Esteban, L., Guindeo-Casasús, A., Peraza-Oramas, C., Palacios de Palacios, P., 2003, La madera y su anatomía: Madrid, Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar, 327 pp.
- García-Hernández, P., Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I., 2016, Maderas fósiles de la Formación San Carlos (Cretácico Superior), Chihuahua, México: *Botanical Sciences*, 94(2), 269–280.
- Gifford, E.M., Foster, A.S., 1989, Morphology and Evolution of Vascular Plants: W.H. Freeman ed., 626 pp.
- Gothan, W., 1905, Zur Anatomie lebender und fossiler Gymnospermen-Hölzer, *Abh. Preuss. Geologische Landanstalt*, 44, 1–108.
- Grajeda-Cruz, L.I., 2014, Identificación de Maderas Fósiles de la Unidad Magdalena y Formación Otlaltepec, Puebla: México D.F., Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 85 pp.
- Gregus, P., 1955, Identification of living gymnosperms on the basis of xylotomy: Budapest, Akadémiai Kiadó, 145 pp.
- Grimaldo, A.J.R., 2010, Análisis Estratigráfico de las secuencias Jurásicas de la región de Ayuquila Santiago Chilixtlahuaca, Oaxaca: México D.F., Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 103 pp.
- Gnaedinger, S., 2006, Maderas de la Formación Piedra Pintada (Jurásico Temprano), provincia de Neuquén, Argentina: *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 8(2), 171–177.
- Gnaedinger, S., 2007, Podocarpaceae woods (Coniferales) from middle Jurassic La Matilde formation, Santa Cruz province, Argentina: *Review of Palaeobotany and Palynology*, 147, 77–93.
- Gnaedinger, S., Herbst, R., 2009, Primer registro de maderas gimnospermas de la Formación Roca Blanca (Jurásico Inferior), provincia de Santa Cruz, Argentina: *Ameghiniana*, 46(1), 56–71.
- Hartig, T., 1848, Beiträge zur Geschichte der Pflanzen und zur Kenntniss der norddeutschen Braunkohlen-Flora: *Botanische Zeitung*, 6, 166–172.
- Henkel, A., Hochstetter, W., 1865, Synopsis der Nadelhölzer deren charakteristischen Merkmale nebst Andeutungen über ihre Cultur und Ausdauer in Deutschlands Klima: J. G. Cotta’schen Buchhandlung, Stuttgart, 446 pp.
- Hinz, K.J., Smith, I., Pfretzschner, H.U., Winsg, O., Sun, G., 2010, A high-resolution three-dimensional reconstruction of a fossil forest (Upper Jurassic Shishugou Formation, Junggar Basin, Northwest China): *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 90, 215–240.

- Hollick, A., Jeffrey, E.C., 1909, Studies of coniferous cretaceous remains from kreischerville, New York: Memoirs of the New York Botanical Garden 3, 1–137.
- IAWA Committee, 2004, List of microscopic features for softwood identification: en Richter, H. G., Grosser, D., Heinz, I., Gasson P.E. (eds.), IAWA Journal, 25, 1–70 pp.
- Jeyasingh, D.E.P., Kumarasamy, D., 1995, An unusual pycnoxylic wood from a new upper Gondwana locality in Tamil Nadu, India: Review of Palaeobotany and Palynology, 85, 341–350.
- Jiang, H.E., Ferguson, D.K., Li, Ch.S., Cheng, Y.M., 2008, Fossil coniferous wood from the Middle Jurassic of Liaoning Province, China: Review of Palaeobotany and Palynology 150, 37–47.
- Junusov, U.K., 1977, A new fossil wood species from the Jurassic of Angren (Uzbekistan): Journal Paleontology, 11(1), 145–148.
- Kräusel, R., 1939, Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Aegyptens. IV. Die fossilen Flora Aegyptens: Abhandlungen der Wissenschaften, Mathematisch naturwissenschaftliche Abteilung (Neue Folge), 47, 1–140.
- Kräusel, R., 1949, Die fossilen Koniferen-Hölzer, 2. Kritische Untersuchungen zur Diagnostik lebender und fossiler Koniferen-Hölzer, Palaeontografic B, 89, 83–203 pp.
- Kräusel, R., Jain, K., 1964, New coniferous wood from the Rajmahal Hills, Bihar, India: The Palaeobotanist, 12, 59–67.
- Kloster, A.C., Gnaedinger, S.C., 2018, Coniferous Wood of *Agathoxylon* from the La Matilde Formation, (Middle Jurassic), Santa Cruz, Argentina: Journal of Paleontology, 1–22.
- Kumarasamy, D., 2014, A new species of *Agathoxylon* Hartig from the sriperumbudur formation, Tamil Nadu, India: Journal of research in Biology, 3(7), 1105–1110.
- Leiva, V.V., Crisafulli, A., Herbst, R., Filippi, V., Molina, S., 2012, Guavirá una nueva localidad con maderas fósiles de la Formación Tacuary (Pérmico Superior) de Paraguay: Journal of Geoscience, 8(2), 67–81.
- Lozano-Carmona, D.E., Velasco de León, M.P., 2016, Jurassic flora in Southeast Mexico: importance and prospects of recent findings in the Mixteco Terrane: Paleontología Mexicana, 5(2), 87–101.
- Lucas, R.C., Lacey, W.S., 1981, A permineralized wood flora of probable Cenozoic age from King George Island, South Shetland Island: British Antarctic Survey Bulletin, 53, 147–151.
- Martini, M., Velasco de León, M.P., Zepeda-Martínez, M., Lozano-Carmona, D.E., Ramírez-Calderón, M., 2017, Fiel guide to the Jurassic Otlaltepec and Tezoatlán Basin, southern Mexico: sedimentological and paleontological records of Puebla and Oaxaca: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 69(3), 691–709.
- McElwain, J.C., Willis, K.J., 2002, The evolution of Plants: Oxford University Press, 378 pp.
- Merlotti, S., Kurzawe, F., 2011, Lenhos permianos da Bacia do Parná Brasil: Síntese e revisão taxonômica: Journal of Geoscience, 7(1) 19–33.
- Meyen, S.V., 1984, Basic features of gymnosperm systematic and phylogeny as evidenced by the fossil record: The Botanical Review, 50, 1–111.
- Morgans, S.H., 1999, Lower and Middle Jurassic Woods of the Cleveland basin (North Yorkshire), England: Palaeontology, 42(2), 303–328.
- Ogura, Y., 1960, Tyloses in tracheids in *Araucarioxylon*: Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Section 3, Botany, 7(10), 504–509.
- Oh, Ch., Legrand, J., Kyungsik, K., Philippe, M., In, S., 2011, Fossil wood diversity gradient and Far-East Asia paleoclimatology during the Late Triassic – Cretaceous interval: Journal of Asian Earth Sciences, 40, 710–721.
- Ortega-Chávez, E., 2013, Paleoxilología de Gimnospermas en el Jurásico Medio, Formación Tecmazúchil, de la localidad de Partidieno, Oaxaca: México D.F., Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 51 pp.
- Ortega-Chávez, E., Velasco de León, M.P., Jiménez R.J., 2017, *Agathoxylon* sp del Jurásico Inferior, Rosario Nuevo, Oaxaca, México: Paleontología Mexicana 6(2) 73–77.
- Ortiz-Martínez, E.L., 2014, Estudio Paleocológico del Jurásico Inferior y Medio de la Zona Norte de Oaxaca: México D.F., Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Doctorado, 251 pp.
- Ortiz-Martínez, E.L., Velasco de León, M.P., Salgado-Ugarte, I., Silva-Pineda, A., 2013, Clasificación del área foliar de las gimnospermas fósiles de la zona norte de Oaxaca, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 30(1), 150–158.
- Person, C.P., Delevoryas, T., 1982, The Middle Jurassic Flora of Oaxaca Mexico: Palentographica, Abt B., 180, 82–119.
- Philippe, M., 1995, Bois fossils du Jurassique de Franche-Comté (nord-est de la France): systématique et biogéographie: Palentographica, Abt B., 236, 45–103.
- Philippe, M., Bamford, M., McLoughlin, S., Da Rosa Alves, L.S., Falcon-Lang, H., Gnaedinger, S., Ottone, E., Pole, M., Rajanikanth, A., Shoemaker, R.E., Torre, T., Zammuner, A., 2004, Biogeographic analysis of Jurassic–Early Cretaceous wood assemblages from Gondwana: Review of Paleobotany and Palynology, 129, 141–173.
- Philippe, M., Bamford, M., 2008, A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods: Review of Palaeobotany and Palynology, 148, 184–207.
- Poole, I., 2000, Fossil angiosperm wood: its role in the reconstruction of biodiversity and palaeoenvironment: Botanical Journal of the Linnean Society, 134, 361–381.
- Poole, I., Cantrill, D., 2001, Fossil woods from Williams point beds, Livingston island, Antarctica: A late Cretaceous Southern high latitude flora: Palaeontology, 44(6), 1081–1112.
- Pujana, R.R., Umazano, M.A., Bellosi, S.E., 2007, Maderas fósiles afines a Araucariaceae de la Formación Bajo Barreal, Cretácico Tardío de Patagonia central (Argentina): Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 9(2), 161–167.
- Pujana, R.R., Santillana, S.N., Marensi, S.A., 2014, Conifer fossil Woods from the La Meseta Formation (Eocene of Western Antarctica): Evidence of Podocarpaceae-dominated forests: Review of Palaeobotany and Palynology, 200, 122–137.
- Rai, J., Prasad, M., Prakash, N., Singh, A., Garg, S., Gupta, M., Pandey, D.K., 2016, Gymnosperm fossil woods from Gangta Bet, eastern Kachchh, western India: Journal of Paleontological Society of India, 61, 111–122.
- Rajanikanth, A., Sukh-Dev, A., 1989, The Kota Formation: fossil flora and stratigraphy: Geophytology, 10, 52–64.
- Ress, P.M., Ziegler, A.M., Vlades, P.J., 2000, Jurassic Phytogeography and Climates: New Data and Model Comparisons, disponible en [http://pgap.uchicago.edu/Reesetal2000.html].
- Ríos-Santos, C., 2016, Descripción e identificación de maderas gimnospérmicas del Jurásico, Cretácico, Paleoceno y Mioceno de México: México D.F., Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 163 pp.
- Ríos-Santos, C., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2019, Upper Jurassic, Upper Cretaceous and Palaeocene conifer Woods from Mexico: Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 108, 399–418.
- Ríos-Santos, C., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Pujana, R.R., 2020, Cupressaceous Woods in the Upper Cretaceous Cabullona Group in Fronteras, Sonora, Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 104, 1–14.
- Röbber, R., Philippe, M., van Konijnenburg-van Citter, J.H.A., McLoughlin, S., Sakala, J., Zijlstra, G., 2014, Which name(s) should be used for Araucaria-like fossil Wood?: Taxon, 63(1), 177–184.
- Sah, S.C.D., Jain, K.P., 1964, Some fossil Woods from the Jurassic of Rajmahal Hills, Bihar, India: The Paleobotanist, 12, 169–180.
- Silva-Pineda A., 1978, Contribuciones a la Paleobotánica del Jurásico de México: Parte 1, Paleobotánica del Jurásico de México: Paleontología Mexicana, 44, 1–16.
- Silva-Pineda, A., 1992, Presencia de *Otozamites* (Cycadophyta) y *Podozamites* (Coniferophyta) en el Jurásico superior (Kimeridgiano/Titoniano) del sur del Estado de Veracruz: Instituto de Geología, UNAM 10(1), 94–97.

- Silva-Pineda, A., Velasco de León, M.P., Arellano Gil, J., Grimaldo Avalos, J.R., 2011, Una Nueva especie de *Weltrichia* del Jurásico Medio de la Formación Tecomazúchil, Oaxaca, México: *Geobios*, 44, 519–525.
- Suryanarayana, K., 1956, *Dadoxylon rajmahalense* Sahní from the coastal Gondwanas of India: *Paleobotanist*, 4, 89–90.
- Tadeu, B.R., Da Silva, S.J.L., Gandin, M.L., 2004, Fossildiagenese de lenhos do mesozóico do estado do Rio Grande Do Sul, Brasil: *Revista Brasileira de Paleontología*, 7(2), 103–110.
- Taylor, N.T., Taylor, L.E., Krings, M., 2009, *Paleobotany the biology and evolution of fossil plants*: USA Elsevier Inc. (second Edition), 1230 pp.
- Torres, T., Rallo, V., 1981, Anatomía de troncos fósiles del Cretácico superior de Pichasca, en el Norte de Chile: en *Anais II Congreso Latinoamericano Paleontología*, Porto Alegre, Brasil, 1, 385–397.
- Torres, T., Philippe, M., 2002, Nuevas especies de *Agathoxylon* y *Baieroxylon* del Liasico de La Liga, Chile, y evaluación de antecedentes paleoixilológicos en el Jurásico de América del Sur: *Revista Geológica de Chile*, 29, 151–165.
- Turland, J. N., Wiersema, J.H., Barrie, F.R., Greuter, W., Hawkswort, D.L., Herendeen, P.S., Knapp, S., Kusber, W.H., Li, D.Z., Marhold, K., May, T.W., McNeill, J., Monro, A.M., Prado, J., Price, M.J., Smith, G.F., 2018, Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas: (Código de Shenzhen): *Regnum Vegetabile*, 159, 280 pp., Glashütten Koeltz Books.
- Velasco de León, M.P., Ortiz-Martínez L.E., Silva-Pineda, A., 2013, Distribución y ambientes de las gimnospermas fósiles del terreno mixteco: *Paleontología Mexicana* 63, 112–143.
- Velasco de León, M.P., Lozano-Carmona, D.E., Flores-Barragan, M.A., Martínez, P.O.D., Silva-Pineda, A., 2015, Two new species of Ginkgoales from the Middle Jurassic of Mexico: *Historical Biology: An International Journal of Paleobiology*, 27(3-4), 366–373, doi: 10.8080/08912963.2013.874423.
- Velasco de León, M.P., Ortiz-Martínez, E.L., Lozano-Carmona, D.E., Flores-Barragan, M.A., 2019, Paleofloristic comparison of the Ayuquila and Otlaltepec basins, Middle Jurassic, Oaxaca, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 93, 1–16.
- Vozenin-Serra, C., Salard-Chebodaef, M., 1992, Les bois Mineralises Permo Triasiques de Nouvelle Caledonie. Implications Phylogenetique et Paleogeographique: *Palaeontographica*, 225B, 1–25.
- Wan, M., Yang, W., Wang, J., 2019, A new *Protophyllocladoxylon* Wood from the Induan (Lower Triassic) Jiucayuan Formation in the Turpan-Hami Basin, southern Bogda Mountains, northwestern China: *Review of Paleobotany and Palynology*, 267, 62–72.
- Wieland, R.G., 1914, La flora Liásica de la Mixteca Alta: *Boletín del Instituto Geológico de México*, 31, 120–124.
- Zamuner, B.A., Falaschi, P., 2005, *Agathoxylon matildense* n. sp., leño araucariáceo del Bosque Petrificado del cerro Madre e Hija, Formación la Matilde (Jurásico medio), provincia de Santa Cruz, Argentina: *Ameghiniana*, 42(2), 339–346.
- Zhang, Y., Wang, J., Liu, Li, N., 2010, *Protophyllocladoxylon jingyuanense* sp. nov., a Gymnospermous Wood of the Serpukhovian (Late Mississippian) from Gansu, Northwest China: *Acta Geologica Sinica*, 84(2), 257–268.