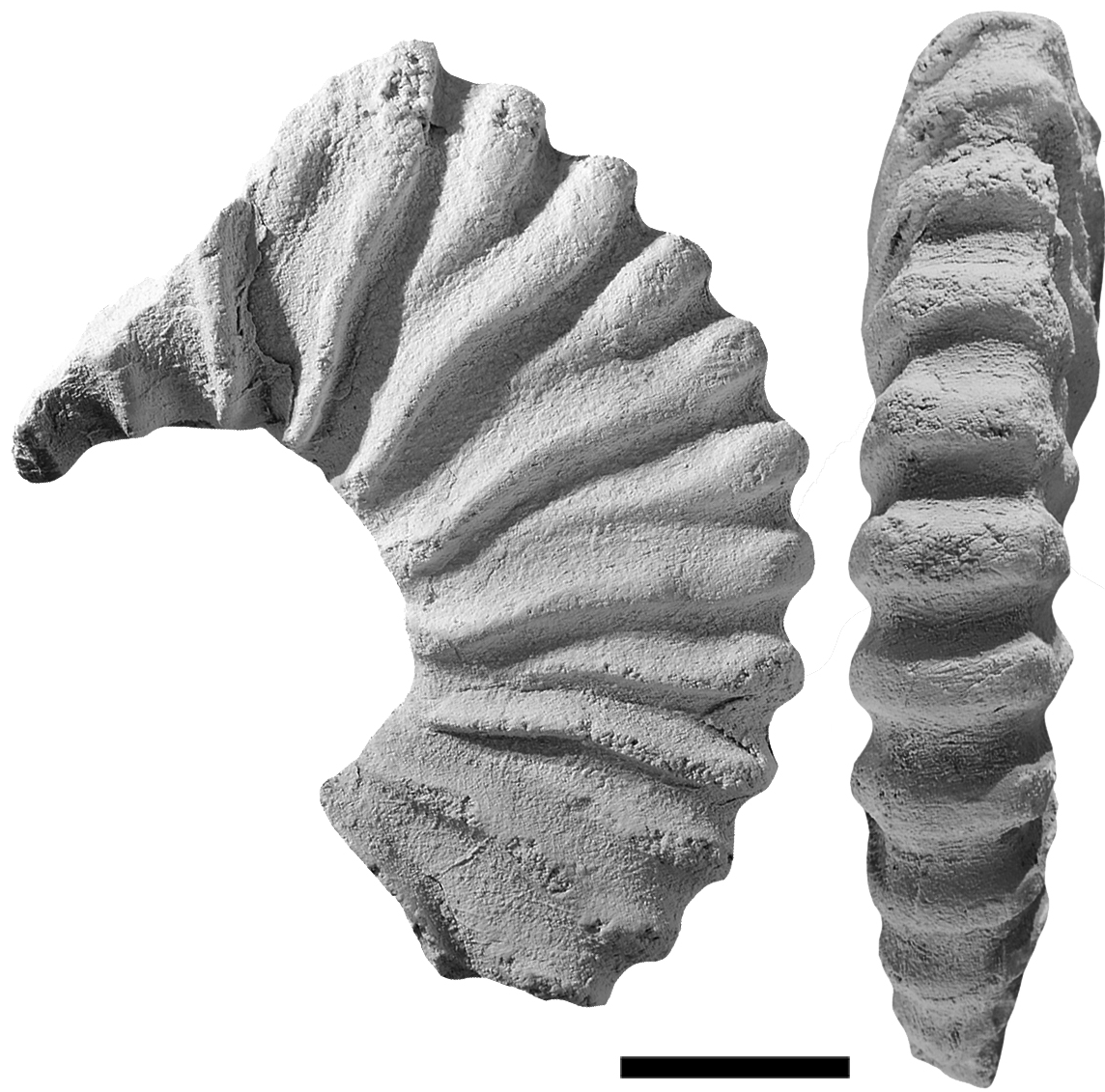


# PALEONTOLOGÍA MEXICANA

## Volumen 12 Número 1



Ammonite del Aptiano superior: *Juandurhamiceras* sp., IGM 13090, cercanías de Campo Morado, Arcelia, estado de Guerrero. Escala gráfica 1 centímetro.



Universidad Nacional Autónoma de México





# PALEONTOLOGÍA MEXICANA

ISSN-L: 0543-7652

Número de reserva: 04-2022-072810185500-102

Segunda Época (2012-actualidad)

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

**Revista incluida en:** Periódica, Biblat, MIAR, Toda la UNAM en línea y Ulrich's Web

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 Martín Closas  
*Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, España.*

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

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

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

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

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

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

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

EDICIÓN TÉCNICA Y PÁGINA WEB — TECHNICAL EDITION AND WEBSITE

**Coordinadora de edición técnica:** Sandra Ramos Amézquita

**Edición técnica:** José Roberto Ovando Figueroa, Lia Rodríguez Gómez, Oscar Monzón

**Corrección de estilo:** José Roberto Ovando Figueroa, Lia Rodríguez Gómez, Oscar Monzón

**Formación y diseño:** Mónica Antúnez Argüelles, León Felipe Álvarez, José Roberto Ovando Figueroa

## ÍNDICE DE NÚMERO REGULAR – *REGULAR ISSUE NUMBER INDEX*

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
1	<b>Un ammonite del género <i>Juandurhamiceras</i> del Aptiano de Campo Morado, Arcelia, estado de Guerrero, México.</b> Moreno-Bedmar, Josep Anton; Company, Miquel; Guerrero-Suastegui, Martín..
9	<b>Helcioneloidos (Mollusca-Helcionelloida) del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de la Formación El Gavilán, Sonora central, México.</b> Noriega-Ruiz, Héctor Arturo; Cuen-Romero, Francisco Javier; Torres-Martínez, Miguel A.; Buitrón-Sánchez, Blanca E.
19	<b>Primer registro de un balenoptérico de la Cuenca Los Barriles, Mioceno tardío B.C.S., México.</b> Solís-Añorve, Azucena; González-Barba, Gerardo; Schwennicke, Tobias.
33	<b>Nuevo género de hojas ovadas de Rhamnaceae de la Formación Olmos (Cretácico Superior) de Coahuila, México.</b> Centeno-González, Naylet Karen; Porras-Múzquiz, Héctor; Estrada-Ruiz, Emilio.
43	<b>Philosophical and Scientific Implications of Astrobiology and Palaeontology in the Light of Hypothesising the Existence of Intelligent Pre-human Civilisations on Earth: Empiricist, Rationalist, and Positivist Approaches.</b> Sánchez-Beristain, Francisco; Paredes-Arriaga, Alejandro; Martínez-Velarde, María Fernanda; Badillo-Avilés, Shendel.

## DATOS DEL PRESENTE NÚMERO – *DATA OF THIS NUMBER*

Título: *Paleontología Mexicana*

ISSN-L: 0543-7652

(revista electrónica): 2007-5189

Número de reserva: 04-2022-072810185500-102

Tipo de publicación: Periódica

Periodicidad: Semestral

Número de publicación: Volumen 12 Número 1

Fecha de publicación: Enero de 2023 (finales)

Año de inicio de la publicación: 1954

Materia de la publicación: 550 (Ciencias de la Tierra)

Editada por: Unidad Editorial del Instituto de Geología de la UNAM

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

Tiraje: No aplica

Tipo de impresión: No aplica

Gramaje: No aplica

Tipo de papel: No aplica

## AGRADECIMIENTOS – *ACKNOWLEDGEMENTS*

El jefe editorial agradece a la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y al M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez por su trabajo editorial realizado en el volumen 12 (1).

## DECLARATORIAS – STATEMENTS

### Declaratoria de Acceso Abierto

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



### Creative Commons License CC-BY-NC-ND

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

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

#### Avisos:

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

### Sobre derechos de autor (copyright) y de publicación

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



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

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

### Open Access Statement

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



### Creative Commons License CC-BY-NC-ND

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

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

#### Under the following terms:

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

#### Notices:

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

### Concerning copyright and publishing rights

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



### DORA: San Francisco Declaration on Research Assessment.

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

## Un ammonite del género *Juandurhamiceras* del Aptiano de Campo Morado, Arcelia, estado de Guerrero, México

### *An ammonite of the genus *Juandurhamiceras* from the Aptian from Campo Morado, Arcelia, Guerrero state, Mexico*

Moreno-Bedmar, Josep Anton<sup>1\*</sup>; Company, Miquel<sup>2</sup>; Guerrero-Suastegui, Martín<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, 04510, CDMX, México.

<sup>2</sup>Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, Granada, España.

<sup>3</sup>Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero, Ex-Hacienda de San Juan Bautista, S/N, Taxco el Viejo, Guerrero, México.

\* josepamb@geologia.unam.mx

#### Resumen

Se reporta por vez primera en México el género *Juandurhamiceras* mediante el estudio de un ammonite colectado hace más de un siglo en Campo Morado, Municipio de Arcelia, estado de Guerrero. Se presenta una ilustración de este ammonite del Aptiano superior, que nunca había sido figurado previamente, y se complementa con la elaboración de un modelo 3D. El ammonite, que se identifica como *Juandurhamiceras* sp., es posiblemente una especie nueva pero las condiciones no son adecuadas para su descripción. Para una descripción fundamentada de esta potencial nueva especie sería necesario recolectar más ejemplares, pero la situación de inseguridad del área de Campo Morado lo imposibilita. Hasta ahora, el género *Juandurhamiceras* era únicamente conocido en Colombia, lo que sugiere una fuerte afinidad de las faunas del área de Campo Morado con los ammonites colombianos a través de una conexión por el océano Pacífico.

**Palabras clave:** Ammonite, Aptiano superior, Colombia, *Juandurhamiceras*, México.

#### Abstract

The genus *Juandurhamiceras* is reported for the first time in Mexico through the study of an ammonite collected more than a century ago in Campo Morado, Arcelia municipality, state of Guerrero. This upper Aptian ammonite had never been figured before and is illustrated for the first time in the current work, complementing this with the creation of a 3D model. The ammonite that is identified as *Juandurhamiceras* sp. is possibly a new species, but the conditions are not adequate for its description. For a proper description of this potential new species, it would be necessary to collect more specimens, but the insecurity situation in the Campo Morado area makes this impossible. Until now, the genus *Juandurhamiceras* was only known from Colombia, which suggests that the Campo Morado area has a strong affinity with Colombian ammonites by means a connection through the Pacific Ocean.

**Keywords:** Ammonite, Colombia, *Juandurhamiceras*, Mexico, Upper Aptian .

**Cómo citar / How to cite:** Moreno-Bedmar, J. A., Company, M., & Guerrero-Suastegui, M. (2023). Un ammonite del género *Juandurhamiceras* del Aptiano de Campo Morado, Arcelia, estado de Guerrero, México. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 1 – 8.

Manuscrito recibido: Enero 10, 2023.

Manuscrito corregido: Enero 18, 2023.

Manuscrito aceptado: Enero 19, 2023.



## 1. Introducción

Los ammonites del Aptiano de México han sido estudiados desde hace más de un siglo (e.g., Burckhardt, 1906; 1925; Humphrey, 1949; Cantú Chapa, 1968; Campa et al., 1974; Cantú Chapa, 1976; Contreras y Montero, 1977; Cantú Chapa, 1989, 1992; Barragán, 2001; Barragán y Szives, 2007; Barragán y Maurrasse, 2008; Moreno-Bedmar et al., 2013; 2015; 2018, 2022; Barragán et al., 2021; Samaniego-Pesqueira et al., 2021). Los trabajos anteriormente mencionados reportan o estudian ammonites de esta edad procedentes de nueve estados de la República Mexicana: Chihuahua, Coahuila, Durango, Guerrero, Michoacán, Nuevo León, Puebla, Sonora y Zacatecas. Uno de los estados donde el registro de ammonites del Aptiano es menos conocido es el de Guerrero, donde únicamente hay cuatro reportes. Tres de ellos en las cercanías de Campo Morado, Municipio de Arcelia; el primero de ellos es el de Böse (1910), que se refiere justamente al ammonite estudiado en el presente trabajo, y otros dos por parte de Campa et al. (1974) y Lorinczi y Miranda (1978). El cuarto reporte de ammonites aptianos en el estado de Guerrero es el de Campa et al. (1981), que mencionan dos ammonites procedentes del poblado del Pochote (Municipio de Teoloapan). Lamentablemente, y a la fecha de elaboración de este manuscrito, no es posible realizar trabajo de campo en el área de Campo Morado debido a problemas de inseguridad generados por la importante presencia de bandas delictivas organizadas. La cita de Böse (1910) ha sido referenciada posteriormente por otros autores, en varias ocasiones con observaciones adicionales (Burckhardt, 1925, 1930; Imlay, 1944; Campa et al., 1974, 1981). En este trabajo se analiza en detalle la historia de este ammonite reportado inicialmente por Böse (1910) junto con la información proporcionada por la tarjeta original del mismo. También se figura por primera vez este ejemplar, a lo que se suma la realización de un modelo 3D del mismo y, además, se proporciona información museográfica incluyéndose el número de colección. El ammonite, originalmente asimilado en la literatura a lo que se conoce en la actualidad como el género *Dufrenoyia*, se reasigna, tras la revisión taxonómica realizada en este trabajo, al género *Juandurhamiceras*, constituyendo este el primer reporte en México de este género, que hasta ahora era únicamente conocido en Colombia. Este trabajo contribuye a mejorar nuestro conocimiento de los ammonites del Aptiano de México en un área clave desde el punto de vista paleobiogeográfico por sus afinidades con las faunas pacíficas.

## 2. Antecedentes de ammonites del Aptiano de Guerrero

El primer reporte del ammonite estudiado en este trabajo fue el de Böse (1910, p. 661) quien lo menciona

como *Hoplites* del grupo *Hoplites furcatus*, especie descrita por Sowerby (1836) y que actualmente constituye la especie tipo del género *Dufrenoyia* Kilian y Rebol, 1915 (e.g. Casey, 1964; Wright et al., 1996; Bogdanova y Mikhailova, 2004). Posteriormente, Burckhardt (1925, p. 52), en una nota a pie de página, señala que revisó este ammonite y lo identificó como *Dufrenoyia* aff. *furcata*. Burckhardt señaló que el ammonite lo colectó el fotógrafo del Instituto Geológico pero que según datos facilitados por el Ing. Teodoro Flores este ammonite no se habría colectado realmente en las inmediaciones de Campo Morado. Dicha información es contradictoria por tres motivos: 1-No entendemos por qué Burckhardt (1925) no corrigió la localidad de colecta si esta no fue la de Campo Morado, 2-Esta información contrasta con el mismo Burckhardt (1930, p. 158) quien en este trabajo posterior señala que el ammonite procede de los alrededores de Campo Morado, 3- En la tarjeta original se señala claramente que el ammonite procede de Campo Morado (Figura 1). Además, Burckhardt omite explicar cuál es la relación del Ing. Teodoro Flores con el ammonite y, en particular, con su colecta. Quien colectó el ammonite fue el Ing. Francisco de P. Carbajal (Burckhardt, 1930, p. 158), quien era el fotógrafo del Instituto Geológico de México a principios del siglo XX (e.g. Waitz y Wittich, 1911; Burckhardt, 1919-1921). Esta información sobre la colecta está respaldada por la tarjeta del ammonite, la cual indica también que F.P. Carbajal colectó el ammonite (Figura 1). Investigando sobre el trabajo del Ing. Teodoro Flores, creemos que muy posiblemente estaba con el fotógrafo cuando éste colectó el ammonite, pues el Ing. Flores trabajó muy activamente en minería (Alvarez, 1955) y en particular estudió los depósitos de piritas cupríferas en Campo Morado (Flores, 1936). Debido a estas incoherencias y omisiones cuestionamos enfáticamente lo comentado por Burckhardt (1925, p. 52): “Según últimos datos de T. Flores la Amonita no se encontró en las inmediaciones de Campo Morado”. Burckhardt (1930, p. 158) parece mucho más preciso y congruente con la información que disponemos y la información de la tarjeta original. Hay también que señalar que en la tarjeta original (Figura 1) el ammonite está identificado como *Hoplites* aff. *interruptus*. Esto es sorprendente, pues *Hoplites interruptus* (Bruguière, 1789) es muy diferente al ammonite objeto de este trabajo, y en ningún trabajo fue mencionado con dicha identificación. Posteriormente, Imlay (1944, p. 1124) hace mención de nuevo a este ejemplar como *Dufrenoyia* aff. *furcata*, señalando que las rocas sedimentarias de donde procede este ammonite están intensamente plegadas en comparación con las rocas suprayacentes de calizas masivas que actualmente se conocen como la Formación Teloloapan. Campa et al. (1974) hace de nuevo mención de este ammonite como *Dufrenoyia* sp. Posteriormente Campa et al. (1981) de nuevo menciona este ammonite como *Dufrenoyia* sp. En ninguno de los trabajos mencionados (Böse, 1910; Burckhardt, 1925, 1930; Imlay, 1944; Campa et al., 1974,

1981) se ilustró el ammonite al que se hace referencia. Campa *et al.* (1974) figuraron un nuevo ejemplar coleccionado en la localidad de la Lucha, Campo Morado, identificado como *Parahoplites* sp. La fotografía del ejemplar muestra un ammonite con un flanco muy aplanado y una región ventral plana ciertamente no atribuible al género *Parahoplites*. Por las características del ammonite, creemos que el mismo es atribuible o al género *Dufrenoyia* o al género *Juandurhamiceras*, siendo necesario examinar el ejemplar de forma directa para poder realizar una identificación precisa. Durante el año 2017 uno de nosotros (JAMB) le solicitó a la Dra. María Fernanda Campa tener acceso a dicho ammonite, quien señaló que el fósil estaba en poder de su colector original, el ingeniero Mario Campos, pero que, lamentablemente, éste había fallecido, señalando que ella intentaría contactar a sus familiares para preguntar sobre el paradero de dicho ammonite. María Fernanda Campa intentó seguir la pista al ammonite sin avances hasta que, desafortunadamente, la Dra. Campa falleció en enero del 2019 (Lugo Hubp, 2020). Lorinczi y Miranda (1978) en un trabajo que trata sobre la mineralización de Campo Morado reportan, sin ilustrarlo, *Acanthoplites* sp.? que es atribuible al Aptiano superior. Campa *et al.* (1981) en su trabajo reportan, también sin figurarlos, procedentes del poblado El Pochote (Municipio de Teloloapan), dos ammonites que atribuyen al Aptiano: *Parahoplites* sp. y *Hamites* sp. El Pochote es un pequeño pueblo que se halla relativamente cercano a Campo Morado, concretamente a unos 30 km en línea recta.

### 3. Estratigrafía

Las rocas del área de Campo Morado están fuertemente deformadas. Existe un patrón complejo de pliegues isoclinales con vergencia al este asociado con foliación penetrativa y fallas inversas (Campa *et al.*, 1974; Ramírez *et al.*, 1991; Salinas, 1994). Las rocas que conforman el área están deformadas y han sufrido un metamorfismo de bajo grado en facies de prehnita-pumpelita a esquistos verdes (Campa *et al.*, 1974; Talavera, 1993).

La estratigrafía del área la constituyen formaciones que integran una sucesión relacionada a arco volcánico subacuoso del Subterreno Teloloapan (Ramírez *et al.*, 1991), variando en edad del Berriasiano al Albiano (Guerrero-Suastegui, 2004). La unidad inferior expuesta es la Formación Villa Ayala (Berriasiano-Aptiano superior). Esta unidad está constituida a la base por rocas volcánicas y volcanoclásticas formando flujos de lavas de basaltos a andesitas con estructura masivas y almohadilladas, brechas volcánicas y rocas volcanoclásticas de grano grueso a fino. En la parte media y superior de esta formación los volcánicos están interestratificados con rocas piroclásticas y epiclásticas, tales como radiolaritas, tobas de grano grueso a fino y areniscas tobáceas,

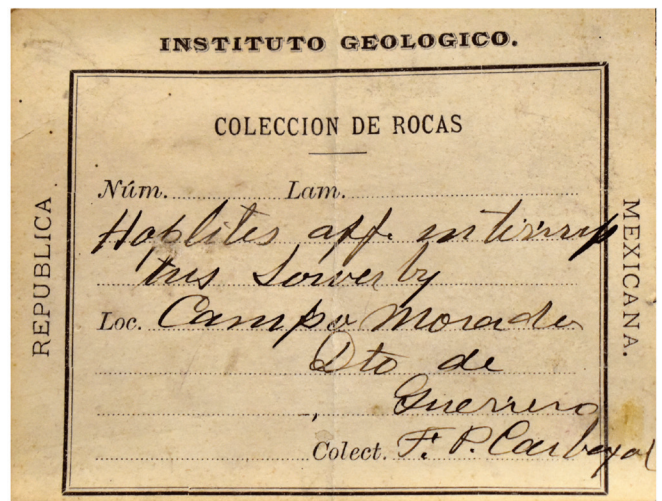


Figura 1. Tarjeta del ammonite estudiado, IGM 13090, donde se puede leer con letra manuscrita: *Hoplites* aff. *interruptus* Sowerby. Localidad: Campo Morado Dto (Distrito) de Guerrero. Colector: F.P. Carbajal. Escala gráfica 4 centímetros.

así como depósitos de flujos de escombros depositadas en un ambiente marino.

Esta unidad es cubierta por una secuencia monótona de tobas de grano fino a medio, amarillas a verde claro, que cambian hacia la cima a tobas de grano muy fino interestratificadas con lutitas y limonitas de la Formación Acapetlahuaya (Aptiano superior), en el área de Campo Morado-Pochote-Villa de Ayala. Esta unidad es la que contiene el ammonite reportado en este trabajo, y otros más reportados por otros autores.

La Formación Acapetlahuaya contiene a la base tobas de grano medio y estratificación gruesa. Gradación normal y laminación paralela son las estructuras sedimentarias predominantes en este nivel, tobas de grano muy fino y estratificación delgada están esporádicamente presentes en estratos menores a 5–8 cm de espesor. En la parte media de la formación, tobas de grano medio y estratos de tobas finas ocurren en una relación similar en proporción. La parte superior de la unidad está caracterizada por tobas finamente laminadas, sustituida por areniscas epiclásticas de grano fino y estratos medios a delgados. La naturaleza piroclástica y epiclástica de este nivel fue confirmada por análisis petrográfico. El ambiente de depósito de estas rocas son depósitos piroclásticos subacuosos que se depositan en los flancos y valles de edificios volcánicos formando secuencias de turbiditas volcanoclásticas (Guerrero-Suastegui, 2004).

Ambas secuencias son cubiertas por rocas calcáreas, pues las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Formación Villa Ayala cambian transicionalmente a calizas de estratificación gruesa en la porción este, área

Teloloapan (Formación Teloloapan), la cual contiene carbonatos de plataforma a depósitos de talud, en tanto que hacia la parte oeste, área de El Pochote-Campo Morado, la Formación Acapetlahuaya con sus depósitos de tobas finas son cubiertos transicionalmente a calizas oscuras de estratificación delgada de edad Albiano-Cenomaniano (Formación Amatepec).

#### 4. Material y métodos

El ammonite estudiado, IGM 13090, se encuentra depositado en el “Museo María del Carmen Perrilliat Montoya, Colección Nacional de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, México” con el acrónimo IGM (Instituto Geológico de México). El ejemplar ha sido ilustrado mediante la toma de fotografías, utilizando la técnica de blanqueo clásica con cloruro de amonio. También se realizó un modelo 3D utilizando el escáner 3D EinScan-SP. Si los lectores desean realizar una impresión 3D del ammonite, el archivo de impresión (formato de archivo .stl) está disponible previa solicitud por correo electrónico al autor de correspondencia.

#### 5. Notas taxonómicas y consideraciones bioestratigráficas y paleobiogeográficas

Raymond Charles Casey describió e ilustró un ammonite muy particular procedente de una localidad cercana a Bogotá, Colombia (Casey, 1965, p. 419, figura 152). Este ammonite que Casey identificó como *Dufrenoyia* sp. presenta en su estadio juvenil una sección de vuelta tipo *Dufrenoyia* con los flancos y región ventral aplanadas. Las costillas en esta etapa son fuertemente espatuladas con un trazado bastante rígido y cruzan la región ventral de forma rectilínea, muy ensanchadas, planas en su parte superior, y robustas. A lo anterior se suma que las costillas presentan una ligera depresión sifonal. En el último cuarto de vuelta la sección de la vuelta y la ornamentación cambian abruptamente. La sección de la vuelta se torna más baja, con flancos y región ventral aplanadas. La densidad de costulación se incrementa fuertemente, siendo las costillas ligeramente flexuosas. El ancho de las costillas primarias es bastante constante en el flanco, no así las secundarias, que son ligeramente espatulares. Las costillas cruzan la región ventral de forma rectilínea y la depresión sifonal ya no está presente. Este ammonite presenta elementos transicionales entre los géneros *Dufrenoyia* y *Colombiceras*. El estadio juvenil presenta una forma de la concha tipo *Dufrenoyia*, pero las costillas rectilíneas que cruzan de forma muy aplanada y robusta la región ventral recuerdan características del género *Colombiceras*, aunque la condición de las costillas extremadamente espatulares solo ha sido observada en algunas especies de *Dufrenoyia*. La depresión sifonal es característica de *Colombiceras*

y *Gargasiceras*, géneros que Frau et al. (2020) consideraron sinónimos. En trabajos como el de Sharikadze et al. (2004) se ilustran formas con esta depresión sifonal, siendo identificadas como *Gargasiceras*. Frau et al. (2020) las identifica como *Colombiceras* (= *Gargasiceras*) e ilustra claramente esta depresión sifonal en numerosos ejemplares. El último cuarto de vuelta del ammonite estudiado por Casey (1965) muestra una costulación tipo *Colombiceras*, pero la región ventral claramente aplanada es una característica típica de una *Dufrenoyia*. Casey (1965) realizó un análisis de este ammonite, señalando que se trata de una forma que relaciona los géneros *Colombiceras* y *Dufrenoyia*, indicando que la ornamentación del último cuarto de vuelta es típica de un *Colombiceras*. Etayo-Serna (1979, p. 42) describió el género *Juandurhamiceras* haciendo notar la presencia de una ligera depresión de las costillas en la región sifonal. También hace mención al fuerte cambio de ornamentación, anteriormente descrito, en la cámara de habitación que denomina como estadio *Colombiceras*, señalando que en este estadio no está presente la depresión sifonal. Etayo-Serna (1979) hace mención del ejemplar estudiado por Casey (1965), indicando que la ornamentación del mismo y su desarrollo ontogenético concuerda perfectamente con el género *Juandurhamiceras*. También señaló la ausencia de los característicos clavi del género *Dufrenoyia* en *Juandurhamiceras*. Según la información proporcionada por Etayo-Serna (1979), *Juandurhamiceras* estaría presente en el Aptiano superior, tal como sugirió también Casey (1965) para el ejemplar que él estudió. Bogdanova y Hoedemaeker (2004) discuten sobre la validez del género indicando que, a pesar de que Wright et al. (1996) lo consideran como sinónimo de *Dufrenoyia*, ellos lo consideran válido; opinión que compartimos en este trabajo. Bogdanova y Hoedemaeker (2004) también atribuyen este género al Aptiano superior.

El ejemplar mexicano aquí estudiado (Figuras 2 y 3) muestra una costulación que en el flanco es muy similar a la de una *Dufrenoyia*, pero en la región ventral las costillas se hacen más robustas y se aplanan, característica típica de las costillas ventrales de parte de la ontogenia del género *Colombiceras*. La sección de la vuelta con flancos y región ventral aplanada recuerdan al género *Colombiceras*, pero comparando el ejemplar aquí estudiado con *Dufrenoyia justinae* y *D. scotti* procedentes de localidades de los estados de Durango y Coahuila, se aprecia muy claramente que en *Dufrenoyia* la transición entre el flanco y la región ventral es muy abrupta. En el ejemplar mexicano, esta transición es mucho menos repentina, recordando esto a estadios juveniles del género *Colombiceras* que también muestran una región ventral aplanada (e.g. Frau et al., 2020). El ejemplar aquí estudiado no posee los característicos clavi del género *Dufrenoyia*. Debido a las características del ejemplar mexicano, donde se combinan características del género *Dufrenoyia* y *Colombiceras*, lo identificamos como *Juandurhamiceras* sp.





Figura 2. *Juandurhamiceras* sp., IGM 13090, cercanías de Campo Morado, Arcelia, estado de Guerrero. Escala gráfica 4 centímetros.

A nivel específico existen únicamente tres especies descritas atribuibles a este género, todas ellas descritas por Etayo-Serna (1979): *Juandurhamiceras juandurhami*, especie tipo del género, *Juandurhamiceras joepecki* y *Juandurhamiceras giraldoi*. Bogdanova y Hoedemaeker (2004) señalan que, posiblemente, *Juandurhamiceras joepecki* y *Juandurhamiceras giraldoi* constituyan una sola especie. También indican que lamentablemente en el trabajo de Etayo-Serna (1979) las tres especies fueron inadecuadamente ilustradas, pues en ninguna de ellas hay fotos de la región ventral, si bien las regiones ventrales fueron descritas para cada una de las tres especies. Uno de nosotros (JAMB) tuvo la oportunidad de visitar el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez en Bogotá, Colombia, donde pudo ver la región ventral de estas especies comprobando que las descripciones de Etayo-Serna (1979) son correctas. A pesar de ello, es también muy difícil para nosotros evaluar la validez de las tres especies existentes a la vez que ello está fuera del alcance e intencionalidad del presente trabajo. El ejemplar mexicano aquí estudiado (Figuras 2 y 3) difiere de las tres especies conocidas del género *Juandurhamiceras* y por ello creemos que es una especie nueva, pues se trata de una cámara de habitación con características claramente diferenciadoras. Como se señalaba anteriormente, las cámaras de habitación en las tres especies conocidas de *Juandurhamiceras* muestran una ornamentación tipo *Colombiceras*, mientras que en el

ejemplar mexicano la ornamentación es más similar a una *Dufrenoyia*, especialmente en los flancos. A pesar de ello, hemos decidido no introducir una nueva especie debido a que únicamente poseemos un ejemplar fragmentario con solo la cámara de habitación preservada. Por lo tanto, desconocemos cómo es la ornamentación del fragmocono, que cabe esperar que sea diferente a la de la cámara de habitación. Además, tampoco conocemos la edad del ammonite, aunque tentativamente la atribuimos a la parte baja del Aptiano superior, posiblemente equivalente a la biozona *Caseyella aguilerae*. Consideramos imprescindible coleccionar más ejemplares conoespecíficos e intentar fechar las rocas portadoras de esta especie de ammonite para realizar una adecuada caracterización de esta posible especie nueva. Como se comentaba anteriormente, no es viable en la actualidad realizar trabajo de campo en el área de Campo Morado debido a problemas de inseguridad. Esta problemática ha afectado a esta área por décadas, pero a pesar de ello vamos a dar seguimiento en busca de una ventana de oportunidad que permita en el futuro realizar ese trabajo de campo. La presencia de *Juandurhamiceras* sp. en las cercanías de Campo Morado pone de manifiesto que se trata de un área clave para entender la paleobiogeografía de los ammonites del Aptiano de México, pues dicho ammonite es un indicador claro de una fuerte afinidad pacífica que permitió el intercambio faunístico con el área colombiana.



Figura 3. Modelo 3D digital de *Juandurhamiceras* sp., IGM 13090. El modelo 3D interactivo se puede activar haciendo clic izquierdo sobre la figura en la versión PDF de este artículo (requiere Acrobat Reader 9.0 o superior en todos los sistemas operativos).

## 6. Conclusiones

1. Se reporta por vez primera en México la presencia del género *Juandurhamiceras*, mostrando que existió una fuerte afinidad pacífica en el área de Campo Morado, Guerrero.
2. El ejemplar de *Juandurhamiceras* sp. estudiado en el presente trabajo, IGM 13090, es posiblemente una especie nueva.
3. De forma tentativa se atribuye al ejemplar de *Juandurhamiceras* sp. a la parte baja del Aptiano superior.
4. Hay que dar seguimiento a la situación de inseguridad del área de Campo Morado en busca de una ventana de oportunidad que permita en el futuro realizar trabajo de campo.

## Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo económico del proyecto PAPIIT IN108722 de la DGAPA-UNAM. Ha sido de gran relevancia la edición técnica del mismo agradecer a la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y a los M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez y José Roberto Ovando-Figueroa por la edición técnica. En especial los autores deseamos enfatizar nuestro agradecimiento al M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez quien

con gran entusiasmo maquetó el modelo 3D del trabajo tras una serie de ajustes y pruebas. Agradecer a Violeta Romero Mayén las facilidades proporcionadas para encontrar el ammonite aquí estudiado que se hallaba resguardado en la Colección Nacional de Paleontología (=CNP). Agradecer también a la Dra. Lucero Morelos que nos ayudó en la lectura de la tarjeta del ammonite estudiado. Finalmente, deseamos agradecer al editor adjunto el Dr. Víctor Adrián Pérez Crespo y dos revisores anónimos las correcciones y sugerencias que permitieron mejorar el trabajo.

## Referencias

- Alvarez Jr., M. (1955). Teodoro Flores Reyes (1873-1955). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 18(2), 87–89.
- Barragán, R. (2001). Sedimentological and paleoecological aspects of the Aptian transgressive event of Sierra del Rosario, Durango, northeast Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 189–202. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00021-9)
- Barragán, R., & Szives, O. (2007). New records of *Mathoceras* Casey (Deshayesitidae, Ammonoidea) from the Aptian (Lower Cretaceous) of Mexico and Hungary: Biostratigraphic and paleobiogeographic implications. *Geobios*, 40, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2006.03.001>
- 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.

- Barragán, R., Moreno-Bedmar, J. A., Núñez-Useche, F., Álvarez-Sánchez, L. F., & Delanoy, G. (2021). Ammonite biostratigraphy of two stratigraphic sections of the La Peña Formation (Aptian, Lower Cretaceous) in Nuevo León State, Northeast Mexico. *Cretaceous Research*, 125, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.104862>
- Bogdanova, T. N., & Hoedemaeker, Ph. J. (2004). Barremian-Early Albian Deshayesitidae, Opeiliidae, Desmoceratidae and Silesitidae of Colombia. *Scripta Geologica*, 128, 183–312.
- Bogdanova, T. N., & Mikhailova, I. A. (2004). Origin, evolution and stratigraphic significance of the superfamily Deshayesitaceae Stoyanow, 1949. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, 74, 189–243.
- Böse, E. (1910). Neue Beiträge zur Kenntnis der mexikanischen Kreide. (Schluß). *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 652–662.
- Bruguière J. G. (1789–1792). Encyclopédie méthodique ou par ordre de matières. *Histoire naturelle des vers*, volume 1. Paris, Pancoucke, pp. i-xviii, 1–344 [Livraison 32, June 1789]; 345-757 [Livraison 48, 13 Feb. 1792].
- Burckhardt, C. (1906). La faune Jurassique de Mazapil avec un appendice sur les fossiles du Crétacique Inférieur. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 23, 1–216.
- Burckhardt, C. (1919–1921). Faunas Jurásicas de Symon (Zacatecas) y faunas Cretácicas de Zumpango del Rio (Guerrero). *Boletín del Instituto Geológico de México*, 33, 1–136.
- Burckhardt, C. (1925). Faunas del Aptiano de Nazas (Durango). *Boletín del Instituto Geológico de México*, 45, 1–71.
- Burckhardt, C. (1930). Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain. *Abhandlungen der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, 49–50, 1–280.
- Campa, M. F., Campos, M., Flores, R., & Oviedo, R. (1974). La secuencia Mesozoica volcánico-sedimentaria metamorfozada de Ixtapan de la Sal, Méx. - Teloloapan, Gro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 35, 7–28.
- Campa, M. F., Ramírez, J., & Coney, P. J. (1981). Conjuntos estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, Región Compreendida entre los Estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 42(1–2), 45–67.
- Cantú-Chapa, C. M. (1968). *Las Rocas Eocretácicas de Zitácuaro, Michoacán*. Instituto Mexicano del Petróleo, sección Geología, Monografía, 2, 3–18.
- 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. (1989). La Peña Formation (Aptian): a condensed limestone-shale sequence from the subsurface of NE Mexico. *Journal of Petroleum Geology*, 12(1), 69–84. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1989.tb00221.x>
- Cantú-Chapa, A. (1992). Una amonita heteromorfa (Toxoceratoides) del Aptiano Superior (Cretácico) del pozo San Javier 1, en el Noreste de México. *Revista Mexicana del Petróleo, Investigación Científica y Tecnológica*, 335, 32–35.
- Casey, R. (1964). A monograph of the Ammonoidea of the Lower Greensand, Part V. *Monograph of the Palaeontographical Society*, 117(1963), 289–398.
- Casey, R. (1965). A Monograph of the Ammonoidea of the Lower Greensand, Part VI. *Monograph of the Palaeontographical Society*, 118(1964), 399–546.
- Contreras y Montero, B. (1977). Bioestratigrafía de las formaciones Taraises y La Peña (Cretácico Inferior), de la Goleta, Coahuila y Minillas, Nuevo León. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 9(1), 8–29.
- Etayo-Serna, F. (1979). Zonation of the Cretaceous of Central Colombia by ammonites. *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*, 2, 1–186.
- Flores, T. (1936). Los cuerpos de pirita cuprífera de Campo Morado, Estado de Guerrero, México. *16th International Geological Congress*, Washington 1933, Report, 101(2), 1013–1027.
- Frau, C., Pictet, A., & Caissa, M. (2020). The affinities between the Lower Cretaceous Ammonoidea *Ammonites crassicostratus* d'Orbigny, 1841 and *Ammonites gargasensis* d'Orbigny, 1841. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 53–72.
- Guerrero-Suastegui, M. (2004). *Depositional and tectonic history of the Guerrero Terrane, Sierra Madre del Sur; with emphasis on sedimentary successions of the Teloloapan area, Southwestern Mexico*. [Tesis doctoral]. New Foulard, Canada, Memorial University.
- 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)
- Imlay, R. W. (1944). Cretaceous formations of Central America and Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 28, 1077–1195.
- Kilian, W., & Reboul, P. (1915). La faune de l'Aptien inférieur des environs de Montélimar (Drôme) (Carrière de l'Homme d'Armes). En Kilian, W. (ed.), *Contribution à l'étude des faunes paléocrétacées du Sud-Est de la France*, Mémoires pour servir à l'Explication de la Carte Géologique détaillée de la France, 14, 1–221.
- Lorinczi, G. I., & Miranda V., J. C. (1978). Geology of the Massive Sulfide Deposits of Campo Morado, Guerrero, Mexico. *Economic Geology*, 73, 180–191. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.73.2.180>
- Lugo Hubp, J. (2020). *In Memoriam*. María Fernanda Campa Uranga, José Manuel Mateo Rodríguez, Víctor Hugo Garduño Monroy, Manuel Mollá Ruiz-Gómez. *Investigaciones Geográficas, Notas y noticias*, 102, Artículo e60191. <https://doi.org/10.14350/rig.60191>
- Moreno-Bedmar, J. A., Barragán Manzo, R., Company Sempere, M., & Bulot, L. G. (2013). Aptian (lower Cretaceous) ammonite biostratigraphy of the Francisco Zarco Dam stratigraphic section (Durango State, northeast Mexico). *Journal of South American Earth Sciences*, 42, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.10.009>
- Moreno-Bedmar, J. A., Mendoza-Rosales, C. C., Minor, K. P.; Delanoy, G., Barragán, R., & González-León, O. (2015). Towards an Aptian (Lower Cretaceous) ammonite biostratigraphy of the Mina Texali section, Central Atlantic province (Puebla State, Central Mexico). *Cretaceous Research*, 54, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2014.12.005>
- Moreno-Bedmar, J. A., Casados-Monroy, A., Frau, C., Pictet, A., Chávez Cabello, G., & Esquivel-Macias, C. (2018). Ammonite biostratigraphy of the Sierra del Patrón section (Durango State, Mexico) and its bearing on the lower/upper Aptian boundary of the Central Atlantic Province. *Cretaceous Research*, 88, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2017.10.015>
- Moreno-Bedmar, J. A., López-Alpizar, L., Juárez-Arriaga, E., & Quiroz-Barragán, J. (2022). Especies del género *Epicheloniceras* del Aptiano superior en los estados de Chihuahua, Durango, Michoacán y Nuevo León, México. *Paleontología Mexicana*, 11(2), 49–57.
- Ramírez, J., Campa, M. F., Talavera, O., & Guerrero, M. (1991). Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas. En *Congreso Evolución Geológica de México*, Sociedad Mexicana de Mineralogía, Instituto de Geología, UNAM, Memorias, 163–166.
- Salinas, J. C. (1994). *Etude structurale du Sud-ouest Mexicain (Guerrero). Analyse microtectonique des déformations ductiles du Tertiaire Inférieur*. [Ph. D. Dissertation]. France, Université d'Orléans.
- Samaniego-Pesqueira, A., Moreno-Bedmar, J. A., & Álvarez-León, L. F. (2021). Upper Aptian ammonite biostratigraphy of the Agua Salada and Mural formations, Sonora State, northwest Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 112(2021), Article 103558. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103558>
- Sharikadze, M. Z., Kakabadze, M. V., & Hoedemaeker, Ph. J. (2004). Aptian and Early Albian Douvilleceratidae, Acanthohoplitidae and Parahoplitidae of Colombia. *Scripta Geologica*, 128, 313–514.
- Sowerby, J. de C. (1836). Appendix A: Descriptive notes respecting the shells figured in pl. 11 to 23, (pp. 335-348) in: Fitton, W.H., Observations on some of the strata between the Chalk and the Oxford Oolite in the south-east of England. *Transactions of the Geological Society of London (series 2)*, 4, 103–390.

- Talavera, O. (1993). *Les formations orogéniques mésozoïques du Guerrero (Mexique méridional). Contributions a la connaissance de l'évolution géodynamique des cordillères mexicaines* [Tesis doctoral no publicada]. France, de l' Université Joseph Fourier-Grenoble I.
- Waitz, P., & Wittich, E. (1911). Tubos de explosión en el Pedregal de San Ángel. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 7(2), 169–186, 202.
- Wright, C. W., Callomon, J. H., & Howarth, M. K. (1996). *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part L, Mollusca 4, revised, Cretaceous Ammonoidea*. The Geological Society of America Inc. and The University of Kansas Press, Boulder, Colorado and Lawrence.

## Helcioneloides (Mollusca-Helcionelloida) del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de la Formación El Gavilán, Sonora central, México

### *Helcioneloids (Mollusca-Helcionelloida) of Cambrian (Miaolingian, Wuliuan) from the El Gavilán Formation, central Sonora, Mexico.*

Noriega-Ruiz, Héctor Arturo<sup>1,\*</sup> ; Cuen-Romero, Francisco Javier<sup>1,\*\*</sup> ;  
Torres-Martínez, Miguel A.<sup>2</sup> ; Buitrón-Sánchez, Blanca E.<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México. <https://orcid.org/0000-0002-6411-2832>; <https://orcid.org/0000-0001-8061-5600>

<sup>2</sup>Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX, 04510, México. <https://orcid.org/0000-0002-9322-0429>; <https://orcid.org/0000-0002-7756-3587>

\*hector.noriega@unison.mx; \*\*francisco.cuen@ciencias.uson.mx

#### Resumen

Se describe por primera vez para México la asociación de moluscos helcioneloides constituida por *Dorispira accordionata* (Runnegar y Jell) y *Dorispira* cf. *D. terraustralis* (Runnegar y Jell), procedentes de la Formación El Gavilán del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) que aflora en el cerro El Chihuarruita, Sonora central, México. La Formación El Gavilán está compuesta de estratos arcillosos de color rojizo con intercalaciones de caliza, los cuales se caracterizan por una abundante fauna fósil constituida por poríferos, cancellóridos, braquiópodos, hiolítidos, moluscos, trilobites y equinodermos. En un horizonte calcáreo, en la parte media de la unidad, se ha registrado la presencia de helcioneloides asociados a los trilobites *Amecephalus normale* (Resser) y *Amecephalus* spp., además de otras formas documentadas previamente en la unidad, lo cual permite asignar la asociación a la Zona de *Ptychagnostus praecurrens* del Cámbrico medio tradicional. La presencia de *D. accordionata* y *D.* cf. *D. terraustralis* en el estado de Sonora, así como los trilobites identificados, sugiere la existencia de una amplia provincia faunística que comprende localidades de Australia (Nueva Gales del Sur), norte de Groenlandia, Estados Unidos de América (Idaho), Argentina (Mendoza) y México (Sonora).

**Palabras clave:** Cámbrico, Helcioneloides, Mollusca, Paleozoico, Sonora

#### Abstract

*The association of helcioneloid mollusks Dorispira accordionata (Runnegar and Jell) and Dorispira cf. D. terraustralis (Runnegar and Jell), from the Cambrian (Miaolingian, Wuliuan) of the El Gavilán Formation that outcrops at El Chihuarruita hill, central Sonora, Mexico, is described for the first time in Mexico. The El Gavilán Formation is composed of reddish clayey strata with limestone intercalations, which are characterized by an abundant fossil fauna constituted by poriferans, cancellorids, brachiopods, hyolithids, mollusks, trilobites and echinoderms. In a calcareous horizon, in the middle part of the unit, the presence of helcioneloids associated with the trilobites Ameceph-*

**Cómo citar / How to cite:** Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Torres-Martínez, M. A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2023). Helcioneloides (Mollusca-Helcionelloida) del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de la Formación El Gavilán, Sonora central, México. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 9–18.

Manuscrito recibido: Enero 13, 2023.

Manuscrito corregido: Enero 23, 2023.

Manuscrito aceptado: Enero 24, 2023.



*alus normale* (Resser) and *Amecephalus* spp. has been recorded, in addition to other forms previously documented in the unit, which allows assigning the association to the *Ptychagnostus praecurrens* Zone of the traditional middle Cambrian. The presence of *D. accordionata* and *D. cf. D. terraaustralis* in the state of Sonora, as well as the trilobites identified, suggests the existence of a broad faunal province that includes localities in Australia (New South Wales), northern Greenland, the United States (Idaho), Argentina (Mendoza) and Mexico (Sonora).

**Keywords:** Cambrian, Helcioneloids, Mollusca, Paleozoic, Sonora.

## 1. Introducción

La Clase Helcionelloida Peel, 1991, comprende un grupo de moluscos problemáticos los cuales se encuentran restringidos estratigráficamente al Cámbrico y Ordovícico (Gubanov y Peel, 2001). Se caracterizan por poseer simetría bilateral, univalvos, con conchas enrolladas endogástricamente, con el ápice en posición posterior mientras que la concha se expande hacia la parte anterior (Peel, 1991); estas dos últimas características son importantes porque los diferencia de otras formas, también problemáticas, como son los representantes de la Clase Tergomya Peel, 1991, en los cuales el ápice se localiza en posición anterior y la concha se expande hacia la parte posterior (Peel, 1991).

La posición sistemática y taxonomía del grupo dentro de los Mollusca ha sido ampliamente discutida (*ex. gr.* Knight *et al.*, 1960; Runnegar y Pojeta, 1974; Yochelson, 1978; Peel, 1991; Bouchet *et al.*, 2017). Actualmente tal discusión se centra en identificarlos dentro de la Clase Helcionelloida propuesta por Peel (1991) o bien, de acuerdo con Bouchet *et al.* (2017), incluirlos como un orden dentro de los gasterópodos (Subclase Archaeobranchia Parkhaev, 2002).

Con respecto al registro paleontológico de los moluscos del Paleozoico temprano de México, este resulta ser escaso, conociéndose de forma limitada la presencia de gasterópodos, helcioneloides, bivalvos y cefalópodos para el Cámbrico y Ordovícico de los estados de Sonora y Oaxaca (Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2023). Por ejemplo, en el estado de Oaxaca se ha documentado una asociación faunística compuesta por gasterópodos y cefalópodos como *Eobucania mexicana* Yochelson, 1968, *Rioceras minore* Flower, 1968, *Rioceras oaxacaense* Flower, 1968 y *Rioceras* sp., provenientes de la Formación Tiñú del Ordovícico Inferior (Tremadociano) de la región de Nochixtlán (Flower, 1968; Robison y Pantoja-Alor, 1968; Yochelson, 1968).

En tanto que en el estado de Sonora, el estudio de helcioneloides es limitado, restringiéndose únicamente a la mención de especímenes dudosamente determinados y con escasas descripciones (Cooper *et al.*, 1952; Almazán-Vázquez, 1989; Nardin *et al.*, 2009); con excepción del trabajo de Devaere *et al.* (2019), quienes describen una asociación de helcioneloides y bivalvos como *Mackinnonia corrugata* (Runnegar in Bengtson *et al.*, 1990), *Xianfengella* sp., *Pelagiella* sp. y *Poejataia* sp. provenientes de la Formación Puerto Blanco del

Cámbrico, Serie 2, del área de Caborca, noroeste de Sonora (Devaere *et al.*, 2019); además de las menciones de la presencia de *Helcionella* para la Formación Arrojos (Cámbrico) para la misma región, realizadas por Cooper *et al.* (1952).

Para el área de Arivechi, este de Sonora, se ha documentado una fauna fósil constituida por braquiópodos, hiolítidos, moluscos como *Scenella* sp., *Pelagiella* sp. e *Hypseloconus* sp., además de trilobites, donde se ha registrado la presencia de helcioneloides indeterminados provenientes de la formación La Sata del Cámbrico (Almazán-Vázquez, 1989; Cuen-Romero *et al.*, 2018). En el área de San José de Gracia se conoce una abundante fauna fósil donde destacan braquiópodos y trilobites (Holmer *et al.*, 2022; Cuen-Romero *et al.*, 2022a), y donde se ha mencionado la presencia de *Helcionella* proveniente de la Formación El Gavilán del Cámbrico por Nardin *et al.* (2009).

En el área de Sonora central, también se ha documentado la presencia de gasterópodos y cefalópodos en el Rancho Las Norias (Almazán-Vázquez *et al.*, 2006; Beresi *et al.*, 2012; Cuen-Romero *et al.*, 2022b; 2022c), donde se han descrito las especies *Maclurites acuminatus* (Billings, 1865), ?*Monitorella* sp., *Lecanospira* sp., *Malayaspira* aff. *M. rugosa* Kobayashi, 1958; *Lophospira perangulata* (Hall, 1847), *Hormotoma?* sp. y *Ulrichospira?* sp., provenientes de la Formación Las Norias del Ordovícico Inferior-Medio (Cuen-Romero *et al.*, 2022b; 2022c).

Con base en lo anterior, resulta de interés describir la asociación de helcioneloides incluida en la Formación El Gavilán del cerro El Chihuarruita, San José de Gracia, Sonora, pues además de contribuir al conocimiento de la biodiversidad del país, se aporta información sobre la evolución temprana de los moluscos y su distribución en la parte occidental de Laurentia durante el Cámbrico, sirviendo además como fósiles guía debido a su delimitado alcance estratigráfico (Cámbrico-Ordovícico).

## 2. Trabajos previos

El conocimiento del registro paleontológico de trilobites del Cámbrico de Sonora ha permitido establecer cuatro regiones geográficas para el estado (Cuen-Romero *et al.*, 2018), las cuales corresponden a la norte, noroeste, oriente y central; cada una caracterizada por una fauna de trilobites y ambiente de depósito

determinado. El área de estudio se localiza en la región central, la cual se caracteriza por la abundancia de trilobites agnóstidos y un ambiente de depósito de plataforma abierta.

Por otra parte, en el estado de Sonora, los estudios sistemáticos de la biota fósil del Cámbrico son escasos, ya sea para la región noroeste (Hernández-Barbosa y Sour-Tovar, 2018), región norte (Sundberg y Cuen-Romero, 2021), región este (Cuen-Romero *et al.*, 2019b) y región central (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2017a; 2017b; Beresi *et al.*, 2019; Cuen-Romero *et al.*, 2020; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2021).

No obstante, los estudios estratigráficos y paleontológicos del Cámbrico en la región central de Sonora son numerosos y han aumentado significativamente en las últimas décadas (Nardin *et al.*, 2009; Cuen-Romero *et al.*, 2016; 2019a; 2022a; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2017a; 2021; Beresi *et al.*, 2019; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020; 2022). Particularmente, las secuencias sedimentarias del Cámbrico del área de San José de Gracia han sido objeto de estudios bioestratigráficos, análisis de facies, sistemáticos, y paleoecológicos.

Buitrón Sánchez *et al.* (2017a), describieron por primera vez para el Cámbrico de Sonora central, las especies de hiolítidos *Hyolithes* cf. *H. sonora* Lochman, 1952, y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988, distribuidos ampliamente en las formaciones Buelna y El Gavilán del cerro El Chihuarruita, San José de Gracia.

Cuen-Romero *et al.* (2019a), describieron las características paleoecológicas de las comunidades marinas presentes en las formaciones Provedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán, así como la condiciones paleoambientales en las que fueron depositadas.

Beresi *et al.* (2019), registraron por primera vez para México, escleritomos de *Chancelloria eros* Walcott, 1920, del Cámbrico medio, parcialmente articulados, además de escleritos aislados correspondientes a *Allonia tintinopsis* Bengtson y Collins, 2015 y *Archiasterella* sp. incluidos en la Formación El Gavilán del cerro El Sahuaral, San José de Gracia.

Noriega-Ruiz *et al.* (2020), realizaron estudios detallados de la estratigrafía y bioestratigrafía de los afloramientos del Cámbrico en el cerro El Sahuaral, constituyendo un aporte a la geología regional y su afinidad con Laurentia.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2021), describieron la especie *Ubaghsicystis* cf. *U. securae* Gil-Cid y Domínguez-Alonso, 2002, por primera vez para México, además de establecer consideraciones bioestratigráficas y paleoecológicas.

Cuen-Romero *et al.* (2022a), realizaron un estudio de las microfacies siliciclásticas, microfacies carbonatadas y biofacies de los depósitos cámbricos del cerro El Chihuarruita, además de sugerir las condiciones de ambiente de deposición y de comprender la evolución geológica del oeste de Laurentia.

Noriega-Ruiz *et al.* (2022), realizaron el primer análisis paleoecológico de cuatro comunidades cámbricas en el cerro El Sahuaral, donde determinaron la

estructura de las comunidades y la correlación con otros depósitos del Cámbrico a nivel mundial.

Holmer *et al.* (2022) proporcionaron la descripción de una asociación de braquiópodos en una secuencia sedimentaria del Cámbrico (Piso 4 - Wuliano) del área de estudio.

### 3. Consideraciones estratigráficas

El cerro El Chihuarruita se localiza en la parte central del estado de Sonora. Los afloramientos de la Formación El Gavilán se localizan en la latitud 29° 2' N y longitud 110° 37' O, a 3 km al sureste de la localidad de San José de Gracia, la cual se encuentra a 45 km al noroeste de la ciudad de Hermosillo (Figura 1).

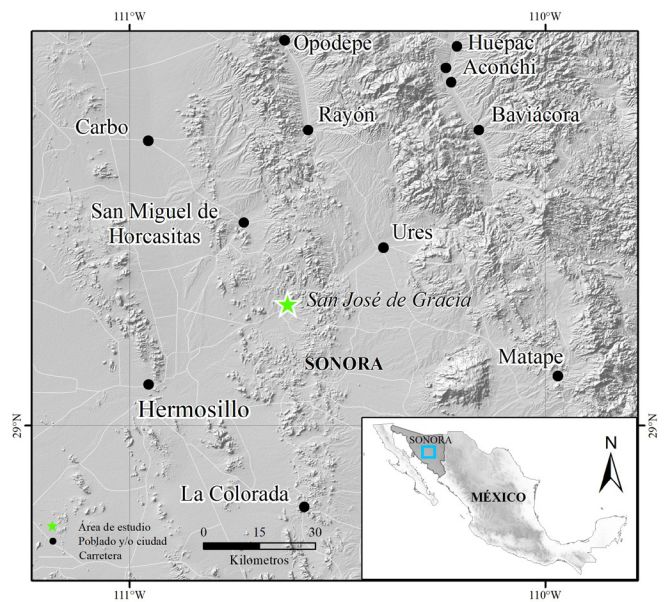


Figura 1. Localización del área de estudio en Sonora central, México.

En el cerro El Chihuarruita, San José de Gracia, aflora una secuencia estratigráfica del Cámbrico constituida de materiales detrítico-carbonatados con un espesor de 600 m. La sucesión sedimentaria está dividida en cuatro unidades litoestratigráficas del Cámbrico (Series 2, Piso 4 - Miaolingiano, Wuliano), donde se han descrito las formaciones Provedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (Cuen-Romero *et al.*, 2016).

La Formación El Gavilán consiste principalmente de potentes capas de lutita de color rojo fuertemente fracturada con alternancias de caliza fosilífera de color gris-oscuro. Esta unidad posee un espesor aproximado de 233 m, y sobreyace de manera concordante a la Formación Cerro Prieto, y su contacto superior mantiene una discordancia con rocas volcánicas cenozoicas (Figura 2). Además, esta unidad está representada por

una abundante biota fósil relativamente bien preservada, la cual incluye espículas de esponjas, escleritos de cancellóridos, braquiópodos, hiolítidos, moluscos, trilobites y equinodermos. Los estratos de caliza poseen un espesor de 20 a 30 cm, y aunque la mayoría de los fósiles se encuentran en las capas de lutita, es posible identificar contenido faunístico con una buena preservación.

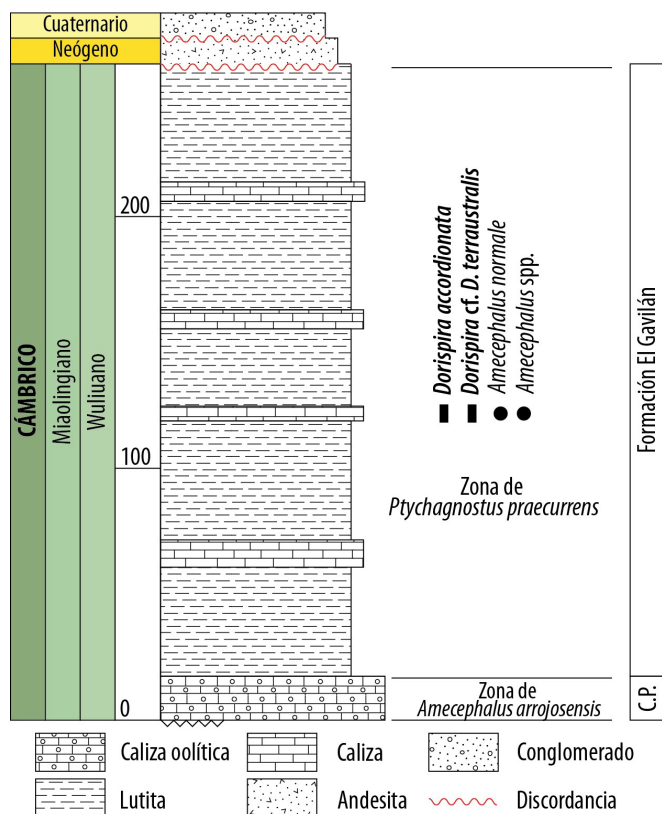


Figura 2. Columna estratigráfica de la Formación El Gavilán donde se muestra la distribución del contenido biótico y zonas estratigráficas. Modificada de Cuen-Romero et al. (2016).

#### 4. Materiales y métodos

El material paleontológico fue colectado y etiquetado con las siglas USDG como parte de la Colección de Paleontología del Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Los especímenes fueron limpiados mecánicamente con un cincel y pluma de grabado de aire (34000bpm, 0.1/\*0.2 /0.3mm, carcasa de acero) en el Laboratorio de Paleontología del Departamento de Geología, Universidad de Sonora.

Una vez que se aplicó el tratamiento físico para la preparación de los fósiles, se llevó a cabo el análisis y fotografiado del material estudiado. Para iniciar, es

necesario aplicar una fina capa de grafito coloidal a la muestra, y posteriormente, se aplica una fina película blanca de cloruro de amonio sobre la superficie del ejemplar. Para la tinción con cloruro de amonio se utilizó un tubo de vidrio resistente al calor de aproximadamente 15 cm de largo y de 12 a 15 mm de diámetro. Esto con una ampolla esferoidal en un extremo de unos 5 cm de diámetro, perforado por un orificio de unos 5 mm de diámetro.

El grafito coloidal aplicado previamente se encargó de absorber el cloruro de amonio y progresivamente obtener el punto adecuado de tinción para el ejemplar. La terminología descriptiva general de los helcioneloidos, así como las mediciones diagnósticas, se basaron en el trabajo de Jacquet y Brock (2016) y Oh et al. (2021).

#### 5. Paleontología sistemática

Phylum Mollusca Linneaus, 1758

Clase ?Helcionelloida Peel, 1991; ?Gastropoda Cuvier, 1795; *Incertae sedis*

**Diagnosis.-** Generalmente univalvos de simetría bilateral, con concha calcárea enrollada endogástricamente en varias vueltas. El ápice se localiza en la parte posterior y la concha se expande hacia la parte anterior. La apertura es ovalada y en ocasiones tiene un surco medio en forma de hendidura en la superficie subapical. La ornamentación consiste en rugosidades prominentes y puede incluir elementos comarginales y espirales (Geyer et al., 2019).

**Discusión.-** Los helcioneloidos se han interpretado como moluscos con presencia de torsión como sucede en los gasterópodos (Knight et al., 1960), y sin presencia de torsión como en los monoplacóforos (Runnegar y Pojeta, 1974). Esta última hipótesis fue aceptada debido a la sugerencia de que los helcioneloidos estaban enrollados exogástricamente (Runnegar y Pojeta, 1974; Runnegar, 1996; Gubanov y Peel, 2000). Lo anterior considera que la superficie sub-apical cóncava se encuentra ubicada anterior al ápice, mientras que la superficie supra-apical convexa se ubica posterior al ápice (Runnegar y Pojeta, 1974). Sin embargo, con base en la interpretación de las características de la concha en términos de adaptación funcional (Geyer, 1986; Peel y Yochelson, 1987), se ha considerado a los helcioneloidos como moluscos endogástricos sin torsión, lo cual fue ampliamente aceptado por otros autores (ex. gr. Yochelson, 1978; 1979; Geyer, 1986; Berg-Madsen y Peel, 1987; Peel y Yochelson, 1987).

Peel (1991), reconstruyó helcioneloidos con el ápice posterior y la concha expandiéndose anteriormente (endogástrica), lo cual difiere de conchas como *Neopilina* y otros especímenes de la Subclase Tergomya Horný, 1965, que poseen el ápice anterior y la concha expandida posteriormente (exogástrica). Peel (1991), descartó a los helcioneloidos como pertenecientes a la Clase Monoplacophora, para lo cual erigió la Clase Helcionelloida, donde se incluyen las formas endogástricas.



## Orden Helcionellida Geyer, 1994

**Discusión.-** Geyer (1994) sugirió que los géneros de helcioneloides requieren de una categoría taxonómica a nivel de clase, por lo que confirma la identificación de estos dentro de la Clase Helcionelloida Peel, 1991. Además, analizó las relaciones sistemáticas de helcioneloides y triblídidos del Cámbrico medio en distintas localidades de Idaho, Estados Unidos. Con base en el análisis filogenético y morfológico, propone el Orden Helcionellida Geyer, 1994, y otros nuevos taxones de nivel superior (Geyer, 1994). Con base en lo anterior, en esta investigación, los helcioneloides son incluidos dentro del Orden Helcionellida.

## Familia Helcionellidae Wenz, 1938

Género *Dorispira* Parkhaev in Parkhaev y Demidenko, 2010

Especie tipo. *Helcionella terraustralis* Runnegar y Jell, 1976. Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de Nueva Gales del Sur, Australia.

*Dorispira accordionata* (Runnegar y Jell, 1976)  
(Figura 3A-B)

## Sinonimia.-

1976 *Latouchella accordionata* Runnegar y Jell, p. 126, figs. 10C.1-C.18.

1998 *Latouchella accordionata*; Brock, p. 576, figs. 3.4-3.6.

2010 *Dorispira accordionata* Parkhaev in Parkhaev y Demidenko, 2010, p. 1060.

2022 *Dorispira accordionata*; Peel y Kouchinsky, p. 82, figs. 7A, E, F, J, N.

**Descripción.-** La descripción está basada en el ejemplar USDG-404 (Figura 3A-B). La concha es isostrófica alta, comprimida lateralmente, enrollada desde la mitad a dos tercios de la primera vuelta con una apertura aparentemente subovalada. La concha tiene una altura de 2.31 mm, la superficie supra-apical es uniformemente convexa, la superficie sub-apical es marcadamente cóncava. Longitud de la apertura de 2.47 mm, y distancia máxima del ápice al margen supra-apical de 2.75 mm. El ápice está enrollado y abierto, marcadamente desplazado hacia la parte posterior, y sobresaliente del margen sub-apical, con ángulo apical entre 56 y 65° (Tabla 1). La concha presenta ornamentación concéntrica débil y rugosidades comarginales tenuemente marcadas.

**Material y ocurrencia.-** Dos ejemplares. USDG-404 y USDG-405. Formación El Gavilán. Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) del cerro El Chihuarruita, Sonora, México. Zona *Ptychagnostus praecurrens*.

**Discusión.-** *Dorispira* se diferencia de todos los demás géneros de la Familia Helcionellidae, debido a la concha relativamente alta con un ápice fuertemente desplazado posteriormente (Parkhaev y Demidenko, 2010). La concha se caracteriza por poseer una forma de concha o "gorro", aunque no es planoespiral. *D. accordionata* de la Formación El Gavilán del área de San José de Gracia, Sonora, es similar en la posición del ápice, las

rugosidades comarginales y forma esbelta de la concha a la misma especie que describieron Peel y Kouchinsky (2022) proveniente de la Formación Henson Gletscher (Miaolingiano, Wuliuano) de Peary Land, Groenlandia. Además, es similar en tamaño y forma, con respecto a la altura, y la distancia máxima de la concha es mayor a la distancia del ápice al margen supra-apical. Sin embargo, el espécimen mexicano no conserva la ornamentación de la superficie sub-apical tan marcada. También se ha comparado el material de Sonora con la forma esbelta de la concha de *Latouchella accordionata* (sinonimia) de la Formación Murrawong Creek (Miaolingiano, Drumiano) de Nueva Gales del Sur, Australia (Brock, 1998), destacando que el ejemplar de Sonora presenta el grado de espiral ligeramente menor y la altura de la concha es mayor que el material australiano. El espécimen sonoreño también es similar a la especie *L. accordionata* reportada por Runnegar y Jell (1976) en la Formación Coonigan (Miaolingiano, Wuliuano) de Nueva Gales del Sur, Australia. Ambos ejemplares son similares en la forma de la concha, en la ornamentación concéntrica, tamaño y forma del ápice.

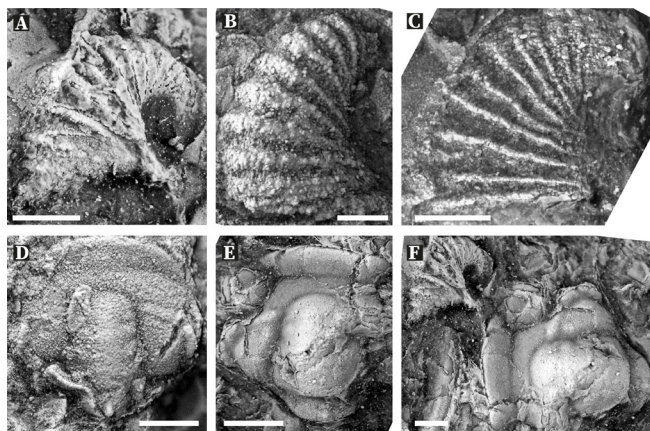
*Dorispira* cf. *D. terraustralis* (Runnegar y Jell, 1976)  
(Figura 3C)

**Descripción.-** La descripción está basada en el ejemplar USDG-406 (Figura 3C). La concha es moderadamente alta con una gran abertura, ornamentada con rugosidades comarginales pronunciadas. La altura de la concha es de 1.89 mm, superficie supra-apical uniformemente convexa, superficie sub-apical fuertemente cóncava. La longitud de apertura de 1.68 mm, mientras que la longitud de la concha es de 2.23 mm (Tabla 1). El ápice no sobresale del margen sub-apical y se encuentra ligeramente recurvado.

**Material y ocurrencia.-** Tres ejemplares. USDG-406, USDG-407 y USDG-408. Formación El Gavilán. Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) del cerro El Chihuarruita, Sonora, México. Zona *Ptychagnostus praecurrens*.

**Discusión.-** Este espécimen es similar a *D. terraustralis* debido a su gran abertura y ornamentación concéntrica muy marcada. Se ha considerado que el espécimen mexicano posiblemente presenta alguna estructura con forma de hendidura (*snorkel*) en la superficie sub-apical como sucede con los representantes de la Familia Yochelcionellidae Runnegar y Jell, 1976; sin embargo, el material se encuentra mal preservado. *Dorispira* cf. *D. terraustralis* de la Formación El Gavilán, Sonora, es similar al ejemplar identificado por Runnegar y Jell (1976) en Australia, para la Formación Coonigan (Miaolingiano, Wuliuano) de Nueva Gales del Sur. Ambos especímenes presentan una amplia abertura y con ornamentación que comprende de costillas bien marcadas y de rugosidades concéntricas redondeadas. El ejemplar de Sonora posee un ápice mal preservado, no se observa el interior de la abertura y presenta compresión lateral mayor en comparación con *D. terraustralis* descrita por Runnegar y Jell (1976); además, la superficie supra-apical del espécimen de Australia es más cóncava que en el material de Sonora. Por lo anterior, la determinación de este ejemplar se mantiene en nomenclatura abierta. Anteriormente,

*Helcionella terraustralis* fue identificada por Runnegar y Jell (1976) como una nueva especie dentro del género *Helcionella* Grabau y Shimer, 1909; sin embargo, Parkhaev y Demidenko asignaron a *H. terraustralis* como la especie tipo del nuevo género *Dorispira*.



**Figura 3.** A) *Dorispira accordionata* USDG-404, vista lateral; B) *Dorispira accordionata* USDG-405 mostrando superficie supra-apical; C) *Dorispira* cf. *D. terraustralis* USDG-406, vista lateral; D) *Amecephalus normale*, cefalón mal preservado; E) *Amecephalus* sp.; F) Asociación de *Dorispira accordionata* y *Amecephalus* sp. Escala gráfica equivale a 1 mm.

**Tabla 1.** Dimensiones de los ejemplares. Longitud total = Lt; Longitud de la apertura = La; Altura máxima = Al; Ángulo apical = Aap.

Ejemplar	Lt	La	Al	Aap
USDG-404	2.75	2.47	2.31	56°- 65°
USDG-405	—	2.39	3.03	—
USDG-406	2.23	1.68	1.89	—

## 6. Consideraciones bioestratigráficas

Las especies *D. accordionata* y *D. terraustralis* han sido identificadas en las formaciones Coonigan (Runnegar y Jell, 1976) y Murrawong Creek (Brock, 1998) del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano-Drumiano) de Australia, ambas asignadas a la Zona de *Ptychagnostus gibbus* (Peel y Kouchinsky, 2022). Asimismo, se ha documentado la presencia de *D. accordionata* en la Formación Henson Gletscher del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de Groenlandia, donde la abundancia de trilobites agnóstidos determinan la Zona de *Ptychagnostus gibbus* (Peel y Kouchinsky, 2022).

También *Dorispira accordionata* se ha reportado en otras localidades del Cámbrico (Guzhangiano), como de

la Formación Tasman, Nueva Zelanda, aunque es controversial debido al grado de espiral y que se encuentra más comprimido lateralmente (MacKinnon, 1985). Además, la especie fue identificada de la Caliza Shackleton del Cámbrico (Serie 2, Piso 3-4) al este de Antártida (Evans, 1989), aunque la determinación taxonómica fue tentativa. Con base en lo anterior, se considera que el rango estratigráfico de *D. accordionata* es del Cámbrico Serie 2, Piso 3-4 al Miaolingiano, Wuliuano.

Las especies de helcioneloides de la Formación El Gavilán, Sonora, se encuentran asociadas con los trilobites *Amecephalus normale* (Resser, 1938) y *Amecephalus* spp. (Fig. 3D-F) representativos del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano). Esta asociación faunística del cerro El Chihuarruita es asignada desde la Zona de *Ptychagnostus praecurrens*, y posiblemente, hasta la Zona de *Ptychagnostus gibbus*, debido a la presencia de helcioneloides (Figura 4).

En Estados Unidos de América se han documentado abundantes braquiópodos y trilobites, donde se ha descrito la especie *A. normale* provenientes de las formaciones Caliza Lakeview y Spence Shale, en Idaho, EUA (Resser, 1938; Sundberg, 2020). No obstante, Resser (1939) describió cinco nuevas especies de *Alokistocare* provenientes de la Formación Spence Shale en Idaho, EUA, donde *Alokistocare idahoense* y *Alokistocare spencense* son considerados sinónimos de *A. normale* de la Formación Caliza Lakeview (Sundberg, 2020). Así, *A. normale* es asignado a la Zona de *Ptychagnostus praecurrens* del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano).

En Argentina se ha identificado una asociación faunística compuesta de trilobites, donde se ha documentado la presencia de *A. normale* y *Amecephalus* spp. provenientes de la Precordillera Argentina (Tortello, 2022), que representan la Zona de *Glossopleura walcotti* del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) (Figura 4).

## 7. Consideraciones paleogeográficas

Los análisis filogenéticos y, por lo tanto, los estudios biogeográficos se encuentran limitados por la escasa información sistemática (Brown y Lydeard, 2010). La asociación de helcioneloides incluida en la Formación El Gavilán, Sonora central, permite establecer correlaciones con las localidades del Cámbrico de Nueva Gales del Sur, Australia, y del norte de Groenlandia. Sin embargo, el género *Dorispira* se ha registrado en otros depósitos como *D. arguta* (Resser, 1939) y *D. burlingi* (Resser, 1939) para el Cámbrico medio de Estados Unidos de América, *D. lauta* (Yu, 1979) para localidades Cámbrico inferior de China, *D. comma* (Geyer, 1986) del Cámbrico medio de Marruecos y *D. aperta* (Orlowski, 1968) del Cámbrico superior de Polonia.

Por otro lado, el registro de las especies *Amecephalus normale* y *Amecephalus* spp. de la Formación El Gavilán, Sonora denotan una estrecha correlación con la fauna de trilobites provenientes de la

Global	Norteamérica		Zonas Trilobites	Zonas Trilobites (Plataforma Exterior)	Correlación	
	Serie	Piso				
CÁMBRICO	Guzhangiano	Lincolniano	Marjumano	<i>Crepicephalus</i>	<i>Glyptagnostus stolidatus</i> ( <i>Linguagnostus reconditus</i> )	
				<i>Cedaria / Cedaria dakotaensis</i>	( <i>Aagnostus pisiformis</i> )	
	Drumiano		Topazano	Delamarano	<i>Bolaspidella</i>	<i>Lejopyge laevigata</i> ? — — ? — — ?
						<i>Ptychagnostus punctuosus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>
	Wuliuano		Delamarano	Delamarano	<i>Ehmaniella</i>	<i>Altioculus</i>
						<i>Ptychagnostus gibbus</i>
						<i>Ptychagnostus praecurrens</i>
	Piso 4		Delamarano	Delamarano	<i>Glossopleura walcottii</i>	<i>Peronopsis bonnerensis</i>
						<i>Mexicella mexicana</i>
						<i>Oryctocephalus indicus</i>
<i>Poliella denticulata</i> <i>Amecephalus arrojensis</i> <i>Eokochaspis nodosa</i>						

Figura 4. Correlación bioestratigráfica de la Formación El Gavilán con otras unidades bioestratigráficas del Cámbrico en Groenlandia, Australia, Estados Unidos de América, y Argentina.

Formación Caliza Lakeview de Idaho, Estados Unidos de América (Resser, 1938; Sundberg, 2020) y la Precordillera Argentina (Tortello, 2022).

### 8. Conclusiones

Se describen y se ilustran por primera vez las especies de helcioneloides *Dorispira accordionata* (Runnegar y Jell, 1976) y *Dorispira* cf. *D. terraustralis* para el Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) de México. Los helcioneloides del género *Dorispira* en otras regiones confirma la distribución cosmopolita de estas especies, aunque las especies de trilobites *A. normale* y *Amecephalus* spp. mantienen una mayor afinidad con otros depósitos del Cámbrico relacionados con Laurentia.

### Agradecimientos

Al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por proporcionar las facilidades que llevaron a cabo esta investigación. Los autores agradecen a los revisores anónimos por las correcciones realizadas al presente manuscrito.

### Referencias

Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B. E., & Franco-Vega, O. (2006). Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(1), 23–38.

Almazán-Vázquez, E. (1989). El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región Centro- Oriental del Estado de Sonora. *Revista del Instituto de Geología*, 8(1), 58–66.

Babcock, L. E., & Robison, R. A. (1988). Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and Hyolithids (Mollusca) from western North America. *University of Kansas Paleontological Contributions*, 121, 1–22.

Bengtson, S., Conway Morris, S., Cooper, B. J., Jell, P. A., & Runnegar, B. N., (1990). Early Cambrian fossils from south Australia. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 9, 1-364.

Bengtson, S., & Collins, D. (2015). Chancelloriids of the Cambrian Burgess Shale. *Palaeontologia Electronica*, 18(1), 1–67. <https://doi.org/10.26879/498>

Beresi, M., Cabaleri, N., Buitrón, B., Rodríguez, M., Heredia, S., & Tortello, M. (2012). Microfacies, biota y paleoambientes sedimentarios del Ordovícico temprano-medio del Cerro Salazar, Sonora central, Mexico. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(2), 330–345.

Beresi, M. S., Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F. J., & Palafox, J. J. (2019). Escleritomos de *Chancelloria eros* y escleritos del Cámbrico medio (Serie 3, Piso 5) de Sonora central, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(1), 54–63.

Berg-Madsen, V., & Peel, J. S. (1987). *Yochelcionella* (Mollusca) from the late Middle Cambrian of Bornholm, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 36(3-4), 259–261.

Billings, E. (1865), *Palaeozoic Fossils, Containing descriptions and figures of new or little known species of organic remains from the Silurian rocks, 1861-1865.* (Geological Survey of Canada, Separate Report, 1,) Dawson Brothers, Montreal. 426 pp.

- Bouchet, P., Rocroi, J. P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., Parkhaev, P., Schrödl, M., & Strong, E. E. (2017). Revised classification, nomenclator and typification of gastropod and monoplacophoran families. *Malacologia*, 61, 1–526. <https://doi.org/10.4002/040.061.0201>
- Brock, G. A. (1998). Middle Cambrian molluscs from the southern New England fold belt, New South Wales, Australia. *Geobios*, 31(5), 571–586. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(98\)80045-4](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(98)80045-4)
- Brown, K. M., & Lydeard, C. (2010). Chapter 10 - Mollusca: Gastropoda. En J. H. Thorp, A. P. Covich (eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates (Third Edition)* pp. 277–306). Academic Press.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F., Huerta-Ruiz, A., & Montijo-González, A. (2017a). Hiolítidos del Cámbrico (Hyolitha) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas. *Paleontología Mexicana*, 6(1), 10.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F. J., Montijo-González, A., & Beresi, M. (2017b). El equinodermo *Gogia granulosa* (Echinodermata: Blastozoa) del Cámbrico temprano-medio en Sonora, México: paleoecología y paleogeografía. *Revista de Biología Tropical*, 65(1-1), Artículo S160-S167. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1-1.31681>
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., Beresi, M. S., & Monreal, R. (2021). First record of *Ubaghsicystis* (Eocrinoidea-Echinodermata) from the Cambrian (Miaolingian, Wuliuan) of Sonora, Mexico: Biostratigraphical and paleoecological considerations. *Revista de Biología Tropical*, 69(Suppl. 1), 51–65. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69iSuppl.1.46326>
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V. J., Stoyanow, A., & Lochman, C. (1952). Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(1), 1–184.
- Cuen-Romero, F. J., Valdez-Holguín, J. E., Buitrón, B. E., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo-González, A., & Minjarez-Sosa, I. (2016). Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 429–441.
- Cuen-Romero, F. J., Valdez-Holguín, J. E., Buitrón-Sánchez, B. E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L. F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J. A., & Palafox-Reyes, J. J. (2018). Trilobite-based biostratigraphy (Arthropoda-Trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.03.002>
- Cuen-Romero, F. J., Valdez-Holguín, J. E., Buitrón-Sánchez, B. E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L. F., Hinojosa, E. A., Ochoa-Granillo, J. A., Grijalva-Noriega, F. J., & Palafox Reyes, J. J. (2019a). Paleocology of Cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 631–645. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.005>
- Cuen-Romero, F. J., Beresi, M. S., Palafox-Reyes, J. J., & Montijo-González, A. (2019b). *Ptychagnostus atavus* (Tullberg, 1880) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Drumiano) de Arivechi, Sonora, México: Significado bioestratigráfico. *Paleontología Mexicana*, 8(2), 97–108.
- Cuen-Romero, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2020). *Euagnostus interstrictus* (White, 1874) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliuano) del cerro El Sahuaral, Sonora central, México. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 31–39.
- Cuen-Romero, F. J., Montijo-González, A., Monreal, R., Sundberg, F. A., Espinoza-Maldonado, G., Grijalva-Noriega, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., Minjarez-Sosa, I., & Ochoa-Granillo, J. A. (2022a). Cambrian (Series 2 to Miaolingian) platform facies from central Sonora, Mexico and the regional correlation. *Palaeoworld*, 31(1), 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2021.03.002>
- Cuen-Romero, F. J., Rohr, D. M., Noriega-Ruiz, H. A., Monreal, R., Blodgett, R. B., Beresi, M. S., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2022b). Middle Ordovician (Whiterockian) gastropods from central Sonora, Mexico: affinities with Laurentia and the Precordillera. *Journal of Paleontology*, 96(5), 1–10. <https://doi.org/10.1017/jpa.2022.25>
- Cuen-Romero, F. J., Rohr, D. M., Noriega-Ruiz, H. A., Monreal, R., Blodgett, R. B., Palafox-Reyes, J. J., & Ochoa-Granillo, J. A. (2022c). *Ulrichospira* Donald (Gastropoda-Phanerotrematidae) from the Middle Ordovician of central Sonora, Mexico: Paleobiogeographical considerations. *Paleontología Mexicana*, 11(1), 29–34.
- Cuen-Romero, F. J., Buitrón-Sánchez, B. E., Beresi, M. S., Palafox-Reyes, J. J., & Monreal, R. (2023). Ordovician stratigraphy and biota of Mexico. *Geological Society, London, Special Publications*, 533(1). <https://doi.org/10.1144/SP533-2022-19>
- Cuvier, G. (1795). Second mémoire sur l'organisation et les rapports des animaux à sang blanc, dans lequel on traite de la structure des Mollusques et de leur division en ordres, lu à la Société d'histoire naturelle de Paris, le 11 Prairial, an III, *Magazin Encyclopédique: ou Journal des Sciences, des Lettres et des Arts*, 2, 433–449.

- Devaere, L., Clausen, S., Sosa-Leon, J. P., Palafox-Reyes, J. J., Buitron-Sanchez, B. E., & Vachard, D. (2019). Early Cambrian small shelly fossils from northwest Mexico: Biostratigraphic implications for Laurentia. *Palaeontologia Electronica*, 22(2), 1–58.
- Evans, K. R. (1989). *Provincialism and evolutionary significance of some fauna from the Shackleton Limestone, Antarctica* [Unpublished Master Science thesis]. The University of Kansas, Lawrence.
- Flower, R. H. (1968). Cephalopods from the Tiñu Formation, Oaxaca State, Mexico. *Journal of Paleontology*, 42(3), 804–810.
- Geyer, G. (1986). Mittelkambrische mollusken aus Marokko und Spanien. *Senckenbergiana Lethaea*, 67(1/4), 55–118.
- Geyer, G. (1994). Middle Cambrian molluscs from Idaho and early conchiferan evolution. *New York State Museum Bulletin*, 481(1), 69–86.
- Geyer, G., Valent, M., & Meier, S. (2019). Helcionelloids, stenotheoids and hyoliths from the Tannenknock Formation (traditional lower middle Stage 4/Wuliuan boundary interval) of the Franconian Forest, Germany. *PalZ*, 93(2), 207–253. <https://doi.org/10.1007/s12542-018-0433-5>
- Gil Cid, M. D., & Domínguez Alonso, P. (2002). *Ubahsycystis segurae* nov. gen. y sp., nuevo Eocri-noide (Echinodermata) del Cámbrico Medio del Norte de España. *Coloquios de Paleontología*, 53, 21–32.
- Grabau, A. W., & Shimer, H. W. (1909). *North American index fossils, invertebrates, Vol. 2*. Seiler and Company, Lancaster, PA.
- Gubanov, A. P., & Peel, J. S. (2000). Cambrian monoplacophoran molluscs (class Helcionelloida). *American Malacological Bulletin*, 15(2), 139–146.
- Gubanov, A. P., & Peel, J. S. (2001). Latest helcionelloid molluscs from the Lower Ordovician of Kazakhstan. *Palaeontology*, 44(4), 681–694.
- Hall, J. (1847). Descriptions of the organic remains of the lower division of the New York system (equivalent of the Lower Silurian rocks of Europe). *New York Geological Survey, Paleontology*, 1, 1–338.
- Hernández Barbosa, A. M., & Sour Tovar, F. (2018). *Rusophycus* y *Cruziana*, galerías y rastros de trilobites del Terreneuviano (Cámbrico inferior) de la Formación Puerto Blanco, Noroeste de Sonora, México. Implicaciones paleoambientales. *Paleontología mexicana*, 7(1), 1–11.
- Holmer, L. E., Clausen, S., Popov, L. E., Pour, M. G., Liang, Y., Zhang, Z., Palafox-Reyes, J. J., Sosa-León, J. P., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2022). Cambrian (Stage 4 to Wuliuan) brachiopods from Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 96(6), 1264–1284. <https://doi.org/10.1017/jpa.2022.35>
- Horný, R. J. (1965). *Cyrtolires* Conrad, 1838 and its position among the Monoplacophora (Mollusca). *Sborník Národního muzea v Praze*, 21, 57–70.
- Jacquet, S. M., & Brock, G. A. (2016). Lower Cambrian helcionelloid macromolluscs from South Australia. *Gondwana Research*, 36, 333–358. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.06.012>
- Knight, J. B., Cox, L. R., Keen, A. M., Batten, R. L., Yochelson, E. L., & Robertson, R. (1960). Systematic descriptions. In *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part I, Mollusca 1*. En R. C., Moore (ed.), *Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence*, I161–I331.
- Kobayashi, T. (1958). Some Ordovician fossils from the Thailand-Malayan borderland: *Japanese Journal of Geology and Geography*, 29, 223–231.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, 10th Edition*. Laurentii Salvii.
- Lochman, C. (1952). Trilobites. En G. A., Cooper, A. R. V., Arellano, J. H., Johnson, V. J., Okulitch, A., & Stoyanow, C., Lochman (Eds.), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, Northwestern Sonora, México*. (119 (1), 60–107) Smithsonian Miscellaneous Collections.
- Mackinnon, D. I. (1985). New Zealand late Middle Cambrian molluscs and the origin of Rostroconchia and Bivalvia. *Alcheringa*, 9(1-2), 65–81.
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2009). First report of *Gogia* (Eocri-noidea – Echinodermata) from the Early Middle Cambrian of Sonora (Mexico), with biostratigraphical and palaeoecological comments. *Geobios*, 42(2), 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2008.10.003>
- Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Enríquez-Ocaña, L. F., Sundberg, F. A., Monreal, R., Varela-Romero, A., Palafox-Reyes, J. J., & Grijalva-Noriega, F. J. (2020). Cambrian stratigraphy (Series 2 to Miaolingian) of the El Sahuaral area in central Sonora, Mexico: Biostratigraphic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, Article 102797. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102797>
- Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Enríquez-Ocaña, L. F., Monreal, R., Chacón-Baca, E., Palafox-Reyes, J. J., & Grijalva-Noriega, F. J. (2022). Quantitative paleoecology of Cambrian (Series 2–Miaolingian) communities from central Sonora, Mexico. *Palaeoworld*, 31(4), 607–620. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2021.12.003>
- Oh, Y., Lee, D. C., Lee, D. J., & Lee, J. G. (2021). Cambrian helcionelloids (univalved molluscs) from the Korean Peninsula: systematic revision and biostratigraphy. *Alcheringa*, 45(2), 127–139. <https://doi.org/10.1080/03115518.2021.1929479>
- Orlowski, S. (1968). Upper Cambrian fauna of the Holy Cross Mts. *Acta Geologica Polonica*, 18(2), 257–292.
- Parkhaev, P. Y. (2002). Phylogenesis and the system of the Cambrian univalved mollusks. *Paleontological Journal*, 36(1), 25–36.

- Parkhaev, P. Y., & Demidenko, Y. E. (2010). Zooproblematica and Mollusca from the Lower Cambrian Meishucun section (Yunnan, China) and taxonomy and systematics of the Cambrian small shelly fossils of China. *Paleontological Journal*, 44(8), 883–1161. <https://doi.org/10.1134/S0031030110080010>
- Peel, J. S. (1991). The classes Tergomya and Helcionelloida, and early molluscan evolution. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse*, 161, 11–65.
- Peel, J. S., & Yochelson, E. L. (1987). New information on Oelandia (Mollusca) from the Middle Cambrian of Sweden. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 36(3-4), 263–273.
- Peel, J. S., Kouchinsky, A. (2022). Middle Cambrian (Miaolingian Series, Wuliuan Stage) molluscs and mollusc-like microfossils from North Greenland (Laurentia). *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 70, 69–104.
- Resser, C. E. (1938). Cambrian System (restricted) of the southern Appalachians. *Geological Society of America Special Paper*, 15, 140 pp.
- Resser, C. E. (1939). The Ptarmigania strata of the northern Wasatch Mountains. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 98(24), 1–72.
- Robison, R. A., & Pantoja-Alor, J. (1968). Tremadocian trilobites from the Nochixtlán region, Oaxaca, Mexico. *Journal of Paleontology*, 42(3), 767–800.
- Runnegar, B. (1996). Early evolution of the Mollusca: the fossil record, Origin and Evolution of the Mollusca, En J., Taylor (ed.), *Oxford University Press*, 77–87.
- Runnegar, B., & Pojeta Jr., J. (1974). Molluscan Phylogeny: The Paleontological Viewpoint: The early Paleozoic fossil record shows how living and extinct molluscan classes originated and diversified. *Science*, 186(4161), 311–317.
- Runnegar, B., & Jell, P. A. (1976). Australian Middle Cambrian molluscs and their bearing on early molluscan evolution. *Alcheringa*, 1(2), 109–138.
- Sundberg, F. A. (2020). Trilobite fauna (Wuliuan Stage, Miaolingian Series, Cambrian) of the lower Lakeview Limestone, Pend Oreille Lake, Idaho. *Journal of Paleontology*, 94(S79), 1–49. <https://doi.org/10.1017/jpa.2020.38>
- Sundberg, F. A., & Cuen-Romero, F. J. (2021). Trilobites from the Crepicephalus Zone (upper Guzhangian Stage, Miaolingian Series, Cambrian) from northern Sonora, Mexico, and its correlation to Arizona and Texas, USA. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, Article 103185. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103185>
- Tortello, M. F. (2022). Cambrian trilobites from the *Glossopleura walcotti* Zone (Miaolingian Series, Wuliuan Stage) of Mendoza, western Argentina. *Journal of Paleontology*, 96(3), 611–630. <https://doi.org/10.1017/jpa.2021.116>
- Walcott, C. D. (1920). Middle Cambrian Spongiae. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 67(6), 261–364.
- Wenz, W. (1938). Gastropoda. Allgemeiner Teil und Prosobranchia. en O.H., Schindewolf (ed.), *Handbuch der Paläozoologie*, 1–240. Verlag von Gebrüder Borntraeger.
- Yochelson, E. L. (1968). Tremadocian mollusks from the Nochixtlán region, Oaxaca, Mexico. *Journal of Paleontology*, 42, 801–803.
- Yochelson, E. L. (1978). An alternative approach to the interpretation of the phylogeny of ancient mollusks. *Malacologia*, 17(2), 165–191.
- Yochelson, E. L. (1979). Early radiation of Mollusca and mollusc-like groups. En M. R., House (ed.), *The origin of the major invertebrate groups*, New York, Academic Press, 323–358.
- Yu, W. (1979). Earliest Cambrian monoplacophorans and gastropods from western Hubei with their biostratigraphical significance. *Acta Palaeontologica Sinica*, 18(3), 233–270.

## Primer registro de un balenopterido de la Cuenca Los Barriles, Mioceno tardío B.C.S., México

### *First record of a balenopterid from Los Barriles Basin, Late Miocene B.C.S., Mexico*

Solis-Añorve, Azucena<sup>1,2,\*</sup> ; González-Barba, Gerardo<sup>2</sup> ; Schwennicke, Tobias<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Posgrado de Ciencias Marinas y Costeras (CIMACO), Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur km 5.5 C.P. 23080, Baja California Sur, México. <https://orcid.org/0000-0001-7507-3288>

<sup>2</sup>Museo de Historia Natural, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. <https://orcid.org/0000-0002-7482-9247>

<sup>3</sup>Departamento Académico de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Baja California Sur. <https://orcid.org/0000-0003-2075-7863>

\*ca.solis@uabcs.mx

#### Resumen

En la región sur del estado de Baja California Sur (BCS), México, se localiza la cuenca sedimentaria Los Barriles, que formó parte de la extensión de la apertura del Golfo de California. Su evolución comenzó en el Mioceno tardío (8-7 Ma). En la cuenca se encuentra la Formación Trinidad, con una edad de Mioceno tardío a Plioceno. La secuencia sedimentaria marina está compuesta por lodolitas, limolitas y areniscas, interpretada como un ambiente de aguas marinas someras a profundas con flujos gravitacionales. En esta área, en 1999 se colectó material de misticeto en la localidad El Cardonal sobre el arroyo La Higuera, consiste en una concreción de limolita-arenisca. En el cual, se cuenta con un complejo bula timpánica y periótico *in situ* con una afinidad al género *Incakujira*.

**Palabras clave:** Baja California Sur, Cetáceos, Mioceno, Misticetos.

#### Abstract

*In the southern region of the Baja California Sur state (BCS), Mexico has located Los Barriles sedimentary basin, which was part of the extension of the opening of the Gulf of California. Its evolution began in the late Miocene (8-7 Ma). The Trinidad Formation is found in this basin, with a late Miocene to Pliocene age. The marine sedimentary sequence is composed of mudstones, siltstones, and sandstones, interpreted as a shallow to deep water marine environment with gravity flows. In this area, in 1999, mysticete was collected at the El Cardonal locality on the La Higuera stream, consisting of a siltstone-sandstone concretion. In which there is an *in situ* tympanic bula and periotic complex with affinity to the genus *Incakujira*.*

**Keywords:** Baja California Sur, Cetacea, Miocene, Mysticeti.

**Cómo citar / How to cite:** Solis-Añorve, A., González-Barba, G., & Schwennicke, T. (2023). Primer registro de un balenopterido de la Cuenca Los Barriles, Mioceno tardío B.C.S., México. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 19–32.

Manuscrito recibido: Octubre 07, 2022.

Manuscrito corregido: Enero 17, 2023.

Manuscrito aceptado: Enero 18, 2023.



## 1. Introducción

Los Balaenopteridae, comúnmente llamados rorcuales y ballenas jorobadas, deben su nombre a su cavidad torácica, del noruego roykval que significa cavidad oral en cetáceos (Berta, 2017). Representan un número alto de especies actuales, ya que están presentes en todos los océanos del mundo (Bisconti *et al.*, 2019). Además, son los animales más grandes en la actualidad, presentando un rango de longitud entre los 8 a 30 m (Bannister, 2018). En el caso de las ballenas azules, *Balaenoptera musculus*, pueden alcanzar en casos extremos hasta 190 toneladas (Sears y Perrin, 2008). Sobre su registro fósil, su origen se remonta al Langhian entre 13 y 12 Millones de años (Ma), y posteriormente radiaron durante el Tortoniense, Mesiniense y principios del Plioceno, 5 Ma aproximadamente, antes de su declive entre el Pleistoceno-Holoceno (Marx y Uhen, 2010; Bisconti *et al.*, 2022).

Al sur de la península de Baja California, México, se encuentran las cuencas Los Barriles y San José del Cabo. El área presenta fósiles marinos del periodo Neógeno (Cohen *et al.*, 2013). Para la Cuenca San José del Cabo, se ha documentado un registro fósil de corales de la especie *Solenastrea fairbanksi* del Plioceno, en la Formación Refugio (López-Pérez, 2012); un cráneo, mandíbula y fragmentos de hueso de un pez marlín azul, *Makaira nigricans*, del Mioceno de la Formación Trinidad (Fierstine *et al.*, 2001). En la Formación Trinidad se tiene registro de 28 especies de tiburones y 8 de rayas; para la Formación Refugio, se cuenta con registro de 33 especies de tiburones y 5 de rayas (González-Barba y Thies, 2000; González-Rodríguez *et al.*, 2013). También en esta cuenca se tiene registro de ballenas, entre ellas, *Kenedycetus pericorum* (Solís-Añorve *et al.*, 2021) en la Formación Trinidad, además se han registrado elementos de delfines, morsas y cachalotes en la misma formación (Barnes, 1998, 2002 ; Fierstine *et al.*, 2001). Además de un registro de húmero de *Pelacanus* (González-Barba *et al.*, 2021). Por otro lado, en la Cuenca Los Barriles (ubicada al noroeste de la Cuenca San José del Cabo; Schwennicke *et al.*, 2017), no se han reportado hasta el momento registros de fósiles marinos.

En este trabajo, se reporta por primera vez evidencia de un misticeto del Mioceno tardío para la Cuenca Los Barriles (Figura 1). Entre los materiales descritos, los fragmentos de cráneo y mandíbula están en muy mal estado de conservación. Sin embargo, se encontraron también una bula timpánica y periótico *in situ*. El complejo bula timpánica y periótico fueron de gran ayuda para la ubicación taxonómica del material, se encontró una afinidad con respecto al género *Incaujira*, registrado en la Formación Pisco, Perú.

## 1.1 Abreviaciones

MHN-UABCS, Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.

## 2. Materiales y métodos

El ejemplar MHN-UABCS-CBAH2 fue colectado y donado por el geólogo David Maraver en 1999, a la Colección Paleontológica del Museo de Historia Natural de la UABCS, donde actualmente se encuentra resguardado. El material consiste en un fragmento compuesto por limolita y lodolita, incluye fragmentos de cráneo, mandíbula y huesos del oído.

Para su preparación, de manera general, para la eliminación del sedimento se emplearon: brochas, cinceles, esmeril con disco de acero inoxidable y una pluma neumática (*Air Scribe*). Conforme el sedimento fue retirado, se aplicó una capa de metacrilato de metilo (*Paraloid B 72*) diluido en acetona (*propanona*), con la finalidad de endurecer y proteger el fósil.

La identificación anatómica se basó en los trabajos de Mead y Fordyce (2009) y Ekdale *et al.* (2011). Además, las mediciones de MHN-UABCS-CBAH2 (Tabla I) se basaron en Bisconti (2010), Marx y Khono (2016) y Marx *et al.* (2017).

Se utilizó la matriz morfológica de Marx y Kohno (2016). Los datos “*nexus*” de la plataforma *Morphobank* del proyecto 2452, que consiste en 94 taxones y 272 caracteres. Se realizó una búsqueda heurística de parsimonia en el software T.N.T 1.1 (Goloboff *et al.*, 2008). Se implementó la opción “Búsqueda Tradicional”. Usando pesos iguales y pesos implicados usando una constante K=3 y K=10. Principalmente se codificaron elementos del complejo tímpano periótico, que fueron a partir del carácter 144 al 213, dando un total de 70 caracteres codificados que se encuentran a continuación. Los análisis incluyeron 10, 000 secuencias de adición aleatoria, además se guardaron 10 árboles por réplica. Las codificaciones y los árboles obtenidos se encuentran en suplementos.

Las fotografías se realizaron con una cámara profesional Nikon D3300, utilizando dos tipos de lentes: *AF-S Nikkor, de 18 a 55mm, 1 3.5-5.6 GII*; y *AF-S Micro Nikkor, de 40mm, 1 2.8 G*. Las fotografías fueron tomadas con la técnica “*stacking*” (Bercovici *et al.*, 2009); para mejorar la cobertura del enfoque de las vistas dorsal, ventral, posterior, lateral y anterior. Las imágenes se realizaron con referencia en la posición anatómica, seleccionadas y posteriormente editadas en el software *Photoshop v.10*. Por último, se diseñaron esquemas y/o dibujos, resaltando las principales estructuras diagnósticas del material por medio del programa informático *Inkscape*.



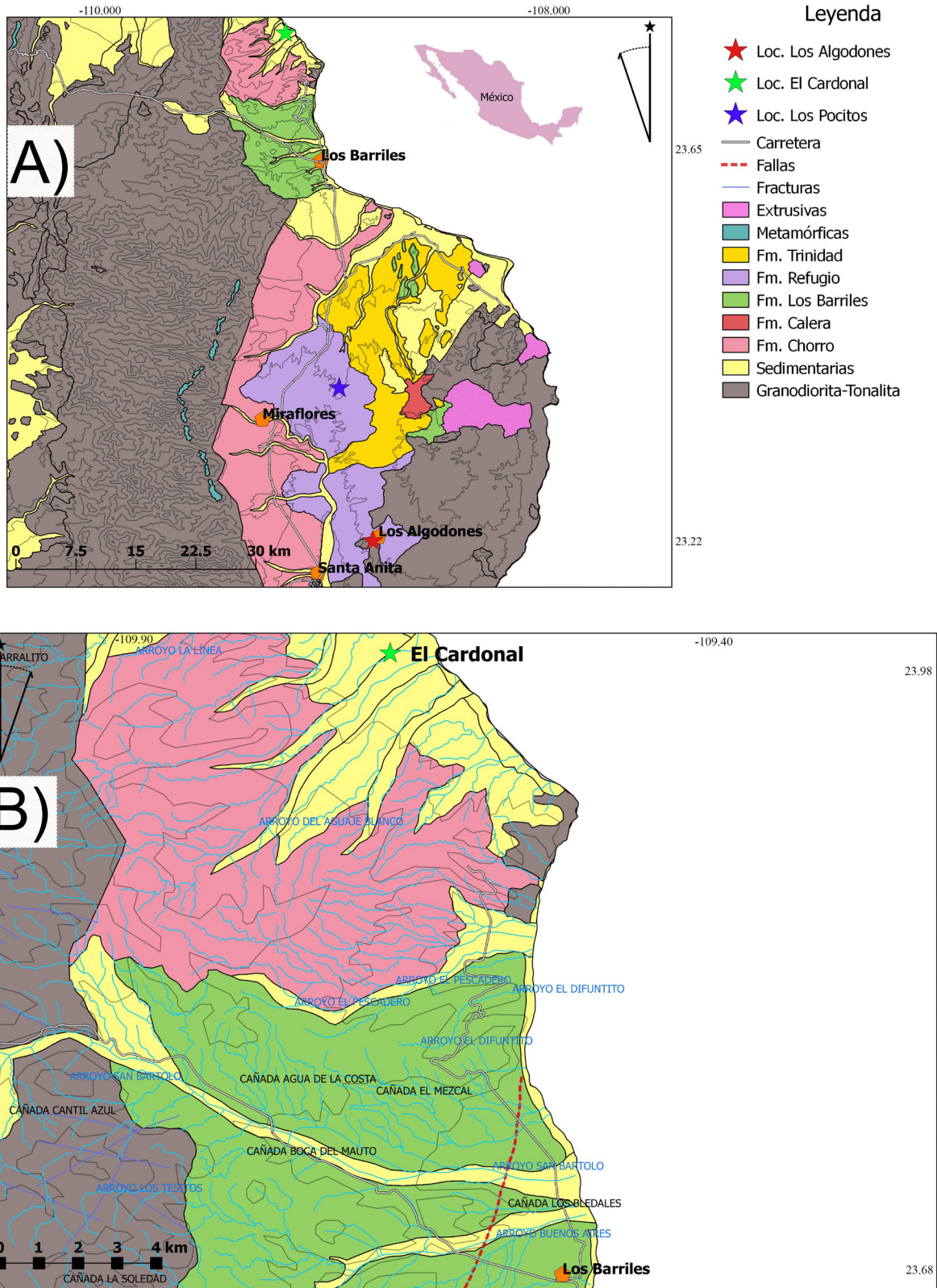
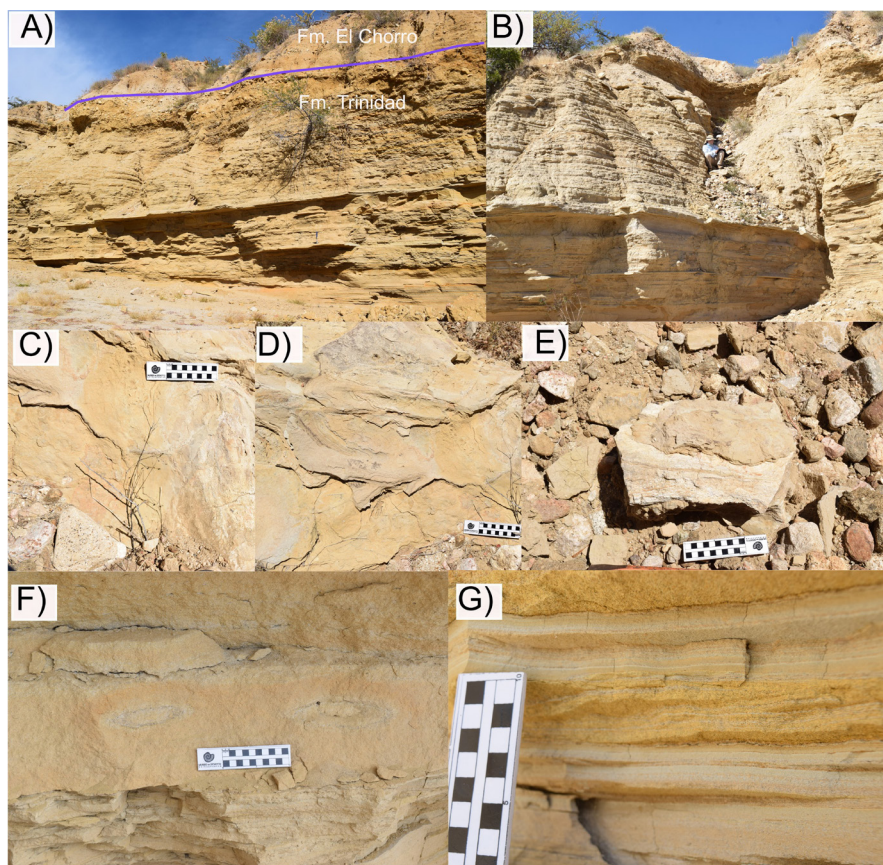


Figura 1. Mapa del área de estudio, A) A la izquierda mapa general de la Cuenca San José del Cabo y Cuenca Los Barriles, a la derecha se encuentra un mapa de México indicando con un recuadro rojo el área de estudio en el estado de Baja California Sur. B) Se observa la localidad donde se colectó MHN-UABCS-CBAH2 que pertenecen a la localidad El Cardonal en la Cuenca Los Barriles.



**Figura 2.** Fotografías del sitio donde se realizó la columna estratigráfica. A) y B) Panorama general del afloramiento, división de las Formaciones El Chorro y Trinidad. C) y D) Fragmento de un cráneo de cetáceo. E) fragmento de hueso fósil. F) facies compuesta de arenisca con concreciones inmaduras. G) Facies compuesta de lodolita.

### 3. Marco geológico

El material MHN-UABCS-CBAH2 fue colectado en la localidad El Cardonal sobre el Arroyo La Higuera (Figuras 1 y 2), que se encuentra dentro de la Cuenca Los Barriles (Schwennicke *et al.* 2017). Dicha cuenca se ubica al noroeste de la cuenca San José del Cabo (Fletcher *et al.*, 2007; Umhoefer *et al.*, 2018). La Cuenca Los Barriles se define independiente de la Cuenca San José del Cabo por el sistema de fallas marginales Los Barriles, que no es continua de la falla San José del Cabo (Schwennicke *et al.*, 2017), como lo interpretaron algunos autores (Bot *et al.*, 2016). La Formación Trinidad en la Cuenca Los Barriles se interpreta como un ambiente marino costero en las orillas donde se interdigita con las formaciones Calera, Refugio y Los Barriles; mientras que se interpreta como un ambiente marino profundo en el centro de la cuenca, con un gradiente pronunciado que generaron altas frecuencias de flujos gravitacionales. En esta formación casi no se observan fósiles o icnofósiles. Por lo tanto, es posible que las partes más profundas de la cuenca hayan sido deficientes en oxígeno (Schwennicke *et al.*, 2017).

Se realizó una columna estratigráfica (Figura 3) para documentar la litología de las capas adyacentes en donde se encontró MHN-UABCS-CBAH2. La misma se realizó en base en los afloramientos observados en el arroyo La Higuera, en el acceso del kilómetro 35 de la carretera Todos Santos-La Paz. De manera general, la sección mide aproximadamente 13 m de espesor (Figura 3), desde la base hasta la cima superior. Se observa una alternancia de lodolita y arenisca que (Figura 2), evidentemente, pertenecen a la Formación Trinidad. También presenta concreciones inmaduras a maduras con forma ovaladas a redondas, con un largo de hasta 60 cm. En la parte superior de la columna, un conglomerado de la Formación El Chorro sobreyace discordantemente a la Formación Trinidad (Schwennicke *et al.*, 2017). Se definieron dos facies: la primera está compuesta de lodolita laminada con tonalidades de gris a café; mientras que la segunda contiene arenisca limosa, arenisca fina y gruesa con tonos beige, con estratificación paralela a cruzada. En algunas capas se presenta laminación difusa a marcada. En las facies de la región superior de la columna, se encontraron los materiales de estudio. De acuerdo con Collinson *et al.* (2006) y Schwennicke *et al.* (2017), las capas de lodolitas representan condiciones

de corrientes tranquilas (aguas someras) por debajo de la influencia del oleaje, a diferencia de las capas compuestas de arenisca, producto de eventos con una corriente más intensa. No se registraron icnofósiles o moluscos en la columna estratigráfica. Schwennicke *et al.* (2017) reportaron la presencia de tres nanofósiles que confirman un ambiente marino: *Discoaster berggrenili*, *D. quinqueramus* y *D. blackstockae*. Además, las primeras dos especies marcan la nanozona NN11 (8,02 a 5,4 Ma, Tortoniano-Messiniano) los autores también mencionan que la escasez de fósiles sugiere condiciones inestables de salinidad.

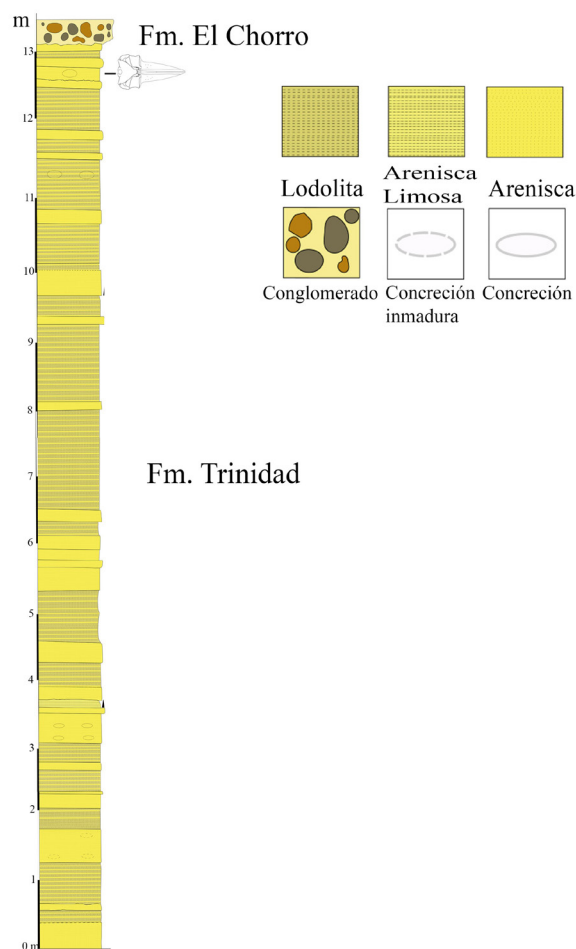


Figura 3. Columna estratigráfica en el arroyo La Higuera, Cuenca Los Barriles, donde se colectaron los materiales MHN-UABCS-CBAH1 y MHN-UABCS-CBAH2.

#### 4. Sistemática paleontológica

Clase Mammalia, Linnaeus, 1758  
 Orden Artiodactyla, Owen, 1848  
 Infraorden Cetacea Brisson, 1762  
 Parvorden Mysticeti Gray, 1864  
 Familia Balaenopteridae Gray, 1864  
 aff. *Incakujira* Marx y Kohno, 2016

Especie tipo: *Incakujira anillodefuego*, Marx y Kohno, 2016 (GNHM Fs-098-12) se encuentran resguardados en el Museo de Historia Natural de Gamagori y en el Museo de Historia Natural de la Prefectura de Kanagawa, Japón.

*Incakujira* sp.  
 Figuras 4–8

Ejemplar referido: MHN-UABCS-CBAH2. El material fósil que se describe a continuación está conformado por fragmentos de cráneo, mandíbula y huesos del oído (derecho).

Localidad: El Cardonal, a 30,2 km al sur de San Juan de los Planes, sobre el arroyo de La Higuera, sur del estado de Baja California Sur, México. (Figura 1). Dicha localidad se accede por la carretera Los Barriles-Santa Teresa (INEGI, 2022).

Edad: Mioceno tardío, Tortoniano-Messiniano (8,02 a 5,4 Ma) (Schwennicke *et al.*, 2017).

Descripción: El ejemplar MHN-UABCS-CBAH2 está conformado por un fragmento de cráneo muy erosionado del cual se dificultó observar y delimitar suturas (Figura 4). En la región posterior del material se aprecia parte de un cóndilo occipital, además en vista dorsal, se aprecia parte del exoccipital y el complejo tímpano-periótico incompleto (Figura 5).

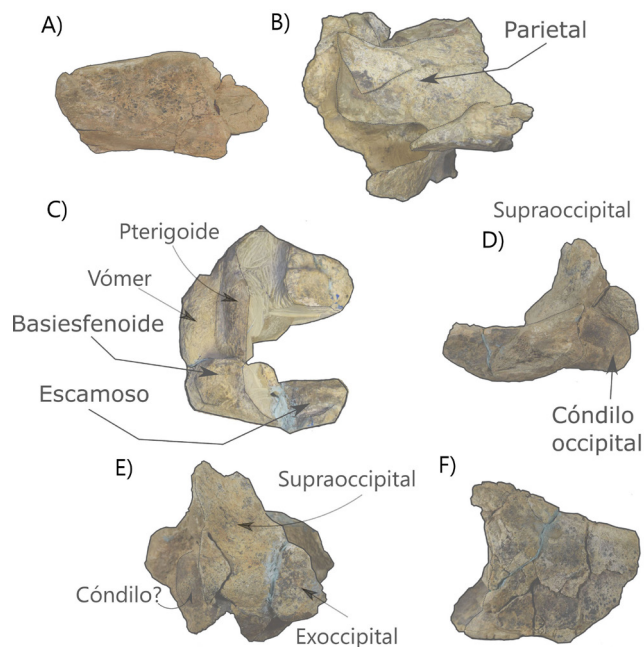
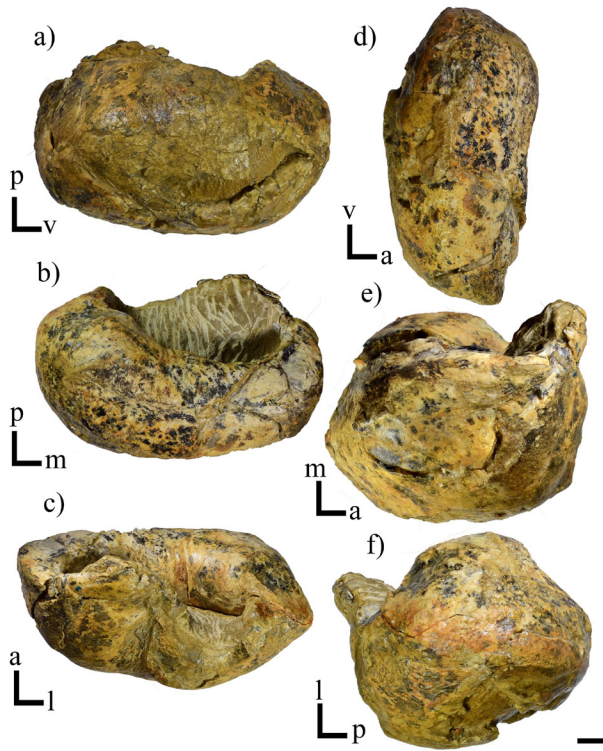
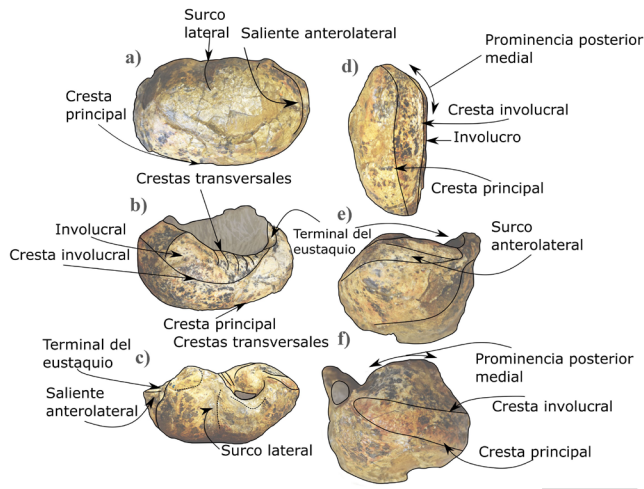


Figura 4. Fotografía del material de estudio MHN-UABCS-CBAH2. A) y F) Fragmentos de mandíbula. B) Fragmento de la región craneal. Se muestra un fragmento posterior del cráneo: C) Vista dorsal, D) Vista lateral y E) Vista posterior. Escala 5 cm.

Bula timpánica derecha (MHN-UABCS-CBAH2): en general, la bula tiene una forma alargada y ovalada (Figuras 5 y 6) a diferencia de *Balaenoptera physalus*, *Eschrichtius robustus*, *B. musculus*, entre otros y presenta un tamaño pequeño (Tabla 1).



**Figura 5.** Bula timpánica con orientación derecha del holotipo MHN-UABCS-CBAH2. Se aprecian las siguientes vistas: A) Ventral. B) Dorsal. C) Lateral. D) Medial. E) Anterior. F) Posterior. Abreviaturas: posterior, p; ventral, v; anterior, a; medial, m; lateral, l. Escala: 1 cm.



**Figura 6.** Esquema de la bula timpánica con orientación derecha del holotipo MHN-UABCS-CBAH2. Se aprecian las siguientes vistas: A) Ventral. B) Dorsal. C) Lateral. D) Medial. E) Anterior. F) Posterior. Escala 5 cm.

En vista ventral, la bula es larga anteroposteriormente, pero tiene una forma ovalada en sus bordes. El lóbulo anterior es más largo que el lóbulo posterior (Figuras 5 y 6), lo que destaca como una característica de la familia Balaenopteridae. En la región anterior, sobresale ligeramente la muesca anterolateral, bien definida pero no es profunda. Está limitada posteriormente por el surco lateral, poco pronunciado. La bula timpánica es convexa transversalmente y lisa.

En vista medial, la cresta principal está bien definida y recorre gran parte de la bula (Figuras 5 y 6). La cresta principal e involucral son aproximadamente paralelas y se encuentran separadas por una superficie lisa anteroposteriormente, que recorre todo el margen medial de la bula. La cresta involucral está bien definida y corre a lo largo anteroposteriormente.

En vista dorsal, se observa una elevación en la prominencia posterior medial (Figuras 5 y 6). En la región del involucro se distinguen algunas crestas transversales bien definidas. El involucro está bien desarrollado, es amplio en la región posterior y angosto en la región anterior. La cavidad timpánica es alargada y un poco comprimida dorsoventralmente. La apertura del tubo de eustaquio está definida por una delgada cresta ósea que se extiende a lo largo de la parte más anterior de la cara externa.

En vista lateral, se observa una estructura elevada donde se ubicarían el proceso sigmoideo y el proceso cónico (Figuras 5 y 6). El proceso sigmoideo no se preservó completo; sin embargo, por la base preservada se observa una estructura ancha. El proceso cónico tampoco se preservó. También en esta vista lateral se aprecia el surco lateral, que está tenuemente marcado. En la región posterior, se presenta un alargamiento de la bula producido por la saliente anterolateral y la prominencia posterior.

En la vista posterior se observa el lóbulo posterior medial, alto y bulboso. También se observa la cresta principal e involucral, que recorren toda la bula hasta parecer que se unen en un punto posterior.

En la vista anterior, borde lateral de la bula, sobresale la apertura del tubo de Eustaquio (Figuras 5 y 6). Se muestra como una estructura alta y ligeramente gruesa. También se observa el surco anterolateral.

Periótico (MHN-UABCS-CBAH2): se encuentra fragmentado y erosionado (Figuras 7 y 8), pero la parte que se conserva es anteroposteriormente larga y transversalmente ancha (tabla I).

En vista ventral, la porción coclear es más larga anteroposteriormente que ancha transversalmente. En la superficie ventral del periótico, se ubica el surco timpánico (Figuras 7 y 8), el cual es tenue pero bien definido, extendiéndose anteriormente hasta la fosa para la cabeza del martillo. La fosa para la cabeza del martillo tiene una forma semicircular que solo se distingue al tacto. La fosa para el musculo estapedio es larga y dentro de ella se localiza la apertura del canal facial (VII), siendo de un tamaño pequeño. En la superficie del periótico en vista ventral, se encuentra parte donde hace contacto el

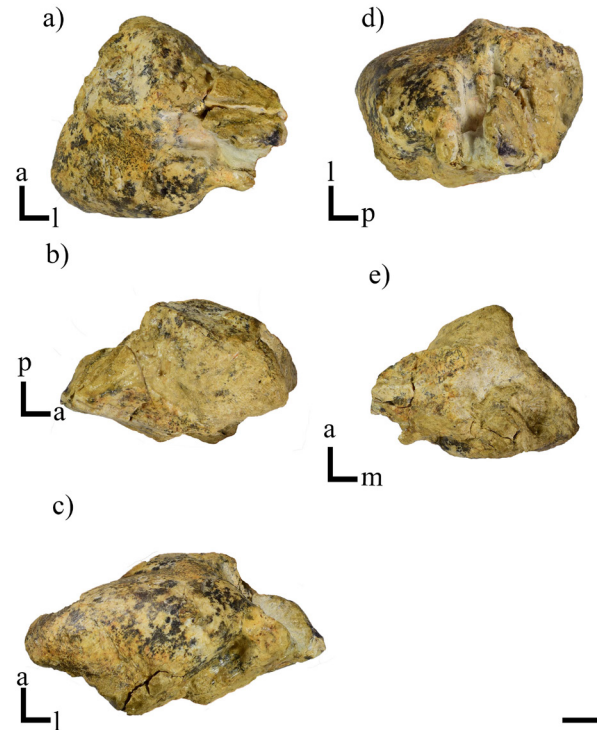
pedicelo anterior de la bula timpánica y el periótico, está al nivel anterior a la fosa para la cabeza del martillo. Se identificó también parte fragmentada del proceso anterior. También se conserva la tuberosidad lateral, que se muestra como un ángulo y es corta.

**Tabla I.** Mediciones en milímetros del material MHN-UABCS-CSAH2, correspondiente al periótico y bula timpánica.

Medición en milímetros MHN-UABCS-CBAH2		
Periótico y bula timpánica		
1	Longitud máxima de la bula timpánica	91,6
2	Ancho justo anterior al proceso sigmoideo	49,9
3	Longitud del proceso anterior del periótico	41,5
4	Ancho máximo del proceso anterior del periótico	20 aprox
5	Longitud transversal de la porción coclear del periótico	34,3
6	Ancho anteroposterior de porción coclear del periótico	57,3
7	Diámetro dorsoventral de la abertura craneal del canal facial	26,1 aprox
8	Diámetro dorsoventral del meato acústico interno	12,5
9	Diámetro anteroposterior del meato acústico interno	10,4
10	Diámetro anteroposterior del canal facial	6,2
11	Diámetro transversal (profundidad) del canal facial	14,5
12	Diámetro de la fenestra coclear	14,6
13	Ancho máximo de la abertura de la cavidad timpánica	54,1

En vista medial, se observa el meato acústico interno amplio y de forma irregular (Figuras 7 y 8). No se distingue una cresta trasversal; sin embargo, se observa una cresta tenue que divide las aperturas de los acueductos. Ventralmente del meato acústico interno, en dirección posterolateral, se encuentra una cresta irregular que se interpreta como la fosa suprameatal, más grande que el meato acústico interno. En la región superior medial, se distinguen los conductos endolímfáticos y perilinfáticos, que muestran un tamaño pequeño y el conducto perilinfático se presenta ligeramente más grande que el conducto endolímfático. Los conductos no están al nivel del meato acústico interno. El proceso caudal timpánico sobresale de la región posterior, teniendo una forma esbelta y en su borde se aprecia ligeramente redondeado. Además, el proceso caudal timpánico se encuentra bien desarrollado, delgado, con una orientación posterior. La fosa estilomastoidea es circular y pequeña, por debajo del proceso caudal timpánico.

En vista ventromedial, la pars cochlear se aprecia alargada y amplia. En su borde anterior tiene una forma redondeada. Dorsalmente a porción coclear (Figuras 7 y 8), se aprecia el surco promontorial. No muestra cambios de textura y es muy tenue. La ventana coclear está bien definida, presenta una forma circular y amplia. Sobre la región posterior, sobresale un fragmento del reborde anteroventral.

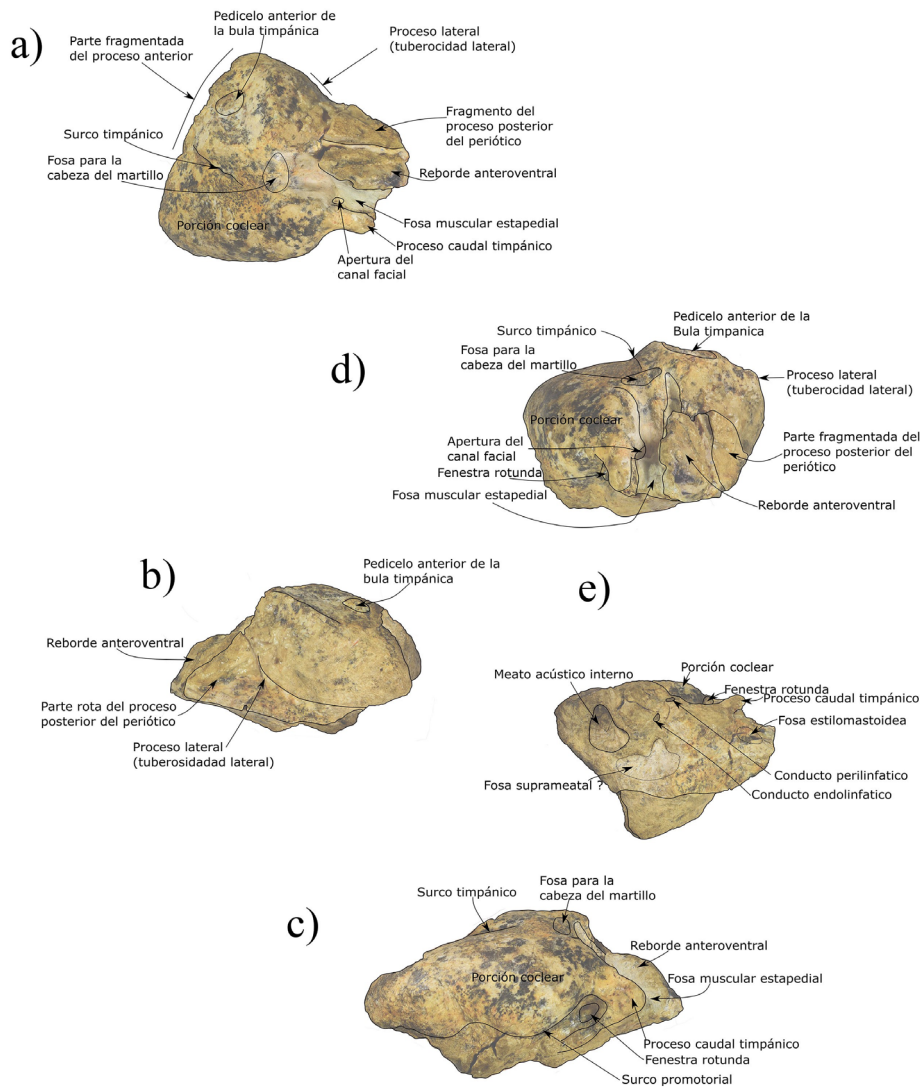


**Figura 7.** Fotografía del periótico con orientación derecha del holotipo MHN-UABCS-CBAH2. Se observan las siguientes vistas: A) Ventral B) Lateral C) Ventrolateral D) posterior E) Medial. Abreviaturas: posterior, p; ventral, v; anterior, a; medial, m; lateral, l. Escala: 1 cm.

## 5. Discusión

### 5.1 Determinación diferencial

En general, los huesos del oído en los mamíferos juegan un papel importante en la audición y el equilibrio (Ekdale *et al.*, 2011). En particular en los cetáceos, el complejo periótico-timpánico sufrió cambios morfológicos significativos en relación con los mamíferos terrestres. Cuando los cetáceos pasaron por una transición de un ambiente terrestre al acuático hace más de 50 Ma., las modificaciones complejas de los oídos de los cetáceos permitieron que procesen el sonido que viaja a través del agua en lugar del aire (Fraser y Purves, 1960; Nummela *et al.*, 2004, 2007; O’Leary, 2010; Churchill *et al.*, 2016). De acuerdo con Mead y Fordyce (2009), el complejo tímpano-periótico en cetáceos, representa una de las regiones más divergentes del cráneo. Por ende, la identificación del complejo periótico-timpánico nos permite identificar cambios evolutivos, homologías y una identificación taxonómica (Mourlam y Orliac, 2017; Park *et al.*, 2019). Haciendo énfasis en lo anterior, se pudo comparar e identificar el complejo periótico-timpánico de MHN-UABCS-CBAH2.



**Figura 8.** Esquema del periótico con orientación derecha del holotipo MHN-UABCS-CBAH2. Se observan las siguientes vistas: A) Ventral, B) Lateral C) Ventromedial D) Posterior E) Medial. Escala: 1 cm.

En la identificación del material de estudio MHN-UABCS-CBAH2 (Figuras 5-8), se descarta la familia *Ce-totheriidae*, por los siguientes caracteres anatómicos que se muestran en la bula timpánica y periótico: Un proceso anterior bien desarrollado del periótico; el proceso sigmoideo de la bula timpánica transversalmente estrecho y que carece de una base inflada; tuberosidad lateral bien desarrollada del periótico; el proceso posterior del periótico corto, con una superficie distal aplanada, ampliamente expuesta en la pared posterolateral del cráneo (Gol'din *et al.*, 2014).

MHN-UABCS-CBAH2 se diferencia de la familia *Balaenidae* por presentar el ángulo anteroventral del proceso anterior del periótico esbelto y cónico, en vista

medial o lateral, mientras que en balénidos se observa redondeado. Los balénidos también muestran una forma de la pars cochlear anteroposterior redondeada que no se extiende hacia la cavidad craneal. En cambio, en el ejemplar en estudio es alargada. El proceso anterior en balénidos se encuentra hipertrofiado, extendido posterolateralmente y forma un ángulo con el proceso posterior adyacente. En cambio, MHN-UABCS-CBAH2 presenta un proceso anterior corto y ancho. El lóbulo anterior de la bula es más pequeño que el lóbulo posterior, las dos regiones están separadas por surco profundo. La línea principal se extiende anteriormente con una prominencia, muestra una esquina anteromedial en forma angular, esto es lo que le da una forma romboidea a la

bula timpánica. La apertura del Eustaquio es relativamente pequeña y la superficie involucral es uniforme, ancha, convexa y con pliegues trasversales.

El complejo bula timpánica y periótico MHN-UABCS-CBAH2 muestra las siguientes sinapomorfías, con respecto a la Familia Balaenopteridae: un alargamiento dorsal y medial de la pars cochlear hacia la cavidad craneal, presencia de una muesca anterolateral de la bula timpánica en vista dorsal, forma de la muestra antromedial aplanada en la superficie ventral de la bula timpánica, región anteromedial de la superficie ventral de la bula timpánica es trasversalmente convexa, ausencia de un foramen elíptico, presencia de una hendidura como apertura para el acueducto cochlear y la forma anteroposterior del lóbulo lateral de la bula timpánica es convexa. Por otro lado, comparten las siguientes similitudes anatómicas con el género *Incakujira*, la pars cochlear es larga, con un ancho que excede en gran medida su longitud. La fenestra tiene una forma redondeada y está claramente separada de la apertura del acueducto coclear, en vista medial. El proceso caudal es triangular y en dirección posterior. Por su parte, las bulas timpánicas son similares por lo siguiente: en vista medial, la cresta principal e involucral son aproximadamente paralelas, y están separadas entre sí por una banda de hueso. En el caso de *I. anillodefuego*, tiene un aspecto áspero que se extiende a lo largo de todo el margen medial de la bula. El ejemplar de estudio muestra esta superficie lisa. En vista posterior, la cresta principal e involucral permanecen distintivas y convergen a nivel de la región posterior. En los dos taxones se muestra una prominencia del lóbulo posterior, sin embargo, en el ejemplar de estudio es más elevada y bulbosa que en *Incakujira*. En vista dorsal, muestran una forma de riñón. Además, la muesca anterolateral del labio externo, en vista ventral, está levemente globosa y forma un lóbulo distintivo, que está limitada posteriormente por el surco lateral.

Con respecto a nuestra búsqueda heurística de parsimonia el ejemplar de estudio comparte cuatro sinapomorfías con respecto al género *Incakujira*, con base en una “Búsqueda Tradicional” con pesos implicados de  $K=3$  (ver en suplementos), se muestran a continuación: proceso timpánico caudal en vista posteromedial, con una separación estrecha o en contacto (164: estado 1); morfología del proceso timpánico caudal, desarrollado como una plataforma triangular que se extiende posteriormente (166: estado 0); punto más anterior de la cresta involucral, se extiende anteriormente para formar el punto más anterior de la ampolla (204: estado 0) y superficie dorsolateral del involucro (205; estado 1). Por ende, nosotros sugerimos la asignación de MHN-UABCS-CBAH2 afín al género *Incakujira*, debido a que el periótico se encuentra fragmentado en el proceso anterior del periótico y proceso posterior del periótico, además de la bula timpánica no conserva el proceso sigmoide, elementos que pudieran ayudar en su diagnóstico a nivel especie.

## 5.2 Implicancias biogeográficas

Es importante mencionar la relación espacio-temporal de MHN-UABCS-CBAH2 con *Incakujira anillodefuego*. A pesar de su ubicación geográfica en la cuenca del Pacífico, respectivamente alejada (Perú, California y Japón), presentan una cercanía y similitud en su morfología. Ambos son representantes del Mioceno tardío de los pisos Tortoniano-Messiniano. Con respecto a la ubicación geográfica, se encuentran en zonas antitropicales. De acuerdo con Robertson y Cramer (2009), el límite norte y sur del Pacífico Oriental Tropical (POT) está limitado en la región norte, aproximadamente, a los 25° N de Bahía Magdalena, en la costa del Pacífico Norte. Para la región sur, su límite se encuentra aproximadamente en el Golfo de Guayaquil a los 2° S, entre Cabo Blanco (Perú) y Punta de Santa Elena (Ecuador). Este límite fue obtenido por los autores mediante el estudio de peces de arrecife.

Se ha reportado que la distribución de los cetáceos modernos está determinada por las barreras físicas, el cambio ambiental y los factores innatos que limitan la dispersión (Fordyce, 2017). Uno de los patrones biogeográficos más llamativos en cetáceos actuales es la presencia de poblaciones o pares de especies estrechamente relacionadas separadas entre sí por el Ecuador climático o “Ecuador térmico” y geográfico (Davies, 1963; Jefferson y Leatherwood, 1995). Ejemplos de tal distribución antitropical se encuentran en balenoptéridos, zífidos, delfínidos y focénidos, que sugieren que el Ecuador es, o hasta hace poco era, una barrera oceanográfica y biogeográfica (Barnes, 1985). Esto condujo a la vicarianza (la dispersión y el flujo génico) y en algunos casos a la especiación alopatrica (la aparición de nuevas poblaciones de especies geográficamente aisladas) (Fordyce, 2017; Marx *et al.*, 2019).

No solo el POT ha sido elemental para favorecer el intercambio y distribución de las especies, también dependió de otros factores abióticos (hipótesis de Bufón de la Corte). Para entender los factores en cascada es necesario observar los océanos no como planos horizontales, sino como planos tridimensionales que fueron ocurriendo a través del tiempo. Para este caso, es importante considerar los eventos ambientales que se manifestaron en los océanos durante el Cenozoico (Vermeiji, 1991 y Vermeiji *et al.*, 2018). Por ejemplo, la apertura del pasaje de Drake entre Sudamérica y la Antártida (hace 41 Ma., Eoceno tardío), posteriormente estableció la “puerta” de Tasmania con Australia del Sur (hace 33.5 Ma., finales del Eoceno), que produjo la formación de la corriente Circumpolar Antártica (CCA). Una transgresión marina del Oligoceno tardío al Mioceno temprano en el sur de Sudamérica amplió la conexión entre el Pacífico sudoriental frío y el Océano Atlántico sudoccidental templado, probablemente favoreciendo el enfriamiento que se extendió a través de la circulación de aguas profundas hacia el Pacífico Norte (Vermeiji *et al.*, 2018). La apertura del Estrecho de

Bering (5.4 a 5.5 Ma., a finales del Mioceno), la cuenca marina del golfo de California (8 a 6 Ma.), y el cierre de la vía marítima de Centroamericana (9 a 4 Ma.) durante el Mioceno tardío a Plioceno temprano. Hay registros de isótopos de neodimio (Nd), lo que indica que la restricción de agua de mar entre el Atlántico y Pacífico (9 Ma.), obtenidos del programa International Ocean Discovery Program (IODP), generó cambios en la productividad primaria. Todos estos eventos tuvieron un efecto colectivo en el enfriamiento global de los océanos. También fueron condiciones oceanográficas que facilitaron el movimiento y diversidad de las especies, que facilitaron el intercambio de la diversidad de los cetáceos (Steeman *et al.*, 2009; Marx y Uhen, 2010; O’Dea *et al.*, 2016; Vermeiji *et al.*, 2018; Karas *et al.*, 2017; Jaramillo *et al.*, 2017; Umhoefer *et al.*, 2018; Fordyce, 2017; Krijgsman *et al.*, 2010).

## 6. Conclusiones

El complejo bula y periótico (MHN-UABCS-CBAH2), fue identificado con una afinidad al género *Incakujira*, de acuerdo con un análisis heurístico de parsimonia. Compartiendo cuatro sinapomorfías. Tanto *Incakujira*, como el material de estudio, pertenecen al Mioceno tardío.

El registro de este material nos indica que *Incakujira* presentaba una amplia distribución, no solo en el Pacífico sur (Perú), sino también de lado del Pacífico norte (México), pero manteniéndose en una zona geográfica antitropical.

El material descrito en este trabajo (MHN-UABCS-CBAH2), representa el primer reporte de fósiles para la Cuenca Los Barriles, de la Formación Trinidad. Anteriormente, solo se conocía fósiles para la Cuenca San José del Cabo, de la misma formación.

## Agradecimientos

Queremos agradecer a los revisores anónimos, así como los editores de la revista. Además, queremos extender nuestro agradecimiento y apoyo al geólogo David Maraver. También, al Museo de la Ballena y Ciencias Marinas, CIMACO-UABCS y Puerto Bello. Por último, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca número 893338.

## Referencias

- Bannister, J. L. (2018). Baleen whales (Mysticeti). En B. Würsig, J. G. M. Thewissen, & K. M. Kovacs (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (pp. 62–69). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00820-6>
- Barnes, L. G. (1985). Evolution, taxonomy and antitropical distributions of the porpoises (Phocoenidae, Mammalia). *Marine Mammal Science*, 1(2), 149–165. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1985.tb00003.x>
- Barnes, L. G. (1998). The sequence of fossil marine mammals assemblages in Mexico. En O. Carranza-Castañeda & D. A Córdoba Méndez (Eds.), *Avances en investigación. Paleontología de vertebrados* (Publicación Especial 1, pp. 26–79). Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Barnes, L. G. (2002). Evolutionary history of the fossil marine mammals of Mexico. In M. Montellano-Ballesteros & J. Arroyo-Cabrales (Eds.), *Avances en los estudios paleomastozoológicos* (Colección Científica, pp. 125–225). Instituto Nacional de Antropología e Historia, INAH.
- Bercovici, A., Hadley, A., & Villanueva-Amadoz, U. (2009). Improving depth of field resolution for palynological photomicrography. *Palaeontologia Electronica*, 12(2), 1–12.
- Berta, A. (2017). *The Rise of Marine Mammals: 50 million Years of Evolution*. John Hopkins University Press. DOI 10.1353/book.56360
- Bisconti, M., Ochoa, D., Urbina, M., & Salas-Gismondi, R. (2022). Archaeobalaenoptera eusebioi, a new rorqual from the late Miocene of Peru (Cetacea, Mysticeti, Balaenopteridae) and its impact in reconstructing body size evolution, ecomorphology and palaeobiogeography of Balaenopteridae. *Journal of Systematic Palaeontology*, 19(16), 1129–1160. <https://doi.org/10.1080/14772019.2021.2017363>
- Bisconti, M., Munsterman, D. K., & Post, K. (2019). A new balaenopterid whale from the late Miocene of the Southern North Sea Basin and the evolution of balaenopterid diversity (Cetacea, Mysticeti). *PeerJ*, 7, Article e6915. <https://doi.org/10.7717/peerj.6915>
- Bisconti, M. (2010). A new balaenopterid whale from the late Miocene of the Stirone River, northern Italy (Mammalia, Cetacea, Mysticeti). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(3), 943–958. <https://doi.org/10.1080/02724631003762922>
- Bot, A., Geoffroy, L., Authemayou, C., Bellon, H., Graindorge, D., & Pik, R. (2016). Miocene detachment faulting predating EPR propagation: Southern Baja California. *Tectonics*, 35(5), 1153–1176. <https://doi.org/10.1002/2015TC004030>
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L., & Fan, J. X. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes Journal of International Geoscience*, 36(3), 199–204. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002>
- Collinson, J., Mountney, N., & Thompson, D. (2006). *Sedimentary structures*. Terra Publishing.
- Churchill, M., Martínez-Caceres, M., De Muizon, C., Mnieckowski, J., & Geisler, J. H. (2016). The origin of high-frequency hearing in whales. *Current Biology*, 26(16), 2144–2149. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.06.004>
- Davies, J. L. (1963). The antitropical factor in cetacean speciation. *Evolution*, 17(1) 107–116. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1963.tb03258.x>
- Ekdale, E. G., Berta, A., & Deméré, T.A. (2011). The comparative osteology of the petrotympanic complex (ear region) of extant baleen whales (Cetacea: Mysticeti). *Plos one*, 6(6), Article e21311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021311>
- Fletcher, J. M., Grove, M., Kimbrough, D., Lovera, O., & Gehrels, G. E. (2007). Ridge-trench interactions and the Neogene tectonic evolution of Magdalena shelf and southern Gulf of California: Insights from detrital zircon U-Pb ages from the Magdalena fan and adjacent areas. *Geological Society of America Bulletin*, 119(11/12), 1313–1336. <https://doi.org/10.1130/B26067.1>
- Fierstine, H. L., Applegate, S. P., González-Barba, G., Schwennicke, T., & Espinosa-Arrubarrena, L. (2001). A Fossil Blue Marlin (*Makaira nigricans* Lacepede) from the Middle Facies of the Trinidad Formation (upper Miocene to upper Pliocene), San José del Cabo Basin, Baja California Sur, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 100(2), 59-73.
- Fraser, F. C., & Purves, P. E. (1960). Hearing in the cetaceans: Evolution of the accessory air sacs and the structure and function of the outer and middle ear in recent cetaceans. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology*, 7(1), 1–140.
- Fordyce, R. E. (2017). Cetacea, Evolution. In B. Würsig, J. G. M. Thewissen, & K. M. Kovacs (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (3rd edition). Academic Press.



- Gol'din, P., Startsev, D., & Krakhmal'naya, T. (2014). The anatomy of the Late Miocene baleen whale *Cetotherium riabinini* from Ukraine. *Acta Palaeontologica Polonica*, 59(4), 795–814. <http://dx.doi.org/10.4202/app.2012.0107>
- Goloboff, P. A., Farris, J. S., & Nixon, K. C. (2008). TNT, a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics*, 24(5), 774–786. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00217.x>
- González-Barba, G., & Thies, D. (2000). Asociaciones faunísticas de Condrictios del Cenoico de la Península de Baja California, México, *Perfil*, 18, 1–4.
- González-Barba, G., Schwennicke, T., & Goedert, J. L. (2021). First Neogene record of Pelecanus (Aves: Pelecanidae) from México. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, Article 103583. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103583>
- González-Rodríguez, K., Espinosa-Arrubarrena, L., & González-Barba, G. (2013). An overview of the Mexican fossil fish record. In G. Arriata, H. Schultze, & M. Wilson (Eds.), *Mesozoic Fishes 5: Global Diversity and Evolution* (pp. 9–24). Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Temas: Mapas* (Sitio Web). <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150>, consultado en enero de 2023.
- Jaramillo, C., Montes, C., Cardona, A., Silvestro, D., Antonelli, A., & Bacon, C. D. (2017). Comment (1) on “Formation of the Isthmus of Panama” by O’Dea *et al.* *Science Advances*, 3(6), Article e1602321. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602321>
- Jefferson, T. A., & Leatherwood, S. (1995). *Mamíferos Marinos*. En W. Fischer, F. Krupp, S. C. Schneider, K. E. Carpenter, & V. H. Niem (Eds.). Guía FAO para la identificación de las especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental (Volumen I. Plantas e Invertebrados, pp. 1–646). FAO.
- Karas, C., Nürnberg, D., Bahr A., Groeneveld, J., Herrle J. O., Tiedemann, R., & Demenocal, P. B. (2017). Pliocene oceanic seaways and global climate. *Scientific Reports*, Article 7: 39842. <https://doi.org/10.1038/srep39842>
- Krijgsman, W., Stoica, M., Vasiliev, I., & Popov, V. V. (2010). Rise and fall of the Paratethys Sea during the Messinian Salinity Crisis. *Earth and Planetary Science Letters*, 290(1-2), 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.12.020>
- López-Pérez, R.A. (2012). Late Miocene to Pleistocene reef corals in the gulf of California. *Bulletins of American Paleontology*, (383), 1–84.
- Marx, F. G., Fitzgerald, E. M., & Fordyce, R. E. (2019). Like phoenix from the ashes: How modern baleen whales arose from a fossil “dark age”. *Acta Palaeontologica Polonica*, 64(2), 231–238. <https://doi.org/10.4202/app.00575.2018>
- Marx, G. F., Lambert, O., & De Muizon, C. (2017). A new Miocene baleen whale from Peru deciphers the dawn of cetotheriids. *Royal Society Open Science*, 4(9), 1–22. <https://doi.org/10.1098/rsos.170560>
- Marx, F. G., & Kohno, N. (2016). A new Miocene baleen whale from the Peruvian desert. *Royal Society Open Science*, 3(10), Article 160542. <https://doi.org/10.1098/rsos.160542>
- Marx, F. G. & Uhen, M. D. (2010). Climate, critters, and cetaceans: Cenozoic drivers of the evolution of modern whales. *Science*, 327(5968), 993–996. <https://doi.org/10.1126/science.1185581>
- Mead, J. G., & Fordyce, R. E. (2009). *The therian skull: a lexicon with emphasis on the odontocetes*. Smithsonian Contributions to Zoology. Smithsonian Institution Scholarly Press. <https://doi.org/10.5479/si.00810282.627>
- Mourlam, M. J., & Orliac, M. J. (2017). Infrasonic and ultrasonic hearing evolved after the emergence of modern whales. *Current Biology*, 27(12), 1776–1781. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.061>
- Nummela, S., Thewissen, J. G. M., Bajpai, S., Hussain, T., & Kumar, K. (2007). Sound transmission in archaic and modern whales: anatomical adaptations for underwater hearing. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 290(6), 716–733. <https://doi.org/10.1002/ar.20528>
- Nummela, S., Thewissen, J. G. M., Bajpai, S., Hussain, S. T., & Kumar, K. (2004). Eocene evolution of whale hearing. *Nature*, 430(7001), 776–778. <https://doi.org/10.1038/nature02720>
- O’Dea, A., Lessios, H. A., Coates, A. G., Eytan, R. I., Restrepo-Moreno, S. A., Cione, A. L., & Stallard, R. F. (2016). Formation of the Isthmus of Panama. *Science advances*, 2(8), Article e1600883. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600883>
- O’leary, M. A. (2010). An anatomical and phylogenetic study of the osteology of the petrosal of extant and extinct artiodactylans (Mammalia) and relatives. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2010(335), 1–206. <https://doi.org/10.1206/335.1>
- Park, T., Mennecart, B., Costeur, L., Grohé, C., & Cooper, N. (2019). Convergent evolution in toothed whale cochleae. *BMC Evolutionary Biology*, 19(195), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1525-x>
- Robertson, D. R., & Cramer, K. L. (2009). Shore fishes and biogeographic subdivisions of the Tropical Eastern Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 380, 1–17. <https://doi.org/10.3354/meps07925>
- Sears, R., & Perrin, W. F. (2008). Blue whale: *Balaenoptera musculus*. In B. Wursig, W. Perrin, & J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (pp. 120–124), Academic Press.
- Schwennicke, T., Santisteban-Mendivil, D. M., Pérez-Venzor, J. A., Cortés-Martínez, M. Y., & Plata-Hernández, E. (2017). Evolución estratigráfica de la cuenca Los Barriles, Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(3), 212–233. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.476>
- Steehan, M. E. (2009). A new baleen whale from the Late Miocene of Denmark and early mysticete hearing. *Palaeontology*, 52(5), 1169–1190. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2009.00893.x>
- Solis-Añorve, A., González-Barba, G., Hernández-Rivera, R., & Schwennicke, T. (2021). Late Miocene balaenopterid (Cetacea: Mysticeti) from Baja California Sur, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 111, Article 103498. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103498>
- Umhoefer, P. J., Darin, M. H., Bennett, S. E., Skinner, L. A., Dorsey, R. J., & Oskin, M. E. (2018). Breaching of strike-slip faults and successive flooding of pull-apart basins to form the Gulf of California seaway from ca. 8–6 Ma. *Geology*, 46(8), 695–698. <https://doi.org/10.1130/G40242.1>
- Vermeij, G. J. (1991). When biotas meet: understanding biotic interchange. *Science*, 253(5024), 1099–1104. <https://doi.org/10.1126/science.253.5024.1099>
- Vermeij, G. J., Banker, R., Capece, L. R., Hernandez, E. S., Salley, S. O., Padilla-Vriesman, V., & Wortham, B. E. (2018). The coastal North Pacific: Origins and history of a dominant marine biota. *Journal of biogeography*, 46(1), 1–18. <https://doi.org/10.1111/jbi.13471>

## Suplementos

Se utilizó la matriz morfológica de Marx y Kohno (2016). Los datos “nexus” de la plataforma *Morphobank* del proyecto 2452, que consiste en 94 taxones y 272 caracteres. Se realizó una búsqueda heurística de parsimonia en el software T.N.T 1.1 (Goloboff *et al.*, 2008). Se implementó la opción “Búsqueda Tradicional”. Usando pesos iguales y pesos implicados usando una constante  $K=3$  y  $K=10$ .

Principalmente se codificaron elementos del complejo tímpano periótico, que fueron a partir del carácter 144 al 213, dando un total de 70 caracteres codificados que se encuentran a continuación. Los análisis incluyeron 10, 000 secuencias de adición aleatoria, además se guardaron 10 árboles por replica.

En la topología con pesos iguales (Figura s.1) el ejemplar de estudio (MHN-UABCS-CBAH2), Se muestra como una politómica sin un resultado que pueda ser comparativo

o diagnóstico. Para esta hipótesis obtuvimos una longitud de 395 y 30 árboles. Por ello, se utilizó pesos implicados  $K=3$  y  $K=10$ .

Por otro lado, la topología con pesos implicados (Figura s.2) con una curvatura de  $K=3$ , el material del complejo tímpano periótico (MHN-UABCS-CBAH2), presenta una relación estrecha con el género *Incakujira*, sosteniendo su relación por cuatro sinapomorfías: proceso timpánico caudal en vista posteromedial, con una separación estrecha o en contacto (164: estado 1); morfología del proceso timpánico caudal, desarrollado como una plataforma triangular que se extiende posteriormente (166: estado 0); punto más anterior de la cresta involucral, se extiende anteriormente para formar el punto

más anterior de la ampolla (204: estado 0) y superficie dorsolateral del involucro (205; estado 1).

También se obtuvo una topología con pesos implicados (Figura s.3) con una curvatura de  $K=10$ , el material de estudio (MHN-UABCS-CBAH2), presenta de igual manera una relación estrecha con el género *Incakujira* por cuatro sinapomorfías: se encuentra ausente la faceta bular (155: estado 1); proceso timpánico caudal en vista posteromedial, se encuentra separado estrechamente o en contacto (164: estado 1); punto más anterior de la cresta involucral, punto más anterior de la cresta involucral, se extiende anteriormente para formar el punto más anterior de la ampolla (204: estado 0) y superficie dorsolateral del involucro (205; estado 1).

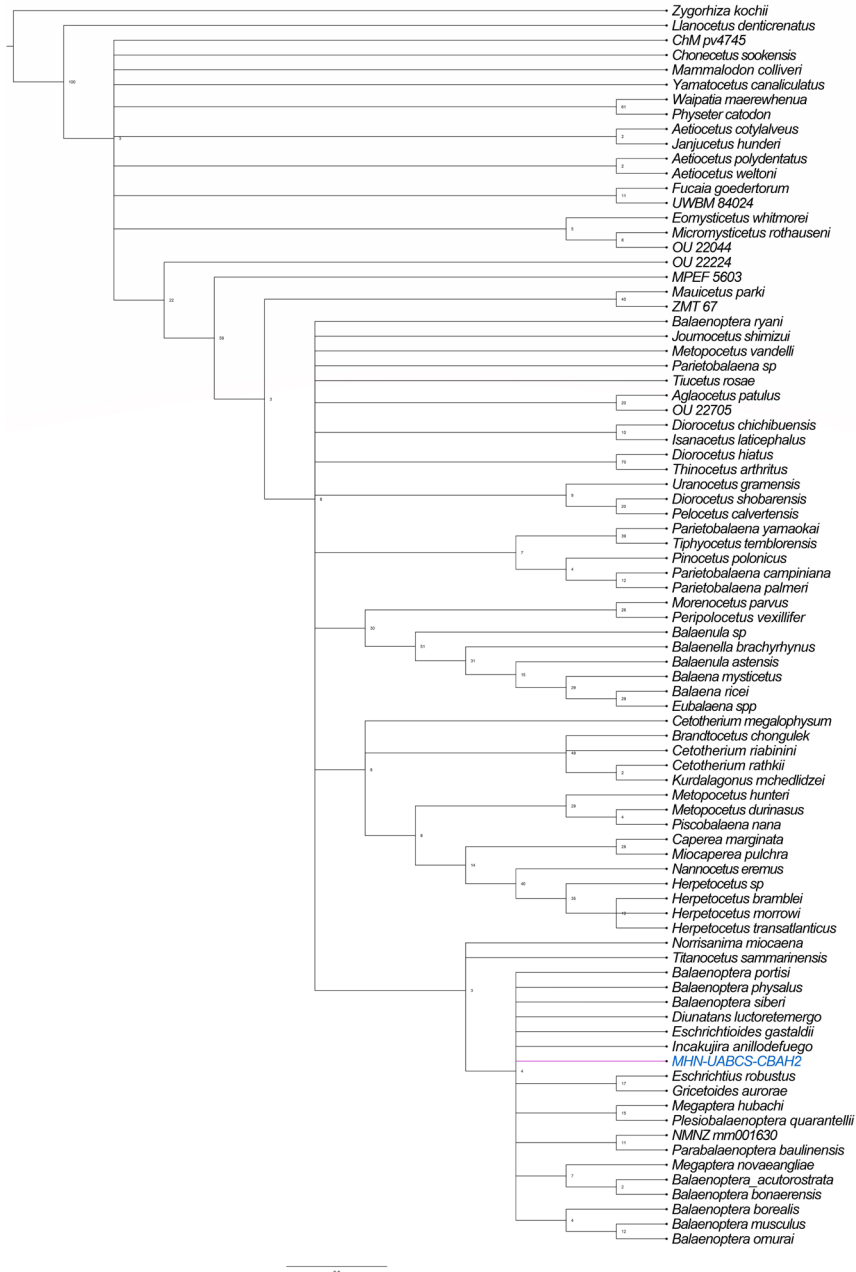


Figura s.1. Árbol de pesos iguales, con una longitud de 395 y 30 árboles. CI 0.202 y RI 0.639.

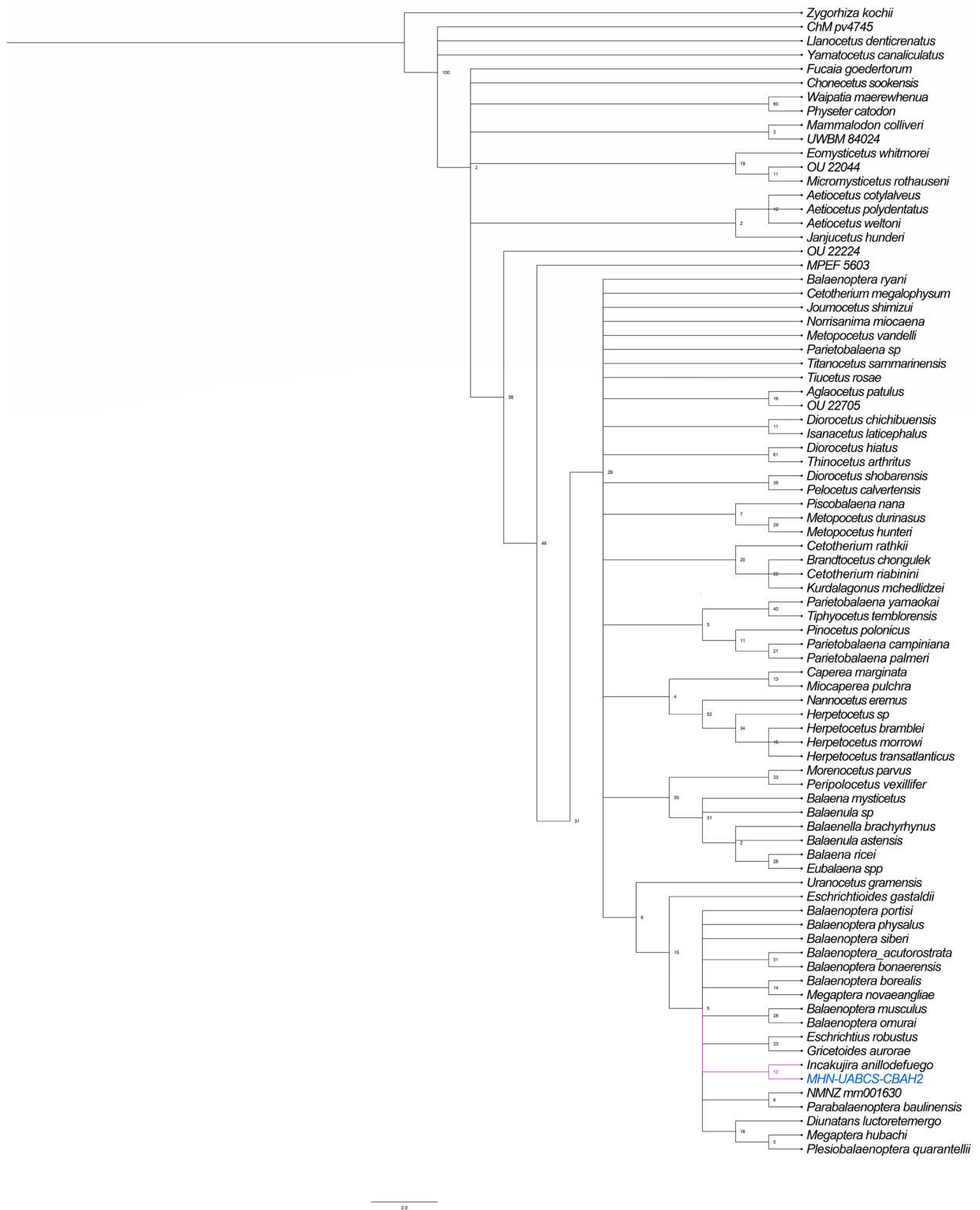


Figura s.2. Árbol donde muestra hipótesis filogenética con pesos implicados, utilizando una K=3, con una longitud de 33,24132 y 770 árboles. CI 0.194 y RI 0.620.

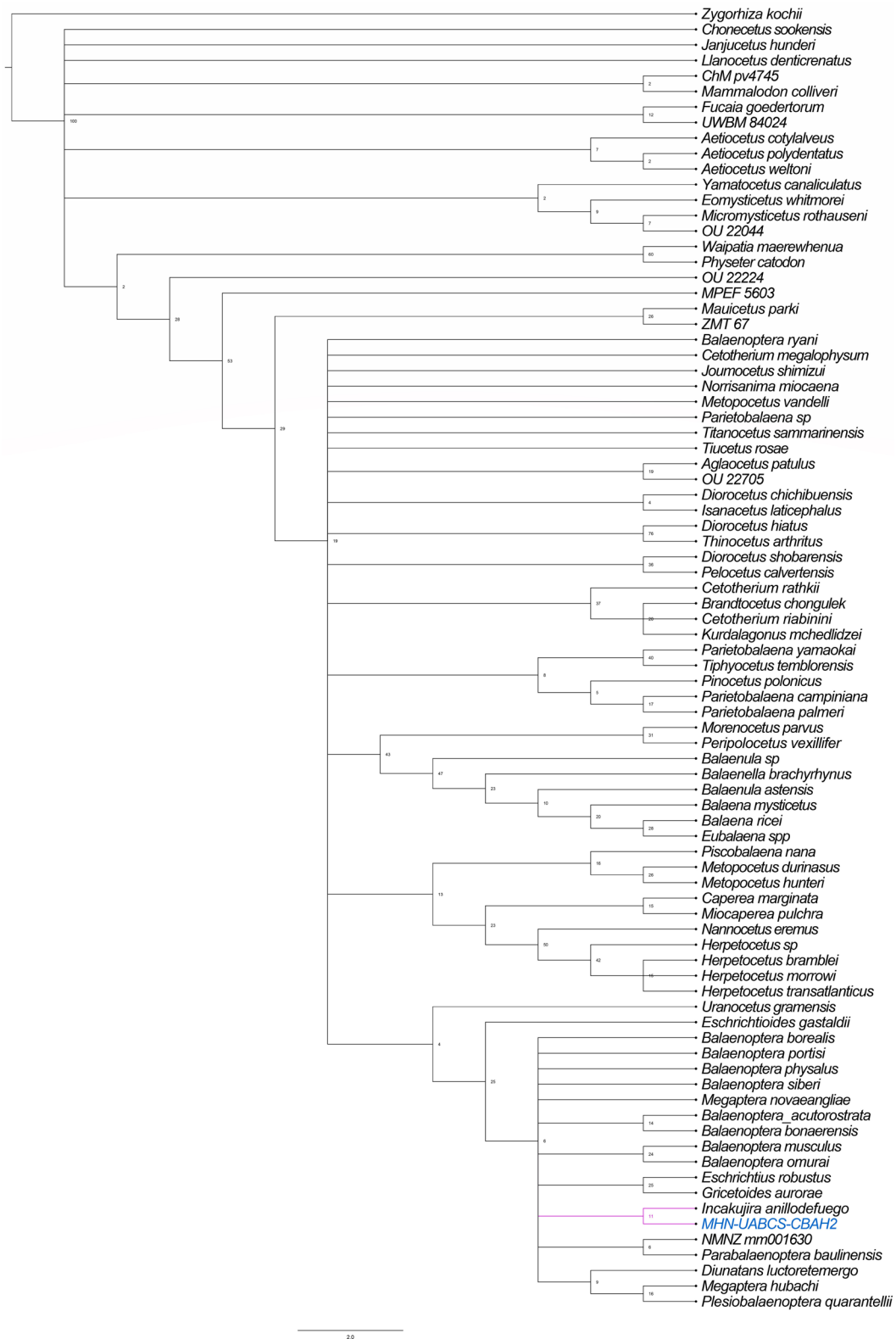


Figura s.3. Árbol que muestra hipótesis filogenética con pesos implicados, utilizando una K=10, con una longitud de 18,39226 y 590 árboles. CI 0.195 y RI 0.623.

## Nuevo género de hojas ovadas de Rhamnaceae de la Formación Olmos (Cretácico Superior) de Coahuila, México

### *New ovate-leaved genus of Rhamnaceae from the Olmos Formation (Upper Cretaceous) of Coahuila, Mexico*

Centeno-González, Naylet Karen<sup>1</sup> ; Porrás-Múzquiz, Héctor<sup>2</sup> ; Estrada-Ruiz, Emilio<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas – Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, 11340, CDMX, México. <https://orcid.org/0000-0002-8749-9304> ; <https://orcid.org/0000-0002-2312-6146>

<sup>2</sup>Museo Paleontológico de Múzquiz, Adolfo E. Romo 1701, La Cascada, 26343 Santa Rosa de Múzquiz, Coahuila, México. <https://orcid.org/0000-0003-4046-8540>

\*emilkgrama@yahoo.com; estradar@ipn.mx

#### Resumen

En el norte de México, en la Región Carbonífera, se encuentran los depósitos de la Formación Olmos (Cretácico Superior), una unidad litoestratigráfica ampliamente conocida por la asociación florística tan diversa que alberga, principalmente representada por impresiones y compresiones de hojas y frutos, además de otros organismos como invertebrados. En este trabajo presentamos un nuevo registro con base en tres hojas recolectadas en la Formación Olmos, cuyos patrones en su morfología foliar son congruentes a la familia Rhamnaceae. Las características con las que se encontró mayor similitud entre estos ejemplares y la actual familia fueron la forma laminar ovada, base obtusa, primer orden pinnado, segundo orden eucamptódromo, tercer orden percurrente opuesto con un ángulo casi perpendicular con respecto a la vena media, y cuarto orden reticulado. La combinación de caracteres se ha observado que se presentan dentro del género actual *Gouania*, la mayor parte de las características morfológicas son parecidas a las del tipo fósil descrito, excepto por el espaciado de las venas de segundo orden, por lo que se propone un nuevo género y especie fósil nombrado *Gouaniaites muzquizensis*. El registro de esta familia en la Formación Olmos, reafirma su presencia en el norte de México durante el Cretácico.

**Palabras clave:** Arquitectura foliar, Cretácico Superior, Formación Olmos, México, Rhamnaceae.

#### Abstract

In northern Mexico, in the Carboniferous Region, are the sediments of the Olmos Formation (Upper Cretaceous), a lithostratigraphic unit widely known for the highly diverse floristic association it houses, mainly represented by impressions and compressions of leaves and fruits, as well as from other organisms such as invertebrates. We present in this work a new record, based on three leaves collected in the Olmos Formation, whose leaf morphology patterns were similar to Rhamnaceae. The characteristics with more similarity between these specimens and the modern family were the ovate laminar shape, obtuse base, first-order pinnate, second-order eucamptodromous, third-order percurrent opposite with almost perpendicular angle to the middle vein, and fourth-order reticulate. Within the current genus *Gouania*, almost all the morphological characteristics are similar to those of the fossil, except for the spacing of the second-order veins, for which a new genus and fossil species named *Gouaniaites muzquizensis* is proposed. The record of this family in the Olmos Formation reaffirms its presence in northern Mexico during the Cretaceous.

**Keywords:** Leaf architecture, Late Cretaceous, Olmos Formation, Mexico, Rhamnaceae.

**Cómo citar / How to cite:** Centeno-González, N.K., Porrás-Múzquiz, H., & Estrada-Ruiz, E. (2023). Nuevo género de hojas ovadas de Rhamnaceae de la Formación Olmos (Cretácico Superior) de Coahuila, México. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 33–41

Manuscrito recibido: Noviembre 11, 2022.

Manuscrito corregido: Diciembre 15, 2022.

Manuscrito aceptado: Diciembre 19, 2022.



## 1. Introducción

Durante el Cretácico Superior, la presencia de bosques tropicales lluviosos y paratropicales con alta precipitación tuvo una importante extensión a lo largo del Mar Epicontinental, reflejado por los registros que se encuentran actualmente en formaciones del norte de México y centro-sur de Estados Unidos de América (Campaniano-Maastrichtiano) (Estrada-Ruiz *et al.*, 2013). Las floras que se desarrollaron cerca de este mar fueron documentadas en las formaciones Cerro del Pueblo y Olmos, Coahuila, donde se han registrado taxones que actualmente forman parte de la vegetación presente en ambientes tropicales y paratropicales (e.g. Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994; Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, 2007; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007; 2009; Wheeler *et al.*, 1995; Wheeler y Lehman, 2009; Centeno-González *et al.*, 2021).

El bosque tropical lluvioso es uno de los principales tipos de vegetación del mundo (Richards, 1996; Whitmore, 1998). Estos biomas actualmente se encuentran dominados por angiospermas. Por otra parte, los bosques paratropicales, son parecidos a los bosques tropicales lluviosos, siendo a menudo confundidos o excluidos. Actualmente se encuentran restringidos a las regiones bajas de Taiwán, y el sur de China (Wang, 1961; Li, 1963), en zonas adyacentes de Birmania, Laos y Vietnam. En México, un bosque cerca de Xilitla, San Luis Potosí, es considerado un representante del bosque paratropical para el este de América del Norte (Wolfe, 1979). El bosque paratropical se distingue por tener una temperatura media anual (TMA) que se mantiene entre los 20°C a 25°C, y una precipitación que puede ser estacional, con una breve temporada seca (Wolfe, 1979). Este bioma tuvo mayor presencia durante el Cretácico (Morley, 2009).

En la Formación Olmos (Cretácico Superior) se encuentra una asociación florística propia del bosque paratropical, conformada principalmente por impresiones y compresiones de fósiles de hojas, además de otras estructuras como frutos y maderas. Los microfósiles de plantas de la Formación Olmos fueron estudiados por primera vez por Weber (1972 y 1978), quien reconoció más de 80 morfotipos incluyendo más de 50 tipos de angiospermas (Weber, 1972 y 1978). Se han registrado también gimnospermas, como Cupressaceae (Serlin *et al.*, 1981), helechos acuáticos como *Salvinia*, *Dorfiella*† y *Marsilea* (Weber, 1973, 1975, 1976 y Estrada-Ruiz *et al.*, 2018). El registro de hojas de angiospermas está conformado por Arecaceae, Araceae, Moraceae, Betulaceae, Magnoliaceae, Lauraceae, Rhamnaceae, Menispermaceae, Nelumbonaceae, Caprifoliaceae y Violaceae (Weber, 1972, 1978; Centeno-González *et al.*, 2019). Estrada-Ruiz *et al.* (2007, 2010) describieron diferentes maderas de dicotiledóneas, así como diversos tallos de monocotiledóneas (Cevallos-Ferriz y Ricalde-Moreno, 1995; Estrada-Ruiz y Cevallos-Ferriz, 2009). La palinología documenta

además la presencia de una microflora diversa (Martínez-Hernández *et al.*, 1980). Recientemente, Centeno-González *et al.* (2021) describieron el fruto más antiguo de Fabaceae registrado formalmente.

En el presente trabajo se describe formalmente un nuevo fosilitaxon con base en tres hojas de angiosperma recolectadas en la Formación Olmos (Cretácico Superior) en Coahuila, México, de acuerdo con sus características se relaciona con la familia Rhamnaceae. Dichos ejemplares fueron identificados a partir de sus características evidenciadas a través de su arquitectura foliar.

## 2. Geología

La Formación Olmos (Campaniano superior) situada en la Cuenca de Sabinas, representa un sistema fluvial y deltaico. Con base en el estudio de sus litofacies y fósiles, se han podido distinguir cuatro subambientes deposicionales: La litofacies A consiste en carbón, lo que sugiere corresponde a zonas pantanosas con circulación restringida. Por otro lado, la litofacies B está compuesta por lutita y arenisca, representando posiblemente ambientes de planicies de inundación y/o lagunas con circulación abierta. La litofacies C sugiere un ambiente fluvial, probablemente con ríos trezados, como lo sugiere la geometría de las barras de arena y rellenos de canales que lo componen. Finalmente, la litofacies D está conformada por areniscas de estratificación cruzada, y que han sido interpretadas como rellenos de canales y barras laterales depositadas en un río serpenteante (Estrada-Ruiz, 2009; Estrada-Ruiz *et al.*, 2013). Recientemente, González-Partida *et al.* (2022) obtuvieron una edad determinada por el método U–Pb en zircones de 76.1 Ma. para la Formación Olmos.

## 3. Materiales y métodos

El trabajo de campo consistió en la recolección de muestras de fósiles de hojas en diferentes afloramientos de la Formación Olmos; en particular las muestras para este estudio provienen del tajo o mina de cielo abierto conocida como Tajo El Nogalito, localizada al noroeste del poblado Melchor Múzquiz, municipio de Múzquiz, Coahuila (ver Estrada-Ruiz *et al.*, 2011). Para llevar a cabo dicha labor, se realizaron diferentes salidas al campo entre 2016 y 2019. El material en donde yacen los microfósiles está compuesto por arenisca y/o lutita, perteneciente a la litofacies B de la columna estratigráfica de la formación. Las muestras de roca fueron extraídas con ayuda de cinceles, martillos, picas y marro. El material fue marcado con una nomenclatura (IPN–PAL 14; MUZ–3913, MUZ–3914), indicando el nombre del repositorio y número de la muestra. Posteriormente, las muestras fueron envueltas y depositadas

en el Laboratorio de Ecología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional.

Para la descripción del material fósil, fue necesario hacer una inspección de los especímenes mejor conservados. En caso de requerirlo, se llevó a cabo una limpieza del sedimento que recubría a los especímenes, apoyándose de un microscopio estereoscópico Zeiss AXIO Zoom V16 que permitió una mayor percepción en un campo visual reducido, un percutor marca Dremel modelo 290-01, cincel y martillo. Posteriormente, el material fue fotografiado. Para la toma general de los ejemplares se utilizó una cámara Nikon D3500. Los órdenes de venación fueron fotografiados con ayuda de un microscopio estereoscópico marca Olympus, modelo SZX10, y el software Olympus cellSens versión Entry 1.13 con una cámara digital SC100 de 10.5 Mpix. Para la descripción mediante arquitectura foliar se siguieron los lineamientos de Ellis *et al.* (2009), Hickey (1973) y Hickey y Wolfe (1975), registrando los patrones que fueron visibles en cada uno de los ejemplares. Finalmente, para la determinación taxonómica se compararon los caracteres morfológicos presentes en los ejemplares fósiles con las de otras hojas, tanto actuales como de registros fósiles, a través de publicaciones especializadas, visitas a los herbarios de la ENCB-IPN, MEXU-UNAM, y herbarios en línea como el de Missouri Botanical Garden (<http://tropicos.org>), o Royal Botanical Garden (<http://www.kew.org/>).

#### 4. Resultados

Se obtuvieron tres muestras de hojas de angiospermas que corresponden a mismo tipo, con patrones de venación y características morfológicas que permitieron el reconocimiento taxonómico.

##### 4.1 Sistemática paleobotánica

**Clase** – Magnoliopsida Brongniart (1843)

**Subclase** – Rosidae Takhtajan (1966)

**Orden** – Rosales Berchtold y Presl (1820)

**Familia** – Rhamnaceae Jussieu (1789)

**Género** – *Gouianaiites* género nuevo Centeno-González, Porrás-Múzquiz y Estrada-Ruiz

**Especie** – *Gouianaiites muzquizensis* especie nueva Centeno-González, Porrás-Múzquiz y Estrada-Ruiz

**Plant Fossil Names Registry Number:** PFN003057

**Holotipo** – IPN-PAL 14

**Paratipos** – MUZ-3913, MUZ-3914

**Repositorio** – Colección de Paleontología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México (Holotipo, IPN-PAL), y Museo de Paleontología de Múzquiz, Melchor Múzquiz, Coahuila (Paratipos, MUZ-3913, MUZ-3914).

**Etimología** – El nombre genérico se refiere a la similitud del género actual *Gouania* Jacquin (1763). El epíteto específico se refiere al municipio de Melchor Múzquiz donde se encontraron los fósiles.

**Edad** – Cretácico Superior (76.1 Ma).

**Localidad** – Tajo El Nogalito, Municipio de Melchor Múzquiz, Formación Olmos.

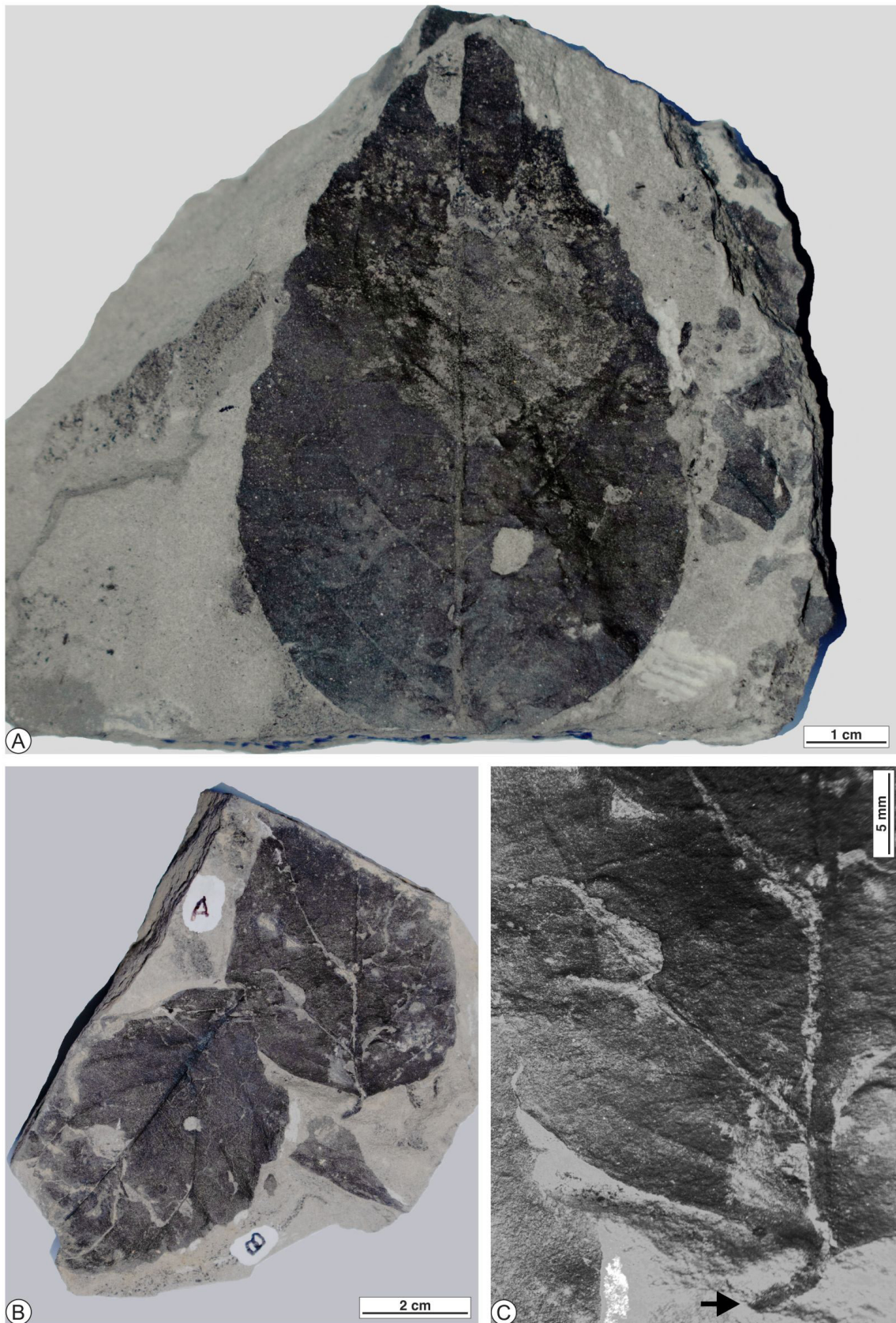
**Diagnosis genérica.** Margen crenado, con seis pares de venas secundarias intercostales, espaciado entre venas de segundo orden que decrece de manera abrupta en la región proximal e incrementa hacia el centro de la lámina, venación agrófica compuesta, venas epimediales que forman un arco a partir del centro incrementando distalmente, cuarto y quinto orden reticulado, con vénulas libres que se ramifican.

**Diagnosis específica.** Como el género.

**Generic diagnosis.** Crenate margin, with six pairs of secondary intercostal veins, spacing between second-order veins that decreases abruptly in the proximal region and increases towards the center of the lamina, compound agrophic veins, epimedial veins arching from the center and increasing distally, fourth and fifth order reticulate, with free branching venules.

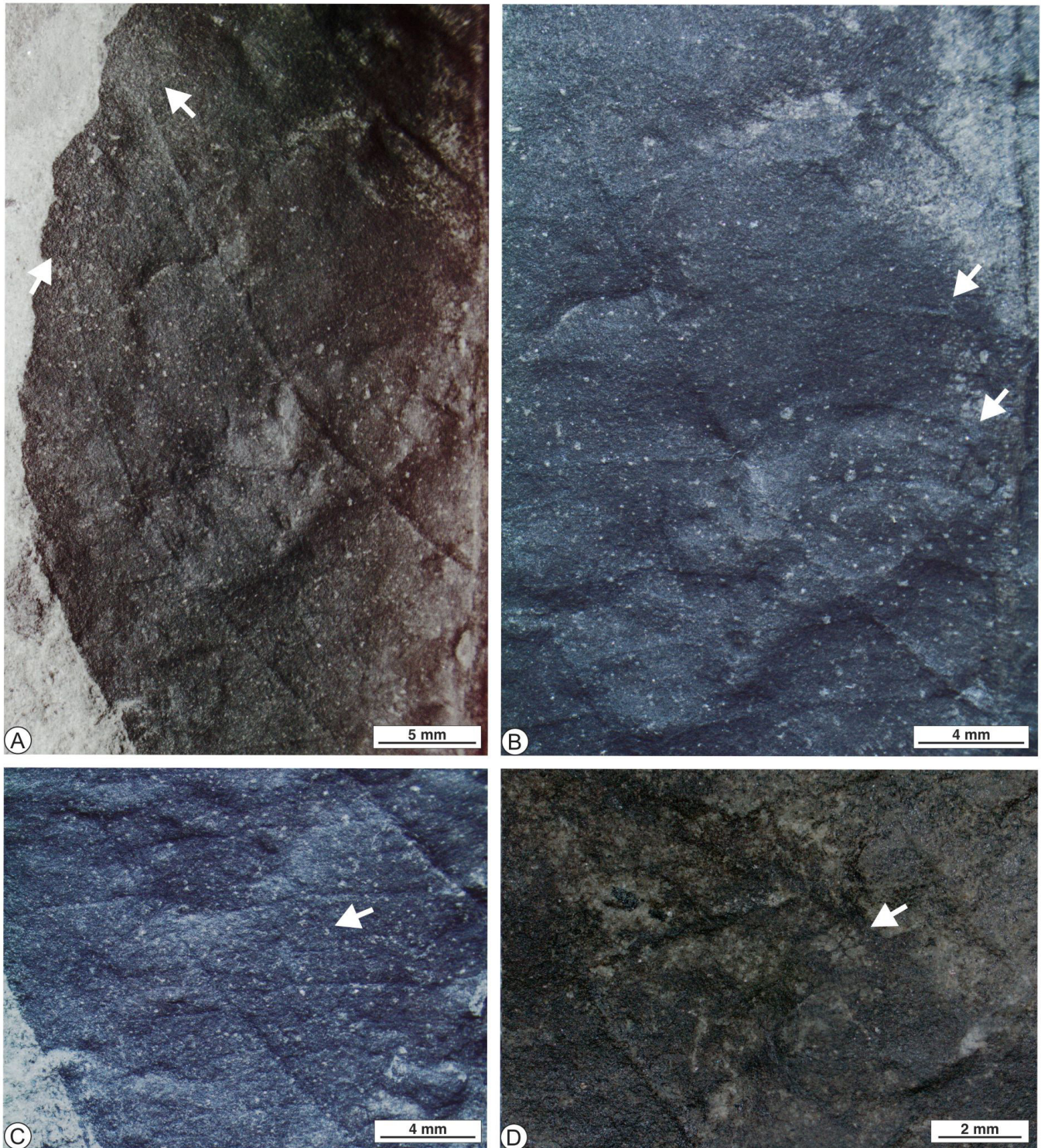
**Specific diagnosis.** As for the genus.

**Descripción.** La descripción está hecha con un ejemplar completo (Figura 1A) y dos incompletos (Figura 1B). La descripción de las medidas de la lámina se hizo a partir del ejemplar completo (IPN-PAL 14, Figura 1A). El área laminar es de 2643,8 mm<sup>2</sup>, categoría de tamaño micrófila III, de 7,5 cm de largo y 4,7 cm de ancho. Hoja simple, con un peciolo marginal, curvo y grueso, con una longitud de 0.6 cm (Figura 1C). La forma laminar es ovada, ligeramente asimétrica, con el margen crenado (Figura 1A, Figura 2A), sin glándulas visibles. Ápice agudo, base obtusa y redondeada (Figura 1A, Figura 1C). Primer orden de venación primario pinnado (Figura 1A). Presenta venación agrófica compuesta. Segundo orden eucamptódromo (Figura 2A). Se observan seis pares de venas secundarias (Figura 1A). El espacio entre las nervaduras secundarias es irregular, mostrando un espacio extenso en el centro de la lámina, y abruptamente estrecho en la región más proximal (Figura 2B). El ángulo de las venas intercostales secundarias es uniforme con respecto a la nervadura central (45°), excepto por el par de venas más proximal (50° – 55°). Unión excurrente con la vena media (Figura 2B). Tercer orden percurrente opuesto, con un ángulo perpendicular con respecto a la vena media, la variación de ángulo aumenta exmedialmente a lo largo de la lámina (Figura 2B). Venas epimediales opuestas percurrentes, formando un ligero arco a partir del centro de la lámina que se incrementa distalmente. Cuarto orden reticulado (Figura 2C). Quinto orden reticulado (Figura 2D). Se pueden apreciar vénulas libres que se ramifican (Figura 2D).



**Figura 1.** Vistas generales de los ejemplares descritos. A. Holotipo IPN-PAL 14. B. Paratipos MUZ-3913 y MUZ-3914. C. Acercamiento de la base del paratipo MUZ-3914, se aprecia el peciolo (flecha).





**Figura 2.** Acercamientos del holotipo IPN-PAL 14. A. Vista del costado izquierdo, se puede observar la terminación de las venas de segundo orden (flechas). B. Venas de tercer orden, se encuentran señaladas las venas epimediales de tercer orden (flechas). C. Venas de cuarto orden formando retículos (flecha). D. Quinto orden reticulado con una vénula ramificada en el centro (flecha).

## 5. Discusión

### 5.1 Comparación e identificación

Los fósiles preservaron varios caracteres morfológicos que nos permitieron reconocer los patrones de venación, así como otras características en su morfología externa necesarias para la comparación e identificación taxonómica. Entre las características más importantes están la presencia de la forma laminar ovada, primer orden de venación pinnado, tercer orden percurrente opuesto recto con un ángulo perpendicular respecto a la vena media, y la venación de cuarto orden de tipo reticulado, estas características se encuentran en las familias Lauraceae, Caprifoliaceae y Rhamnaceae. Por ejemplo, Iglesias *et al.* (2007) encontraron un fosilitaxón del Cretácico en Argentina, parecido a un grupo de hojas fósiles conocido como ‘morfotipo Laurofilo’, del Campaniano–Maastrichtiano de King George Island, Antártica (Zastawniak, 1994), el cual presentó similitudes con el fosilitaxón descrito aquí. Estas similitudes son la forma y talla de la lámina, forma y ángulo del ápice, base, margen y primer orden de venación. No obstante, existen otras diferencias en el ‘morfotipo Laurofilo’ como es: presencia de una venación de segundo orden tipo broquidódromo, venas intersecundarias, tercer orden percurrente mixto y areolación, descartando cualquier afinidad taxonómica con *Gouianiaites muzquizensis*. Otra de las familias con las que fue comparado el material fósil de la Formación Olmos fue con Caprifoliaceae. Se comparten caracteres como la forma laminar de tipo ovada, ápice agudo y base redondeada, tercer orden percurrente opuesto recto con un ángulo perpendicular respecto a la vena media, y la venación de cuarto y quinto orden de tipo reticulado. Dentro de la familia, se encuentra el género actual *Lonicera* Linnaeus (1753) que presenta caracteres compartidos con el fosilígénero, sin embargo, este género presenta un segundo orden broquidódromo y venas de tercer orden percurrentes mixtas es constante, descartando alguna afinidad. Respecto al material fósil descrito dentro del género *Lonicera*, se encuentra *Lonicera krassilovii* Pavlyutkin (2015), especie del Mioceño de la región Primorye al este de Rusia que coincide con el tipo fósil en caracteres como la simetría, ángulo de base y ápice, la venación de primer, tercer orden y ordenes posteriores. No obstante, difiere en cuanto al tamaño y proporción, además del margen entero, segundo orden broquidódromo y presencia de areolación.

Los especímenes fósiles presentaron más características morfológicas en común con los encontrados en Rhamnaceae (*e.g.* Velasco de León *et al.*, 1998; Correa *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2019, Hernández-Peñaloza *et al.*, 2021). Principalmente, los caracteres que permanecen constantes entre el registro fósil y hojas actuales de Rhamnaceae son: la forma ovada, base obtusa, primer orden pinnado, segundo orden eucamptódromo, tercer orden percurrente opuesto con un ángulo casi

perpendicular con respecto a la vena media, y cuarto orden reticulado (*e.g.* Velasco de León *et al.*, 1998; Correa *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2019; Hernández-Peñaloza *et al.*, 2021). El conjunto de estas características coincide con observaciones previas, que sustentan que algunos miembros de Rhamnaceae presentan características morfológicas que pueden ser divididas en los tipos rhamnoide y ziziphoide. En especial, las hojas del tipo rhamnoide se caracterizan por ser hojas simples, de margen entero, venación primaria pinnada, con venas de segundo orden eucamptódromas, un tercer orden estrechamente espaciado, de tipo percurrente opuesto, y con un ángulo casi perpendicular con respecto a la vena media (Jones y Dilcher, 1980; Correa *et al.*, 2010).

Por otra parte, las características que fueron variables entre este material fósil y el registro general de hojas de Rhamnaceae estuvieron relacionadas con el margen, forma y ángulo del ápice, forma de la base, número de pares y espaciado de las venas secundarias, así como cuarto orden (*e.g.* Velasco de León *et al.*, 1998; Correa *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2019). En cuanto a los ejemplares actuales, la variación también estuvo presente en la venación de segundo orden (*e.g.* Hickey y Wolfe, 1975; Hernández-Peñaloza *et al.*, 2021). Respecto al registro fósil descrito en México, Velasco de León *et al.* (1998) describieron *Karwinskia axamilpense* Velasco de León, Cevallos-Ferriz y Silva-Pineda (1998), cuyos patrones en común incluyen la presencia de una venación agrófica, segundo orden eucamptódromo y tercer orden percurrente, pero tiene características que no se observan en las hojas de la Formación Olmos, como el ápice obtuso, un espaciado regular entre las venas secundarias, y areolación con ausencia de vénulas. Entre los géneros actuales, *Gouania* presenta relación con el tipo fósil descrito. En las especies *Gouania konzattii* Greenman (1907), *Gouania guiengolensis* Pool (2014), *Gouania polygama* (Jacq.) Urban (1910), *Gouania stipularis* Candolle (1825), *Gouania velutina* Rissek (1861), además de los caracteres correspondientes con forma laminar, margen, y órdenes de venación, también presentan una venación agrófica compuesta (Hernández-Peñaloza *et al.*, 2021). No obstante, debido a la combinación específica de caracteres descritos en el material fósil, así como la distribución en el espaciado de las venas de segundo orden a lo largo de la lámina en el tipo fósil, su afinidad con este género en específico quedó descartada. No obstante, debido a la similitud morfológica entre este género actual con los fósiles descritos, hemos propuesto el género *Gouianiaites* n. gen., además de una especie nueva para la Formación Olmos.

### 5.2 Distribución

Rhamnaceae actualmente se encuentra con una distribución en ambientes tropicales como templados, están representados por árboles y arbustos pequeños (Medan y Schirarend, 2004; Smith *et al.*, 2004). La mayor parte del registro referente a esta familia proviene del

Eoceno y depósitos menos antiguos en el hemisferio norte (Jud *et al.*, 2017). Su amplia distribución actual, así como el escaso registro fósil, ha dificultado elucidar la historia biogeográfica de Rhamnaceae. En México, los registros más antiguos de Rhamnaceae pertenecen a las formaciones Cerro del Pueblo (Cretácico), y Olmos (Calvillo-Canadell y Cevallos-Ferriz, 2007; este trabajo). Estas formaciones cretácicas son cercanas entre sí y comparten otros registros florísticos (Estrada-Ruiz *et al.*, 2013). En el país, el registro de dicha familia no se limita al Cretácico, existen otros fósiles que corresponden al Oligoceno en Puebla y a los depósitos de ámbar del Mioceno en la Formación Simojovel (*e.g.* Velasco de León *et al.*, 1998; Hernández-Hernández y Castañeda-Posadas, 2018).

En la Formación Olmos, se han documentado una gran cantidad de especímenes pertenecientes a ambientes actuales de bosque tropical, así como algunos elementos que actualmente se desarrollan en zonas templadas. Gran parte de los registros indican la presencia de fosilígenos endémicos (*e.g.* *Exnelumbites* Estrada-Ruiz, Upchurch Jr., y Wolfe (2011) [Nelumbonaceae], *Muzquizoxylon* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera, y Cevallos-Ferriz (2010) [Cornaceae], *Olmosoxylon* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera, y Cevallos-Ferriz (2010) [Lauraceae], *Wheeleroxylon* Estrada-Ruiz, Martínez-Cabrera, y Cevallos-Ferriz (2010) [Malvaceae]). En esta formación geológica también se han encontrado ejemplares compartidos con otras asociaciones Cretácicas del centro-sur de EUA, por ejemplo: *Salvinia*, *Sabalites*, Laurales con nervaduras palmeadas y lóbulos pinnados, Rhamnaceae, Nelumbonaceae, Fagaceae, *Metcalfeoxylon* Wheeler, McClammer y LaPasha (1995) y *Javelinoxylon* Wheeler, Lehman y Gasson (1994) (*e.g.* Wolfe y Upchurch, 1986; Upchurch *et al.*, 1994; Estrada-Ruiz *et al.*, 2012). La presencia de este registro fósil refuerza la presencia de Rhamnaceae en el norte de América desde el Cretácico Superior.

## 6. Conclusiones

Los fósiles descritos aquí nos ayudan a generar un mayor conocimiento acerca del paisaje del Cretácico en el norte de México, así como los componentes de su vegetación. Debido a la buena preservación de las hojas fosilizadas, se pudieron observar las características diagnósticas de la morfología externa de las hojas de Rhamnaceae. Actualmente, la historia biogeográfica de esta familia es enigmática, debido al escaso registro fósil y la amplia distribución con la que cuenta actualmente. No obstante, la mayor parte de las estructuras fósiles de Rhamnaceae hasta el momento pertenecen a localidades del norte de América. El registro de este nuevo fosilitaxón en la Formación Olmos reafirma la presencia de Rhamnaceae en el Cretácico del norte de México, y en depósitos cercanos del Mar Epicontinental.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los dos revisores anónimos. Esta investigación fue financiada por la Secretaría de Investigación y Posgrado – Instituto Politécnico Nacional (20220097) a E.E.R.

## Referencias





- Berchtold, B. F., & Presl, J. S. (1820). *Rosales*. O Prirozenosti Rostlin.
- Brongniart, A. T. (1843). *Magnoliopsida Brongn.* Énumération des Genres de Plantes 314 Cultivés au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, 25.
- Calvillo-Canadell, L., & Cevallos-Ferriz, S. R. (2007). Reproductive structures of Rhamnaceae from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Coahuila) and Coatzingo (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. *American Journal of Botany*, 94(10), 1658–1669. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.10.1658> PMID: 21636362
- Candolle, A. P. de. (1825). *Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis*. *Treuttel y Würtz*, 39(2), 1–7.
- Centeno-González, N. K., Porras-Múzquiz, H., & Estrada-Ruiz, E. (2019). A new fossil genus of angiosperm leaf from the Olmos Formation (upper Campanian), of northern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.01.016>
- Centeno-González, N. K., Martínez-Cabrera, H. I., Porras-Múzquiz, H., & Estrada-Ruiz, E. (2021). Late Campanian fossil of a legume fruit supports Mexico as a center of Fabaceae radiation. *Communications Biology*, 4, 41. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01533-9>
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., & Ricalde-Moreno, O. S. (1995). Palmeras fósiles del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 66, 37–106.
- Correa, E., Jaramillo, C., Manchester, S., & Gutierrez, M. (2010). A fruit and leaves of rhamnaceous affinities from the Late Cretaceous (Maastrichtian) of Colombia. *American Journal of Botany*, 97(1), 71–79. <http://www.jstor.org/stable/20622016>
- Ellis, B., Daly, C. D., Hickey, L. J., Johnson, K. R., Mitchell, J. D., Wilf, P., & Wing, S. L. (2009). *Manual of leaf architecture*. Cornell University Press.
- Estrada-Ruiz, E. (2009). *Reconstrucción de los ambientes de depósito y paleoclima de la región de Sabinas-Salttillo, Estado de Coahuila, con base en plantas fósiles del Cretácico Superior*. [Tesis doctoral no publicada]. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Estrada-Ruiz, E., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2007). Infructescences from the Cerro del Pueblo Formation (late Campanian), Coahuila and El Cien Formation (Oligocene-Miocene), Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Plant Sciences*, 168, 507–519. <https://doi.org/10.1086/511787>
- Estrada-Ruiz, E., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2009). *Palmoxylon enochii* sp. nov. de la Formación Olmos (Campaniano Superior-Maastrichtiano Inferior), Coahuila, México. *Ameghiniana*, 46, 577–585.
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H. I., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2007). Fossil wood from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.09.003>

- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H. I., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2010). Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (late Campanian-early Maastrichtian), Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany*, 97(7), 1179–1194. <https://doi.org/10.3732/ajb.0900234>
- Estrada-Ruiz, E., Centeno-González, N. K., Aguilar-Arellano, F., & Martínez-Cabrera, H. I. (2018). New record of the aquatic fern *Marsilea*, from the Olmos Formation (Upper Campanian), Coahuila, Mexico. *Internacional Journal of Plant Sciences*, 179, 487–496. <https://doi.org/10.1086/697729>
- Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H. I., Callejas-Moreno, J., Upchurch, Jr., & Garland, R. (2013). Floras tropicales cretácicas del norte de México y su relación con floras del centro-sur de América del Norte. *Polibotánica*, 36, 41–61.
- Estrada-Ruiz, E., Upchurch, Jr. G. R., Wheeler, E., & Mack, G. H. (2012). Late Cretaceous Angiosperm Woods from the Crevasse Canyon and McRae Formations, South-Central New Mexico, USA: Part 1. *International Journal of Plant Sciences*, 173(4), 412–428. <https://doi.org/10.1086/664714>
- Estrada-Ruiz, E., Upchurch Jr., G. R., Wolfe, J. A., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (2011). Comparative Morphology of Fossil and Extant Leaves of Nelumbonaceae, including a new genus from the Late Cretaceous of Western North. *Systematic Botany*, 36(2), 337–351, <https://doi.org/10.1600/036364411X569525>
- González-Partida, E., González-Betancourt, A. Y., Camprubí, A., Carrillo-Chávez, A., Iriondo, A., Enciso-Cárdenas, J. J., González Carrillo, F., & Vázquez Ramírez, J. T. (2022). Review of the times of coal accumulation in Mexico with special emphasis on the Sabinas basin, Mexico, where geochronological data are provided. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 39, 293–307. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2022.3.1704>
- Greenman, J. M. (1907). New or Noteworthy spermatophytes from Mexico, Central America and the West Indies. *Publications of the Field Columbian Museum, Botanical Series*, 2(6), 1903–1904.
- Hernández-Hernández, M. de J., & Castañeda-Posadas, C. (2018). *Gouania miocenica* sp. nov. (Rhamnaceae), a Miocene fossil from Chiapas, México and paleobiological involvement. *Journal of South American Earth Sciences*, 85, 1–5, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.04.018>
- Hernández-Peñaloza, K., Fernández-Nava, R., & Arreguín-Sánchez, M. L. (2021). Arquitectura foliar y anatomía epidérmica de las especies mexicanas del género *Gouania* (Rhamnaceae). *Polibotánica*, 52, 151–174. <https://doi.org/10.18387/polibotánica.52.11>
- Hickey, L. J. (1973). Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany*, 60, 17–33. <https://doi.org/10.2307/2441319>
- Hickey, L. J., & Wolfe, J. A. (1975). Bases of Angiosperm Phylogeny: Vegetative Morphology. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 62, 538–589. <https://doi.org/10.2307/2395267>
- Iglesias, A., Zamuner, A. B., Poire, D. G., & Larriestra, F. (2007). Diversity, taphonomy and palaeoecology of an angiosperm flora from the Cretaceous (Cenomanian–Coniacian) in southern Patagonia, Argentina. *Palaeontology*, 50(2), 445–466. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2007.00639.x>
- Jacquin, N. J. (1763). *Selectarum Stirpium Americanarum Historia*. Vindobonae, Ex Officina Krausiana.
- Jones, J. H., & Dilcher, D. L. (1980). Investigations of angiosperms from the Eocene of North America: *Rhamnus marginatus* (Rhamnaceae) reexamined. *American Journal of Botany*, 1980, 959–967.
- Jud, N. A., Gandolfo, M. A., Iglesias, A., & Wilf, P. (2017). Flowering after disaster: Early Danian buckthorn (Rhamnaceae) flowers and leaves from Patagonia: *PLoS ONE*, 12(5), Article e0176164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176164>
- Jussieu, A. L. (1789). *Rhamnaceae: Genera Plantarum*. Societatis medicae Parisiensis.
- Li, H. (1963). *Woody Flora of Taiwan*. Livingston Publishing Company.
- Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum: Holmiae. Impensis Laurentii Salvii*, 1, 1–560.
- Martínez-Hernández, E., Almeida-Leñero, L., Reyes-Salas, M., & Betancourt-Aguilar, Y. (1980). Estudio palinológico para la determinación de ambientes en la cuenca Fuentes-Río Escondido (Cretácico Superior), región de Piedras Negras, Coahuila. *Revista del Instituto de Geología*, 4, 167–185.
- Martius, C. F. P. (1861). *Flora Brasiliensis: Monachii & Lipsiae. F. Fleischer*, 11(1), 105.
- Medan, D., Schirarend, C. (2004). Rhamnaceae. en K., Kubitzki (ed.), *Flowering Plants Dicotyledons. The Families and Genera of Vascular Plants*, vol. 6. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-07257-8\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-662-07257-8_37)
- Morley, R. J. (2000). *Origin and evolution of tropical rainforests*. John Wiley and Sons.
- Pavlyutkin, B. I. (2015). A New Species of *Lonicera* (Caprifoliaceae) from the Miocene of Primorye Region (the Russian Far East): *Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation*, 4, 157–160. <https://doi.org/10.17581/bp.2015.04218>
- Pool, A. (2014). Taxonomic Revision of *Gouania* (Rhamnaceae) for North America 1. *Annals of Missouri Botanical Garden*, 99(3): 516–518. <https://doi.org/10.3417/2013016>
- Reissek, S. (1861). *Gouania velutina* Reissek. En C. F. P., Martius (ed.), *Flora Brasiliensis, Monachii and Lipsiae*. Fleischer, 11(1).
- Richards, P. W. (1996). *The tropical rain forest*. Cambridge University Press.
- Rodríguez-de la Rosa, R., & Cevallos-Ferriz, S. R. S. (1994). Upper Cretaceous Zingiberalean fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *International Journal of Plant Sciences*, 155, 786–805. <https://doi.org/10.1086/297218>
- Serlin, B., Delevoryas, T., & Weber, R. (1981). A new conifer pollen cone from the upper Cretaceous of Coahuila, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 31, 241–248. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(80\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0034-6667(80)90029-9)
- Smith, N., Mori, S. A., Henderson, A., Stevenson, D. W., & Heald, S. V. (2004). *Flowering Plants of the Neotropics*. The New York Botanical Garden, Princeton University Press.
- Takhtajan, A. L. (1966). *Rosidae Takht, Sistema i Filogeniia Tsvetkovykh Rastenii*. Leningrad, Nauka.
- Upchurch, G. R., Crane, P. R., & Drinnan, A. N. (1994). The megafloora from the Quantico locality (upper Albian), Lower Cretaceous Potomac Group of Virginia. *Virginia Museum of Natural History*, 4, 1–57.
- Urban, I. (1910). *Symbolae Antillanae seu Fundamenta Florae Indiae Occidentalis*. Lipsiae, Fratres Borntreager, 9, 1898–1928. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.144>
- Velasco de León, P., Cevallos-Ferriz, S. R. S., & Silva-Pineda, A. (1998). Leaves of *Karwinskia axamillense* sp. nov. (Rhamnaceae) from Oligocene sediments, near Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico. *Canadian Journal of Botany*, 76, 410–419. <https://doi.org/10.1139/b97-186>
- Wang, C. W. (1961). *The forests of China*. Harvard University Maria Moors Cabot Foundation for Botanical Research.
- Weber, R. (1972). La vegetación Maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 33, 5–19.
- Weber, R. (1973). *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana*, 10, 173–190.
- Weber, R. (1975) *Aachenia knoblochi* nov. sp. an interesting conifer of the upper Cretaceous Olmos Formation of Northeastern Mexico. *Palaeontographica Abteilung B*, 152, 76–83.

- Weber, R. (1976). *Dorfiella auriculata* f. gen. nov. sp. nov., un género nuevo de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México. *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología*, 3, 1-13.
- Weber, R. (1978). Some aspects of the Upper Cretaceous angiosperms, flora of Coahuila, Mexico. Courier Forschungs-Institut Senckenberg, 30, 38-46.
- Wheeler, E. A., & Lehman, T. M. (2009). New Late Cretaceous and Paleocene dicot woods of Big Bend National Park, Texas, and review of Cretaceous wood characteristics. *IAWA Journal*, 30, 293-318.
- Wheeler, E. A., Lehman, T. M., & Gasson, P. E. (1994). *Javelinoxylon*, an Upper Cretaceous Dicotyledonous Tree from Big Bend National Park, Texas, with Presumed Malvacean Affinities. *American Journal of Botany*, 81(6), 703-710, <https://doi.org/10.2307/2445648>
- Wheeler, E. A., McClamer, J., & LaPasha, C. A. (1995). Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene. San Juan Basin, New Mexico, U. S. A. *IAWA Journal*, 16, 223-254.
- Whitmore, T. C. (1998). *An introduction to tropical rain forests*. second edition. Oxford University Press, 296 pp.
- Wolfe, J. A. (1979). *Temperatures parameters of humid to mesic forests of eastern Asia and relation to forests of other regions of the northern hemisphere and Australasia*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 37 p.
- Wolfe, J., & Upchurch, G. (1986). Vegetation, climatic and floral changes at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*, 324, 148-152, <https://doi.org/10.1038/324148a0>
- Zastawniak, E. (1994). Upper Cretaceous leaf flora from the Blazyk Moraine (Zamek Formation), King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica. *Acta Palaeobotanica*, 34, 119-163.
- Zhou, Z., Wang, T., Huang, J., Liu, J., Deng, W., Li, S., Deng, C., & Su, T. (2019). Fossil leaves of *Berhamniphyllum* (Rhamnaceae) from Markam, Tibet and their biogeographic implications. *Science China Earth Sciences*, 63, 224-234, <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9477-8>

# Philosophical and Scientific Implications of Astrobiology and Palaeontology in the Light of Hypothesising the Existence of Intelligent Pre-human Civilisations on Earth: Empiricist, Rationalist, and Positivist Approaches

## *Implicaciones filosóficas y científicas de la astrobiología y la paleontología a la luz de las hipótesis sobre la existencia de civilizaciones pre-humanas inteligentes en la Tierra: enfoques empiristas, racionalistas y positivistas*

Sánchez-Beristain, Francisco<sup>1,\*</sup> ; Paredes-Arriaga, Alejandro<sup>2,\*</sup> ;  
Martínez-Velarde, María Fernanda<sup>3</sup> ; Badillo-Avilés, Shendel<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, 76230, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. <https://orcid.org/0000-0003-2734-9424>

<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, CDMX, México. <https://orcid.org/0000-0003-2993-0044>

<sup>3</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología, Tercer circuito S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, CDMX, México. <https://orcid.org/0000-0001-9022-9658>

<sup>4</sup>Doctorado en Investigación y Docencia, Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, Salazar Norte 26, Zitácuaro, 61506, Michoacán, México. <https://orcid.org/0000-0002-7301-2542>

\*FSB: [sanchez@ciencias.unam.mx](mailto:sanchez@ciencias.unam.mx); APA: [ale.paredes.arriaga@gmail.com](mailto:ale.paredes.arriaga@gmail.com)

### Abstract

In this paper, the scientific and philosophical implications of the theory that suggests the existence of an intelligent civilisation on Earth prior to mankind is discussed. All available scientific evidence which would constrain such theory is brought into discussion. Therefore, we first review the Drake Equation regarding this hypothesis. We summarily appraise the Shadow Biosphere within the scope of the theory. Subsequently, we thoroughly analyse important geochemical and sedimentological constraints of the proposal, mainly in the context of some *Fossilagerstätten*. This leads us to discuss the philosophical implications this theory may have for the fields of Astrobiology and Palaeontology, analysing them under empiricist, rationalist, and positivist approaches. We contextually examine the concepts of technological species, intelligence, and industrialisation, taking into account the scope of the theory. Furthermore, we debate on the validity of this hypothesis, considering all constraints it presents regarding the analysed concepts. Finally, we propose to appraise the hypothesis under an epistemological/positivist point of view.

**Keywords:** Philosophy of Astrobiology, Pre-Human civilisations, Silurian Hypothesis, Drake Equation, Shadow Biosphere, Technological Species.

**Cómo citar / How to cite:** Sánchez-Beristain, F., Paredes-Arriaga, A., Martínez-Velarde, M. F., Badillo-Avilés, S. (2023). Philosophical and Scientific Implications of Astrobiology and Palaeontology in the Light of Hypothesising the Existence of Intelligent Pre-human Civilisations on Earth: Empiricist, Rationalist, and Positivist Approaches. *Paleontología Mexicana*, 12(1), 43–52.

Manuscrito recibido: Enero 04, 2023.

Manuscrito corregido: Enero 23, 2023.

Manuscrito aceptado: Enero 25, 2023.



## Resumen

En este artículo se discuten las implicaciones científicas y filosóficas de la teoría que sugiere la existencia de una civilización inteligente en la Tierra anterior a la humanidad. Se considera toda la evidencia científica disponible que constriñe tal teoría. Por lo tanto, primero revisamos la Ecuación de Drake con respecto a esta hipótesis. Evaluamos sumariamente la Biósfera Sombra dentro del alcance de la teoría. Posteriormente, analizamos a fondo importantes limitaciones geoquímicas y sedimentológicas de la propuesta, principalmente en el contexto de algunos *Fossilagerstätten*. Esto nos lleva a discutir las implicaciones filosóficas que esta teoría puede tener para los campos de la Astrobiología y la Paleontología, para así analizarlas bajo enfoques empiristas, racionalistas y positivistas. Examinamos contextualmente los conceptos de especie tecnológica, inteligencia e industrialización, teniendo en cuenta el alcance de la teoría. Además, debatimos la validez de esta hipótesis y consideramos todas las limitaciones que presenta con respecto a los conceptos analizados. Finalmente, proponemos valorar la hipótesis bajo un punto de vista epistemológico/positivista.

### Palabras claves:

Filosofía de la astrobiología, civilizaciones pre-humanas, hipótesis silúrica, ecuación de Drake, biosfera Sombra, especies tecnológicas.

## 1. Statements and Declarations

Competing Interests: All funding sources have been acknowledged. All authors of this text certify there is no competing interest to declare.

## 2. Introduction

Astrobiology has been defined as “the study of the origins, evolution, distribution, and future of life in the universe” (NASA, 2021). This area is, by itself, interdisciplinary as it encompasses approaches from different fields, which include biology, chemistry, astronomy, geology, selenology, and so on. Some important approaches of Astrobiology are trying to discern what physical properties allow our Universe to support life, how life begins and evolves, and where else in our Universe life might have arisen (Plaxco and Gross, 2021). In this sense, astrobiological works also include subjects like the search for life/life-like signals and the study of prebiotic chemistry on Mars and other extra-terrestrial bodies in the solar system, in addition to the study of radio signals from the Universe.

According to Chon-Torres (2018), it is essential to address the scope of astrobiology well beyond classical scientific specialisations. A reason for this could be that astrobiology may hold the answer to a natural matter of curiosity within mankind, regarding our uniqueness in the Universe. Consequently, a further field for astrobiological studies is the research into the origin and evolution of life on our planet, including, of course, the possibility of the existence of intelligent life forms prior to humans, a topic which has awoken the interest of many sectors in the society. Not only astrobiologists have poured their efforts into answering this question: biologists, chemists, social scientists and recently philosophers (e.g. Scott, 1996; Jakosky, 2000; Fry, 2015; Sandalinas and Balaguer-Rosa, 2018) have also approached this issue. This could imply

that astrobiology could also be engaged under a philosophical perspective, rather than under a scientific mindset. In any case, it must be stated that both views can be equally dealt with, without leaving one or the other behind.

## 3. Civilisations Prior to Human

During the last decade, a popular trend within astrobiology has dealt with the prospect of an ancient “civilisation” that may have dwelled on Earth prior to mankind. Wright (2018) discussed the origins and potential locations for technological signatures of prior technological species “indigenous” to the Solar System. According to him, a possibility exists that these species might have arisen either on ancient Earth or on another body from our system. In case this body was Venus, the onset of its global greenhouse conditions may have erased all possible evidence from its surface. As for our planet, the author attributes the loss of possible evidence of technological species to plate tectonics and erosion, in case such species lived Gyr ago. He concluded that possible evidence could be eventually found on the Moon or Mars.

Schmidt and Frank (2018) recently concluded that the existence of an intelligent civilisation on Earth prior to humans could have been geochemically and statistically possible. These authors reviewed geochemical and sedimentological signals throughout the geological record prior to human existence and concluded that they generally exhibited similarities with man-originated signals. Their “Silurian Hypothesis” states that the existence of an “industrial civilisation” in Earth prior to humans could be both mathematically and geologically possible (Schmidt and Frank, 2018). These assumptions were based on the Drake Equation (Drake, 1961, 1965) and on comparisons with the fingerprint that mankind has caused during the Anthropocene.

Recently, Lingam and Loeb (2019), despite not dealing explicitly with pre-human civilisations, showed mathematically that terminal speeds approaching the speed of light might be achievable under idealised circumstances, provided advanced materials and manoeuvring techniques were available. This would imply extended possibilities of travelling massively through space.

Nevertheless, all these arguments can neither be sufficiently supported by the Drake Equation, by any astrophysical demonstration, nor even by any geochemical/sedimentological evidence, as both the Drake equation and the discussed geochemical, sedimentological and astrophysical traits present several approaches, not necessarily related to the Anthropocene. Furthermore, Schmidt and Frank (2018) state that they “strongly doubt that any previous civilisation existed before our own” (p. 148), whereas Lingam and Loeb (2020) assert that their own analysis “did not take numerous engineering constraints into account” (p. 14). Moreover, Carroll-Nellenback *et al.* (2019) emphasised the ambiguity of some geochemical signals in the geological record for being considered as possible evidence of a pre-human civilisation.

In the following pages, theories dealing with technological species prior to humans on Earth will be scientifically evaluated, based on the analysis of the Drake equation, on the revision of determined geochemical and sedimentological features in famous localities, and on important industrialisation-related concepts. In the end, we propose a philosophical approach in the light of the always-standing question regarding our uniqueness in the universe.

#### 4. The Drake Equation

The Drake Equation (Drake, 1961, 1965) intends to depict the probability for “intelligent” (*a.o.* active and communicative) extraterrestrial civilisations in our galaxy, to exist. The formula of this equation is the following:

$$N = R^* \cdot fP \cdot ne \cdot fl \cdot fi \cdot fc \cdot fL$$

where:

$N$  = number of civilisations in our galaxy with possibility of communication

$R^*$  = the average rate of star formation in the Milky Way

$fP$  = the fraction of such stars which have planets

$ne$  = the average number of planets which could potentially harbour life, per star which has planets

$fl$  = the fraction of planets which could harbour life that eventually develop life

$fi$  = the fraction of life-harboring planets which develop intelligent life

$fc$  = the fraction of civilisations which develop a technology that produces detectable signals of their existence into space

$fL$  = the time span for which such civilisations produce detectable signals into space.

Drake (1961, 1965) originally proposed the subsequent solution, assigning the following values:

$R^* = 10$ ;  $fP = 0.5$ ;  $ne = 2$ ;  $fl = 1$ ;  $fi = 0.01$ ;  $fc = 0.01$ ;  $fL = 10,000$ , therefore  $N = 10$  possible detectable civilisations.

Schmidt and Frank (2018) provided a thorough discussion of how this equation may help explain the high probability of appearance of multiple industrialised civilisations during the lifetime of a planet. They grounded their premise in the fact that many stars harbour planets, and that these planets may be found in the habitable zone of those stars. They further remarked on the existing debate concerning how many times intelligence has evolved “in terms of other” (not human) species, such as dolphins, chimpanzees, octopi, and crows. Furthermore, these authors referred the constraints to the equation reviewed by Frank and Sullivan (2016), who proposed a lower limit on the probability that one or even more “technological species” have evolved in the history of the observable Universe. The discussion on the Drake Equation has been thoroughly revised elsewhere (*e.g.* Maccone, 2010; Prantzos, 2013), and it becomes extensive due to how variables may change substantially, depending on the considerations and on the type of calculus used to solve it (Schwartz, 2016). However, several variables have been underestimated, such as the still-lacking technology for detecting rocky Earth-like exoplanets (Schneider, 2017), the shield-effect and volatile-provider function portrayed by Jupiter and Saturn (Grazier 2016), the long-time known Earth axis-stabilisation effect owed to the Moon (Laskar *et al.*, 1993), and the thermostat-effect played by plate tectonics on Earth (Ward and Brownlee, 2003). In any case, an important factor that should be of interest for assessing the Drake Equation is  $fL$ , which is the fraction of a planetary lifetime graced by a technical civilisation. In one of the last appraisals of the Drake Equation, Schmidt and Frank (2018) only mentioned its parameters, but they do not explore a calculated probability or argument about  $fL$ . For the age of the Earth  $\sim 4.5 \times 10^9$  years, and to our current knowledge, only one civilisation has developed industry. This has happened extensively only for the last few decades. Therefore, the probability of  $fL$  is less than  $1 \times 10^{-8}$  (Maccone, 2012). Substituting this value in the original Drake Equation, and with the remaining original values that Drake proposed, the value of possible detectable civilisations would be  $N = 1 \times 10^{-11}$ . This value is much lower than the one originally provided by Drake (1961, 1965), thus reducing the possibility of existence of any such non-human intelligent civilisation prior to humans on Earth. However, recent models (Prantzos, 2020) suggest that some modifications into the Drake equation may help to make the Fermi paradox easier to solve, while other authors (*e.g.* Gertz, 2021)



argue it is time to reformulate Drake. In any case, and following Ward and Brownlee (2003), conditions on our planet for harbouring life are extremely unlikely, which would support the estimation made by Maccone (2012).

### 5. The "Shadow Biosphere" and its philosophical implications

The debate around the possible parallel evolutionary history of the origin and further evolution from organisms other than the Last Universal Common Ancestor (LUCA) has been alive since the last two decades (Benner *et al.*, 2004; Cleland and Copley, 2006). The existence of such organisms is, however, conjectural until now, as there is no ascertainable evidence for them. Regarding the hypothetical microbial descendants of an alternative origin of life constituting the "shadow biosphere" (Cleland and Copley, 2006; Cleland, 2007), there cannot exist anything but speculations. Spatially constrained, sulphur-deprived and/or extreme fluctuating thermal settings (between hot and cold) could be potential environments for searching for such kinds of organisms (Benner *et al.*, 2004). However, Cleland (2007) stated that modern technologies could not detect such (microbes) "if they existed". In a more recent work, Davies *et al.* (2009) proposed the term "weird life," umbrellaing all possible members of this shadow biosphere, emphasizing that such elements may have not been discovered to date. As Davies *et al.* (2009) stressed, it would not be easy to identify " 'weird' terrestrial life for what it represents against the 'noisy' backdrop of familiar life". This further reinforces the necessary philosophical background of astrobiology since the main interests in finding signals of such a shadow biosphere might be, as for most astrobiological questions, philosophical as well as scientific in nature, ultimately aiming to answer the questions "what are we?" "where do we come from?" and "where do we go?" (e.g. Tamames, 2018). This is similar to the way in which Cleland and Chyba (2007) address the quest for a universal definition of "life," for they present their arguments in a logical way without postulating any of them as highly-plausible without evidence.

### 6. Scientific Constraints of Hypothesising a Pre-Human Civilisation on Earth

The incompleteness of the geological and the fossil record has been a known matter since long (e.g. Darwin, 1859; Twitchett, 2001; Lieberman, 2002; Benton, 2009), even in spite of the onset of Punctuated Equilibrium (Eldredge and Gould, 1972; Gould, 1972; Gould and Eldredge, 1977) as an alternative theory for explaining its shortcomings. In this regard, although some species can be over-represented, such as some dinosaurs, their fossil record may be disproportionately scarce (Marshall *et al.*, 2021). It has also been suggested that species

which experience high rates of extinction may not be represented in the fossil record at all (Benton *et al.*, 2011, 2013, Dirzo *et al.*, 2014; Plotnick *et al.*, 2016), which significantly adds to its incompleteness.

In one of the most recent publications on the plausibility of existence of a pre-human civilisation, Schmidt and Frank (2018) state that "for all the dinosaurs that ever lived, there are only a few thousand complete specimens" (p. 143). This agrees with the statement of Marshall *et al.* (2021). Furthermore, Schmidt and Frank (2018) assume that a species "as short-lived as *Homo sapiens* might not be represented in the fossil record, at all" (p. 145). These authors give an interesting approach about the inverse relationship between sustainability and the embedment of a geological signal for humanity, and concluded that the more sustainable a civilisation is, its geological/ecological footprint is lessened. This issue has been almost universally accepted (e.g. Moffatt, 2000; Athira and Subha, 2013; Piciu, 2013). However, this may lead to stating—without scientific evidence—that a sustainable civilisation could have developed on Earth without leaving any signal in the geological record (Schmidt and Frank, 2018) and therefore remaining undiscovered, which implies nothing but a sophism that may confuse readers. On the contrary, we propose that such theories should only be addressed under a philosophical approach, under a plain "what-if" perspective, and not stating them as verifiable or ascertainable facts.

In addition, Schmidt and Frank (2018) widely discuss how human activity has altered stable isotopy together with radioactive patterns and products in the planet, as well as the impact of production and deposition of plastics and synthetics on the footprint during the Anthropocene. However, they clearly do not state a scientific relation between their dissertation on these topics and the possibility of existence of an industrial civilisation prior to mankind. They compare, for example, the negative  $\delta^{13}\text{C}$  excursions during the onset and elapse of the Oceanic Anoxic Events (OAEs in the Jurassic–Cretaceous) and the Palaeocene-Eocene Thermal Maximum (PETM, in the Palaeocene-Eocene boundary) with phenomena occurring in the Anthropocene. They scientifically review the causes of these events in both geological prehistoric times and in the Anthropocene and draw attention to the incompleteness of the geological and the fossil record. According to them, this would be the cause for which a pre-Holocene civilisation, or its footprint, would not be fossilised. The authors, despite not being "convinced of the correctness of their proposed hypothesis" (p. 145), constantly expose arguments defending its plausibility—as it would be expected in any published manuscript, after all. Therefore, we stress on the importance of assessing this matter—just like the Shadow Biosphere—from a philosophical view.

The coevality of negative  $\delta^{13}\text{C}$  excursions and events such as the OAEs and the PETM has been widely documented in the literature, as the authors remark and

provide bibliography for (Galazzo *et al.*, 2014; Mutterlose *et al.*, 2014; Naafs *et al.*, 2016). In the case of the PETM, possible sources of the  $\delta^{13}\text{C}$  excursion would include volcanically-driven thermal combustion of organic-rich sediment, dissociation of seafloor methane hydrates and desiccation and oxidation of soil/sediment organics (Zachos *et al.*, 2007). For the isotopic excursions during OAEs, there is plenty of evidence to support many sources (*e.g.* Erbacher *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016); yet, none of “industrial” nature. Finally, Foster *et al.* (2018) disregarded the Silurian hypothesis, centering in several ascertainable causes for the study of hyperthermal events.

Certainly, the fact that a hypothetical future civilisation can find remnant materials from human activity on Earth such as processed metals, concrete, polymers, etc., is extremely interesting; however, it is still just an idea that undoubtedly gives rise to interesting discussions.

## **7. Philosophical Implications of the Quest for Pre-Human Civilisations on Earth**

We are almost sure we may never be able to find any evidence of a pre-human civilisation on Earth, given the incompleteness of the geologic/fossil record, and assuming completely sustainable practices for such civilisation(s). However, we think we should avoid falling into an extreme of Popperian falsification, which would be founded on a premise like “If we cannot rule out the possibility of existence of pre-human civilisations on Earth, therefore their existence remains probable.” This is an interesting exercise of thought and rhetoric, which should fall also in the terrain of logic and philosophy, not only of science. Authors like Haqq-Misra and Koppurapu (2012) conclude in a paper on the search of NTA (non-terrestrial artifacts) that the discovery of extraterrestrial technology “would certainly be one of the most significant findings in human history,” and that “it would give us some certainty that life—and intelligence—has developed elsewhere” (p. 11). This is precisely the way in which we suggest such topics related to a strobology should be addressed.

Fry (2015) emphasised on the Copernican and Darwinian points of view regarding the origin and evolution of life. According to her, the Copernican approach rejects the claim that our planet was uniquely chosen for life and considers the possible existence of biogenic conditions on other planets. This may be considered highly possible, taking into account the high number of “earth-like” exoplanets (Lineweaver and Chopra, 2012; McKay, 2014). In this regard, Covone *et al.* (2021) performed some models on the feasibility of photosynthesis on terrestrial exoplanets. However, they concluded that none of these could be comparable to Earth in terms of useful photon flux, which is needed to trigger an efficient photosynthesis. Therefore, the possibility of

existence of other life forms in the Universe other than the terrestrial ones, remains speculative until we find evidence for the contrary. We could endlessly write on the important and transcendental efforts that hundreds of scientists and philosophers have performed aiming at dissertating on the origin and evolution of life on Earth, and on the existence of life on other worlds. However, as Jakosky (2000) points out, there has been little discussion on why we, as a society, are so engaged in solving this matter. He further remarks that the desire to know and understand the distribution of life in the universe may be linked to our intrinsic nature of comprehending “the nature of the world around us” (Jakosky, 2000. p. 661) as well as the interactions between us and that world. This has obvious epistemological implications. We think knowledge itself should not be only defined under an empiricist view, as this approach makes no distinction between truth and falsehood (Biggam, 2001): we rather believe that it should be approached under a more integrative (*i.e.* empiricist-rationalist-positivist) point of view, when it comes to science. As Engels (2014) pointed out, the main task of natural sciences is to study all particularities, causes and effects of every phenomenon. Complementarily, Lenin (2010) stressed the importance of discarding all “metaphysical” (*i.e.*, unverifiable) concepts within natural sciences.

In any case, science is not synonymous with possessing the truth (Pérez-Villamar, 2015). Science should thus be rather related with the constant search for truth under a critical scope as we propose the search for intelligent life elsewhere or at other times should be.

## **8. Palaeontology and Astrobiology under Empiricist, Rationalist and Positivist Approaches**

We will discuss here some ways in which palaeontology and astrobiology, (*i.e.*, both sciences addressed in this paper), could be approached.

Major scientific theories have been posed based on strong evidence. Despite many of these theories being initially based on empiricism—at least for what we can discern—a major problem arises. In empiricist disciplines, such as palaeontology, it is difficult to assume a “natural order” or a “logic” for things. This has been a widely discussed problem since the 18th century, when incipient evolutionism entered the scene; for example, the debate between Cuvier and Lamarck on transformism vs catastrophism (Jenkins, 2016). Palaeontological evidence, assuming the absence of geological-stratigraphic alterations, means the existence of an ancient way of life at a particular time. It is almost universally accepted that, to this day, the presence of a dinosaur fossil places us in some point between the Mesozoic Era, concretely from approximately 230 to 66 my ago (De Almeida-Marsola and Cardoso-Langer, 2021); the presence of Mammaliaformes (mammals and mammal-like forms), from somewhere during the

Late Triassic to the present (Luo *et al.*, 2002); and that of the hominins (human-related hominids), from about 5-7 mya to date (Harcourt-Smith, 2010). To date, this evidence supports theories which cannot assert anything other than that the aforementioned taxa existed/exist from that moment on. However, this empiricist way of thinking—which we do not criticise—can lead us to a dangerous terrain, that of "what if...".

Now, approaching the problem from a perspective beyond empiricism (*i.e.* a Cartesian/rationalist perspective), it is often asserted that the most important leap in intelligence on our planet is correlated with the increase in cranial volume in hominids (Beran *et al.*, 1999) and with the concomitant appearance of tools, beginning with the Lomekwian industry (3.3 million years ago; Harmand *et al.*, 2015) and in constant transformation since then. Even though each of these events suppose irrefutable evidence in the development of the achievement of intelligence—under an empiricist approach—it is not until a rationalist perspective is addressed that these isolated facts take shape and are constituted as a theory. However, no older evidence has been found for intelligence on our planet than the Lomekwian tool industry. This does not mean that it does not exist—as Schmidt and Frank (2018) rightly say. In turn, assuming the existence of such pre-human intelligent life does not imply a clash between rationalism and empiricism.

But this mere assumption lacks scientific arguments; that is, its epistemological basis is neither empiricist nor rationalist, since such assumption is merely that: an assumption. It is not about the presence of a feather, which could be related to flight or thermal regulation, nor is it an amniotic egg, which implies independence from the aquatic environment. It is only an assumption that, when it reaches the public, it can be interpreted under a series of conjectures without foundation. Under this perspective, it is concluded that palaeontology can be considered a science with an empiricist-rationalist approach.

For its part, in the case of Astrobiology and the fields that it comprises, something similar can be proposed. One of the branches of Astrobiology is precisely responsible for studying the possibility of intelligent life on other planets, and even the possibility of intelligent life on our own planet before our existence (Wright, 2018). However, this view could be opposed for the following reasons.

Until now, there is not a single piece of evidence that supports in a reliable and irrefutable way that there has been intelligent life on our planet, prior to the hominin lineage. Thus, there is no room for an empiricist approach to this issue, nor is there room for any rationalist explanation which could relate some phenomena or artefacts—possibly attributable to one or several intelligent civilisations prior to humanity and native to Earth—with intelligence itself. Up to now, it has not been possible to unquestionably associate such phenomena with intelligence—such as the "WOW" sound (Paris,

2017)—nor can those mentioned by Schmidt and Frank (2018) be recognised as alleged evidence of pre-human intelligent life. Finally, a positivist explanation is the least plausible to explain this type of phenomenon, since this school is based on scientific evidence (Riley, 2007; Popa *et al.*, 2015) and, therefore, should not even give rise to this type of possibilities. Our claim is clearly not about a theory which is widely accepted by the scientific community as String Theory has been since 1974 (Scherk and Schwarz, 1974), which essentially proposes that space-time has many more dimensions than we can perceive. Obviously, this would be impossible to prove both empirically and rationalistically, as well as addressing a positivist point of view (*e.g.* Dawid, 2013). However, this theory has been, for many specialists, mathematically provable since its inception. Likewise, it has been fundamental within the fields of Theoretical Physics and, specifically, Quantum Gravity (Ziaepour, 2022). Instead, we argue that the Silurian hypothesis should perhaps be discussed under a transdisciplinary scope.

Back to String Theory, we must stress that it is not as controversial, as is Darwin's Theory of Evolution (Darwin, 1859), which is also demonstrable. The main argument of the critique against the Theory of Evolution, very similar to what happens with String Theory, is that it cannot be empirically provable and is even objectionable, arguing that it is not possible to verify how organisms have evolved (Johnson, 1991). However, in this sense, Lenski and Travisano (1995) reported the changes that occurred in 10,000 generations of bacteria after 1500 days of culture, which they named "experimental palaeontology," thus demonstrating in an empirical, rationalist and positivist manner that evolution is an unquestionable fact.

We only try to propose that any theory that is raised as scientific within a branch coming from the intersection between the physical-mathematical sciences with the chemical-biological sciences—such as astrobiology—should keep an empiricist, rationalist, or positivist perspective, since these are *de facto* the most followed approaches in this type of sciences. We do not aim to demerit any approach that arises within a science belonging to the aforementioned fields and that does not follow an empirical/rationalist/positivist perspective. Very interesting proposals can arise from these points of view. But, as long as there is no proof that scientifically supports these approaches, or at least while a methodology that could verify them is not proposed, they should not be classified as part of a scientific theory or hypothesis. They should simply be catalogued as ideas, or as mere approaches.

It is important to indicate that we do not intend to establish positivism as the only and absolute way to approach the study of natural sciences. Some time ago, Alam Anis (1978), as well as more recently Popa *et al.* (2015), have emphasised the criticism of positivism in this field of science. The main claims of these

authors are that, under an "extreme" positivist perspective, experience is subjugated by the "hard" practice of science, leaving no room for other approaches.

Instead, we maintain that positivism should be impregnated with, and oriented towards, a tendency to take knowledge and contributions from different currents of science itself, as occurs in transdisciplinarity, which is the essence of the study of complex systems (Popa *et al.*, 2015). Perhaps this could be a way to address the main question of this text.

Finally, as Kerr and Gelfert (2014) state, when the "extendedness" of science is applied to scientific evidence, the premises proposed within it acquire greater relevance and credibility.

## **9. Technological Species, Intelligence and Industrialisation**

In this section, we address three important concepts within astrobiology: technological species, intelligence, and industrialisation.

First, the "technological species" concept will be discussed. According to Stern (2016), the concept "technological species" refers to an interbreeding group of organisms depending on technology for its success. Creatures on exoplanets capable of communicating with humans must thus be technological species, in case they exist.

To date, no scientific proof of communication with humans from any other civilisation other than humans has been recorded. Recently, in order to elucidate the origin of the famous "Wow!" signal from 1977—which has been for a long time falsely considered to be a "proof" of possible alien life by many sectors of the society, a more scientific explanation was presented. Paris (2017) recently concluded that the source for such signal was a comet: the 266P/Christensen, since its spectra matched the frequency of the signal at 1420 MHz.

Another term that will be discussed is "intelligence." It can be interpreted from different perspectives in biological sciences. Intelligence has evolved relying on factors such as brain evolution, genetics and behaviour (Marino and Colvin, 2015; Marino and Merskin, 2019). On the other hand, from a social perspective, it has been defined as the "...capability to forecast change in time to do something about it" (Breakspear, 2013). This capability involves foresight and insight and is intended to identify imminent change, which may be positive or negative, thus representing opportunity or threat. Neither biological nor social approaches have been explicitly addressed by any technological-species theorist (*e.g.* Schmidt and Frank, 2018); and, according to both biological and social perspectives and to all available evidence, this phenomenon has only developed on Earth.

We would like to pinpoint a final remark regarding the definition of "industrialisation". According to some authors (Mahmood *et al.*, 2020, Franck and Galor, 2021),

industrialisation implies the transition from an agriculture-based society to an industry-based one. In other words, a society that bases its economy on the transformation of raw materials into adequate products using inanimate sources of energy for satisfying the necessities of its members (*e.g.* Nightingale, 1978; Biernacki, 2001; O'Brien, 2001; Belvedere *et al.*, 2013; Liao *et al.*, 2018). An evident consequence of industrialisation is the production of waste, which inevitably goes to the environment (Izvercian and Ivascu, 2015), and is related to human (*i.e.*, "intelligent") activity (Moraru *et al.*, 2010).

Schmidt and Frank (2018) implied, for example, that some (nuclear?) "catastrophes" may have caused the fallout of hypothetical non-human synthetically produced materials. However, they do not provide evidence for such catastrophes. Natural "fission reactors" can occur naturally (Gauthier-Lafaye *et al.*, 1996; Hidaka, 2007) and certain conditions in such settings may be similar to those found in modern pressurised water reactors (Gauthier-Lafaye *et al.*, 1996). However, there is no scientific evidence for any catastrophes attributable to these natural "nuclear reactors." To our knowledge, being industrialised is a requisite for such catastrophes to happen, and ours is the only civilisation who has been capable of industrialisation. To date, there is no scientific evidence of any sort of industrial civilisation on Earth before humans, therefore we further emphasise in giving the necessary philosophical implications to one of the main questions in astrobiology.

## **10. Conclusion**

Raising the possibility that an industrial civilisation prior to humans has dwelled on Earth might lead to unconstrained speculation and to fall into the terrains of science fiction (Schmidt and Frank, 2018; Wright, 2018). This has already happened, even in scientific resources. Hippke (2020) even suggested that such events "might have happened a long time ago" (p. 1). As expected, this conjecture has also permeated non-scientific media (*e.g.* Ancient Astronaut Archive, 2018; Whitwam, 2018). For this reason, we stress the importance of stating the philosophical implications of certain topics in astrobiology, particularly those regarding if there was an "intelligent civilisation" thriving on Earth prior to mankind, by addressing them under a rather positivist approach.

Concerning the Drake Equation, the problem seems to be that the discussion by Schmidt and Frank is not strictly focused on the implications it has for the probability of a planet to develop "intelligent" (industry-capable) life. They name many concepts in this regard, and yet their conclusion seems to be unfocused, thus generating confusion and leading to misinterpretation all along their manuscript. In fact, the Drake Equation is not but a proposal which aims to solve an important matter on our loneliness in space, as well as a possible way to address the Fermi paradox.

Papers like those from Wright (2018) and from Schmidt and Frank (2018) certainly represent an interesting exercise of thought, which opens debate on how to formulate hypotheses on this topic. However, by not giving proper emphasis upon any particular matter, or by not clearly establishing that their hypothesis is just an assumption, evident problems take place. Controversial misinterpretations may arise, and hence information on the topic is generally misconceived. This is the risk of formulating hypotheses lacking enough scientific basis, as well as of using language as an instrument of persuasion. This usually leads to postulating unclear ideas. All this can drive any member of the society (either belonging or not to the scientific community) to believe in theories without a robust and clear scientific background.

We thus reinforce our proposal of sharing certain questions and matters within the field of astrobiology to the scope of philosophy, particularly under a positivist point of view; that is, formulating theories only with ascertainable evidence. This would contribute to answering the question of Persson (2013): “Is there a place for philosophy in modern astrobiology?” (p. 29).

Of course, there is.

## Acknowledgements

The authors of this text would like to thank Prof. Ján Veizer (Ottawa), Prof. Francisco J. Vega-Vera and Prof. Alicia Negrón-Mendoza (both Mexico City) for valuable conversations. M. Sc. Sergio González-Mora (Mexico City) is highly acknowledged for providing scientific literature.

We thank the two anonymous reviewers of this manuscript for their valuable comments and suggestions that allowed us to substantially improve it, as well as Dr. Josep Moreno-Bedmar (Mexico City) for directing the editing process.

Finally, we would like to express our gratitude to DGAPA-UNAM (Project PAPIIT IN-118420, headed by FSB) for its valuable financial support.

## References

- Ancient Astronaut Archive. (2018). *Silurian Hypothesis* (Video). YouTube. Available on <http://www.youtube.com/watch?v=qALtewod0oM>, retrieved on January 2, 2023.
- Anis Alam, M. (1978). Critique of Positivism in the Natural Sciences. *Social Scientist*, 6(9), 67–78. <https://doi.org/10.2307/3520095>
- Athira, R., & Subha, V. (2013). Ecological Footprint Analysis: An Overview. *American Journal of Engineering Research*, 1, 12–19.
- Belvedere, V., Grando, A., & Bielli, P. (2013). A quantitative investigation of the role of information and communication technologies in the implementation of a product-service system. *International Journal of Production Research*, 51(2), 410–426. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.648278>
- Benner, S. A., Ricardo, A., & Carrigan, M. A. (2004). Is there a common chemical model for life in the universe? *Current Opinion in Chemical Biology*, 8, 672–689. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2004.10.003>
- Benton, M. (2009). The completeness of the fossil record. *Significance*, 6(3), 117–121. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2009.00374.x>
- Benton, M. J., Dunhill, A. M., Lloyd, G. T., & Marx, F. G. (2011). Assessing the quality of the fossil record: insights from vertebrates. *Geological Society of London, Special Publications*, 358(1), 63–94. <https://doi.org/10.1144/SP358.6>
- Benton, M. J., Ruta, M., Dunhill, A. M., & Sakamoto, M. (2013). The first half of tetrapod evolution, sampling proxies, and fossil record quality. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 372, 18–41. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.09.005>
- Beran, M. J., Gibson, K. R., & Rumbaugh, D. M. (1999). Predicting hominid intelligence from brain size. In M. C. Corballis & S. E. G. Lea (Eds.), *The Descent of Mind: Psychological perspectives on hominid evolution* (pp. 88–97). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780192632593.003.0005>
- Biernacki, R. (2001). Industrialization. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 7356–7360). Pergamon Press. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01897-0>
- Biggam, J. (2001). Defining Knowledge: an Epistemological foundation for Knowledge Management [Conference]. In *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1–7. DOI: 10.1109/HICSS.2001.927102
- Breakspear, A. (2013). A new definition of intelligence. *Intelligence and National Security*, 28(5), 678–693. <https://doi.org/10.1080/02684527.2012.699285>
- Carroll-Nellenback, J., Frank, A., Wright, J., & Scharf, C. (2019). The Fermi Paradox and the Aurora Effect: Exo-civilization Settlement, Expansion and Steady States. *The Astronomical Journal*, 158(3). Article 158:117. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab31a3>
- Chon-Torres, O. A. (2018). Disciplinary nature of astrobiology and astrobioethic’s epistemic foundations. *International Journal of Astrobiology*, 20(3), 186–193. <https://doi.org/10.1017/S147355041800023X>
- Cleland, C. E. (2007). Epistemological issues in the study of microbial life: alternative terran biospheres? *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 38(4), 847–861. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2007.09.007>
- Cleland, C. E., & Chyba, C. F. (2007). Does ‘life’ have a definition? In W. Sullivan & J. Baross (Eds.), *Planets and life: The emerging science of astrobiology* (119–131). Cambridge University Press.
- Cleland, C. E., & Copley, S. D. (2006). The possibility of alternative microbial life on Earth. *International Journal of Astrobiology*, 4(3–4), 165–173. <https://doi.org/10.1017/S147355040500279X>
- Covone, G., Ienco, R. M., Cacciapuoti, L., & Inno, L. (2021). Efficiency of the oxygenic photosynthesis on Earth-like planets in the habitable zone. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 505(3), 3329–3335. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1357>
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. John Murray.
- Davies, P. C. W., Benner, S. A., Cleland, C. E., Lineweaver, C. H., McKay, C. P., & Wolfe-Simon, F. (2009). Signatures of a Shadow Biosphere. *Astrobiology*, 9(2), 241–249. <https://doi.org/10.1089/ast.2008.0251>
- Dawid, R. (2013). *String Theory and the Scientific Method*. Cambridge University Press.
- De Almeida-Marsola, J. C., & Cardoso-Langler, M. (2021). Dinosaur Origins. In S. Elias & D. Alderton (Eds.), *Encyclopedia of Geology* (2nd edition, pp. 186–193). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11846-9>

- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>
- Drake, F. D. (1961). Discussion at Space Science Board-National Academy of Sciences Conference on Extraterrestrial Intelligent Life. *Green Bank, West Virginia, USA*.
- Drake, F. D. (1965). The radio search for intelligent extraterrestrial life. In G. Mamikunian & M. H. Briggs (Eds.), *Aspects of Exobiology* (pp. 323–345). Pergamon Press.
- Eldredge, N., & Gould, S. J. (1972). Punctuated Equilibria: An alternative to Phyletic Gradualism. In T. Schopf (Ed.), *Models in Paleobiology* (pp. 82–115). Freeman Cooper and Co.
- Engels, F. (2014). *Anti-Dühring. La Revolución de la Ciencia por el señor Eugen Dühring*. Fundación Federico Engels.
- Erbacher, J., Friedrich, O., Wilson, P. A., Birch, H., & Mutterlose, J. (2005). Stable organic carbon isotope stratigraphy across Oceanic Anoxic Event 2 of Demerara Rise, western tropical Atlantic. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6(6), Article Q06010. <https://doi.org/10.1029/2004GC000850>
- Foster, G. L., Hull, P., Lunt, D. J., & Zachos, J. C. (2018). Placing our current ‘hyperthermal’ in the context of rapid climate change in our geological past. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 376(2130), Article 20170086. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0086>
- Franck, R., & Galor, O. (2021). Flowers of evil? Industrialization and long run development. *Journal of Monetary Economics*, 117, 108–128. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2019.12.001>
- Frank, A., & Sullivan, W. T. III. (2016). A new empirical constraint on the prevalence of technological species in the Universe. *Astrobiology*, 16(5), 359–362. <https://doi.org/10.1089/ast.2015.1418>
- Fry, I. (2015). The philosophy of astrobiology: The Copernican and Darwinian philosophical presuppositions. In S. J. Dick (Ed.), *The impact of discovering life beyond Earth* (pp. 23–37). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316272480.004>
- Galazzo, F. B., Thomas, E., Pagani, M., Warren, C., Luciani, V., & Giusberti, L. (2014). The middle Eocene climatic optimum (MECO): A multiproxy record of paleoceanographic changes in the southeast Atlantic (ODP Site 1263, Walvis Ridge). *Paleoceanography*, 29(12), 1143–1161. <https://doi.org/10.1002/2014PA002670>
- Gauthier-Lafaye, F., Holliger, P., & Blanc, P. L. (1996). Natural fission reactors in the Franceville basin, Gabon: a review of the conditions and results of a “critical event” in a geologic system. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 60(23), 4831–4852. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(96\)00245-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(96)00245-1)
- Gertz, J. (2021). The Drake Equation at 60: Reconsidered and Abandoned. *Journal of the British Interplanetary Society* (accepted). Retrieved from: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2105/2105.03984.pdf> Accessed January 25, 2023.
- Gould, S. J. (1972). Allometric fallacies and the evolution of Gryphaea: A new interpretation based on White’s Criterion of Geometric Similarity. In T. Dobzhansky, M. K. Hecht, & W. C. Steere (Eds.), *Evolutionary Biology* (pp. 91–119). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-9063-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-9063-3_4)
- Gould, S. J., & Eldredge, N. (1977). Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution reconsidered: *Paleobiology*, 3(2), 115–151. <https://doi.org/10.1017/S0094837300005224>
- Grazier, K. R. (2016). Jupiter: Cosmic Jekyll and Hyde. *Astrobiology*, 16(1), 23–38. <https://doi.org/10.1089/ast.2015.1321>
- Haqq-Misra, J., & Kopparapu, R. K. (2012). On the likelihood of non-terrestrial artifacts in the Solar System. *Acta Astronautica*, 72, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.10.010>
- Harcourt-Smith, W. H. E. (2010). The First Hominins and the Origins of Bipedalism. *Evolution, Education and Outreach*, 3, 333–340. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0257-6>
- Harmand, S., Lewis, J. E., Feibel, C. S., Lepre, C. J., Prat, S., Lenoble, A., Boës, X., Quinn, R. L., Brenet, M., Arroyo, A., Taylor, N., Clément, S., Daver, G., Brugal, J. P., Leakey, L., Mortlock, R. A., Wright, J. D., Lokorodi S., Kirwa, C., Kent, D. V., & Roche, H. (2015). 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. *Nature*, 521, 310–315. <https://doi.org/10.1038/nature14464>
- Hidaka, J. (2007). Geochemical characteristics of an Ancient Nuclear Reactor “Oklo”. *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, 8(2), 99–103. <https://doi.org/10.14494/jnrs2000.8.99>
- Hippke, M. (2020). Interstellar Communication Network. I. Overview and Assumptions. *The Astronomical Journal*, 159(3). <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab5dca>
- Izvercian, M., & Ivascu, L. (2015). Waste management in the context of sustainable development: Case study in Romania. *Procedia Economics and Finance*, 26, 717–721. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00825-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00825-4)
- Jakosky, B. M. (2000). Philosophical Aspects of Astrobiology. In G. Lemarchand & K. Meech (Eds.), *Bioastronomy ’99: A New Era in Bioastronomy* (Vol. 213, pp. 661–666). ASP Conference Series.
- Jenkins, B. (2016). Neptunism and Transformism: Robert Jameson and other Evolutionary Theorists in Early Nineteenth-Century Scotland. *Journal of the History of Biology*, 49, 527–557. <https://doi.org/10.1007/s10739-015-9425-4>
- Johnson, P. E. (1991). *Darwin on Trial*. Regnery Gateway Publishing Company.
- Kerr, E., & Gelfert, A. (2014). The “Extendedness” of Scientific Evidence. *Philosophical Issues*, 24(1), 253–281. <https://doi.org/10.1111/phis.12033>
- Laskar, J., Joutel, F., & Robutel, P. (1993). Stabilization of the Earth’s obliquity by the Moon. *Nature*, 361, 615–617. <https://doi.org/10.1038/361615a0>
- Lenin, V. I. (2010). *Collected Works*. Progress Publishers.
- Lenski, R. E., & Travisano, M. (1995). Dynamics of Adaptation and Diversification: A 10,000 Generation Experiment with Bacterial Populations. In W. M. Fitch & F. J. Ayala (Eds.), *Tempo and Mode in Evolution: Genetics and Paleontology 50 Years after Simpson* (pp. 253–273) National Academy Press.
- Li, X., Wei, Y., Li, Y., & Zhang, C. (2016). Carbon isotope records of the early Albian oceanic anoxic event (OAE) 1b from eastern Tethys (southern Tibet, China). *Cretaceous Research*, 62, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.08.015>
- Liao, Y., Rocha Loures, E., Deschamps, F., Brezinski, G., & Venâncio, A. (2018). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, 28, Article e20180061, <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20180061>
- Lieberman, B. S. (2002). Phylogenetic biogeography with and without the fossil record: gauging the effects of extinction and paleontological incompleteness. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178(1-2), 39–52. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00367-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00367-4)
- Lineweaver, C. H., & Chopra, A. (2012). The habitability of our Earth and other Earths: Astrophysical, geochemical, geophysical, and biological limits on Planet habitability. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40, 597–623. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-042711-105531>
- Lingam, M., & Loeb, A. (2019). Relative Likelihood of Success in the Search for Primitive versus Intelligent Extraterrestrial Life. *Astrobiology*, 19(1), 28–39. <https://doi.org/10.1089/ast.2018.1936>
- Lingam, M., & Loeb, A. (2020). Propulsion of Spacecraft to Relativistic Speeds Using Natural Astrophysical Sources. *The Astrophysical Journal*, 894(36). DOI: 10.3847/1538-4357/ab7dc7
- Luo, Z. X., Kielan-Jaworowska, Z., & Cifelli, R. L. (2002). In quest for a phylogeny of Mesozoic mammals. *Acta Palaeontologica Polonica*, 47(1), 1–78.
- Maccone, C. (2010). The Statistical Drake Equation. *Acta Astronautica*, 67(11-12), 1366–1383. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2010.05.003>
- Maccone, C. (2012). *Mathematical SETI Statistics, Signal Processing, Space Missions*. Springer.

- Mahmood, H., Alkhateeb, T. T. Y., & Furqan, M. (2020). Industrialization, urbanization and CO<sub>2</sub> emissions in Saudi Arabia: Asymmetry analysis. *Energy Reports*, 6, 1153–1560. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.06.004>
- Marino, L., & Colvin, C. M. (2015). Thinking Pigs: A Comparative Review of Cognition, Emotion, and Personality in *Sus domesticus*. *International Journal of Comparative Psychology*, 28, 1–23. <https://doi.org/10.46867/ijcp.2015.28.00.04>
- Marino, L., & Merskin, D. (2019). Intelligence, complexity, and individuality in sheep. *Animal Sentience*, 25(1), 1–26. <https://doi.org/10.51291/2377-7478.1374>
- Marshall, C. R., Latorre, D. V., Wilson, C. J., Frank, T. M., Magoulick, K. M., Zimmt, J. B., & Poust, A. W. (2021). Absolute abundance and preservation rate of *Tyrannosaurus rex*. *Science*, 372(6539), 284–287. DOI: 10.1126/science.abc8300
- McKay, C. P. (2014). Requirements and limits for life in the context of exoplanets. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(35), 12628–12633. <https://doi.org/10.1073/pnas.1304212111>
- Moffatt, I. (2000). Ecological footprints and sustainable development. *Ecological Economics*, 32, 359–362. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00154-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00154-8)
- Moraru, R., Babut, G., & Cioca, L. I. (2010). Addressing the human error assessment and management. *Archives of Mining Sciences*, 55(4), 873–878.
- Mutterlose, J., Bottini, C., Schouten, S., & Sinninghe-Damsté, J. S. (2014). High sea-surface temperatures during the early Aptian Oceanic Anoxic Event 1a in the Boreal Realm. *Geology*, 42(5), 439–442. <https://doi.org/10.1130/G35394.1>
- Naafs, B. D. A., Castro, J. M., De Gea, G. A., Quijano, M. L., Schmidt, D. N., & Pancost, R. D. (2016). Gradual and sustained carbon dioxide release during Aptian Oceanic Anoxic Event 1a. *Nature Geoscience*, 9(2), 135–139. <https://doi.org/10.1038/ngeo2627>
- National Aeronautics and Space Administration. (2022). NASA (Website). Available on: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov), retrieved on December 20, 2022.
- Nightingale, J. (1978). On the definition of ‘Industry’ and ‘Market’. *The Journal of Industrial Economics*, 27(1), 31–40. <https://doi.org/10.2307/2098116>
- O’Brien, P. K. (2001). Industrialization, Typologies and History of. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 7360–7367). Pergamon Press. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/02704-2>
- Paris, A. (2017). Hydrogen Line observations of cometary spectra at 1420 MHz. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 103(2). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03259>
- Pérez-Villamar, J. (2015). El Positivismo y la Investigación Científica. *Revista Empresarial ICEE-FEE-UCSG*, (3), 29–34.
- Persson, E. (2013). Philosophical Aspects of Astrobiology. In D. Dunér, J. Parthemore, E. Persson & G. Holmberg (Eds.), *The History and Philosophy of Astrobiology. Perspectives on Extraterrestrial Life and the Human Mind* (pp. 29–48). Cambridge Scholars Publishing.
- Piciu, G. C. (2013). Ecological footprint from the sustainability perspective. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 13(3), 297–306.
- Plaxco, K. W., & Gross M. (2021). *Astrobiology: An Introduction*. Johns Hopkins University Press.
- Plotnick, R. E., Smith, F. A., Lyons, S. K. (2016). The fossil record of the sixth extinction. *Ecology Letters*, 19(5). <https://doi.org/10.1111/ele.12589>
- Popa, F., Guillermin, M., & Dedeurwaerdere, T. (2015). A pragmatist approach to transdisciplinarity in sustainability research: From complex systems theory to reflexive science. *Futures*, 65, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.02.002>
- Prantzos, N. (2013). A joint analysis of the Drake equation and the Fermi paradox. *International Journal of Astrobiology*, 12(3): 246–253. <https://doi.org/10.1017/S1473550413000037>
- Prantzos, N. (2020). A probabilistic analysis of the Fermi paradox in terms of the Drake formula: the role of the L factor. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493(3), 3464–3472. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa512>
- Riley, D. (2007). The Paradox of Positivism. *Social Science History*, 31(1), 115–126. <https://doi.org/10.1215/01455532-2006-017>
- Sandalinas, J. & Balaguer-Rosa, R. (2018). Astrobiology in the tradition, past and modern perspectives [Interactive presentation]. *47th IAA Symposium in the Search for Extraterrestrial Life (SETI), The Next Steps (IP); and 69th International Astronautical Congress, Bremen, Germany, 1-5 October 2018*, 1–11.
- Scherk, J., & Schwarz, J. H. (1974). Dual models for non-hadrons. *Nuclear Physics B*, 81(1), 118–144. [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(74\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0550-3213(74)90010-8)
- Schmidt, G. A., & Frank, A. (2018). The Silurian hypothesis: would it be possible to detect an industrial civilisation in the geological record? *International Journal of Astrobiology*, 18(2), 142–150. <https://doi.org/10.1017/S1473550418000095>
- Schneider, J. (2017). Future Exoplanet Research: Science Questions and How to Address Them. In H. J. Deeg & J. A. Belmonte (Eds.), *Handbook of Exoplanets* (pp. 1–23). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55333-7\\_163](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55333-7_163)
- Schwartz, A. (2016). Reworking Drake [Editorial]. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 47, 121. <https://doi.org/10.1007/s11084-016-9513-2>
- Scott, E. C. (1996). Creationism, ideology, and science. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 775(1), 505–522. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1996.tb23167.x>
- Stern, R. J. (2016). Is Plate Tectonics needed to Evolve Technological Species on Exoplanets? *Geoscience Frontiers*, 7(4), 573–580. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.12.002>
- Tamames, R. (2018). ¿De dónde venimos, qué somos, adónde vamos? Un ensayo sobre el sentido de la vida en el universo antrópico. *Naturaleza y Libertad*, 10, 311–345.
- Twitchett, R. J. (2001). Incompleteness of the Permian-Triassic fossil record: a consequence of productivity decline? *Geological Journal*, 36(3–4), 341–353. <https://doi.org/10.1002/gj.883>
- Ward, P. D., & Brownlee, D. (2003). *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*. Copernicus Books.
- Whitwam, R. (2018). Silurian Hypothesis What if humans aren't the First Civilisation on Earth? *ExtremeTech*. Available on: <http://www.extremetech.com/extreme/267855-silurian-hypothesis-what-if-humans-arent-the-first-civilisation-on-earth>, Retrieved: August 27, 2022.
- Wright, J. T. (2018). Prior indigenous technological species. *International Journal of Astrobiology*, 17(1), 96–100. <https://doi.org/10.1017/S1473550417000143>
- Zachos, J. C., Bohaty, S. M., John, C. M., McCarren, H., Kelly, D. C., & Nielsen, T. (2007). The Palaeocene–Eocene carbon isotope excursion: constraints from individual shell planktonic foraminifer records. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 365(1856), 1829–1842. <https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2045>
- Zhang, X., Chen, K., Hu, D., & Sha, J. (2016). Mid-Cretaceous carbon cycle perturbations and Oceanic Anoxic Events recorded in southern Tibet. *Scientific Reports*, 6, Article 39643. <https://doi.org/10.1038/srep39643>
- Ziaepour, H. (2022). Comparing Quantum Gravity Models: String Theory, Loop Quantum Gravity and Entanglement Gravity versus SU(∞)-QGR. *Symmetry*, 14(1), 58. <https://doi.org/10.3390/sym14010058>