

PALEONTOLOGÍA MEXICANA

Número especial 6(1): Experiences and perspectives for the conservation of the paleontological heritage in Mexico.



A) *Zoqueichthys carolinae* (Teleostei, Acanthomorpha, Aipichthyoididae), Cenomaniano de la cantera El Chango, Chiapas, México. **B)** *Ptetrigonia plicatocostata* (Nyst y Galeotti), Cretácico Inferior de San Juan Raya, Puebla, Mexico. **C)** *Pecten (Lyropecten) estrellanus* Conrad, Mioceno-Plioceno (Cenozoico) de Isla de Cedros, Baja California. Escala gráfica: 1 cm.

Número 9 Volumen 1

Universidad Nacional Autónoma de México





PALEONTOLOGÍA MEXICANA

ISSN 2007-5189

Segunda Época (2012-actualidad)

Entidad de edición: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México

EDITOR EN JEFE — EDITOR-IN-CHIEF

Josep Anton Moreno Bedmar
Instituto de Geología, México

COMITÉ EDITORIAL — EDITORIAL ADVISORY BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDICIÓN TÉCNICA Y PÁGINA WEB — TECHNICAL EDITION AND WEBSITE

Coordinadora de edición técnica: Sandra Ramos Amézquita

Corrección de estilo: José Roberto Ovando Figueroa

Formación y diseño: León Felipe Álvarez Sánchez y Esmeralda Morales Domínguez

ÍNDICE DE NÚMERO ESPECIAL– *SPECIAL NUMBER INDEX*

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
1	The Paleontological Collection of the Facultad de Ingeniería of the Universidad Nacional Autónoma de México Buitrón Sánchez, Blanca Estela; Cuadros Mendoza, Iván Manuel; Campos Madrigal, Emiliano; Suárez Noyola, María Elena
11	Geosites of paleontological importance in the Central region of Chiapas, Mexico: a first step to geoconservation in Chiapas Avendaño Gil, Manuel Javier; López, Sergio; Carbot-Chanona, Gerardo; Morales Iglesias, Horacio

ÍNDICE DE NÚMERO – *NUMBER INDEX*

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
1	El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica Cuen-Romero, Francisco Javier; Reyes-Montoya, Dulce Raquel; Noriega-Ruiz, Héctor Arturo
17	Iconofósiles en una sucesión fluvio-lacustre en la Sierra Madre Occidental, Durango, México Eguiluz y de Antuñano, Samuel; Hernández Ocaña, María Isabel
31	<i>Euagnostus interstrictus</i> (White, 1874) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliuano) del cerro El Sahuaral, Sonora central, México Cuen-Romero Francisco, Javier, Noriega-Ruiz, Héctor A., Buitrón-Sánchez, Blanca E.
41	La Sociedad Mexicana de Paleontología: Una Retrospectiva Pertinente Chacón-Baca, Elizabetha; Velasco-de León, María Patricia; Castañeda-Posadas, Carlos; Cuen-Romero, Francisco J.; Lozano-Carmona, Diego E.
53	The affinities between the Lower Cretaceous Ammonoidea <i>Ammonites crassicosatus</i> d'Orbigny, 1841 and <i>Ammonites gargasensis</i> d'Orbigny, 1841 Frau, Camille; Pictet, Antoine; Caïssa, Mathieu

DATOS DEL PRESENTE NÚMERO – *DATA OF THIS NUMBER*

Título: [Paleontología Mexicana](#)

ISSN (revista impresa): 0185-478X

(revista electrónica): 2007-5189

Tipo de publicación: [Periódica](#)

Periodicidad: [Semestral](#)

Número de publicación: [Volumen 9 Número 1](#)

Fecha de publicación: [Junio de 2020 \(finales\)](#)

Año de inicio de la publicación: 1954

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

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

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

Tiraje: No aplica

Tipo de impresión: No aplica

Gramaje: No aplica

Tipo de papel: No aplica

AGRADECIMIENTOS – *ACKNOWLEDGEMENTS*

Paleontología Mexicana agradece el trabajo editorial realizado en el volumen 9(1) por la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y el M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez.

DECLARATORIAS – STATEMENTS

Declaratoria de Acceso Abierto

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



Creative Commons License CC-BY-NC-ND

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

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

Avisos:

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

Sobre derechos de autor (copyright) y de publicación

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



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

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

Open Access Statement

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



Creative Commons License CC-BY-NC-ND

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

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

Under the following terms:

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

Notices:

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

Concerning copyright and publishing rights

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



DORA: San Francisco Declaration on Research Assessment.

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

PREFACE

Experiences and perspectives for the conservation of the paleontological heritage in Mexico

Aguilar Arellano, Felisa J.^{a,*}; Corona-M., Eduardo^b

^a Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Coahuila & Presidencia del Consejo de Paleontología, Moneda 16, Col. Centro, Ciudad de México, 06060, México.

^b Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Morelos & Vocal Consejo de Paleontología, Matamoros 14, Col. Acapantzingo, Cuernavaca, 62440, Morelos, México.

* felisa_aguilar@inah.gob.mx

In Mexico, paleontological heritage is defined as all those fossils that can be conserved, registered, investigated, and disclosed for society's benefit due to their qualitative and quantitative characteristics and attributes. Indeed, the first and critical step is the study of fossils to recognize these attributes.

However, the nature of the fossil record is fragmentary and incomplete. Only on some occasions we obtain complete specimens or parts of populations or communities for their study, providing evidence and hypotheses about organic evolution on our planet (Benton and Harper, 2009 and references therein). Currently, the intense rhythm of anthropic activity is altering or disappearing present and past habitats even before the specialist reach the site to do his work (Aguilar Arellano and Polaco Ramos, 2006; Corona-M., 2019).

In Mexico, the fossil record has both wide chronologies and a great paleobiodiversity represented. Their study is carried out by different groups of researchers attached to the educational and research institutions distributed throughout the national territory. The scientific production of these researchers allows us to overview the biological and geological evolution of the past and current territories.

These research experiences produced diverse strategies and proposals to conserve and protect paleontological assets. Some of them are previous to the existence of a legal framework from the 1990s to onwards and some later on (Aguilar and Porras Múzquiz, 2009; Aguilar Arellano, 2012).

Therefore, the fossil record acquires various meanings ranging from the scientific one where specimens are recognized as organisms; or those that represent multiple uses such as petroleum and limestones which are remnants of old forests and marine sediments transformed and commercialized. Other fossils have educational and social

meanings and even in some of them the level of social appropriation can derive in biocultural attributes, since they were recognized as part of the human past and incorporate these findings in the local culture. Then, the legal protection of fossil specimens has become more complex (Sanz, 2009; Bedolla and Corona-M., 2020).

In 2017, INAH (Spanish acronym of the *Instituto Nacional de Antropología e Historia*) as a Federal Government institution with legal attributes to preserve the fossil specimens and localities in Mexico, reactivate the Council of Paleontology to attend this situation. One of the aims approved by the Council is to produce articles for academic journals as the results of research, discussion, experiences exchange, and proposals to generate the regulations that allow the investigation, protection, conservation, and outreach of the paleontological heritage in Mexico (Aguilar Arellano, 2019).

The invited editors would like to thank Dr. Josep Anton Moreno Bedmar, editor-in-chief of "*Paleontología Mexicana*" to present this special issue named "Experiences and perspectives for the conservation of the paleontological heritage in Mexico". In this first part, we have the contribution related to the origin and development of the well-known paleontological collection at the *Facultad de Ingeniería, UNAM*. Another article presents the experience of the "*Museo de Paleontología Eliseo Palacios Aguilera*" to produce an inventory of the named geosites of paleontological in the Central region of Chiapas and the role of society for its conservation.

The INAH's Council of Paleontology recognizes the importance of specialists' exchange of knowledge and experiences since they produce strategies to protect and conserve sites and fossils. Also, add the efforts and interaction with the various social, cultural, and political actors related to this heritage. These dialogues will allow

generating experiences to understand the current regulatory and legal framework and to clarify the doubts produced by its application. The main expected results are a keen public consciousness and establish strong collaboration networks to preserve the country's paleontological heritage.

References

- Aguilar, F.J., Porras-Múzquiz, H., 2009, Los fósiles del Museo de Múzquiz A.C. y su resguardo patrimonial por el Instituto Nacional de Antropología e Historia: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61(2), 147–153.
- Aguilar Arellano, F.J., 2012, ¿Cómo proteger yacimientos paleontológicos?, la experiencia del INAH en Coahuila en México: Suplemento Cultural el Tlacuache, 2012(529), 1–2.
- Aguilar Arellano, F.J., 2019, Reactivación del Consejo de Paleontología, *in* Sánchez Nava, P.F. (coord.), La arqueología mexicana, a principios del siglo XXI: estudios de caso: México, Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Publicación electrónica (ISBN: 978-607-539-272-1), s/p.
- Aguilar Arellano, F.J., Polaco Ramos, O.J., 2006, El patrimonio paleontológico del norte de México: una propuesta para su protección, *in* Memorias del 2^{do}. Encuentro Regional para el Estudio del Patrimonio Cultural, Monterrey, Nuevo León: Nuevo León, CONARTE & Gobierno del Estado de Nuevo León, 88–91.
- Bedolla, A.G., Corona-M., E., 2020, Local museums and paleontology in México: some challenges and perspectives, *in* 2nd Palaeontological Virtual Congress, Book of Abstracts: España, Universitat de València, 72.
- Benton, M.J., Harper, D.A.T., 2009, Introduction to Paleobiology and the Fossil Record: Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 656 pp.
- Corona-M., E., 2019, Diversas facetas de las relaciones entre los humanos y los animales: algunos registros en las Américas: Etnobiología, 17(2), 5–10.
- Sanz, J.L., 2009, Fósiles, cultura e historia de la vida, *in* El alcance del darwinismo. A los 150 años de “El origen de las especies”: Madrid, Colegio Libre de Eméritos, 36–86.



The Paleontological Collection of the Facultad de Ingeniería of the Universidad Nacional Autónoma de México

Buitrón Sánchez, Blanca Estela^{a,*}; Cuadros Mendoza, Iván Manuel^b;
Campos Madrigal, Emiliano^a; Suárez Noyola, María Elena^a

^aInstituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, 04510, CDMX, Mexico.

^bDivisión de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, 04510, CDMX, Mexico.

* blancab@unam.mx

Abstract

The Paleontological Collection of the Facultad de Ingeniería of the Universidad Nacional Autónoma de México has 6,347 fossil samples of plants, protists, invertebrates, and vertebrates. Additionally, there are 348 recent samples with the aim to make comparisons between the living world and the geological past. The main purpose of this collection is to support the courses of General Paleontology, Stratigraphy, Paleontology, Micropaleontology, Stratigraphy, and Historical Geology for the Geological Engineer major. The collection is organized by phyla and each sample has a card with systematic, stratigraphic and geographic information. The invertebrate fossils are the most abundant and come from different regions of Mexico such as Baja California, Sonora, Chihuahua, Tamaulipas, Veracruz, Coahuila, Durango, Sinaloa, San Luis Potosí, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Hidalgo, Guerrero, and Chiapas. It also has material from Canada, the United States of America, Cuba, England, France, Germany, Italy, Belgium, Sweden, Switzerland, India, Russia, and Australia.

Keywords: Collection, Engineering, Mexico, Paleontology, UNAM.

Resumen

La Colección Paleontológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con 6,347 ejemplares fósiles de plantas, protistas, invertebrados y vertebrados, además de 348 ejemplares recientes con la finalidad de hacer comparaciones entre el mundo viviente y el del pasado geológico. Esta colección tiene como finalidad principal apoyar con material didáctico a las cátedras de Paleontología General, Paleontología Estratigráfica, Micropaleontología, Estratigrafía y Geología Histórica en la carrera de Ingeniero Geólogo. La colección está organizada por phyla y cada ejemplar tiene una tarjeta con la información sistemática, estratigráfica y geográfica. Los fósiles de invertebrados son los más abundantes y proceden de diferentes regiones de México entre éstas Baja California, Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Coahuila, Durango, Sinaloa, San Luis Potosí, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Hidalgo Guerrero y Chiapas. También se cuenta con material procedente de Canadá, Estados Unidos de América, Cuba, Suecia, Inglaterra, Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Suiza, India, Rusia y Australia.

Palabras clave: Colección, Ingeniería, México, Paleontología, UNAM.

1. Historical background

The Real Seminario de Minería was created on January 1, 1792 with being the first technical professional school in America. The Real Seminario de Minería had the assignment of providing formal training in mining engineering to improve the exploitation and production of metals in New Spain. The degrees issued in this school were Proficient in Beneficiary of Metals and Facultative Proficient in Mines (Morelos, 2014; Escamilla and Pineda, 2019). The first establishment of the Real Seminario de Minería was a house rented to the Order of the Discalced Augustinians of the Philippine Islands located in the 19 Hospicio de San Nicolás street, currently 90 República de Guatemala street in the historical center of Mexico City (Otto, 1980; Escamilla, 2013; Escamilla and Pineda, 2019). However, the lack of space and the need to have its own place led to the construction of a new precinct. On March 22, 1797, under the direction of the Valencian sculptor and architect Manuel Tolsá, the construction of the Palacio de Minería on the building lot of *Nilpantongo* begins in what is now 5 Tacuba street in the historical center of Mexico City. Although the works in the Palacio de Minería concluded on April 3, 1813, the Real Seminario de Minería moved to this new building until 1811 (Escamilla and Pineda, 2019).

The first professor of mineralogy in Mexico was the naturalist Andrés Manuel del Río who did an important teaching job in the assignments of Chemistry, Geognosy, and Mine Arts for 51 years (1795-1846). Andrés Manuel del Río is recognized for his work *Elements of Oricognosia* (whose full title is *Elements of Oricognosia or the knowledge of fossils, arranged according to the principles of A.G. Werner, for the use of the Royal Mexican Mining Seminar*) published in 1795 and 1805. *Elements of Oricognosia* became the first treatise of this discipline elaborated in America (Carrera, 1956a; Aguilera, 1986). This work emphasized the importance of theory and practice to have a better knowledge of local minerals as well as the extensive use of mining deposits.

In 1821, when the Mexican independence was recognized with the signing of the Treaty of Córdoba, the Real Seminario de Minería changed its name to Colegio de Minería (Escamilla and Pineda, 2019). Both institutions had collections of rocks, minerals, and fossils, collected by Fausto Elhuyar, Alexander von Humboldt, Andrés Manuel del Río, and Antonio del Castillo, as well as their students. The existing samples formed the collections of the Cabinets of Mineralogy, Geology, and Paleontology to support student practices and promote scientific research. In 1846, the engineer Antonio del Castillo, co-founder and first director of the Geological Institute of Mexico, continued teaching mineralogy and proposed its division into a course of mechanics applied to machinery (later called

industrial mechanics) and another course of mineralogy and geology. This course aimed to improve mining exploitation and subsequently, paleontology was included for the determination of geological age through fossils (Morelos, 2014; Morelos and Moncada, 2015). The samples existence and conservation of the Cabinet of the Colegio de Minas is uncertain due to the changes in the historical development of the current Escuela de Ingeniería, which has received different names: Real Seminario de Minería (1792), Colegio de Minería (1821), Establecimiento de Ciencias Físicas y Matemáticas (1883), Instituto de Ciencias Naturales (1861), Escuela Imperial de Minas (1863), Escuela Politécnica (1864), Escuela Especial de Ingenieros (1867), and Escuela Nacional de Ingenieros (1883-1910). On November 28, 1881, during the Porfirio Díaz government, the Engineering and Agriculture schools changed their dependency from the Ministry of Justice and Public Instruction to the Ministry of Development in order to have close control of the country natural resources. This change favored the Escuela Especial de Ingenieros with the acquisition of bibliographic and instrumental material for meteorology, topography, astronomy, building materials, chemistry, physics, and mechanics, among others in the Palacio de Minería (Bazant, 1984; Lara and Saldaña, 2000).

To enrich the mineralogy, geology, and paleontology collections of the Department of Mineralogy of the Palacio de Minería, Antonio del Castillo, then director, commissioned engineer Ricardo García Granados to buy fossils and minerals from different parts of the world. In 1881, 150 fossil specimens were purchased from the German mineralogist Dr. Adam August Krantz in Germany (Figure 1). In that year, 314 fossils were bought from the French mineralogist Félix Pisani in Paris, France. In 1895, José Guadalupe Aguilera, a Mexican geologist, student of Antonio del Castillo and the first Mexican paleontologist, published the first issue of the Bulletin of the Geological Institute entitled *Fossil Fauna of the Sierra de Catorce, San Luis Potosí* (Carrera, 1956a, b; Rubinovich et al., 1991).

In 1935, the Geological Engineer major at the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) was created and its classes were taught at the Palacio de Minería. In 1952, the Central Campus of the UNAM was inaugurated in Mexico City and in 1956, the engineering of Mines and Metallurgist, Petroleum and Geologist were added to the campus. In 1959, when the Ph.D. degrees were instituted, the Escuela Nacional de Ingeniería became the Facultad de Ingeniería (Figure 2) (Escamilla and Pineda, 2019). Over several decades, paleontology was taught at the Facultad de Ingeniería of the UNAM by prestigious academics including doctors Felipe Guerra Peña, Baldomero Carrasco Velázquez, Abelardo Cantú Chapa, Sergio Cavazos, Gloria Alencáster Ybarra and Ismael Ferrusquía Villafranca, who enriched the fossil collection. In 1971, the engineer Mariano Ruiz

Vázquez, chief of Department of Geology of the Facultad de Ingeniería, promoted, through Dr. Blanca Estela Buitrón Sánchez, professor of the chair of Paleontology, transfer and review of the fossils material deposited in the Palacio de Minería to enrich the paleontological heritage of the school. At present, the collection has 6,347 fossil specimens, from which approximately 80% correspond to invertebrates.

2. The importance of scientific collections

Scientific collections have great historical and didactic value (Negrete, 2011). Bautista (2018), in his echinoderms work, emphasizes in a sentence what the director of the Instituto Mexicano de Recursos Renovables, Dr. Enrique Beltrán, said about the importance of scientific collections in

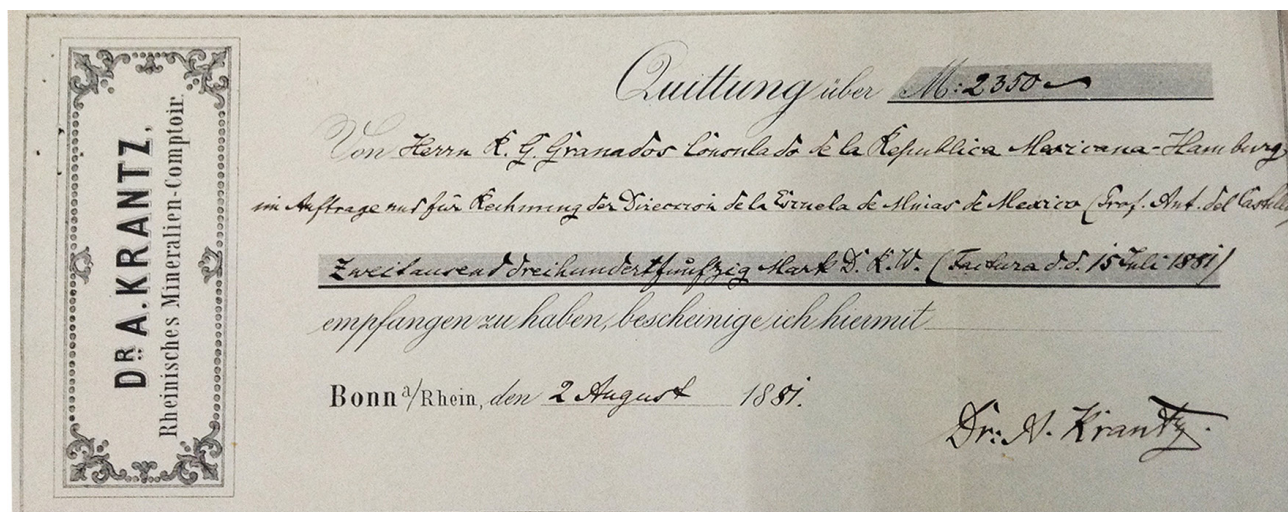


Figure 1. Purchase receipt to Dr. A. Krantz dated on July 15, 1881 (Historical Archive of the Palace of Mines).



Figure 2. Facultad de Ingeniería north set, Central Campus, UNAM (taken from Gaceta UNAM, 2019).

1983, "...are valuable elements in the educational process: teaching-learning, in addition to providing knowledge about the zoological and botanical collections of the past and present of the Earth that contribute to the stimulus of research."

The national territory has outcrops of sedimentary rocks in 75% of its surface. In several locations, fossils of all age groups ranging from Precambrian to Recent are found. Therefore, it is important to protect the paleontological heritage of Mexico, because many times the fossils are collected, for lucrative purposes, by nationals and foreigners, who do not know the scientific value they possess, in addition to being national heritage and invaluable sources for the planet knowledge that we inhabit (Bautista, 2018).

Due to its history in the Palacio de Minería, the Paleontological Collection of the Facultad de Ingeniería is one of the oldest in Mexico. The collection is registered with the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO, for its initials in Spanish) contributing to the paleontological heritage inventory of the country. This registration in CONABIO allows spreading and sharing the information about the collection.

3. Current organization of the collection

The Paleontological Collection of the Facultad de Ingeniería is located in the Paleontology and Sedimentology laboratory, in the Central Campus of the UNAM. This laboratory also safeguards trace fossils, sedimentary structures and bibliographic material for teachers and students consultation (Figure 3). Currently, the collection consists of 6,347 fossil specimens among plants, invertebrates and vertebrates; and of 348 recent samples with the purpose that students can compare morphological features of the current samples with those of the geological past. In this way, the collection serves as support material for the courses of General Paleontology, Stratigraphic Paleontology, and

Historical Geology in the Geological Engineer major at UNAM. The phyla represented in the collection correspond to Porifera, Cnidaria, Annelida, Bryozoa, Brachiopoda, Mollusca, Arthropoda, Echinodermata, Hemichordata and Chordata, in addition to microfossils and fossil plants. Each fossil has a key and a card for its control and registration. The card contains systematic information, location, geological formation, age and collector (Figure 4). Thus, Geological Engineering students can know the location and relative age of the fossil.

Among the Mexican fossils that constitute the collection, there are structures made by Precambrian cyanobacteria from Caborca, Sonora. For the Paleozoic there are trilobites and graptolites of the Tremadocian from Ixtaltepec, Oaxaca; or Pennsylvanian-Permian crinoids of Sonora, Oaxaca, Puebla, and Guerrero. There are also plants of the Late Paleozoic of Matzitz hill, Puebla. The Mesozoic collection is represented by Triassic ammonites from Sonora, and the Jurassic of Coahuila, San Luis Potosí and Puebla and from the Cretaceous of Baja California, Coahuila, Durango, Puebla and Chiapas. There is a colonial coral (scleractinian) from the Antimonio Formation, northwestern Sonora, of the Triassic of Sonora. Among the cephalopods, there is material from previous belemnites of the Triassic of Sonora and the Cretaceous of Puebla. The bivalve collection is represented by samples of rudists from the Cretaceous of Durango, Tampico, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Estado de México, Morelos, Puebla, Guerrero, and Chiapas. Fossils of the Lower Cretaceous, between gastropods, corals and bivalves, represent the region of San Lucas-Huetamo, Michoacán. There are some specimens of mollusks, corals, echinoderms, and ichnofossils from San Juan Raya, Puebla. There is also a collection of gastropods from the Upper Cretaceous of Ocuilapa de la Cruz, Chiapas. There are also fruits with seeds of Nueva Rosita, Coahuila and Mesozoic brachiopods of Real de Catorce in San Luis Potosí. The Paleogene-Neogene collection includes numerous species of bivalves, gastropods, and echinoid-clypeasteroids from Baja California, Tamaulipas and Veracruz. Macro-foraminifers



Figure 3. Part of the collection in the Paleontology and Sedimentology laboratory of the Facultad de Ingeniería, UNAM.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA COLECCIÓN PALEONTOLÓGICA
Clave <u>FI-Mb116</u>	
Phylum Mollusca	
Especie <u>Trigonia plicatocostata Nyst y Galeotti</u>	
Localidad <u>San Juan Raya, Puebla</u>	
Formación <u>San Juan Raya</u>	
Edad <u>Aptiano</u>	

Figure 4. Card with the data of trigonid sample from San Juan Raya, Puebla.

of the Oligocene from Tamaulipas and Veracruz are also present. There are also mammals fossilized bones found in various locations from the Estado de México. See some examples of different fossil groups and ages in Figures 5 to 8.

The collection also has fossils from other parts of the world such as Canada, the United States of America, Cuba, England, France, Germany, Italy, Belgium, Sweden, Switzerland, Spain, India, Russia, and Australia. Most of

these fossils were part of the Palacio de Minería collection. Likewise, the laboratory has received donations from the professors and students of the Facultad de Ingeniería.

4. Purpose

As mentioned, the collection is important as support for the education of geological engineers and especially in the

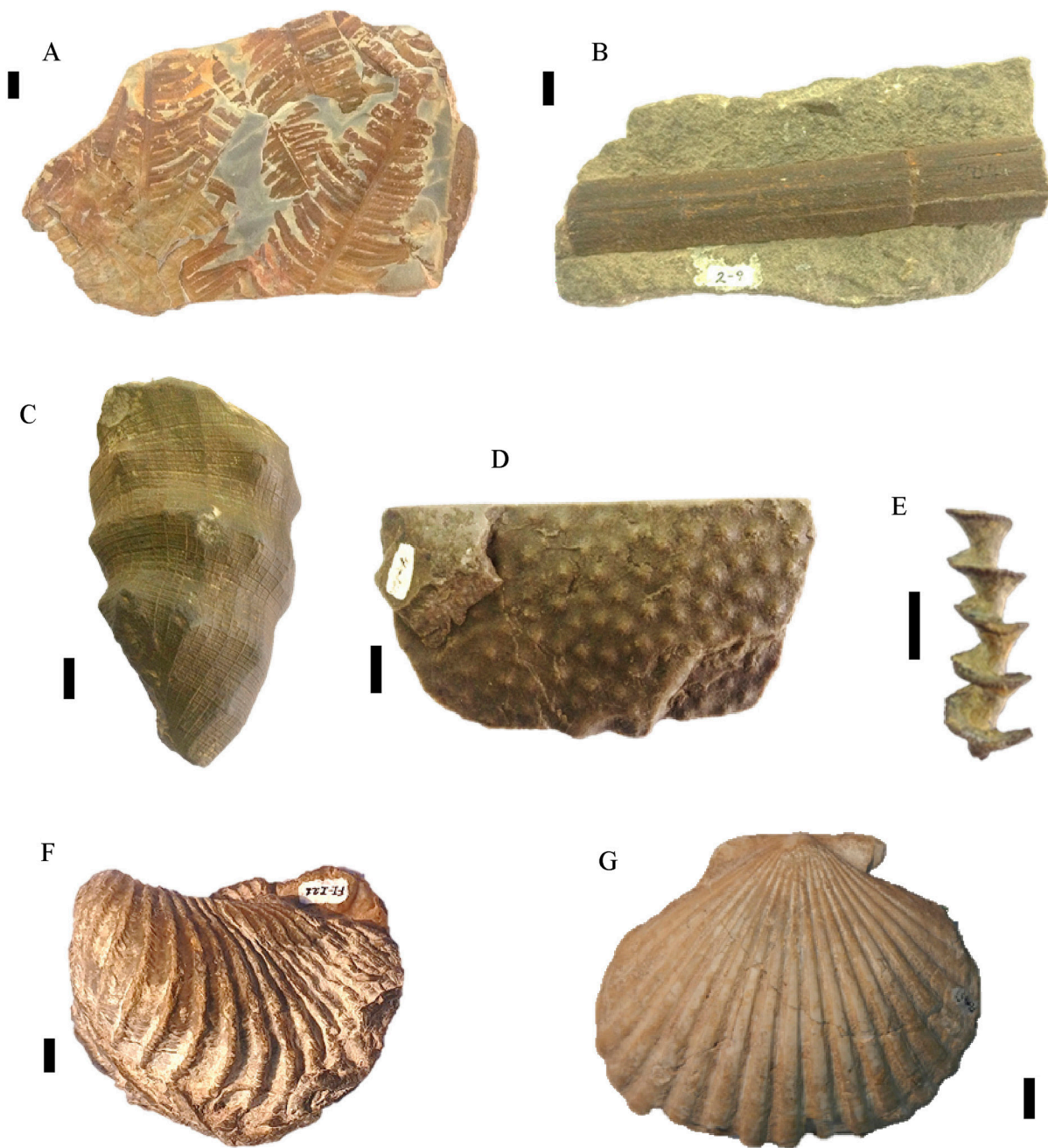


Figure 5. (A) Cycadophyta, fossil plants, Jurassic from Otongo, Hidalgo, Mexico. (B) *Calamites* sp., Pennsylvanian from Tehuacán, Mexico. (C) *Hydnoceras* sp. (Porifera), Devonian from USA. (D) Top view of *Stromatopora* sp., Devonian from Germany. (E) *Archimedes* sp. (Bryozoo), Mississippian from USA. (F) *Pterigonia plicatocostata* (Nyst and Galeotti), Lower Cretaceous from San Juan Raya, Puebla, Mexico. (G) *Pecten* (*Lyropecten*) *estrellanus* Conrad from Isla de Cedros, Baja California, Miocene-Pliocene (Cenozoic). Black bar: 1 cm.

laboratory practices of General Paleontology. During this course, twelve practices are carried out covering the topics of fossilization processes, micropaleontology, paleobotany, invertebrates, and vertebrates. The laboratory practices are complemented with fossil molds, recent samples and

some books (Buitrón *et al.*, 2018); (Figura 9). Fossils from the laboratory have also been used in theses to obtain the degree of geological engineer and social service students have participated in the fossils organization (Negrete, 2011; Bautista, 2018).

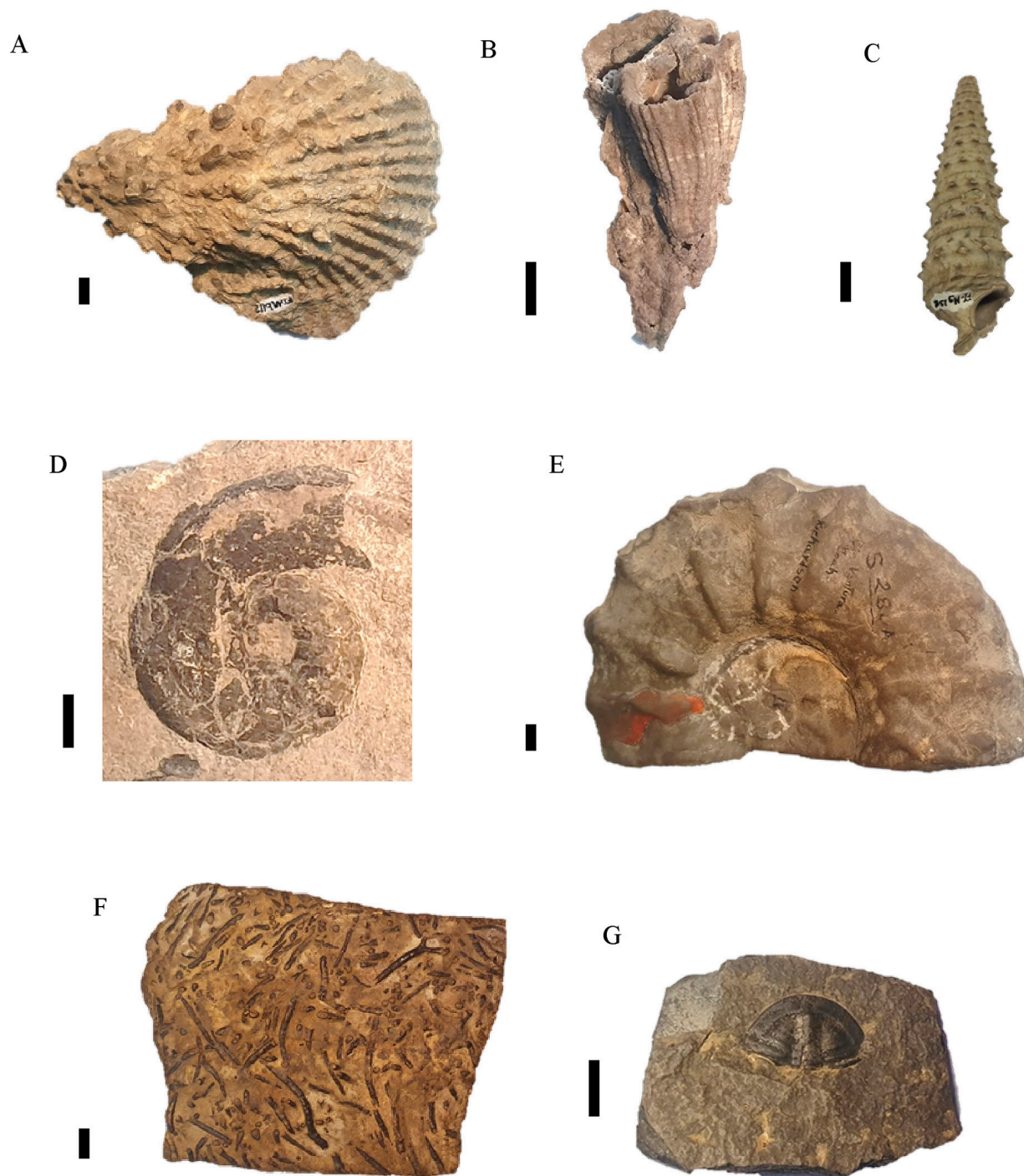


Figure 6. (A) *Ostrea semiarmata* Bose, Cretaceous from Tampico, Tamaulipas, Mexico. (B) Silicified *Hippurites* sp., Cretaceous from Cuautla, Morelos, Mexico. (C) *Cerithium serratum* Lamarck, Cenozoic from Marne, France. (D) *Haploceras* sp., Jurassic from Coahuila, Mexico. (E) *Buchiceras* sp., Upper Cretaceous from Coahuila, Mexico. (F) Trace fossils of *Vermes*, Lower Cretaceous from San Juan Raya, Puebla, Mexico. (G) *Dalmanites* sp., Silurian from Germany. Black bar: 1 cm.

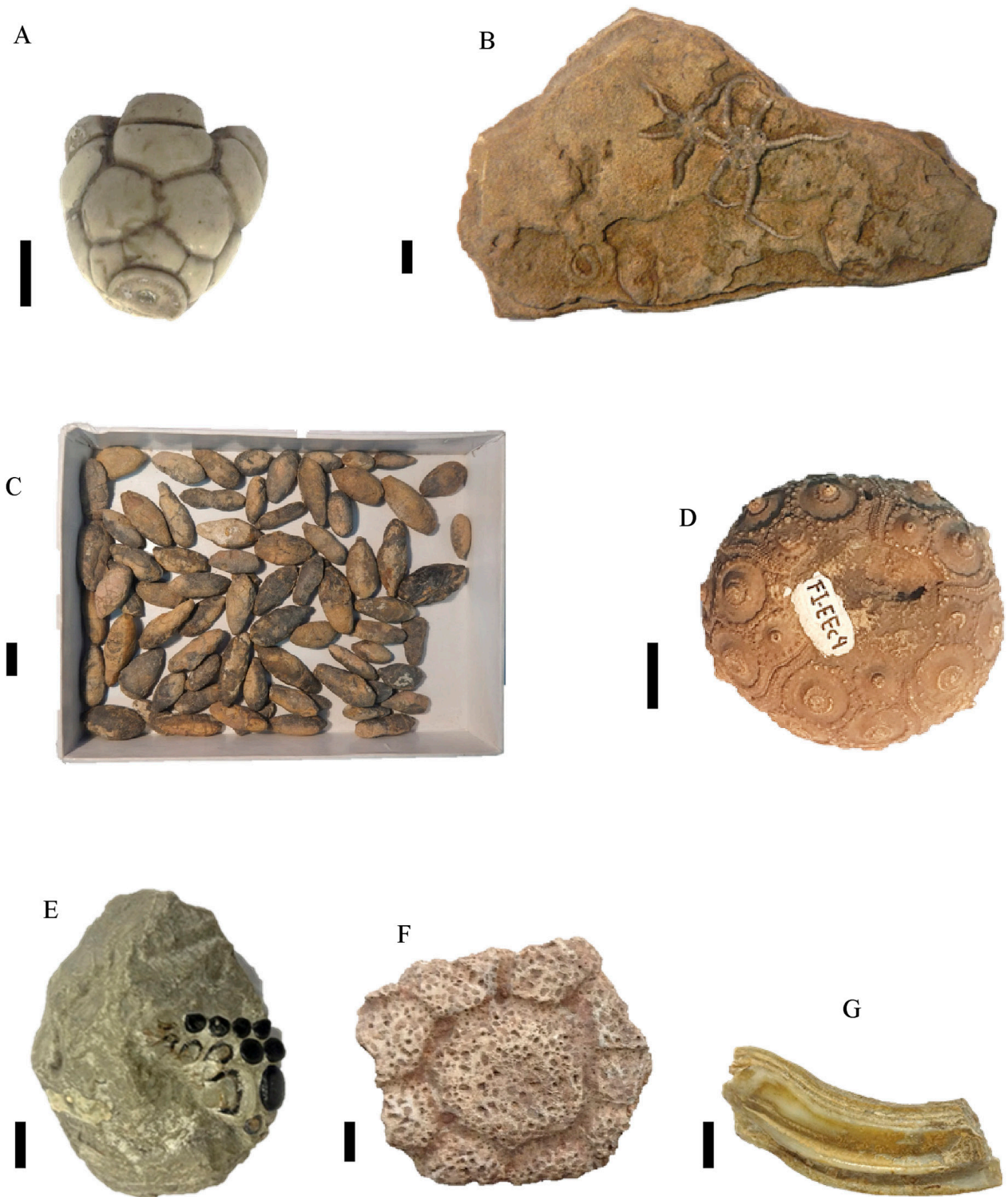


Figure 7 (A) *Poteriocrinus multiplex* Traurschold (Crinoid), Carboniferous from Moscow, Russia. (B) *Ophioderma weymouthiense* Damon, Jurassic from Germany. (C) Box with spines of *Cidaris* sp., Lower Cretaceous from San Juan Raya, Puebla, Mexico. (D) *Cidaris muellerriedi* Lambert, Lower Cretaceous from San Juan Raya, Puebla, Mexico. (E) Dental plaque of *Pycnodus buoklaudi*, Jurassic from Switzerland. (F) Osteoderm of Glyptodont (*Brachyostreon mexicanus* Cuataparo and Ramírez) from Chalchihuites, Zacatecas, Mexico. (G) Tooth of a Pleistocene periodactyl mammal (horse) from Tequixquiac, Estado de México, Mexico. Black bar: 1 cm.

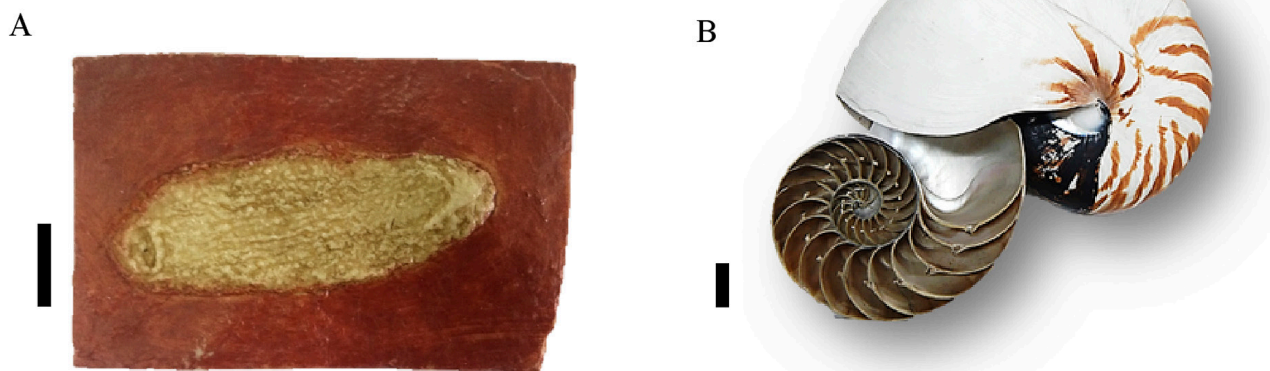


Figure 8. (A) Mold of *Holoturia* sp., Lower Cretaceous from Tepexi de Rodriguez, Puebla, Mexico. (B) *Nautilus pompilius*, Recent. Black bar: 1 cm.



Figure 9. Book of General Paleontology, Invertebrates, edited by Facultad de Ingeniería, UNAM, 2018.

The Engineering Division in Earth Sciences has donated approximately 100 original didactic collections and replicas to universities in Sonora, Guanajuato, San Luis Potosí and to the Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Fossils were also donated to the Universidad Complutense de Madrid, Spain.

One of the purposes of the academics in this laboratory is to continue enriching the paleontological collection with specimens from Mexico and the world so that future Earth Science professionals continue learning Geology through fossils. At the moment, the laboratory of Paleontology and Sedimentology is in the process of certification at the Council for Accreditation of Engineering Education (CACEI) so that laboratory staff, teachers and students are working to get this goal. In addition to this task, the mission is the curation and classification of fossils.

Acknowledgements

We thank Francisco Omar Escamilla González from the Historical Archive of the Palacio de Minería for the valuable information he provided. We also acknowledge Dolores Rosalva Millan Najera from the Historical Archive of the Palacio de Minería for her very kind attention. The authors thank Francisco Javier Cuén Romero, Griselda Guerrero and an anonymous reviewer for their comments and suggestions in the revision of the article. Our acknowledge to the staff of the Paleontology and Sedimentology laboratory of the Universidad Nacional Autónoma de México for their willingness to let us work with fossils: Nestor Gutiérrez Castrejón, Sergio Durán Avalos and Sergio Santillán Lopez.

References

- Aguilera, J.G. en Castillo, A. del, Aguilera, J.G., 1895, Fauna fósil de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí: Boletín de la Comisión Geológica de México, 1, 1–55
- Bautista, L.M., 2018, Actualización y sistematización de los equinodermos (Phylum Echinodermata Klein, 1754) de la Colección Paleontológica de la Facultad de Ingeniería: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 51 pp.

- Bazant, M., 1984, La enseñanza y la práctica de la Ingeniería durante el Porfiriato: *Historia Mexicana*, 33(3), 254–297.
- Buitrón, B.E., Rivas, G., Gómez-Espinosa, M.C., 2018, Paleontología General de Invertebrados. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Unidad de Apoyo Editorial, 258 pp.
- Carrera, M., 1956a, Andrés Manuel Del Río, descubridor del Eritronio (Vanadio) 1764–1846, *en* Congreso Geológico Internacional XX sesión México: Gacetas completas, 3–6.
- Carrera, M., 1956b, José Guadalupe Aguilera 1857–1941, *en* Congreso Geológico Internacional XX sesión México: Gacetas completas, 13–16.
- Escamilla, F.O., 2013, “Prologo”, *en* Escamilla González, F.O. (coord.), 200 años del Palacio de Minería: su historia a partir de fuentes documentales: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 404–449.
- Escamilla, F.O., Pineda, H., 2019, Historia de la Facultad de Ingeniería (En línea): México, Facultad de Ingeniería. UNAM, Publicado el 13 de diciembre de 2019, *disponible en* [<http://www.bienvenidafi.unam.mx/historia.html>], *consultado* 14 de enero de 2020.
- Gaceta UNAM, 2019, Terna para dirigir la Facultad de Ingeniería, Publicado el 11 de febrero de 2019, *disponible en* [<https://www.gaceta.unam.mx/terna-para-dirigir-la-facultad-de-ingenieria/>] *consultado* 20 de febrero de 2020.
- Lara, M., Saldaña, J.J., 2000, Del Colegio de Minería de México a la Escuela Nacional de Ingenieros: *Revista Quipu*, 3(1), 105–126.
- Morelos, L., 2014, Historia de las ciencias geológicas en México: de entidad gubernamental a instituto universitario (1886–1929): México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Doctoral, 327 pp.
- Morelos, L., Moncada, J.O., 2015, Orígenes y fundación del Instituto Geológico de México: *Asclepios*, 67(2), 103 pp.
- Negrete, D., 2011, Base de datos de la Colección Paleontológica de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Phyla Brachiopoda (Articulata) y Mollusca (Gastropoda). Paleobase FI UNAM: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 51 pp.
- Otto, G., 1980, El Real Tribunal y el Colegio de Minería en El Palacio de Minería, tercera edición, Sociedad de Ex Alumnos de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 61–85.
- Rubinovich, R., Levy, M., Luna, C., Block, I.C., 1991, José Guadalupe Aguilera Serrano, datos biográficos y bibliografía anotada: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de Hidalgo, 116 pp.

Manuscript received: March 13, 2020.

Corrected manuscript received: May 19, 2020.

Manuscript accepted: May 22, 2020.

Geosites of paleontological importance in the Central region of Chiapas, Mexico: a first step to geoconservation in Chiapas

Avendaño Gil, Manuel Javier^{a,*}; López, Sergio^b; Carbot-Chanona, Gerardo^a; Morales Iglesias, Horacio^c

^aDepartamento de Paleontología, Dirección de Gestión, Investigación y Educación Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, Calzada de los Hombres Ilustres S/N, Centro C.P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

^bLaboratorio de Ecología Evolutiva, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente 1150, Colonia Lajas Maciel C.P. 29039, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

^cCentro de Investigación de Riesgos y Cambio Climático, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Edificio 21, Ciudad Universitaria, Libramiento Norte Poniente No. 1150, Colonia Lajas Maciel C.P. 29039, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

*javierdchiapas@gmail.com

Abstract

The systematic safeguarding and study of the paleontological heritage of Chiapas began in 1989, consolidating with the inauguration of the Museum of Paleontology "Eliseo Palacios Aguilera" and its Paleontological Collection in 2002. As a result of these activities, it has treasured bibliographic information, experience in cabinet and field research, among others. All these activities have led us to join national and international proposals such as being part of the Paleontological Council of the Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) and the Global Indicative List of Geological Sites (GILGES, geosites and geoparks). The present work aims to point out and characterize the 13 geosites of paleontological importance located in the Central region of Chiapas, that have been investigated during the works that has been carried out by the staff of the Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN). For each geosites is mentioned: their names, geographical location, fossils found, generated publications, chronostratigraphic position, environmental inference. Also, it is mentioned in each geosites: information that has begun to be disseminated to social sectors such as students, research professors, ejidatarios and providers of tourist services in order to raise awareness of the importance of the paleontological resource and its potential use (e.g. geotourism), activities that guide us to conservation of the environment and the resources.

Keywords: Fossil, geosites, paleontological heritage, natural heritage.

Resumen

El resguardo y estudio sistemático del patrimonio paleontológico de Chiapas se inició en el año de 1989, consolidándose con la inauguración del Museo de Paleontología "Eliseo Palacios Aguilera" y su Colección Paleontológica en 2002. Como resultado de las actividades se ha atesorado información bibliográfica, experiencia en investigación de gabinete y campo, entre otros, que nos han llevado sumarnos a propuestas nacionales e internacionales, como formar parte del Consejo de Paleontología del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y del Global Indicative List of Geological Sites (GILGES). El presente trabajo tiene como objetivo destacar y caracterizar 13 geositos de importancia paleontológica ubicados en la región central poniente de Chiapas que han sido investigados durante los trabajos realizados por el personal de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN). Para cada sitio se mencionan sus nombres, ubicación geográfica, fósiles encontrados y publicaciones generadas, posición cronoestratigráfica e inferencia ambiental, información que ha comenzado a difundirse en los sectores sociales como son, estudiantes, profesores-investigadores, ejidatarios y prestadores de servicios turísticos, con el fin de concientizar sobre la importancia del recurso paleontológico y su potencial uso educativo y turístico (e.g. geoturismo), actividades que nos encaminan a su conservación haciendo un uso sustentable de los recursos.

Palabras clave: Fósil, geosito, patrimonio paleontológico, patrimonio natural.

1. Introduction

In 1989 the Instituto de Historia Natural (IHN) systematically initiated the study of the paleontological and geological resources of Chiapas. As one of the tangible results was the creation of the Museum of Paleontology "Eliseo Palacios Aguilera" (MUPEPA), which is also the repository of a well-established paleontological collection that, to date, housed more than 5000 fossils (Avendaño *et al.*, 2004; Carbot-Chanona, 2015). The MUPEPA work as a platform from which efforts are added to integrate the paleontological and geological resources of the State of Chiapas with the integral conservation of the Natural Heritage initiated with the project GILGES (Global Indicative List of Geological Sites) in 1989. The GEOSITES project began between the years 1993-1995 and the International Geosciences and Geoparks Program was officially accepted in November 2017 by the UNESCO. This last program is characterized by a holistic vision that include the Cultural Heritage together with the Natural Heritage (Gallego, 1998; UNESCO, 2015).

In concordance with UNESCO's proposal and the international Union for Conservation of Nature strategy (IUCN, 2020), MUPEPA has worked on the articulation of biological and geological heritage. Examples of this are the case of the Natural Reserve of Laguna Bélgica (Avendaño-Gil & Coutiño-José, 2009), as well as a property located in La Mesa de Copoya, within the urban area in the municipality of Tuxtla Gutiérrez. These examples highlight the presence of geological and paleontological characteristics and are used for educational and scientific purposes (Avendaño-Gil, 2011).

The assessment and protection of what is now known as geological heritage has increased considerably, not only in scientific and academic circles but also among those dedicated to the planning of the territory and its natural resources (Di-Gregorio and Ulzega, 2003). With this new trend, the concept of geological heritage has become very important as global scientific institutions and organizations. Different organizations recognize and promote the conceptual and practical development of the concept of geological heritages such as: UNESCO, the Union of Geological Sciences (IUGS), the International Geographical Union and the International Association of Geomorphologist (IAG). These organizations also recognize other related concepts such as: geoconservation, geotourism, geoproducts, geodiversity, geomorphosites, geomorphological monuments, geomorphological sites, geopark and geosites (Reynard, 2005; Palacio, 2013).

The systematization of the geosites is important for establishes bases for geoconservation, research and educational activities. In that sense, the paleontological information of the geosites is essential because is the start point to generate strategies for conservation. The present

work aims to point out and characterize 13 geosites of paleontological importance located in the Chiapa de Corzo, Tuxtla Gutiérrez and Ocozocoutla de Espinosa municipalities, in the Central area of Chiapas. These 13 geosites have been investigated during the last two decades by the staff of the Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN).

2. What are geosites?

Geosites (sites of geological importance) are sites that contain information about the conformation and dynamics of the Earth (Bruno *et al.*, 2014). Some of the most common aspects to consider in geosites are: (i) The representativeness and/or interest of the geological record and the time-range represented; (ii) exceptional geoforms; (iii) paleontological content; (iv) relevant tectonic and structural elements; (v) minerals, rocks and/or sedimentary structures unique or rare; and (vi) the possibility of identifying paleogeographies and/or paleoenvironments that reveal the geological evolution of the region (Carcavilla *et al.*, 2019). Geosites can be classified based on their facies: paleoecosystem, ichnological value, taphonomic patterns, catastrophic events and geoarchaeological importance (Bruno *et al.*, 2014). Some geosites contain several subtypes and some are especially important for the construction of paleogeographic maps (Bruno *et al.*, 2014).

Originally, the definition of geosites do not distinguish between sites of geological interest and sites of geomorphological interest, which is explained by the close relationship that in many cases exists between the two of them (Palacio, 2013). On the other hand, the differentiation between geosites and geomorphosites can be justified by their temporal and spatial character and emphasis, respectively. Geosites, like geology itself, are more associated with the temporal nature of the site helping to explain the evolution of a locality a region or the planet itself (Palacio, 2013). For its part, the geomorphosite involves a three-dimensional spatial connotation of the relief shapes which is associated with spatial attributes rather than temporal attributes, without them being absent. The shapes of the relief occupy a quantifiable space (length, width, height, depth, volume) while geosites reflect a process or phenomenon that is not necessarily characterized by its dimensions but by its location in time (Palacio, 2013).

This research emphasizes the temporal character of the geosites with the fossil material that it reports but recognizing that the Geosites would be located within a space (surface). A critical element in the assessment of geosites is the definition of the spatial feature on which that procedure will be executed. Generally speaking, the space unit or mapping unit must consist of a portion of land with specific characteristics (INE, 2004).

3. Geology and paleontology of the central west region of Chiapas

The location of the geosites pointed in this work embraces three municipalities in the central area of Chiapas: Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo and Ocozocoautla de Espinosa (Figure 1). These municipalities are located to the west of the Central Depression and Altiplanicie of Chiapas (Mullerried, 1982). These physiographic regions are the product of regional geological dynamics characterized by the migration of the mountain range magmatic arc; fault movements to the north and south with mountainous uprisings to the west and that resulted in their withdrawal to the formation of successive coastal line; strong river erosion to the northeast and center during the Paleogene to the recent including movements of large landmass on the slopes of hills (Damon *et al.*, 1981; Ferrusquía-Villafranca, 1998). These processes gave rise to different formations and structures both geological-geomorphological and paleontological in the geosites considered. Thus, you can see with the naked eye in this region the geoforms such as the elevations and depressions of the La Mesa de Copoya, the Sabinal

Sub-Basin or the Sumidero Canyon with its geological faults, escarpments, caves, chasms and, in several of these structures, present relevant fossil evidence that frames the evolutionary and environmental history of the area.

Most of the fossils found in the region belong to marine organisms that emerge in the limestone strata. These belong to organisms that have lived in shallow seawaters with mollusks being highlighted for their uniqueness in shape and number, among those who are rudists, actaeonellids and oysters, as well as deeper-water organisms such as ammonites and inoceramids (Böse, 1906; Alencáster, 1986, 1995). Another of the groups well represented are the crustaceans which mostly represent new taxa for science (Feldmann *et al.*, 1996; Vega *et al.*, 2001a, 2001b, 2006, 2018; Guinot *et al.*, 2019).

Crustaceans are found in association with different fossil groups such as: gastropods, bivalves, corals, echinoderms and some vertebrate remains. According to Michaud (1984), this fauna corresponds to shallow waters with a great input of detritic material. This author mentioned that the fauna is typical of the Caribbean area with the influence of the Tethys Sea. Alencáster (1995) mentions that the fauna of the geological past of Chiapas is characterized by its great

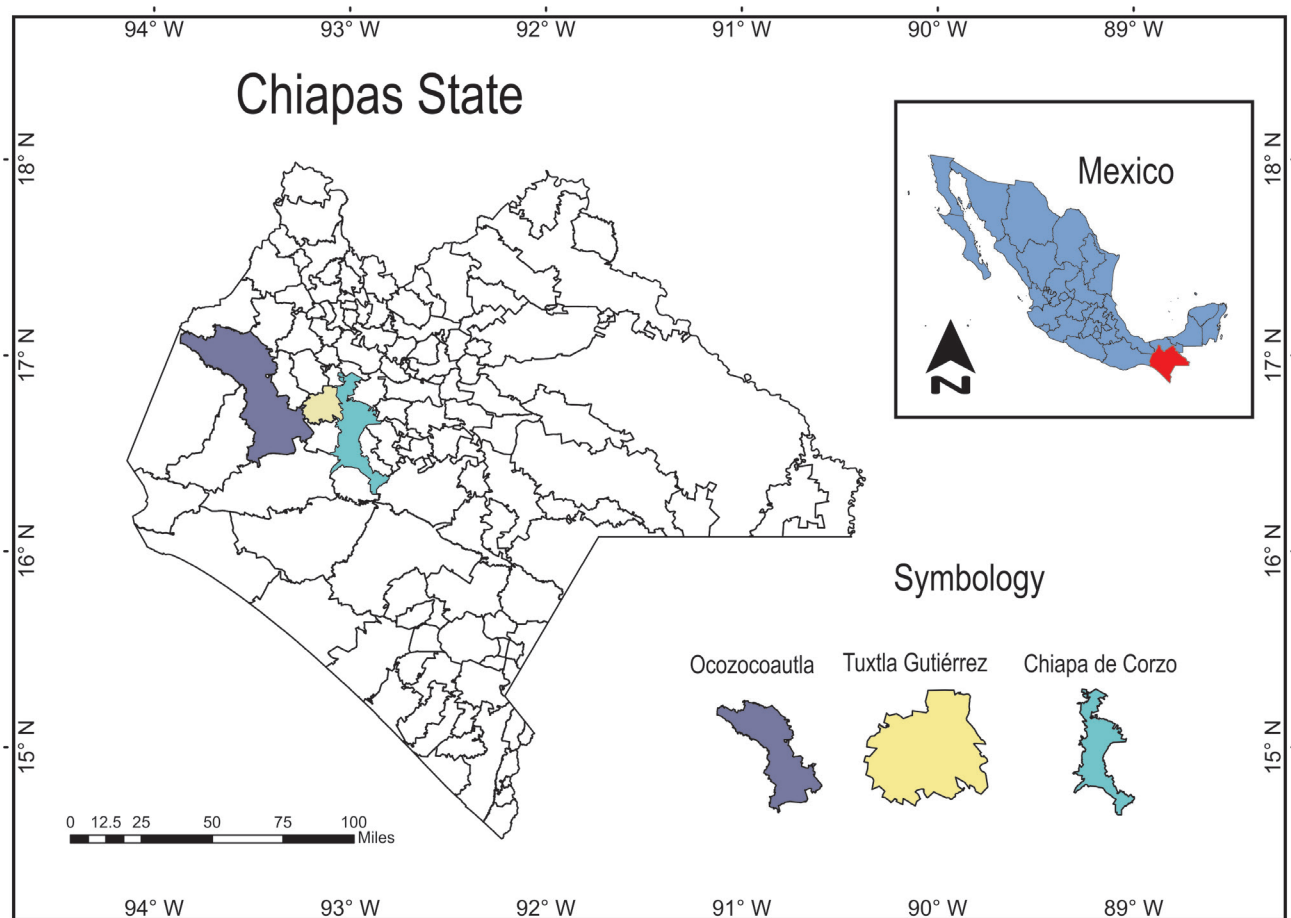


Figure 1. Location of the study area that shows the municipalities that contained the geosites proposed in this work.

abundance and diversity, especially the fossils contained in the rocks of the Cretaceous period that denote episodes of intense biological activity.

The first fossil localities with the presence of fish in the region were studied since the end of the last century and correspond to the Ocozocoautla Formation whose Maastrichtian deposits have sharks and bony fishes (González-Barba *et al.*, 2001; Carbot-Chanona & Than-Marchese, 2013). The record of terrestrial vertebrates is scarce. To date, only a few fossil remains of turtles, crocodyliforms and one non-avian dinosaur are known from the Maastrichtian-age sandy sediments (~68 Ma) of the Ocozocoautla Formation in the vicinity of the Meyapac Natural Area (Carbot-Chanona & Ovalles-Damian, 2013; Carbot-Chanona, 2014; Carbot-Chanona & Rivera-Sylva, 2011).

4. Results

4.1. Paleontological geosites in the Central region of Chiapas

The paleontological geosites considered in this work are characterized by bearing fossil evidence with temporal and environmental implications. The geosites were chosen by adopting the following criteria: 1) Presence of fossil specimens recognizable for their good preservation, abundance and/or diversity; 2) scientific research generated and their respective publications in specialized literature; 3)

fossils mentioned in journals, technical reports or bachelor, master or doctoral thesis; 4) sites with fossil outcrops located in geomorphosites, that is, they can be located in a spatial place and mapped; 5) sites that have a previous social interest by local people due to their geological, paleontological, landscape, economic and cultural (*e.g.* religious) characteristics (modified from Gallego, 1998).

The location of paleontological geosites within the area considered can be seen in Figure 2. In general, the geosites of paleontological importance are located with a southeast-northwest direction within an area of approximately 1000 km² and encompass Chiapa de Corzo (Cueva El Chorreadero, Piedra Ahorcada, and Cahuare localities), Tuxtla Gutiérrez (Copoya, El Jobo, and Cueva Los Laguitos localities) and Ocozocoautla de Espinosa (Tzu-Tzu, El Chango, El Espinal, El Cerebro, Sima de las Cotorras, and La Venta Canyon localities) municipalities (Figures 3 and 4).

The lists the geosites with their respective names correspond to sites known and named by the local people, an aspect of relevance for the dissemination of paleontological knowledge, which is intended to reach society using *in situ* and *ex situ* fossil evidence (Table 1). Carcavilla *et al.* (2019) mention that fossils are a powerful teaching tool useful for the conservation of priority areas which they consider to be "immutable and mobile geo-heritages". Each of the geosites examined in this work usually have an extension of 10000 m² (one hectare), although it should be noted that due to the geomorphology of the region the realization of a topographical map of each of them is still a pending task.

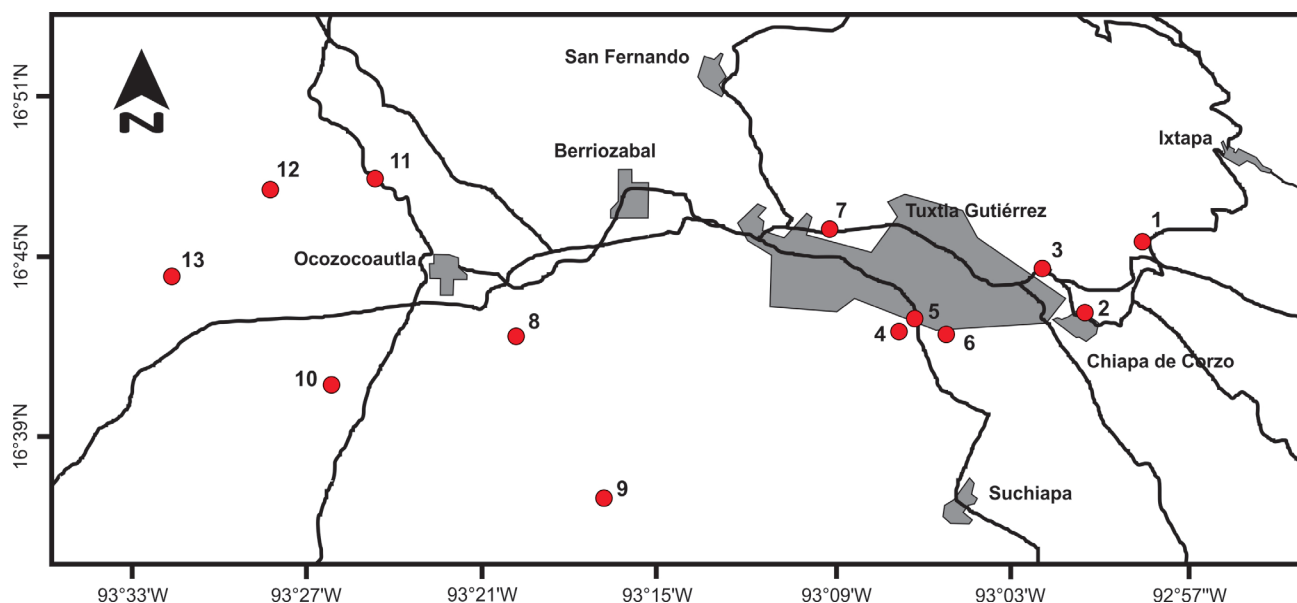


Figure 2. Map showing the location of the importance paleontological geosites. 1) El Chorreadero cave; 2) Piedra Ahorcada; 3) El Sumidero Canyon (Cahuare); 4) Sandstone-limolite contact; 5) fossil corals locality, Copoya; 6) Microfossils, El Jobo; 7) Los Laguitos cave; 8) Tzu-Tzu; 9) El Chango quarry; 10) El Espinal quarry; 11) El Cerebro; 12) Sima de las Cotorras; 13) El Aguacero, La Venta Canyon.

5. Discussion

We consider that the 13 geosites proposed in this work have the characteristics to assign them the name "geosite" (Gallego, 1998) among which stand out: 1) They have paleontological heritage demonstrated by the fossil discoveries published; 2) several of the fossils are of relevant scientific importance as they include holotypes, paratypes,

hypotypes, etc., which are sheltered in various scientific collections of public institutions; 3) have georeferenced, geographical location, extension, geology and stratigraphy; 4) seven of the geosites are located in protected natural areas and with tourist activities managed by local people (e.g. Cueva El Chorreadero, Sima de las Cotorras, La Venta Canyon, El Aguacero, El Sumidero Canyon, Caguare and Piedra Ahorcada) where the spread of the paleontological

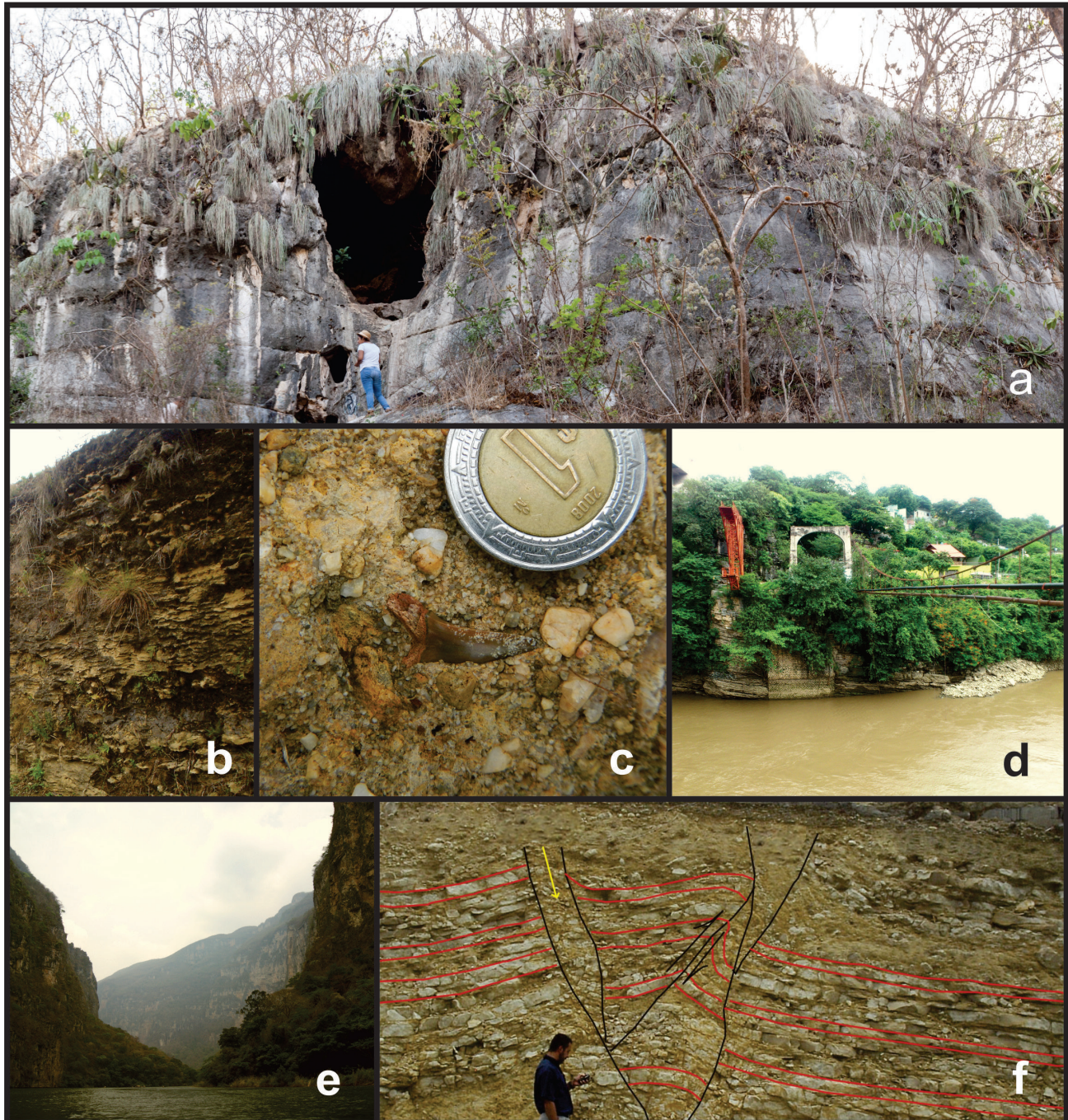


Figure 3. Selected geosites in Tuxtla Gutiérrez and Chiapa de Corzo municipalities: a) Los Laguitos cave; b) sandstone-limolite contact, Copoya; c) shark tooth from the Microfossils geosite; d) Cahuaré jetty; e) panoramic view of the Cañon del Sumidero; f) geological fold Rivera Las Flechas; note the folding and fracturing of limestone and shale strata of marine origin.

heritage has begun to have tourist value; 5) in most geosites have been carried out education activities aimed at teaching geology and paleontology. The study of the fossils of Chiapas has had results that have transcended its area of knowledge to dimensions with high social content with topics such as the conservation of natural heritage and education, both aspects intimately related and with great demand for the human survival.

On the subject of conservation, there is the protection and systematic registration of the paleontological heritage of Chiapas since 1989. This was strengthening with the inauguration of the Museum of Paleontology "Eliseo Palacios Aguilera" on October 21st of the year 2002 with

the important curatorial work in the safeguard of the fossils (Avendaño *et al.*, 2004; Carbot-Chanona, 2015). With this paleontological acquis, intense work has been carried out to disseminate both scientific and outreach to the general public and to groups of students of all educational levels. The students are important for the conservation of the paleontological heritage of any region of Mexico since they will be responsible for the future care and conservation of it.

The fossil's rescue work carried out by the staff of the Museum of Paleontology "Eliseo Palacios Aguilera" has resulted in the identification of potential paleontological sites that in the near future can be used to provide various services. Among those are guided tours with teaching

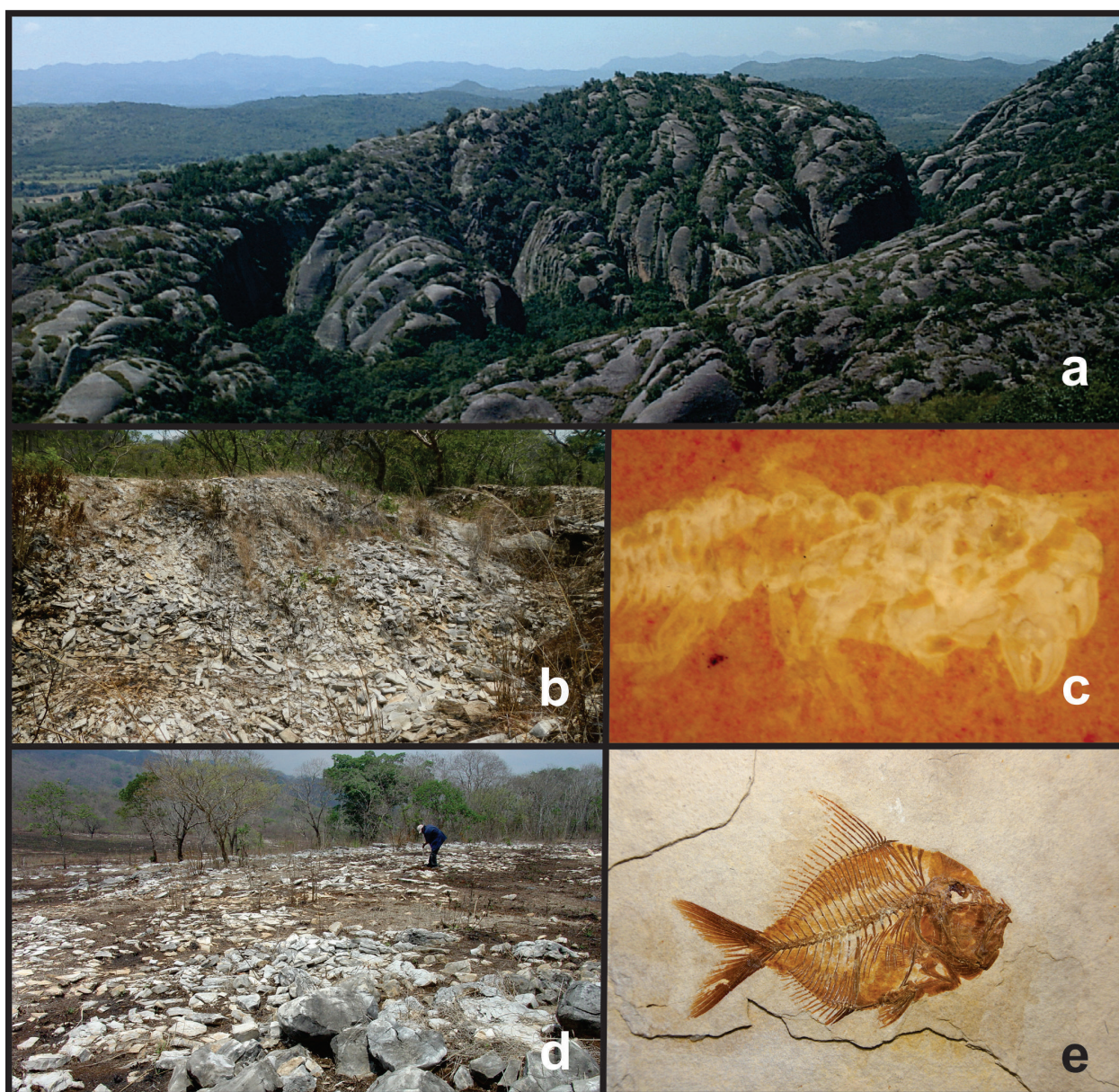


Figure 4. Selected geosites in Ocozocoautla de Espinosa: a) El Cerebro; b) El Espinal quarry; c) *Protoapseudoidus espinalensis* (Crustacea, Apseudomorpha, Tanaidacea) from El Espinal quarry; a tanaidacean that represent a new family, genus and species; d) panoramic view of El Chango quarry; e) *Zoqueichthys caroliniae* (Teleostei, Acanthomorpha, Aipichthyoididae) from the El Chango quarry, a fish that represent a new genus and species for the science.

Table 1. Geosites with paleontological relevance. Are mentioned the geological age, fossils and paleoenvironmental inference for each one.

Geosite	Type of fossils	Holotypes	Geological age	Paleoenvironmental inference	References
1. El Chorreadero cave	Mollusks and rudist <i>in situ</i> . The material is under study	None so far	Late Cretaceous	Shallow, warm and low energy sea, reef environment	There are no specific works, but in nearby places are: Frost and Langenheim (1974), Alencáster (1986, 1995)
2. Piedra Ahorcada	Calcareous algae, cnidarians, mollusks, gastropods, bivalves and echinoderms <i>in situ</i>	None so far	Early Eocene	Shallow and warm sea, with medium to high energy, close to the coast	There are no specific works, but in nearby places are: Vega <i>et al.</i> (2001a), Perrilliat <i>et al.</i> (2006)
3. El Sumidero Canyon (Cahuare locality)	Mollusks and echinoderms <i>in situ</i> ; crabs <i>ex situ</i> housed in the MUPEPA	<i>Lophoranina precocious</i> (now <i>Vegaranina precocia</i>)	Late Cretaceous	Shallow and warm sea, with low energy; reef environment	Frost and Langenheim (1974), Feldmann <i>et al.</i> (1996)
4. Sandstone-limolite contact (Copoya)	Algae, angiosperms, protozoa, annelids, cnidarians, mollusks, crabs, echinoderms, sharks and rays <i>ex situ</i> housed in the MUPEPA	<i>Dardanus mexicanus</i> , <i>Lophoranina cristaspina</i>	Middle Eocene	Shallow, warm sea, very close to the coast (fluctuating coastline) and medium to high energy, with the coastline exposed to the terrestrial environment evidenced by the layers of limolite and plant fossils.	Aguilera and García (1991), Aguilera (1993); Ferrusquia-Villafranca <i>et al.</i> (1999, 2000), Vega <i>et al.</i> (2001a, 2008)
5. Fossil corals locality (Copoya)	Algae, protozoan, sponges, cnidarians, bryozoans, mollusks, echinoderms <i>in situ</i>	None so far	Late Cretaceous	Shallow sea, warm and medium to high energy, deduced by fragmented fossils	Aguilera and García (1991), Aguilera (1993), Ferrusquia-Villafranca <i>et al.</i> (1999, 2000), Jiménez-González (2006)
6. Microfossils (El Jobo)	Protozoan, cnidarians, annelids, mollusks, brachiopods, crabs, echinoderms, sharks, rays, algae and angiosperms	<i>Dardanus mexicanus</i> , <i>Lophoranina cristaspina</i>	Middle Eocene	Given the proximity to emerging land, it received contributions of terrigenous material and plant remains	Aguilera and García (1991), Aguilera (1993), Ferrusquia-Villafranca <i>et al.</i> (1999, 2000), Vega <i>et al.</i> (2001a), Martín Medrano (2006), Martín-Medrano and García-Barrera (2006), Vega <i>et al.</i> (2008)
7. Los Laguitos cave	Rudist and bivalves <i>in situ</i>	None so far	“Middle” Cretaceous	Shallow, warm and low energy sea, reef environment	There are no specific works, but in nearby places are: Frost and Langenheim (1974), Alencáster (1995), Pons <i>et al.</i> (2016)
8. Tzu-Tzu	Mollusks (ammonites, gastropods, innoceramids, rudists), celenterates, echinoderms <i>in situ</i> and <i>ex situ</i>	<i>Icriobrachioicarcinus tzutzu</i>	Late Cretaceous (Maastrichtian)	Shallow sea, warm, reef environment.	Pons <i>et al.</i> (2016), Gómez-Pérez <i>et al.</i> (2016), Vega <i>et al.</i> (2018), Gómez-Pérez and Moreno-Bedmar (2019)
9. El Chango quarry	Gymnosperms and angiosperms; ammonites, crustaceans and bony fishes <i>ex situ</i> housed in the MUPEPA and in Instituto de Geología, UNAM	<i>Archaeochiapasa mardoqueoi</i> , <i>Mexicamia grijalvaensis</i> , <i>Mokaya changoensis</i> , <i>Pepemkay maya</i> , <i>Sapperichthys chiapanensis</i> , <i>Scombroclupea javieri</i> , <i>Tzeltalpenaeus exilichelatus</i> , <i>Unicachichthys multidentate</i> , <i>Veridagon avendanoii</i> , <i>Zoqueichthys carolinae</i> , <i>Zoquepenaeus spinirostratus</i>	Late Cretaceous (Cenomanian)	Shallow sea, of low energy and transparent waters that limited with relatively flat beach where there was a dominance of Cupressaceae, Podocarpaceae and Pinaceae conifers and several groups of angiosperms (Sapindales), among others	Vega <i>et al.</i> (2003), González-Ramírez <i>et al.</i> (2013), Guerrero Márquez <i>et al.</i> (2013), Alvarado-Ortega and Than-Marchese (2012, 2013), Amaral <i>et al.</i> (2013), Moreno-Bedmar <i>et al.</i> (2014), Díaz-Cruz <i>et al.</i> (2016, 2019), Guinot <i>et al.</i> (2019), Than-Marchese <i>et al.</i> (2020)
10. El Espinal quarry	Gastropods, crustaceans, insects, and bony fishes <i>ex situ</i> housed in the MUPEPA	<i>Protoapseudoides espinalensis</i> , <i>Palinurus palaciosi</i>	Lower Cretaceous (Albian)	Shallow sea, of low energy and transparent waters that limited with relatively flat beach where the contribution of terrigenous sediments was poor.	Vega <i>et al.</i> (2006), Alvarado-Ortega and Ovalles-Damián (2008), Alvarado-Ortega <i>et al.</i> (2009), Heard <i>et al.</i> (in press)
11. El Cerebro sandstone-limolite contact	Rudists, bivalves, gastropods <i>in situ</i>	None so far	Late Cretaceous (Maastrichtian)	Extensive lagoon next to a large reef structure	Vega <i>et al.</i> (2001b), Pons <i>et al.</i> (2016)
12. Sima de las Cotorras	Mollusks and echinoderms <i>in situ</i>	None so far	Late Cretaceous	Shallow sea, low energy, transparent and warm waters that limited relatively flat beach where the supply of terrigenous was scarce	There are no specific works, but in nearby places are: Michaud (1984), Steele and Waite (1986), Alencáster (1995), Pons <i>et al.</i> (2016)
13. La Venta Canyon (El Aguacero)	Protozoans, sponges, cnidarians, annelids, arthropods, mollusks and echinoderms <i>in situ</i>	None so far	Early Cretaceous	Shallow sea, low energy, transparent and warm waters that limited relatively flat beach where the supply of terrigenous was scarce	Steele and Waite (1986)

objectives, mainly to groups of students and researchers with objectives to determine the taxonomic identity of the fossils, geological age, paleogeographic correlation and paleobiological aspects, among others (Avendaño-Gil, 2011).

6. Conclusions

The Chiapas state has an important geological and paleontological heritage that must be protected, conformed by singular geological structures and fossils with high scientific relevance. However, to date no strategies have been proposed to promote its conservation. This work lays the paleontological basis for the systematic study of paleontological interest geosites in the state of Chiapas, an initiative that will allow us to disseminate the importance of paleontological and geological resources of a state that they are rapidly being transformed by overexploitation of their natural resources and the growth of urban spots. This is in order to be used to generate scientific, didactic, recreational, and conservation activities, which will raise social awareness of the resources mentioned and support the economic development of the communities involved through different sustainable strategies (e.g. geotourism and geoeducation). It is a first attempt in Chiapas to bring the geological and paleontological resource closer to society privileging its natural environment and making use of the wonders they offer to society.

Acknowledgements

We thank the staff of the Museum of Paleontology “Eliseo Palacios Aguilera” for the support in the field works. Especially we thank Froilán Esquinca Cano for his intense work in the Chiapas Geoparks Project and Manuel Avendaño Ramírez for the support in the elaboration of Figure 1. Also, we thank Josep Anton Moreno Bedmar for their editorial support, Rosalía Guerrero Arenas (Universidad del Mar) and one anonymous reviewer for the comments that improve this manuscript.

References

- Aguilera, P., 1993, Bioestratigrafía general del Terciario (Paleógeno) de la localidad del Jobo, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: México D.F., Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Bachelor thesis, 59 pp.
- Aguilera, P.M., García, B.P., 1991, Estudio de algunos microfósiles del Eoceno medio de la región del Jobo, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (abstract), in III Congreso Nacional de Paleontología: México D.F., Sociedad Mexicana de Paleontología, 85.
- Alencáster, G., 1986, Moluscos fósiles de México (abstract), in II Reunión de Malacología y Conquiliología, Facultad de Ciencias., UNAM: México D.F., Sociedad Mexicana de Malacología y Conquiliología, 296–323.
- Alencáster, G., 1995, Moluscos extintos (Rudistas) del Cretácico del Estado de Chiapas: Revista Investigación Nueva Época, 1(1), 1–68.
- Alvarado-Ortega, J., Ovalles-Damián, E., 2008, *Triplomystus applegatei*, sp. nov. (Teleostei: Ellimmichthyiformes), a rare “triple armored herring” from el Espinal quarry (Early Cretaceous), Chiapas, southeastern Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 28(1), 53–60.
- Alvarado-Ortega, J., Ovalles-Damián, E., Blanco-Piñón, A., 2009, The fossil fishes from the Sierra Madre Formation, Ocozocoautla, Chiapas, southern México: Paleontología electrónica, 12(2), 4A:1–22.
- Alvarado-Ortega, J., Than-Marchese, B.A., 2012, A Cenomanian aipichthyoid fish (Teleostei, Acantomorpha) from America, *Zoqueichthys carolinae* gen. and sp. nov. from El Chango quarry (Cintalapa Member, Sierra Madre Formation), Chiapas, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(3), 735–748.
- Alvarado-Ortega, J., Than-Marchese, B.A., 2013, The first record of a North American Cenomanian Trachichthyidae fish (Acanthomorpha, Acanthopterygii), *Pepemakay maya* gen. and sp. nov., from El Chango quarry (Sierra Madre Formation), Chiapas, Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 33(1), 48–57.
- Amaral, C.R.L., Alvarado-Ortega, J., Brito, P.M., 2013, *Sapperichthys* gen. nov., a new gonorynchid from the Cenomanian of Chiapas, Mexico, in Arratia, G., Schultze, H.-P., Wilson, M.V.H. (Eds.), Mesozoic Fishes 5 – Global Diversity and Evolution: München, Germany, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 305–323.
- Avendaño-Gil, M.J., 2011, Senderos paleontológicos: servicio extramuros del Museo de Paleontología “Eliseo Palacios Aguilera” de la SEMAVIHN (abstract), in XII Congreso Nacional de Paleontología: Puebla, Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de México, 30.
- Avendaño Gil, J., Cartas Heredia, G., Coutiño José, M.A., Carbot-Chanona, G., Ovalles Damián, E., 2004, Reseña histórica del Museo de Paleontología “Eliseo Palacios Aguilera” del I.H.N.E. (abstract), in IX Congreso Nacional de Paleontología: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Sociedad Mexicana de Paleontología y Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del Gobierno del estado de Chiapas, 19.
- Avendaño Gil, M.J., Coutiño José, M.A., 2009, Fósiles, in Riechers Pérez, A., Morales-Pérez, J.E., Hernández García, E. (Comp.), Laguna Bélgica: Patrimonio natural e interpretación ambiental: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Instituto de Historia Natural, 23–31.
- Böse, E., 1906, La fauna de moluscos del Senoniano de Cárdenas, San Luis Potosí: Boletín del Instituto de Geología, 24, 1–95.
- Bruno, D.E., Crowley, B.E., Gutak, J.M., Moroni, A., Nazarenko, O.V., Oheim, K.B., Dmitry, A., Ruban, D.A., Tiess, G., Zorina, S.O., 2014, Paleogeography as geological heritage: Developing geosite classification: Earth-Science Reviews, 138, 300–312.
- Carbot-Chanona, G., 2014, Overview of Mesozoic Crocodyliforms from Mexico, in Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., Frey, E. (eds.), Dinosaurs and other Reptiles from the Mesozoic of Mexico: USA, Indiana University Press, 110–125.
- Carbot-Chanona, G., 2015, La Colección Paleontológica de la SEMAHN: análisis preliminar: Lacandonia, 9(2), 43–54.
- Carbot-Chanona, G., Rivera-Sylva, H., 2011, Presence of a maniraptoriform dinosaur in the Late Cretaceous (Maastrichtian) of Chiapas, southern México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63(3), 393–398.
- Carbot-Chanona, G., Ovalles-Damián, E., 2013, Registro de vertebrados fósiles, in La Biodiversidad en Chiapas: Estudio de estado, Vol. II: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Gobierno del Estado de Chiapas, 261–274.
- Carbot-Chanona, G., Than-Marchese, B.A., 2013, Presencia de *Enchodus* (Osteichthyes: Aulopiformes: Enchodontidae) en el Maastrichtiano (Cretácico tardío) de Chiapas, México: Paleontología Mexicana, 63(1), 8–16.

- Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, A., Vegas, J., 2019, Geoheritage and geodiversity: Madrid, Spain, Instituto Geológico y Minero de España, 24 p.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Clark, K.F., 1981, Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 5(2), 223–238.
- Di-Gregorio, F., Ulzega, A., 2003, Foreword, in Geomorphological sites: assessment and mapping: Cagliari, Italy, Università degli Studi di Cagliari International Association of Geomorphologists.
- Díaz-Cruz, J.A., Alvarado-Ortega, J., Carbot-Chanona, G., 2016, The Cenomanian short snout enchodontid fishes (Aulopiformes, Enchodontidae) from Sierra Madre Formation, Chiapas, southeastern Mexico: Cretaceous Research, 61, 136–150. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2015.12.026>.
- Díaz-Cruz, J.A., Alvarado-Ortega, J., Carbot-Chanona, G., 2019, *Dagon avendanoi* gen. and sp. nov., an Early Cenomanian Enchodontidae (Aulopiformes) fish from the El Chango quarry, Chiapas, southeastern Mexico: Journal of South American Earth Science, 9, 272–284.
- Feldmann, R.M., Vega, F., Tucker, A.B., García-Barrera, P., Avendaño, J., 1996, The oldest record of *Lophoranina* (Decapoda: Raninidae) from the Late Cretaceous of Chiapas, southeastern Mexico: Journal of Paleontology, 70(2), 296–303.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1998, Geología de México: una sinopsis, in Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A., Fa, J., (Eds.), La Biodiversidad de México: México D.F., México, Instituto de Biología, UNAM, 1–107.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S.P., Espinosa-Arrubarrena, L., 1999, First Paleogene selachifuna of the Middle American-Caribbean-Antillean región, La Mesa de Copoya, west-central Chiapas, México – Systematics and paleontological significance: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 16(2), 155–174.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S.P., Espinosa-Arrubarrena, L., 2000, First Paleogene selachifuna of the Middle American-Caribbean-Antillean region, La Mesa de Copoya, west central Chiapas – Geological Setting: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 17(1), 1–23.
- Frost, S.H., Langenheim, R.L., 1974, Cenozoic reef biofacies, Tertiary larger foraminifera and scleractinian corals from Chiapas, México: Northern Illinois University Press, 338 pp.
- Gallego, E., 1998, Protección y conservación de espacios naturales y del patrimonio geológico: Zúbia, 16, 155–179.
- Gómez-Pérez, L.E., Domínguez Martínez, L.A., Carbot-Chanona, G., Coutiño José, M.A., Avendaño Gil, J., 2016, Una nueva localidad fosilífera del Cretácico superior en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México (abstract), in III Simposio de Paleontología en el Sureste de México: Puebla, Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 39.
- Gómez-Pérez, L.E., Moreno-Bedmar, J.A., 2019, Ammonites de la Formación Ocozocoautla (Maastrichtiano, Cretácico Superior) Chiapas, México (abstract), in XVI Congreso Nacional de Paleontología: Chihuahua, Chihuahua, Paleontología Mexicana, Número especial 5, 28.
- González-Barba, G., Coutiño, M.A., Ovalles-Damian, E., Vega-Vera, F.J., 2001, New Maastrichtian elasmobranch faunas from Baja California Peninsula, Nuevo León and Chiapas state, Mexico (abstract), in Tintoti A., Arriata, G. (eds.), III Internacional Meeting on Mesozoic Fishes: Systematic, Paleoenvironments and Biodiversity: Serpiano-Monte San Giorgio, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 33.
- González-Ramírez, I., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2013, Coníferas cupresáceas fósiles de “El Chango”, Chiapas (Aptiano): Paleontología Mexicana 63, 24–31.
- Guerrero-Márquez, G., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Avendaño-Gil, J., 2013, Angiospermas cretácicas de la localidad “El Chango”, Chiapas, México: Paleontología Mexicana 63, 24–31.
- Guinot, D., Carbot-Chanona, G., Vega, F.J., 2019, Archaeochiapsidae n. fam., a new early Cenomanian brachyuran family from Chiapas, Mexico, new hypothesis on Lecythocaridae Schweitzer & Feldmann, 2009, and phylogenetic implications (Crustacea, Decapoda, Brachyura, Eubrachyura): Geodiversitas, 41(7), 285–322. DOI: <https://doi.org/10.5252/geodiversitas2019v41a7>.
- Heard, R.W., Morales-Núñez, A.G., Serrano-Sánchez, M.L., Coutiño, M.A., Barragán, R., Vega, F.J., in press, A new family, genus and species of Tanaidacea (Crustacea; Apseudomorpha) from the lower cretaceous (Aptian) of Chiapas, Mexico: Systematic revisions and paleoenvironmental observations: Journal of South American Earth Science. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102609>.
- Jiménez-González, J.J., 2006, Corales del Cretácico tardío de la Mesa de Copoya (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Formación La Angostura). Taxonomía, Paleobiogeografía y Paleocología: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, bachelor thesis, 111 pp.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2004, El establecimiento de Geoparques en México: un método de análisis geográfico para la conservación de la naturaleza en el contexto del manejo de cuencas hídricas (in line): Instituto Nacional de Ecología < <https://docplayer.es/30156056-Metodo-de-analisis-geografico-para-el-establecimiento-de-geoparques-en-mexico.html> >, consulted: December 05 of 2019.
- Martín Medrano, L., 2006, Análisis paleontológico de los ofiuroides fósiles de México: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, master thesis, 140 pp.
- Martín-Medrano, L., García-Barrera, P., 2006, Fossil Ophiuroids of Mexico, in Vega F.J., Nyborg, T.G., Perrilliat, Ma. del C., Montellano-Ballesteros, M., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Quiroz-Barroso, S.A. (Eds.), Studies on Mexican Paleontology: The Netherlands, Springer, 115–131.
- Michaud, F., 1984, Algunos fósiles de la Formación Ocozocoautla, Cretácico Superior de Chiapas, México (abstract), in III Congreso Latinoamericano de Paleontología: México, D.F., Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 425–431.
- Moreno-Bedmar, J.A., Latil, J.-L., Villanueva-Amadoz, U., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2014, Ammonite age-calibration of the El Chango Fossil-Lagerstätte, Chiapas state (SE Mexico): Journal of South American Earth Sciences, 56, 447–453. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.022>.
- Mullerried, F.K., 1982, Geología de Chiapas. Colección Libros de Chiapas, Serie Básica: Publicaciones del Gobierno del Estado de Chiapas, 180 pp.
- Palacio Prieto, J.L., 2013, Geositos, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 82, 24–37. DOI: <https://doi.org/10.14350/ig.32817>.
- Perrilliat, M.C., Avendaño, J., Vega, F.J., Solé, J., 2006, Lower Eocene gastropods from El Bosque Formation, Central Chiapas: The Veliger, 48(3), 37–55.
- Pons, J.M., Vicens, E., Martínez, R., García-Barrera, P., Nieto, I.E., Oviedo, A., Avendaño-Gil, M.J., 2016, The Campanian-Maastrichtian rudist bivalves succession in the Chiapas Central Depression, Mexico: Cretaceous Research, 60, 210–220. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2015.11.015>.
- Reynard, E., 2005, Géomorphosites et paysages: Géomorphologie: relief, processus, environnement, 11(3), 181–188. DOI: 10.4000/geomorphologie.338.
- Steele, D.R., Waite, L.E., 1986, Contributions to the stratigraphy of the Sierra Madre Limestone (Cretaceous) of Chiapas: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Boletín, 102, 1–175.
- Than-Marchese, B.A., Alvarado-Ortega, J., Matamoros, W.A., Velázquez-Velázquez, E., 2020, *Scombroclupea javieri* sp. nov., enigmatic Cenomanian clupeomorph fish (Teleostei, Clupeomorpha) from the marine deposits of the Cintalapa Formation, Ocozocoautla, Chiapas, southeastern Mexico: Cretaceous Research, 112, 104448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104448>.

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2015, Iniciativa mundial de la UNESCO sobre geoparques (in line), in Aplicación de las decisiones adoptadas por el Consejo Ejecutivo y de las resoluciones aprobadas por la conferencia general en sus reuniones anteriores, Parte 1. <unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232104_spa/PDF/232104spa.pdf.mult>, free access, consulted: January 06 of 2020.
- Union International for Conservation of Nature (UICN), 2020, < <http://www.iucn.org/es>> free access, consulted: January 05 of 2020.
- Vega, F.J., Cosma, T., Coutiño, M.A., Feldmann, R.M., Nyborg, T.G., Schweitzer, C.E., Waugh, D.A., 2001a, New Middle Eocene decapods (Crustacea) from Chiapas, México: *Journal of Paleontology*, 75(5), 929–946.
- Vega, F.J., Feldmann, R.M., García-Barrera, P., Filkorn, H., Pimentel, F., Avendaño, J., 2001b, Maastrichtian crustacean (Brachyura: Decapoda) from the Ocozocoautla Formation in Chiapas, southeast Mexico: *Journal of Paleontology*, 75(2), 319–329.
- Vega, F.J., García-Barrera, P., Coutiño, M., Nyborg, T., Cifuentes-Ruiz, P., González-Rodríguez, K., Martens, A., Delgado, C.R., Carbot, G., 2003, Early Cretaceous arthropods from plattenkalk facies in Mexico: *Contributions to Zoology*, 72(2-3), 187–189.
- Vega, F.J., García-Barrera, P., Perrilliat, M.C., Coutiño, M.A., Mariño-Pérez, R., 2006, El Espinal, a new plattenkalk facies locality from the Lower Cretaceous Sierra Madre Formation, Chiapas, southeastern Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(3), 323–333.
- Vega, F.J., Nyborg, T., Coutiño, M.A., Hernández-Monzón, O., 2008, Review and additions to the Eocene decapod Crustacea from Chiapas, Mexico: *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 34, 51–71.
- Vega, F.J., Charbonnier, S., Gómez-Pérez, L.E., Coutiño, M.A., Carbot-Chanona, G., Távora, V.A., Serrano-Sánchez, L., González-Monzón, O., 2018, Review and additions to the Maastrichtian (Late Cretaceous) crustacea from Chiapas, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 85, 325–344.

Manuscript received: March 10, 2020.

Corrected manuscript received: May 25, 2020.

Manuscript accepted: May 26, 2020.

El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica

Cuen-Romero, Francisco Javier^{a,*}; Reyes-Montoya, Dulce Raquel^b;
Noriega-Ruiz, Héctor Arturo^b

^aDepartamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

^bDepartamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Luis Donaldo Colosio s/n, entre Sahuaripa y Reforma, Col Centro, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

* francisco.cuen@ciencias.uson.mx

Resumen

Los estudios del Paleozoico inferior de México se inician en 1900 por Edwin Theodore Dumble (1852–1927), quien identificó estratos del Ordovícico por primera vez en Sonora. Actualmente, transcurridos ~120 años de estos primeros estudios en el país, se cuenta con una amplia bibliografía sobre estratigrafía y paleontología. En el presente trabajo se elabora una recapitulación de los principales trabajos del Cámbrico, Ordovícico y Silúrico de Sonora. El Cámbrico se encuentra distribuido de manera uniforme en la parte central y norte del estado. El Ordovícico se localiza en un cinturón principalmente hacia la parte central y sur del estado, y el Silúrico aflora en dos localidades de manera aislada. La biota del Paleozoico inferior de México está constituida por cianobacterias, poríferos, arqueociatos, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos como formas predominantes.

Palabras clave: Cámbrico, México, Ordovícico, Paleozoico, Silúrico, Sonora.

Abstract

The studies on the lower Paleozoic rocks of Mexico began in 1900 by Edwin Theodore Dumble (1852–1927), who first identified Ordovician in Sonora. Currently, after ~120 years of these first studies in the country, there is a dense stratigraphic and paleontological bibliography. In this work, a summary of the main works of the Cambrian, Ordovician, and Silurian of Sonora is compiled. The Cambrian is evenly distributed in the central and northern parts of the state. The Ordovician is located in a belt mainly towards the central and southern part of the state and the Silurian outcrops are found only in two isolated locations. The lower Paleozoic biota of Mexico consists of cyanobacteria, poriferans, archaeocyathids, brachiopods, mollusks, arthropods, and echinoderms, as predominant forms.

Keywords: Cambrian, Mexico, Ordovician, Paleozoic, Silurian, Sonora.

1. Introducción

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior de México se encuentran en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Tamaulipas y Oaxaca (López Ramos, 1969; Buitrón y Sandoval, 1989; Buitrón, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2018). En México existen escasos afloramientos del Cámbrico, Ordovícico y Silúrico, los cuales se distribuyen

principalmente en el estado de Sonora, con una biota fósil relativamente bien preservada. De manera general estos afloramientos se encuentran pobremente distribuidos en el estado, debido a que fueron en su mayoría cubiertos por una potente secuencia de sedimentos del Mesozoico (Buitrón, 1992), siendo el Sistema Silúrico el menos conocido desde el punto de vista estratigráfico y paleontológico. Estos afloramientos han sido ampliamente estudiados desde

principios de siglo pasado centrándose en la estratigrafía y paleontología (Dumble, 1900; King, 1939; Lochman, 1948; Cooper et al., 1952, 1956; Poole y Amaya-Martínez, 2000).

Los estudios estratigráficos y paleontológicos enfocados a las rocas del Paleozoico inferior de México han aumentado de manera significativa en las últimas décadas (Stewart y Poole, 2002; Nardin et al., 2009; Cuen et al., 2013; Buitrón-Sánchez et al., 2017; Cuen-Romero et al., 2016, 2018, 2019a, 2019b). Roldán-Quintana (1982) reconoce tres áreas principales de afloramientos en el estado de Sonora: la región de Caborca (noroeste), la región de Bavispe (noreste) y la región de Hermosillo (centro). Los estudios más detallados que se han llevado a cabo de las rocas paleozoicas de Sonora corresponden a la región de Caborca (Cooper y Arellano, 1946; Cooper et al., 1952, 1956; Rivera-Carranco, 1988; Sour-Tovar y Hernández-Barbosa, 2018). La región de Caborca está constituida por una secuencia de dolomía y caliza, así como cuarzoarenita, calcarenita y escasa lutita. En la región de Bavispe la litología consiste principalmente en caliza, dolomía, caliza con lentes de pedernal, cuarcita y escasa lutita. En la región de Hermosillo, existen afloramientos constituidos principalmente por caliza, caliza con lentes de pedernal, escasa dolomía y arenisca. El espesor de las secuencias paleozoicas varía en cada región, consistiendo en columnas compuestas de miles de metros que disminuyen del noroeste hacia el noreste de Sonora (Roldán-Quintana, 1982). Por otro lado, los rasgos estructurales de las rocas paleozoicas en Sonora han sido pobremente estudiados.

Asimismo, se han documentado principalmente dos secuencias sedimentarias del Paleozoico, identificando sus características sedimentarias y los aspectos estratigráficos los cuales indican que, durante el Precámbrico tardío y en todo el Paleozoico, la región central de Sonora representó una plataforma continental a la que se le ha denominado Miogeoclinal Cordillerano (Fries, 1962; Stewart, 1982); mientras que el segundo paquete sedimentario corresponde a secuencias asociadas al talud continental o al denominado Eugeoclinal Cordillerano que cubrieron discordantemente a estratos ordovícicos (González-León, 1986; Molina-Garza e Iriondo, 2005).

El registro de facies de aguas someras del cratón y aguas profundas distribuidas en las distintas regiones del estado (noroeste, noreste, central) denota afinidad a relaciones observadas a lo largo de la cordillera oeste de Norteamérica (Stewart et al., 1984; Molina-Garza e Iriondo, 2005). Sin embargo, las facies transicionales entre facies del cratón y facies de plataforma no han sido reconocidas en Sonora. Solo localmente se hallan unidades preservadas del Paleozoico medio (Silúrico-Devónico); también es aparente un hiato en el Silúrico ya que dicho sistema se encuentra pobremente representado en las secuencias paleozoicas de Sonora (Poole y Amaya-Martínez, 2000; Molina-Garza e Iriondo, 2005).

En el presente trabajo se realiza una breve descripción de las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior de Sonora, con el objetivo de mostrar una perspectiva general sobre los estudios de estratigrafía y paleontología que se han llevado a cabo.

2. Cámbrico

2.1. Área Norte

Los geólogos Gómez y Torres-Izabal realizaron una exploración en el norte de Sonora para Petróleos Mexicanos en 1941 y se percataron de la existencia de rocas cámbricas en el Cerro Los Arrojos, en el área de Caborca (Figura 1), excepcionalmente bien expuestas, y recolectaron los primeros trilobites conocidos en México, los cuales fueron identificados por Stoyanow (1942).

Cooper y Arellano (1946) estudiaron la estratigrafía y el contenido fosilífero de la región de Caborca, dando a conocer las primeras descripciones de algas calcáreas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos y trilobites, particularmente, la presencia de *Girvanella* y *Olenellus* en Sonora.

Lochman (1948) describió siete géneros y siete especies de trilobites del Cámbrico temprano y medio del área de Caborca, identificadas como *Sombrerella mexicana*, *Mexicaspis stenopyge*, *Mexicella mexicana*, *Provedoria starquistae*, *Arellanella caborcana*, *Caborcella arrojosensis* y *Kistocare corbini*. Actualmente *Amecephalus arrojosensis* y *Mexicella mexicana* representan zonas bioestratigráficas del Cámbrico medio en Norteamérica (McCollum y Sundberg, 2007; Webster, 2011).

Cooper et al. (1952) continuaron con las investigaciones en Caborca y realizaron un estudio detallado de la estratigrafía y paleontología, estableciendo las siguientes unidades en orden cronoestratigráfico para el Cámbrico inferior: las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Cerro Prieto, ésta última de edad incierta. Para el Cámbrico medio se considera la Formación Arrojos y la Formación El Tren. Lochman en Cooper et al. (1952) identificó trilobites, citando más de 20 especies nuevas. Los trilobites de la Formación Puerto Blanco están representados por *Olenellus* sp. y *Lochmanolenellus primus* (syn. *Wanneria* spp.). Cooper et al. 1952 identificaron fragmentos de olenélidos de la Formación Proveedora asignándolos a *Lochmanolenellus mexicana* (syn. *Wanneria mexicana*). En la Formación Buelna los trilobites *Fritzenolenellus truemani* Walcott (syn. *Olenellus fremonti*), *Antagmus buttsi* Resser y nuevas especies se reconocieron por Lochman en Cooper et al. (1952), como *Paedeumias puertoblancoensis*. La Formación Cerro Prieto no presentó trilobites, mientras que la Formación Arrojos posee una abundante fauna de trilobites como *Alokistocare althea* Walcott, *Kistocare tontoensis* Resser, *Kootenia exilaxata*

Deiss, *Athabaskia bela* Walcott, *Ptychoparia clusia* Walcott, *Zacanthoides holopygus* Resser, *Amecephalus arrojensis* Lochman, y las nuevas especies *Alokistocare modestum*, *Alokistocare mexicana*, *Kochaspis cooperi*, *Ptarmigania* (*Ptarmiganoides*) *bispinosa*, *Glossopleura torresi* (syn. *Sonoraspis torresi*), *Glossopleura gomezi* (syn. *Sonoraspis gomezi*), *Albertella proveedora*, *Albertella* aff. *A. proveedora*, *Mexicaspis difuntoensis*, *Arellanella sonora*, *Inglefieldia imperfecta*, *Pachyaspis deborra* y *Pachyaspis isabella*, así como las especies ya descritas por Lochman en 1948. Los trilobites de la Formación El Tren están representados por *Athabaskia minor* Resser, *Inglefieldia* sp. y *Parehmania* sp.

Fritz (1975) evaluó también la estratigrafía del área de Caborca, en las formaciones Buelna y Cerro Prieto. Con base en trilobites reconoció la Zona *Bonnina-Olenellus* y determinó que la transición al Cámbrico medio ocurre cerca de la base de la Formación Arrojitos.

Stewart *et al.* (1984) realizaron el estudio estratigráfico de las rocas sedimentarias del Proterozoico superior y Cámbrico de la región de Caborca, identificando catorce formaciones, las cuales fueron consideradas parte del Miogeoclinal Cordillerano en el noroeste de México. Para la Formación La Ciénega se reconocieron faunas pre-trilobíticas y la ocurrencia de fósiles traza de trilobites como *Rusophycus*, infiriendo la Zona de pre-Fallotaspis. La

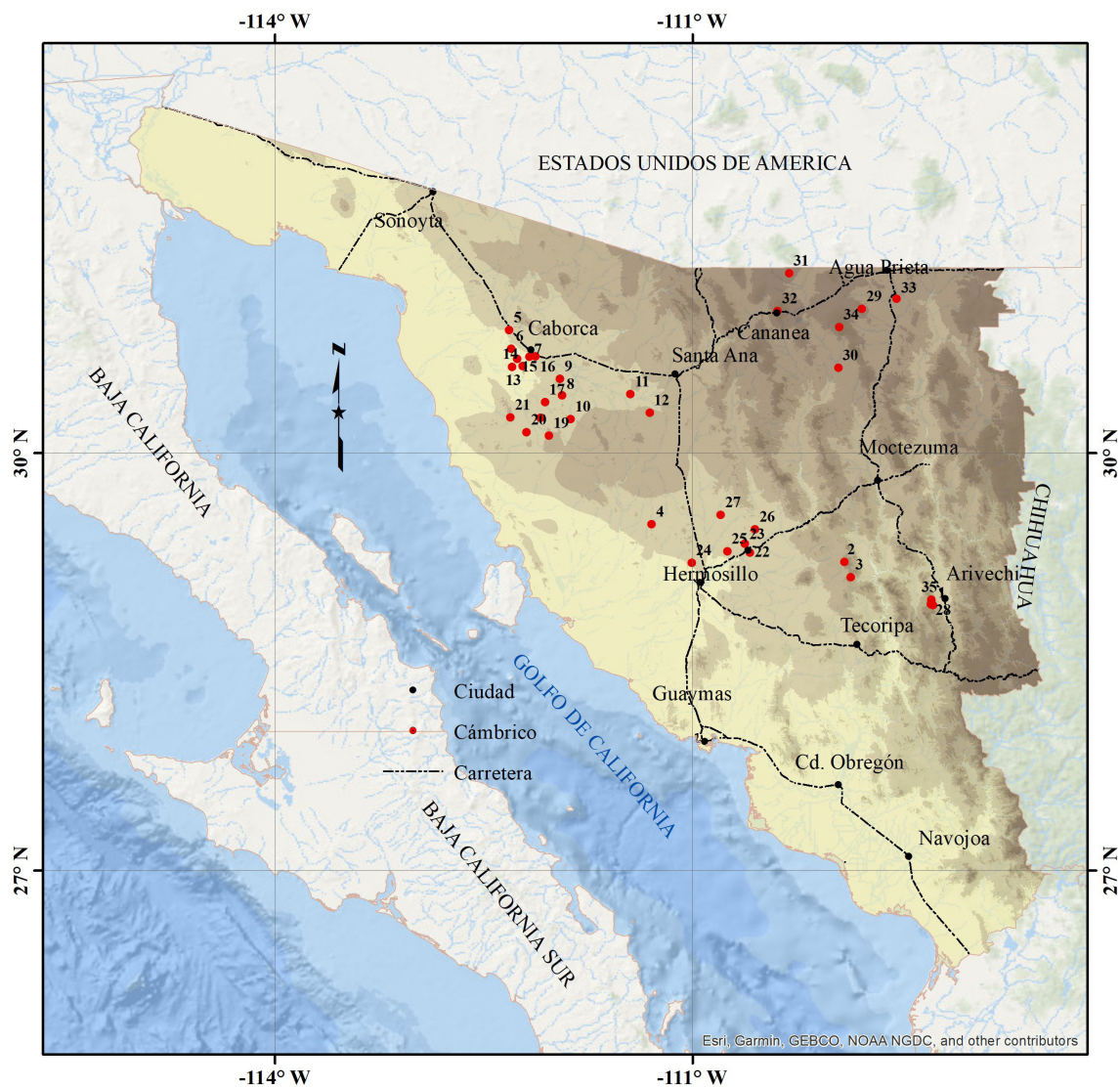


Figura 1. Afloramientos del Cámbrico de Sonora, México. 1 Cerro El Mogallón, 2 Sierra Agua Verde, 3 Sierra El Carrizo, 4 Rancho Pozo Nuevo, 5 Cerro Los Difuntos, 6 Cerro Buelna, 7 Cerro Prieto, 8 Cerro Rajón, 9 Sierra la Víbora, 10 Cerro San Clemente, 11 Cerro Arituaba, 12 Cerro El Picacho, 13 Cerro Arrojitos, 14 Cerro Lista Blanca, 15 Cerro Proveedora, 16 Cerro Cañedo, 17 Sierra La Verruga, 18 Cerro Calaveras, 19 Cerro La Ciénega, 20 Cerro Pozo Serna, 21 Sierra Del Viejo, 22 Cerro El Chihuarruita, 23 Cerro El Sahuaral, 24 Cerro La Caridad, 25 Cerro El Cártamo, 26 Cerro El Sotol, 27 Sierra La Chepa, 28 Cerro La Sata, 29 Sierra Las Mesteñas, 30 Cerro La Cal, 31 Sierra El Tule, 32 Cananea, 33 Cerro Cabullona, 34 Sierra Los Ajos y 35 Cerro El Potrero.

Formación Puerto Blanco contiene abundantes trilobites que fueron identificados por Lochman (1948) y Palmer (1982), quién asignó las zonas de *Bonnina-Olenellus*, *Nevadella* y *Fallotaspis*.

González-León (1986) describió una secuencia de rocas sedimentarias del Cámbrico medio y superior en el área de la Sierra del Tule, Cananea (Figura 1), constituida principalmente por arenisca, caliza, capas de lodolita, limolita y arenisca de grano muy fino. La biota está representada por algas calcáreas y los trilobites *Arapahoia* sp., *Cedaria* sp., *Coosella* sp., *Coosia* sp., *Llanoaspis* sp. y *Tricrepicephalus* sp. del Cámbrico medio y superior (Dresbachiano).

McMenamin (1987) informó sobre trilobites de la Formación Puerto Blanco, Sonora. Asimismo, determinó las zonaciones y estableció correlaciones con la Formación La Ciénega del noroeste de Sonora (Figura 1). El mismo autor identificó la especie cf. *Fallotaspis* sp. y nuevas especies como *Nevadia ovalis* y *?Avefallotaspis orbis* (syn. *Judomia orbis*) del Cámbrico inferior. Estos trilobites fueron importantes para correlacionar la Formación Puerto Blanco con otras localidades de Norteamérica.

Rivera-Carranco (1988) determinó el conjunto de procesos sedimentarios que actuaron en las unidades cámbricas del área de Caborca, con el fin de establecer las condiciones paleoambientales de su depósito, señalando que la mayor parte de estas formaciones representan ambientes marinos de aguas someras y tranquilas de carácter lagunar, además de existir depósitos de intermarea y submarea.

2.2. Área central y oriental

Cirett y Aguilar (1989) son los descubridores del Cámbrico del Cerro El Chihuarruita, en el área de San José de Gracia (Figura 1). Dichos autores estudiaron la estratigrafía de las rocas de la región, identificando para el Cámbrico a las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto, incluidas en el grupo San José.

Almazán-Vázquez (1989) describió y nombró informalmente cuatro formaciones en la región de Arivechi centro oriental del estado de Sonora: La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillars (Figuras 1 y 2). Para la formación La Sata, Almazán-Vázquez (1989) identifica las especies de trilobites *Amecephalus* sp. y *?Fieledaspis* sp., indicando la base de Cámbrico medio y representando la Zona pre-*Glossopleura*. La formación El Mogallón presenta las especies *Bathyriscus* sp., *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus michaeli*, *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* sp. cf. *O. marjumensis*, *?Modocia typicalis*, *Modocia* sp., y *?Utaspsis* sp., infiriendo que las rocas pertenecen a la parte media del Cámbrico medio. En la formación La Huerta se encontraron trilobites indeterminados, representando la parte superior del Cámbrico medio, aunque los taxa no demostraron una edad precisa, mientras que la formación Milpillars está representada por las especies *Aphelotoxon* sp.,

Elviniella sp., *Homagnostus* sp., *Pseudagnostus* sp., *?Pterocephalia* sp. y ptychopariidos indeterminados, infiriendo la Zona *Dunderbergia* o *Elvinia*, situando a estas rocas en la parte media del Cámbrico superior. Así, a la secuencia continua le fue asignada una edad de Cámbrico medio-Ordovícico con base en la identificación de zonas faunísticas: *Poliella denticulata*, *Bolaspidea* y *Elvinia* (Cuen-Romero et al., 2018).

Vega-Granillo (1996) describió la geología y el análisis estructural de la Sierra de Mazatán, Sonora central, donde se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias principalmente carbonatadas con delgadas intercalaciones detríticas hacia la parte inferior. Esta unidad contiene ejemplares de *Tonkinella valida*, *Quadragnostus depressa* (syn. *Peronopsis fallax depressa*), *Tomagnostus* sp. y *Ptychoparella* sp. (syn. *Syspacephalus* sp.), asignando la Zona de *Ehmaniella*. Sin embargo, años más tarde serían asignadas a la parte superior de dicha zona (Cuen-Romero et al., 2018), específicamente a la Subzona de *Altiocculus* por la presencia de *Tonkinella valida*, que indica una edad Serie 3, Piso 5, para Laurentia (Lincolniano, Topazano).

Stewart et al. (2002) describieron numerosas áreas donde se presentan secuencias de rocas de la cobertura neoproterozoica y paleozoica en Sonora. En el estudio, las secuencias neoproterozoicas y cámbricas fueron divididas en cuatro principales asociaciones: 1) La secuencia del Neoproterozoico ubicada al noroeste de Hermosillo, conformada por rocas de los grupos Las Víboras y El Águila (informales), considerada como parte del supercontinente Rodinia. 2) El grupo Las Bolas (informal), ubicado al este de Sonora, el cual contiene depósitos glaciares en la parte inferior de la secuencia correspondientes a la Glaciación Sturtiana. 3) En la porción norte y noreste, los estratos del Neoproterozoico y Cámbrico pertenecientes al Miogeoclinal Cordillerano fueron depositados a lo largo del margen continental recién formado de Laurentia, que se inició después de la fragmentación del supercontinente Rodinia. 4) Al sureste, la cubierta cratónal del Cámbrico medio y superior dentro del Miogeoclinal Cordillerano. Los autores consideraron que Sonora se encuentra en una posición única en la reconstrucción del hipotético supercontinente de Rodinia, sugiriendo que una posición cerca de Australia o la Antártida parece ser la más probable.

Nardin et al. (2009) dieron a conocer la existencia de *Gogia granulosa* Robison, 1965 y determinaron el Cámbrico inferior-medio de las rocas de San José de Gracia en la región central de Sonora. Los autores en una reevaluación del material fósil, propuesto por Buitrón et al. (2004), realizaron el estudio paleontológico y sistemático de *Gogia granulosa*, así como la descripción detallada de los miembros litológicos propuestos por otros autores anteriores.

Cuen et al. (2013) describieron escleritos aislados de *Chancelloria eros* Walcott 1920, *Diagoniella* sp. y asociaciones de espículas hexactínidas-estauractinas y hexactina- pentactinas para el Cámbrico medio de San José

de Gracia (Figura 3). Dichos organismos están asociados con otros representativos de la Zona de *Mexicella mexicana*, además de braquiópodos inarticulados.

Cuen-Romero *et al.* (2016) realizaron estudios en la estratigrafía del Cerro El Chihuarruita (Figuras 1 y 3), en la región de San José de Gracia, con el establecimiento de una estrecha correlación con la estratigrafía propuesta por Cooper *et al.* (1952), para la región de Caborca situada al noroeste del estado. Describieron la estratigrafía del Cámbrico del área San José de Gracia, conformada por cuatro formaciones: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, y propusieron formalmente una nueva unidad estratigráfica denominada Formación El Gavilán (Cuen-Romero *et al.*, 2016). Estos autores reportan por primera vez la presencia de *Amecephalus arjosensis* en la base de la Formación Cerro Prieto, la cual es una especie indicadora del Cámbrico medio. La biota en esta región está constituida por algas oncolíticas (Figura 6a), espículas de esponja (Figura 6b), braquiópodos (Figura 6c–d), hiolítidos, trilobites (Figura 6e–f), entre otros.

Encinas-Miranda (2016) realizó la descripción sistemática de la fauna de trilobites presente en la Formación El Gavilán del área El Sahuaral (Figura 1), Sonora central, identificando por primera vez en esta región de Sonora cinco especies de trilobites: *Quadragnostus depressa*, *Pagetia* sp., *Oryctocephalus* sp., *Elrathina antiqua* y *Tonkinella valida*, este último indica la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella*, una edad estimada de 505 Ma.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2017) reportaron por primera vez, para el Cámbrico inferior y medio de México, hiolítidos de la especie *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison,

1988, y para la región de San José de Gracia la especie *Hyolithes* cf. *H. sonora* Lochman, 1952. Con base en la biota cámbrica, que incluye a estos hiolítidos, se establece una estrecha correlación con los depósitos de Canadá, Estados Unidos de Norteamérica, Groenlandia, Sudamérica, norte de Europa, Asia, y noreste de Australia.

Danzos-Acuña (2018) realizó la bioestratigrafía a detalle del área del Sahuaral, Sonora central, con base en trilobites, destacando la presencia de trilobites de la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona *Ehmaniella*.

Cuen-Romero *et al.* (2018) en un estudio detallado y combinado con aportes previos de otros autores estableció la bioestratigrafía y las zonas faunísticas basadas en trilobites de los depósitos cámbricos en Sonora. Asimismo, en este estudio se implementó la nueva división cámbrica propuesta por la Subcomisión Internacional de la Estratigrafía del Cámbrico, siendo utilizada para asignar las posiciones cronoestratigráficas de los estratos cámbricos de Sonora. Las zonas bioestratigráficas se establecieron según Webster (2011) y Webster y Bohach (2014).

Sour-Tovar y Hernández-Barbosa (2018) describieron madrigueras y estructuras etológicas con relación a los icnogéneros *Rusophycus* y *Cruziana* de la Formación Puerto Blanco, en la región Caborca-Pitiquito, noroeste de Sonora (Figura 1). Los ejemplares permitieron reconocer la asociación típica de la icnofacies *Cruziana*, que indican ambientes marinos submareales con cambios en condiciones de meso a infralitorales.

Beresi *et al.* (2019) hicieron el primer reporte formal para el área de El Sahuaral y describieron la presencia de fragmentos de escleritomos de *Chancelloria eros* Walcott



Figura 2. Afloramientos del Cámbrico-Ordovícico del área de Arivechi, izquierda (cerro La Sata), derecha (cerro El Mogallón).



Figura 3. Cerro El Chihuarruita. Afloramientos del Cámbrico de Sonora central.

asociados con escleritos aislados de *Allonia tintinopsis* Bengston y Collins (2015), y *Archiasterella* sp., presentes en la Formación El Gavilán.

Cuen-Romero *et al.* (2019a) realizaron las reconstrucciones paleoecológicas de las comunidades del Cámbrico en la región de Sonora central, de acuerdo con el análisis litológico y las características faunísticas para interpretar las condiciones del ambiente de depósito de las formaciones estudiadas en el área de San José de Gracia. En conjunto se distinguen las comunidades bentónicas con diversos grupos funcionales y gremios bien definidos, y las condiciones paleoambientales varían desde la línea de costa hasta la plataforma marina abierta.

Cuen-Romero *et al.* (2019b) describieron por primera vez para la región de Arivechi la especie *Ptychagnostus atavus*. La abundancia y amplia distribución del trilobite agnóstico permitió realizar correlaciones a nivel global, aportando nuevo conocimiento para el Cámbrico medio de México y la relación estrecha con el supercontinente Laurentia.

Noriega-Ruiz (2019) realizó un análisis de litofacies, microfacies y biofacies de las unidades litoestratigráficas cámbricas, identificando por primera vez a la Formación El Tren en el área de El Sahuaral, así como la presencia

de icnofósiles (*Arenicolites* isp., *Thalassinoides* isp. y *Skolithos* isp.), algas oncolíticas (*Girvanella* sp.), braquiópodos (*Lingulella proveedoraensis* Cooper in Cooper *et al.*, 1952), hiolítidos (*Hyolithes sonora* Lochman, 1952, y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988), trilobites (*Tomagnostus* sp., *Oryctocephalus* sp., y *Tonkinella flabelliformis* Mansuy, 1916) y placas aisladas de equinodermos.

3. Ordovícico

El Paleozoico inferior se describió por primera vez en Sonora en El Rancho La Casita (Dumble, 1900) y en la Sierra Cobachi (King, 1939), estando representado por una secuencia de rocas calcáreas y dolomías asignadas al Ordovícico (Figura 4).

Los depósitos del Ordovícico fueron clasificados en tres cinturones de facies por Poole *et al.* (1995a, 1995b): plataforma cratónica, plataforma carbonatada y cuenca oceánica. Los depósitos de plataforma carbonatada del Ordovícico Inferior se caracterizan por caliza intraclástica, limolita, lutita y pedernal; los del Ordovícico Medio se constituyen de caliza arenosa y arenisca de cuarzo; los

depósitos del Ordovícico Superior se componen de caliza con pedernal y caliza arcillosa (Page *et al.*, 2012). Las rocas de plataforma cratónica del Ordovícico en Sonora se componen de afloramientos dispersos de caliza en el noreste de Sonora (Poole *et al.*, 1995a). Los depósitos del Ordovícico de cuenca oceánica están constituidos mayormente por lutita negra, argilita, pedernal y cuarcita que afloran principalmente en el centro de Sonora (Poole *et al.*, 1995b).

3.1. Área de Cobachi-Barita de Sonora

Peiffer-Rangin *et al.* (1980) y Peiffer-Rangin (1988) realizaron el estudio sobre el Ordovícico Superior de la región de La Casita-Los Chinos y reportaron una secuencia de argilita, pedernal con radiolarios y caliza arrecifal con corales como *Streptelasma* sp., *Palaeophyllum* sp. y *Calapoecia* sp. En el Cerro Cobachi, la secuencia se compone de argilita con los graptolites *Dicranograptus* sp., *Orthograptus* sp. (Figura 6g) y *Climacograptus* sp.

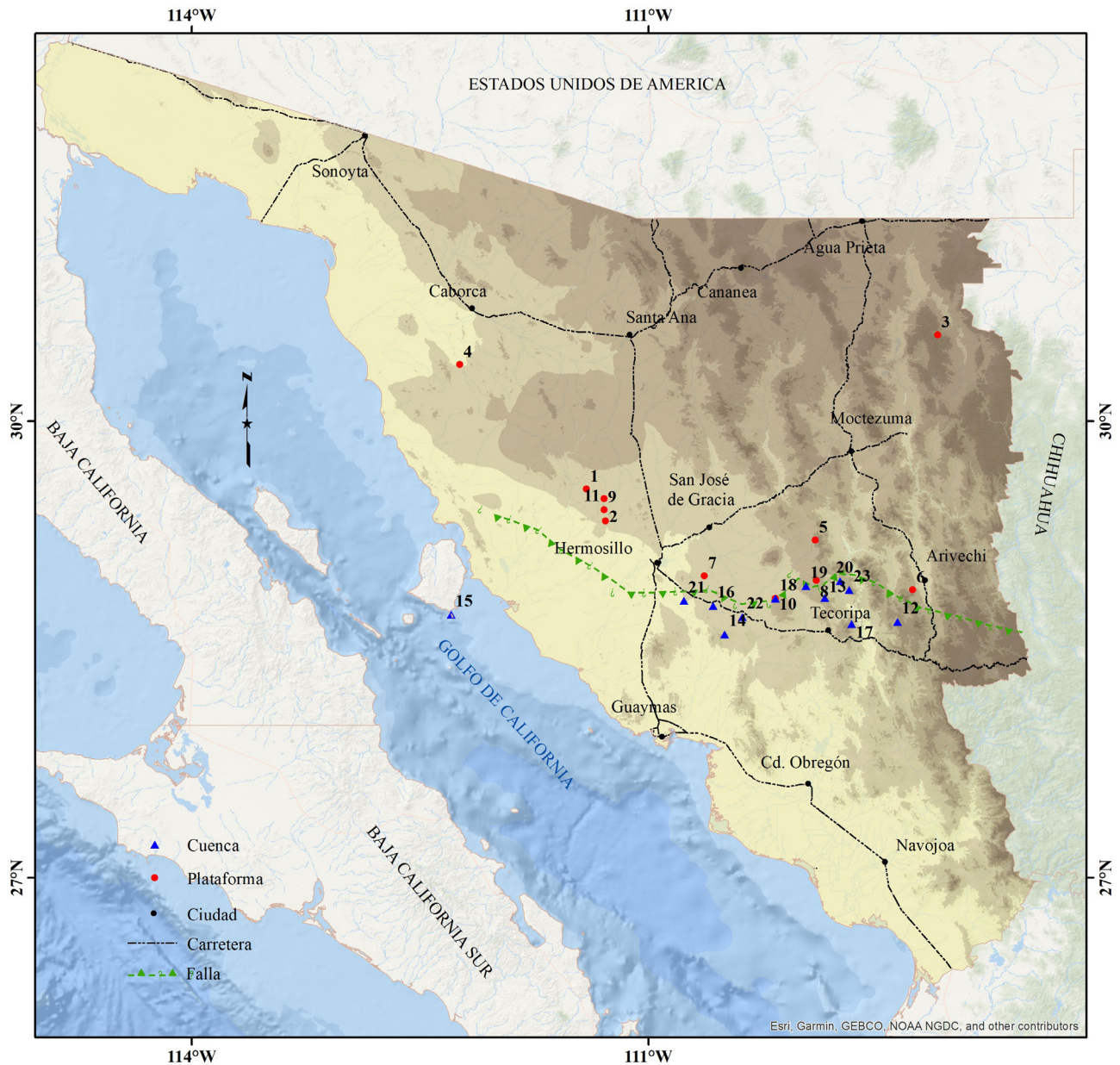


Figura 4. Afloramientos del Ordovícico de Sonora, México. Facies de plataforma carbonatada: 1 Cerro El Camero, 2 Rancho Placeritos, 3 Cañón de Santa Rosa, 4 El Bisani, 5 Sierra Agua Verde, 6 Cerro El Santísimo, 7 Rancho Las Norias, 8 Sierra Martínez, 9 Sierra de López, 10 Cerro Cobachi, 11 Rancho Pozo Nuevo. Facies de Cuenca Oceánica, 12 Sierra El Encinal, 13 Sierra La Ciénega, 14 Sierra de Moradillas, 15 Isla Turner, 16 La Colorada, 17 Sierra El Aliso, 18 Cerro Cobachi, 19 Barita de Sonora, 20 Rebeiquito, 21 Cerros El Aguaje, 22 Cerros La Herradura y 23 Cerro El Carrizo.

(Ordovícico Tardío), así como pedernal y cubierta por arenisca de cuarzo.

Noll (1981) nombró informalmente el grupo Guayacán, en el Cerro Cobachi, que se compone de arenisca masiva que gradúa a lutita calcárea y lutita carbonosa con graptolites, arenisca calcárea, caliza y bandas de pedernal, que tiene una edad del Ordovícico al Devónico.

Montes-Pesqueira y Campillo-Corralles (1983) refirieron una secuencia del Grupo Guayacán en la Barita de Cobachi (Barita de Sonora), que se conforma de lutita con graptolites como *Cryptograptus tricornis*, *Corynoides* sp., *Orthograptus calcaratus acutus* y *Pseudoclimacograptus sharenbergi* del Ordovícico Medio.

Ketner (1986) nombró informalmente cuarcita Peña Blanca a una secuencia siliciclástica de 132 m de espesor del Ordovícico que aflora en el Cerro Cobachi y concluyó que es similar en espesor, composición y textura a la Cuarcita Eureka de California y Nevada, EUA.

Montijo-González y Terán-Ortega (1988), reportaron en la Sierra Martínez una secuencia de dolomía, caliza arenosa, conglomerado y limolita, con un espesor aproximado de 100 m del Ordovícico Inferior (Tremadociano-Darriwiliano). Poole et al. (1995a) describieron en esta secuencia una fauna de trilobites (*Paranileus* sp.), braquiópodos, gasterópodos (*Lecanospira* sp., *Maclurites* sp., *Helicotoma* sp., y *Lophospira* sp.) (Figura 6h-i) y conodontos de las zonas *Macerodus diana* hasta *Histiodella sinuosa* (Ibexiano-Whiterockiano).

En el área de la mina Barita de Sonora aflora una secuencia ordovícica de cuenca profunda de la formación El Quemado, la cual mide alrededor de 100 m y se compone de caliza, limolita, dolomía, arenisca y conglomerado intraclástico. Esta secuencia se dató con graptolites del género *Adelograptus*. Esta formación está sobreyacida por la formación el Mezquite de 110 m de espesor, formada de argilita y lutita con graptolites (*Nemagraptus gracilis*, *Dicranograptus clingani*) del Ordovícico Medio. La formación el Yaqui sobreyace a la secuencia anterior y está formada por bandas de pedernal y limolita de 120 m de espesor que contienen graptolites (*Dicranograptus clingani*, *Dicellograptus complanatus*) del Ordovícico Medio-Superior (Poole et al., 1995b).

3.2. Área de Arivechi

Almazán-Vázquez (1989) trabajó en el oeste de Arivechi, lugar donde informalmente nombró cinco formaciones para referirse a rocas del Cámbrico medio-superior y Ordovícico Inferior, las cuales son La Sata, El Mogallón, La Huerta, Milpillitas y El Santísimo (Figura 4), estableciendo sus edades mediante trilobites. Las capas pertenecientes al Ordovícico Inferior contienen trilobites y crinoides de la Zona de *Symphysurina*.

Reyes-Montoya (2017) reconoció una secuencia de limolita, lutita, brecha sedimentaria y caliza con conodontos

Drepanodus sp., *Drepanodus arcuatus*, *Scolopodus subrex*, del Ordovícico Inferior (Tremadociano) pertenecientes a la formación El Santísimo.

3.3. Área El Bísani y Bavispe

En las inmediaciones del Rancho El Bísani se localizan colinas con rocas carbonatadas de donde Brunner (1984) describió fauna de conodontos del Ordovícico Inferior-Medio.

Poole et al. (1995a) reportó una secuencia de dolomía gris oscura con pedernal y arenisca de cuarzo con conodontos de edad Whiterockiano a Cincinnatiano (Ordovícico Medio-Tardío) en el Rancho Bísani (Figura 4).

En el Cañón de Santa Rosa, ubicado a 20 km al noroeste de Bavispe, se encuentra una secuencia de calizas con los conodontos *Drepanodus* sp., *Scolopodus subrex*, *Acontiodus* sp., del Ordovícico Inferior pertenecientes a depósitos de plataforma cratónica (Holcomb, 1979; Poole et al., 1995b).

3.4. Área Sierra Agua Verde

La región de la Sierra Agua Verde fue explorada en los años setenta por Peiffer-Rangin; sin embargo, la primera publicación la realiza Stewart et al. (1984) donde describieron secuencias del Cámbrico y Ordovícico. A partir de esta publicación, diversos autores han estudiado esta área y como conclusión se obtuvo que en la Sierra Agua Verde está expuesta una sucesión sedimentaria de aproximadamente 3.7 km de espesor, que comprende el Neoproterozoico?, Cámbrico, Ordovícico, Devónico Superior, Misisipico y Pensilvánico Inferior-Medio (Poole et al., 1984, 1995a; Repetski et al., 1985; Stewart et al., 1988a). Los afloramientos del Paleozoico fueron descritos por Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993).

Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993) trabajaron en la Sierra Agua Verde y denominaron el grupo San José para incluir a las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Arrojos, las cuales correlacionaron con la secuencia del Cámbrico de Caborca. También nombraron informalmente la formación el Boquinete dentro el grupo Agua Verde para referirse a una secuencia de lutita calcárea, caliza arenosa, caliza con pedernal y arenisca. La biota se compone por braquiópodos (*Liricamera* sp. y *Dipareplasma* sp.), corales (*Palaeoalveolites* sp., *Palaeophyllum* sp. y *Streptelasma* sp.), crinoides y briozoarios fragmentados.

Stewart et al. (1999) identificaron dos unidades carbonatadas del Ordovícico Inferior en la Sierra Agua Verde. La unidad 1 consiste en una secuencia carbonatada de caliza intercalada con lutita que contiene conodontos del Ordovícico Inferior (Tremadociano) (*Cordylodus caboti*, *Cordylodus lindstromi*, *?Eoconodontus notchpeakensis*, *Rossodus manitouensis*, *Drepanodus arcuatus*, *Protopanderodus leei*). La unidad 2 está representada por caliza fosilífera del

Ordovícico Inferior (Tremadociano-Floiano), la biota está representada por algas, braquiópodos, equinodermos y conodontos (*Histiodella* sp., *Protopanderodus leei*, *Scolopodus bolites*, *Macerodus diana*, *Acodus deltatus*, *Oepikodus communis*, *Chionoconus avanga*, *Reutterodus andinus*, *Tropodus australis*, *Jumudontus gananda*).

En el Cerro La Cueva, en la región de San Pedro de la Cueva, Sonora aflora una secuencia calcárea con cianobacterias (*Nuia sibirica*), esponjas, gasterópodos, trilobites y pelmatozoos. Esta secuencia es equivalente con la formación el Boquinete (Ochoa-Granillo y Sosa León, 1993) o lo equivalente a la unidad 2 propuesta por Stewart *et al.* (1999). Esta unidad es del Ordovícico Inferior, Tremadociano-Floiano (Vachard *et al.*, 2017).

3.5. Área Sierra López y Rancho Las Norias

Vega-Granillo y Araux-Sánchez (1987) nombraron informalmente la formación Las Norias, en el Rancho Las Norias (Figura 4), que corresponde a una secuencia del Ordovícico compuesta de caliza, lutita, dolomía y arenisca, comparable en litología a la Formación Pozo Nuevo. Estas rocas contienen fósiles de briozoarios, braquiópodos, gasterópodos, trilobites, crinoideos y conodontos, entre otros.

Ávila-Angulo (1987) describió una unidad llamada informalmente “unidad caliza Pozo Nuevo” del Ordovícico, conformada por dolomía con capas de pedernal, cuarcita, arenisca calcárea, caliza con pedernal con briozoarios, braquiópodos, cefalópodos, trilobites y crinoideos en el Rancho Pozo Nuevo ubicado al norte de la Sierra López. Esta área fue estudiada posteriormente por otros autores (Franco-Vega *et al.*, 2000; Page *et al.*, 2003; Almazán-Vázquez, 2006).

En el Cerro Sonora, Sierra San Juan de Dios (norte del Rancho Las Norias), Peiffer-Rangin (1988) realizó una sección compuesta de caliza, limolita y brecha calcárea. Estos estratos contienen el alga *Nuia* del Ordovícico Temprano.

Al oeste de la Sierra López, Stewart *et al.* (1988b) describieron una secuencia compuesta de aproximadamente 1,700 m de caliza, lutita y dolomía con *Caryocaris* y *Hypermecaspis*, otra unidad de caliza con pedernal con conodontos del Ordovícico Medio y finalmente caliza y dolomía con conodontos de la parte superior del Ordovícico. Del Rancho Placeritos ubicado al sur de la Sierra López, Poole *et al.* (2000) identificaron un paquete de rocas del Ordovícico Medio-Superior, correlacionable con la parte superior de la caliza Pozo Nuevo, la cuarcita Peña Blanca y una unidad de caliza cíclica, caliza arcillosa y dolomía con corales rugosos y tabulados del Ordovícico Superior.

Franco-Vega (2000) nombró informalmente como formación Pozo Nuevo a una secuencia sedimentaria carbonatada compuesta de 12 facies (A–L), en el Rancho Pozo Nuevo, y correlacionó las facies F a la L con la

secuencia del Ordovícico que aflora en el Rancho Las Norias. Franco-Vega (2000) también indicó presencia de rocas cámbricas en el área.

Page *et al.* (2003) designaron la cuarcita La Pirinola del Cámbrico superior en el sureste del Rancho Las Norias. También realizaron secciones en las cercanías del Rancho El Albañil de donde informaron que la secuencia carbonatada de la formación Las Norias contiene braquiópodos, gasterópodos, trilobites, cefalópodos y conodontos del Ordovícico Temprano-Medio.

Almazán-Vázquez *et al.* (2006) nombró formalmente la Formación Pozo Nuevo, la cual aflora en el Rancho Las Norias y Rancho Pozo Nuevo, conformada por catorce miembros, y que en conjunto tienen un espesor de 2,490 m de caliza con pedernal, que alterna con capas arcillo-calcáreas y de arenisca cuarzosa con trilobites, gasterópodos y braquiópodos del Ordovícico Temprano. Beresi *et al.* (2012) concluyó debido al estudio de microfacies, que las rocas de la Formación Pozo Nuevo en Cerro Salazar cerca del Rancho Las Norias, se depositaron en un ambiente lagunar, depósitos intermareales, submareales y ambientes de playa de alta energía y dolomías de ambiente vadoso.

3.6. Área Sierra El Aliso

Bartolini (1988) identificó en la Sierra El Aliso un paquete del Ordovícico Inferior, Medio y Superior compuesto por cuatro unidades de lutitas negras con graptolites (*Undulograptus* sp., *Temnograptus* sp., *Loganograptus* sp.), pedernal con radiolarios, cuarcita, argilita con graptolites (*Climacograptus* sp. y *Orthograptus* sp. aff. *O. amplexicaulis*) y calizas azoicas.

3.7. Otras localidades del Ordovícico

Bartolini *et al.* (1990) describieron argilitas del Ordovícico Medio (Arenigiano-Llanvirniano) a lo largo de la carretera Rebeiquito-El Novillo. El Ordovícico de cuenca se encuentra presente también en las localidades de Rebeiquito, La Colorada (Cerro La Minita, Cerro el Aguaje, Cerros La Herradura) y en la Isla Turner. También en Rebeiquito se hallan afloramientos de lutita negra con graptolites del Whiterockiano-Mohawkiano, y en las localidades de La Colorada se han encontrado graptolites en lutitas y argilitas color gris, con edades del Whiterockiano al Cincinnatiano, y finalmente los graptolites encontrados en lutitas presentes en Isla Turner son del Mohawkiano (Poole *et al.*, 1995b) (Figura 4).

Poole *et al.* (1995a) concluyeron que las rocas de plataforma del Ordovícico en Sonora se pueden correlacionar con las del oeste de Estados Unidos de Norteamérica; las rocas carbonatadas de Sierra López, Sierra Martínez, Las Norias y Cerro Cobachi se pueden correlacionar con el Grupo Pogonip de Nevada y California, EUA, mientras que las rocas del Ordovícico de la Sierra Agua Verde son

correlacionables con la Caliza El Paso ubicada en el oeste de Texas, EUA (Figura 4).

4. Silúrico

El Sistema Silúrico se encuentra pobremente distribuido en el estado de Sonora. Como antecedente se tiene el trabajo de Palomares (1985), quién presentó una interpretación de isopacas, considerando la distribución actual de las rocas paleozoicas a partir de datos del subsuelo y superficie. El área de este trabajo incluye principalmente el norte de los estados de Sonora y Chihuahua, donde se exponen en su mayoría rocas sedimentarias paleozoicas constituidas de

caliza, y en menor proporción lutita, arenisca y limolita, seguido de arenisca y conglomerado; lo que es atribuido a un ambiente de depósito de ambientes litorales-aguas someras a profundos. El autor menciona que no existe evidencia de rocas sedimentarias del Silúrico en Sonora. González-León (1986) propuso que la ausencia de los sedimentos del Ordovícico y Silúrico en el sureste de Arizona, EUA y en el área de Cananea, noreste de Sonora, se debe principalmente a movimientos epirogénicos progresivos que causaron la erosión de los depósitos. Poole y Amaya-Martínez (2000) realizaron el estudio detallado sobre el reconocimiento de estratos pre-orogénicos y estratos sin-orogénicos asociados a aguas profundas (del Ordovícico al Misisípico Temprano) con relación a la formación del cinturón orogénico

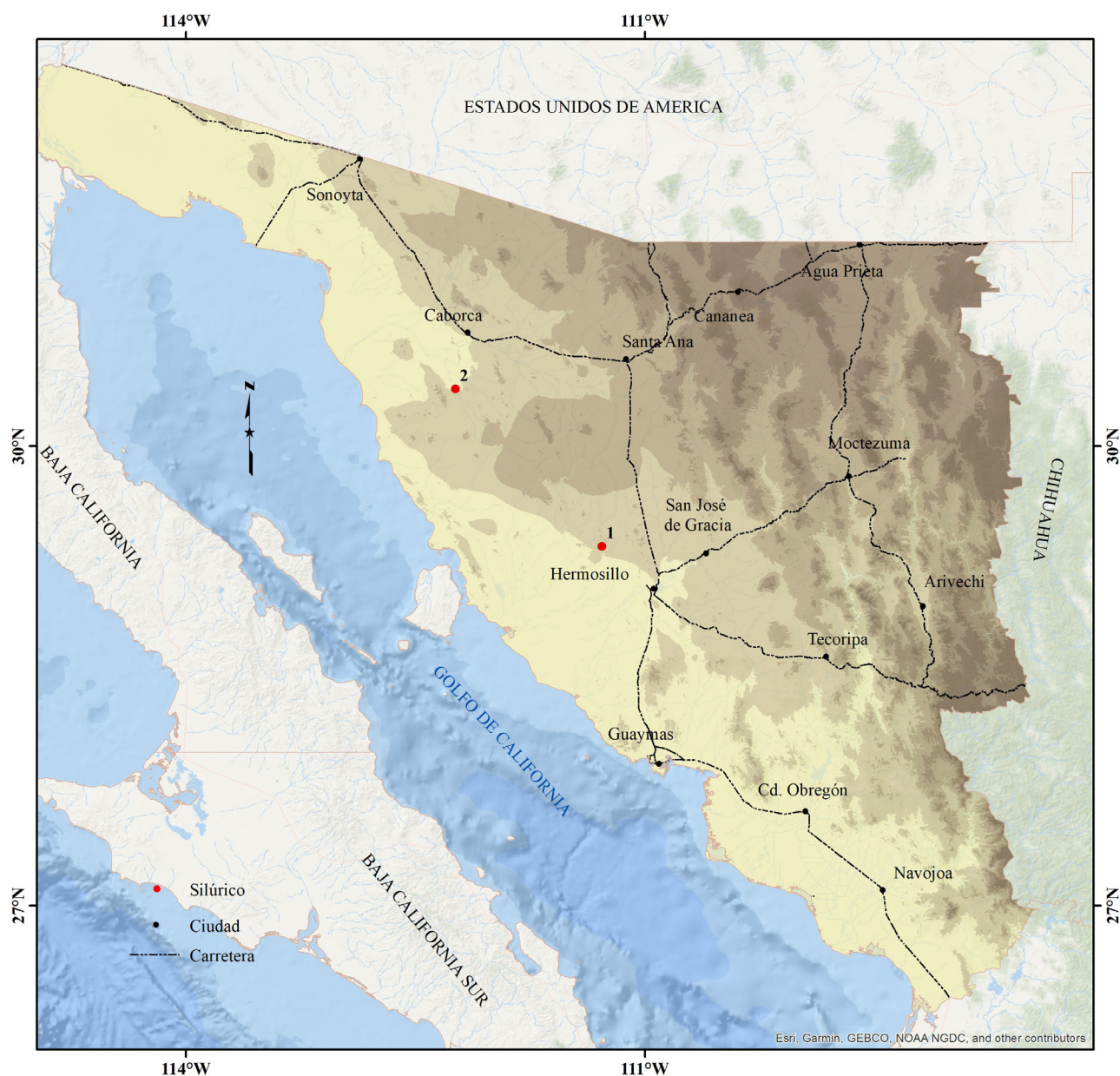


Figura 5. Afloramientos del Silúrico de Sonora, México. 1 Rancho Placeritos, y 2 El Bísani.



Figura 6. Fauna fósil del Paleozoico inferior de Sonora. a) Detalle de un alga oncolítica nucleada en una concha de un hiolítico, Formación Buelna, Cámbrico. b) Espículas de *Diagoniella* sp., Formación El Gavilán, Cámbrico. c) Valva pedicelar de *Acrothele concava*, Formación El Gavilán, Cámbrico. d) Asociación de *Acrothele* sp. y posible *Allonia*, Formación El Gavilán, Cámbrico. Tomado de Cuen *et al.*, 2013. e) *Elrathina antiqua*, Formación El Gavilán, Cámbrico. f) *Oryctocephalites walcotti*, Formación El Gavilán, Cámbrico. Tomado de Cuen-Romero *et al.*, 2018. g) Detalle de *Orthograptus* sp., Ordovícico, Barita de Sonora. h) *Lecanospira compacta*, Ordovícico, Rancho Las Norias. i) *Hormotoma gracilis*, Ordovícico, Rancho Las Norias. j) Detalle de *Halysites* sp., Silúrico, Rancho Placeritos.

Ouachita-Marathon-Sonora, producido por la obducción del Eugeoclinal Cordillerano sobre el Migeoclinal Cordillerano (Figura 5).

Stewart y Poole (2002), hicieron la recopilación sobre las localidades del Neoproterozoico y Paleozoico, para examinar y describir el contenido litológico. Los autores describieron cuatro localidades correspondientes al Silúrico:

1. El Rancho El Bísani se encuentra en la región noroeste de Sonora, 22 km al oeste de Caborca, donde aflora una secuencia estratigráfica marina del Ordovícico al Misisípico que ha sido objeto de estudio para fines litoestratigráficos y bioestratigráficos (Cooper y Arellano, 1946; Brunner, 1975; Armstrong *et al.*, 1981; Poole *et al.*, 1995a). La presencia de conodontos sugiere una edad del Silúrico para las rocas tipo plataforma del Rancho El Bísani (Figura 5).
2. El Cerro Cobachi se ubica al sureste de Hermosillo. Se han descrito dos secuencias principales, correspondientes a aguas someras de una plataforma carbonatada y una secuencia silíceas de aguas relativamente profundas en las que se incluyen tentativamente estratos del Silúrico.
3. El Rancho Placeritos se encuentra en la región central de Sonora, en las inmediaciones de la ciudad de Hermosillo, donde se han reconocido y descrito rocas del Ordovícico Superior al Misisípico en contacto discordante con rocas del Jurásico Inferior (Ávila-Angulo, 1987; Poole *et al.*, 1997; 1998).
4. El Cerro El Carnero se localiza al noroeste de la ciudad de Hermosillo. Con base en una sección establecida que mediante el análisis de litofacies y de conodontos confirmaron edades del Ordovícico, Silúrico y Devónico.

Algunos autores han afirmado la evidencia de un hiato en el registro estratigráfico que abarca del Silúrico al Devónico en afloramientos de la región central de Sonora (Montes-Pesqueira y Campillo-Corrales, 1983; González-León, 1986; Montijo-González y Terán-Ortega, 1988; Poole y Amaya-Martínez, 2000).

Se ha propuesto que la secuencia sedimentaria del Miogeoclinal Cordillerano corresponde al margen continental pasivo con relación al cratón norteamericano, lo que permitió la sedimentación continua durante el Neoproterozoico y Cámbrico, depositándose potentes espesores de caliza y en menor proporción arenisca. Posteriormente, tal sedimentación fue interrumpida durante el Silúrico-Devónico Medio, posiblemente por la ocurrencia de un levantamiento regional durante el Silúrico y una subsidencia muy lenta durante el Devónico Temprano (Palomares, 1985; Hernández-Gracia, 2011; Encinas-Valenzuela y Vega-Figueroa, 2018). La sedimentación continuó durante el Devónico Tardío aflorando potentes espesores de caliza fosilífera donde se han realizado recientemente aportaciones bioestratigráficas (Navas-Parejo, 2019).

No obstante, en el área Rancho Placeritos, Sonora central, se ha documentado abundante contenido fosilífero, destacando la presencia de corales coloniales y tabulados como *Halysites* sp. (Figura 6j) que corresponde a una edad del Silúrico (Poole *et al.*, 2000). Los depósitos de plataforma de esta área del Silúrico tienen relevancia ya que podrían representar la continuación de un cinturón que envuelve el cratón de Norteamérica desde el sur de Texas, EUA, a través de Chihuahua y Sonora, México y una columna estratigráfica continua, y su estudio a detalle también podría beneficiar el entendimiento sobre la evolución geológica de México (Poole *et al.*, 2000; Molina-Garza e Iriondo, 2005).

5. Conclusiones

Los afloramientos del Paleozoico inferior de Sonora poseen un gran potencial para el avance del conocimiento de la estratigrafía y paleontología de México, además de un conocimiento histórico respecto a los estudios realizados pues el estado tiene la mayoría de los afloramientos del Paleozoico inferior de México, con una abundante biota fósil que prueba la relación paleogeográfica de Sonora con el cratón de Norteamérica. Los trabajos publicados en los últimos años demuestran el interés en continuar con el legado paleontológico de 120 años de investigación del Cámbrico, Ordovícico y Silúrico de México.

Agradecimientos

Al Proyecto PRODEP UNISON-PTC-301: “*Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y su relación con el cratón de Norteamérica*”, por el soporte proporcionado. Los autores agradecen las atinadas correcciones y/o sugerencias de la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez, Dr. Rogelio Monreal y el trabajo editorial del Dr. Josep A. Moreno Bedmar, contribuyendo a mejorar de manera significativa este trabajo.

Referencias

- Almazán-Vázquez, E., 1989, El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región Centro- Oriental del Estado de Sonora: Instituto de Geología, Revista, 8(1), 58–66.
- Almazán-Vázquez, E., Buitrón, B., 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.
- Armstrong, A.K., Mamet, B.L., Brunner, P., 1981, Mississippian stratigraphy, southern New Mexico, Arizona, and Sonora, Mexico: Geological Society of America, Abstracts with Programs, 13(2), 42.
- Ávila-Angulo, R., 1987, Consideraciones geológicas y estratigráficas de la porción NW de Hermosillo, México: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 78 pp.

- 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.
- Bartolini, C., 1988, Regional structure and stratigraphy of Sierra El Aliso, central Sonora, Mexico: Tucson, Arizona, University of Arizona, M.Sc. Thesis, 189 pp.
- Bartolini, C., Morales, M., Spinosa, C., Finney, S., 1990, Paleozoic off-shelf successions unconformably overlain by Triassic strata in central Sonora, Mexico: Evidence for a Permo-Triassic tectonic event?: Geological Society of America, Abstracts with Programs, 22(7), A114.
- Bengtson, S., Collins, D., 2015, Chancelloriids of the Cambrian Burgess Shale: Palaeontologia Electronica, 18, 1.6A, 1–67.
- Beresi, M., Cabaleri, N., Buitrón, B.E., Rodríguez, M., Heredia, S., Tortello, M., 2012, Microfacies, biota y paleoambientes sedimentarios del Ordovícico temprano-medio del Cerro Salazar, Sonora central, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(2), 330–345.
- Beresi, M.S., Buitrón, B., Cuen-Romero, F.J., Palafox-Reyes, J.J., 2019, Escleritos 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.
- Brunner, P., 1975, Estudio estratigráfico del Devónico en el área de El Bísani, Caborca, Sonora: Instituto Mexicano del Petróleo, Revista, 7, 16–45.
- Brunner, P., 1984, Los conodontos de México, en Perrilliat, M., del C., ed., Oaxtepec, Morelos, III Congreso Latinoamericano de Paleontología, Memoria 3, 84–91.
- Buitrón, B.E., 1992, Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico inferior de México y su contenido biótico, en Gutiérrez Marco, J.C., Saavedra, J., Rábano, I. (eds.), Paleozoico inferior de Ibero-América: España, Universidad de Extremadura, Memoria, 193–201.
- Buitrón, B.E., Sandoval, G., 1989, El Paleozoico Inferior de México. Universidad Tucumán, Argentina: Revista de Correlación Geológica 5, 131–136.
- Buitrón, B.E., Almazán, E., Mendoza, C., 2004, *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México: Unión Geofísica Mexicana, 24(2), 251 p.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F., Huerta-Ruiz, A., Montijo-González, A., 2017, Hiolitidos del Cámbrico (Hyolitha) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas: Paleontología Mexicana, 6(1), 10.
- Cirett, G.J., Aguilar, R.F., 1989, Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 137 pp.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México: Bulletin American Association Petroleum Geologists, 30(4), 606–611.
- 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, 1–184.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956, Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Pt. 1ª: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 259 pp.
- Cuen, F.J., Beresi, M.S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., Palafox, J.J., 2013, *Chancelloria* Walcott, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65(3), 581–590.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, S.R., Sundberg, F., Montijo-González, A., 2016, Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68(3), 429–441.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L.F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J.A., Palafox-Reyes, J.J., 2018, Trilobite-based biostratigraphy (arthropoda-trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 83, 227–236.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L.F., Hinojosa, E.A., Ochoa-Granillo, J.A., Grijalva-Noriega, F.J., Palafox Reyes, J.J., 2019a, Paleocology of cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations: Journal of South American Earth Sciences, 92, 631–645.
- Cuen-Romero, F.J., Beresi, M.S., Palafox-Reyes, J.J., Montijo-Gonzalez, 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.
- Danzos-Acuña, G.H., 2018, Bioestratigrafía del Cámbrico del Cerro El Sahuaral, Sonora, México: Paleocología y Paleogeografía: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Maestría, 78 pp.
- Dumble, E.T., 1900, Notes on the geology of Sonora, Mexico: Transactions of the Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 29, 122–152.
- Encinas-Miranda, M.A., 2016, Trilobites del Cámbrico medio (Zona de *Ehmaniella*) del Cerro El Sahuaral, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 52 pp.
- Encinas-Valenzuela, J.A., Vega-Figueroa, L.E., 2018, Estratigrafía de las rocas del Neoproterozoico y su relación con las secuencias Paleozoicas de plataforma y de cuenca en la Sierra Martínez, Sonora Central, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 83 pp.
- Franco-Vega, O., 2000, Bioestratigrafía del Ordovícico Temprano en los Ranchos Pozo Nuevo y Las Norias, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 122 pp.
- Fries, Jr., C., 1962, Reseña de la geología del Estado de Sonora, con énfasis en el Paleozoico: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 14, 257–273.
- Fritz, W.H., 1975, Broad correlations of some Lower and Middle Cambrian strata in the North America Cordillera: Geological Survey of Canada Paper, 75–1 (Part A):533–540.
- González-León, C., 1986, Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 6(2), 117–135.
- Hernández-Gracia, E.D.J., 2011, Generalidades estratigráficas de las secuencias paleozoicas de plataforma y de cuenca: con énfasis en la Formación Mina México en Sonora central: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 94 pp.
- Holcomb, R.A., 1979, Conodont biostratigraphy of the Paleozoic carbonates near Bavispe, Sonora, Mexico: Fort Worth, USA, Texas Christian University, M.Sc. Thesis, 99 pp.
- Ketner, K.B., 1986, Eureka Quartzite in Mexico?-tectonic implications: Geology, 14(12), 1027–1030.
- King, R.E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of México: Geological Society of America Bulletin, 50(11), 1625–1722.
- Lochman, C., 1948, New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, Mexico: Journal of Paleontology, 22(4), 451–464.
- Lochman, C., 1952, Trilobites, en Cooper, G.A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, J., Stoyanow, A. (Eds.), Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, Mexico: Smithsonian Miscellaneous Collections, 119, 60–107.
- López Ramos, E., 1969, Rocas Paleozoicas Marinas de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 32(1), 15–44.
- Mansuy, H.A., 1916, Faunes Cambriennes de l'Extrême-Orient méridional, Mémoires du Service Géologique de L'Indochine, 5(1), 1–48.
- McCollum, L.B., Sundberg, F.A., 2007, Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, USA: implications for global correlations and defining a Series 3 global boundary stratotype: Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists, 34, 147 pp.

- McMenamin, M.A., 1987, Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, México: *Journal of Paleontology*, 61(4), 738–749.
- Molina-Garza, R.S., Iriondo, A., 2005, La Megacizalla Mojave-Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(1), 1–26.
- Montes-Pesqueira, M., Campillo-Corrales, A.I., 1983, Geología del yacimiento de barita de Cobachi, Sonora: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 67 pp.
- Montijo-González, A., Terán-Ortega, L., 1988, Geología del área de Rebeico con énfasis en el Paleozoico: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 95 pp.
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009, First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early-Middle Cambrian of Sonora (Mexico), with biostratigraphical and paleoecological comments: *Geobios* 42(2), 233–242.
- Navas-Parejo, P., Martínez, O.R., Palafox, J.J., Valencia-Moreno, M., 2019, Late Famennian conodonts from the Cerro la Cueva, Sonora, NW Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 108–115.
- Noll, J., 1981, Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, México: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, M.Sc. Thesis, 165 pp.
- Noriega-Ruiz, H.A., 2019, Litofacies, microfacies y biofacies del Cámbrico del área El Sahuaral, Sonora central: consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas. Universidad de Sonora: Tesis de Maestría en Ciencias-Geología, 120 pp.
- Ochoa-Granillo, J.A., Sosa-León, J.P., 1993, Geología y Estratigrafía de la Sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico, Mátape, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura 59 pp.
- Page, W., Harris, A., Poole, F., Repetski, J., 2003, Reinterpretation of the stratigraphy and structure of the Rancho Las Norias area, central Sonora, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 523–540.
- Page, W.R., Harris, A.G., Repetski, J.E., 2012, The Cambrian-Ordovician Rocks of Sonora, Mexico, and Southern Arizona, Southwestern Margin of North America (Laurentia). The Great Carbonate Bank: The geology and economic resources of the Cambrian-Ordovician Sauk megasequence of Laurentia: AAPG Memoir 98, 897–908.
- Palmer, A.R., 1982, Fossils of Desbrachian and Franconian (Cambrian) Age from the subsurface of West-Central Indiana, Department of Natural Resources Geological Survey Special Report 29, Bloomington, Indiana, 17 pp.
- Palomares, D.M., 1985, Distribución actual e isopacas de las rocas paleozoicas en el norte de los estados de Chihuahua y Sonora, México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, XXXVII(2), 3–30.
- Peiffer-Rangin, F., 1988, Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern and central Sonora: unpublished manuscript on file with F.G. Poole, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, 90 pp.
- Peiffer-Rangin, F., Echavarrí-Pérez, A., Salas-Piza, G., Rangin, C., 1980, Sur la présence d'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Paris, Academia des Seances Comptes Rendus, Vol. 290, Ser. D.
- Poole, F.G., Amaya-Martínez, R., 2000, The Sonora orogen in the Barita de Sonora mine area east of Mazatán, central Sonora: Guide to Field Trip 3 (March 5, 2000) for the Fourth Symposium on the Geology of northwest Mexico and adjacent areas (March 6–8, 2000), Center for the Arts, University of Sonora: Hermosillo, Sonora, México, 27 p.
- Poole, F.G., Amaya-Martínez, R., Page, W.R., 2000, Silurian and Devonian carbonate-shelf rocks and Lower Jurassic sequence near Rancho Placeritos, west-central Sonora: Guide to Field Trip 2 (March 4, 2000) for the Fourth Symposium on the Geology of Northwest Mexico and adjacent areas (March 6–8, 2000): Hermosillo, Sonora, México, University of Sonora, Center for the Arts, 24 p.
- Poole, F.G., Stewart, J.H., Armstrong, A.K., 1984, Newly Discovered Paleozoic Section in Central Sonora, en Geological Survey Research 1982. US Geological Survey, Professional Paper, 1375, 1–66.
- Poole, F.G., Stewart, J.H., Repetski, J.E., Harris, A.G., Ross, R.J., Jr., Ketner, K.B., Amaya-Martínez, R., Morales-Ramírez, J.M., 1995a, Ordovician carbonate shelf rocks of Sonora, Mexico, en Cooper, J.D., Droser, M.L., Finney, S.C. (eds.), *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System*: Fullerton, California, Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, 267–275.
- Poole, F., Stewart, J., Berry, W., Harris, A., Repetski, J., Madrid, R.J., Ketner, K.B., Carter, C., Morales-Ramírez, J., 1995b, Ordovician ocean-basin rocks of Sonora, Mexico, en Cooper, J.D., Droser, M.L., Finney, S.C. (eds.), *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System*: Fullerton, Calif., Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, 277–284.
- Poole, F.G., Page, W.R., Amaya-Martínez, R., 1997, Newly discovered Silurian carbonate-shelf rocks in west-central Sonora, Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, 29(6), 483.
- Poole, F.G., Page, W.R., Amaya-Martínez, R., 1998, Rocas Silúricas de plataforma en Sonora: *Mundo Minero (México)*, 2(18), 24.
- Repetski, J., Harris, A., Stewart, J., Poole, F., Morales-Ramírez, J., 1985, Early Ordovician conodonts from central Sonora, Mexico, en Alridge, R., Austin, R., Smith, M. (eds.), *Fourth European Conodont Symposium (ECOS IV) Abstracts*, Nottingham, England: Southampton, England, A.L. Austin, Department of Geology, The University of Southampton, 25–26.
- Reyes-Montoya, D.R., 2017, Bioestratigrafía del Cámbrico-Ordovícico de Sonora central: Implicaciones paleogeográficas y paleoecológicas: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Maestría, 112 pp.
- Rivera-Carranco, E., 1988, Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 7(1), 22–27.
- Robison, R.A., 1965, Middle Cambrian Eocrinoids from Western North America: *Journal of Paleontology*, 39, 355–364.
- Roldán-Quintana, J., 1982, Evolución tectónica del estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México: Revista del Instituto de Geología, 5(2), 178–185.
- Sour-Tovar, F., Hernández-Barbosa, A., 2018, *Rusophycus* y *Cruziana*, galerías y rastros de trilobites del Terreneuviano (Cámbrico inferior) de la Formación Puerto Blanco, Noroeste de Sonora, México. Implicaciones paleoambientales: *Paleontología Mexicana*, 7(1), 1–11.
- Stewart, J.H., 1982, Regional relations of Proterozoic Z and Lower Cambrian rocks in the western United States and northern Mexico, en Cooper, J.D., Troxel, B.W., Wright, L.A., (eds.), *Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains, western Mojave Desert, and southern Great Basin, California*: Geological Society of America, Cordilleran Section Annual Meeting, Anaheim, California, Guidebook and Volume, 171–186.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., 2002, Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico. U.S. Geological Survey Open-File Report, 02–97, 50 pp.
- Stewart, J.H., McMenamin, M.A., Morales-Ramírez, J.M., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico—Physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations: US Geological Survey Professional Paper, 1309, 36.
- Stewart, J., Madrid, R.J., Poole, F.G., Kernet, K.B., 1988a, Studies of Late Proterozoic, Paleozoic, and Triassic rock in Sonora, Mexico, en Segundo Simposio sobre Geología y Minería de Sonora, resúmenes, 60–62.
- Stewart, J.H., Ketner, K.B., Amaya-Martínez, R., 1988b, Preliminary studies of Cambrian and Ordovician rocks near Sierra Lopez, Sonora, México, en Segundo Simposio sobre la Geología y Minería de Sonora, México: Sonora, México, UNISON, AIMMG, Distrito Sonora, DGFM y ERNO, UNAM, 1–10.

- Stewart, J.H., Poole, F.G., Harris, A.G., Repetski, J.E., Wardlaw, B.R., Mamet, B.L., Morales-Ramírez, J.M., 1999, Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in sierra Agua Verde, Sonora, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(1), 35–62.
- Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., Palmer, A.R., 2002, Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, Mexico: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin: *Special Papers-Geological Society of America*, 5–48.
- Stoyanow, A., 1942, Paleozoic paleogeography of Arizona: *Bulletin of the Geological Society of America*, 53(9), 1255–1282.
- Vachard, D., Clausen, S., Palafox-Reyes, J., Buitrón, B., Devaere, L., Hayart, V., Régnier, S., 2017, Lower Ordovician microfacies and microfossils from Cerro San Pedro (San Pedro de la Cueva, Sonora, Mexico), as a westernmost outcrop of the newly defined *Nuía* Province, *Facies*, 63(18), 37 pp.
- Vega-Granillo, R., 1996, Geología de la Sierra de Mazatán: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 13, 89–102.
- Vega-Granillo, R., Araux-Sánchez, E., 1987, Estratigrafía del Paleozoico en el área del Rancho Las Norias, Sonora Central: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 4(1), 41–50.
- Walcott, C.D., 1920, Middle Cambrian Spongiae: *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 67(6), 261–364.
- Webster, M., 2011, Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (traditional Laurentian ‘Lower Cambrian’) in the southern Great Basin, USA: *Museum of Northern Arizona Bulletin*, 67, 121–154.
- Webster, M., Bohach, L.L., 2014, Systematic revision of the trilobite genera *Laudonia* and *Lochmanolenellus* (Olenelloidea) from the lower Dyeran (Cambrian Series 2) of western Laurentia: *Zootaxa*, 3824(1), 66.
- Manuscrito recibido: Mayo 8, 2020.
 Manuscrito corregido recibido: Mayo 26, 2020.
 Manuscrito aceptado: Mayo 28, 2020.

Ichnofósiles en una sucesión fluvio-lacustre en la Sierra Madre Occidental, Durango, México

Eguiluz y de Antuñano, Samuel^{a,*}; Hernández Ocaña, María Isabel^b

^a Geólogo consultor, Rinconada Precolombina, Bonampak 103, Coyoacán, C.P. 4700 CDMX, México.

^b Universidad Autónoma de Nuevo León, Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Carretera a Cerro Prieto Km 8, Ex. Hacienda de Guadalupe, Linares N.L., México, C.P. 67700.

*seguiluz662@gmail.com

Resumen

Al sur del pueblo de Garamé de Abajo, estado de Durango, mediante trabajos de campo se estudió una sucesión litológica no descrita previamente en la literatura geológica, en la que existe la presencia de trazas fósiles que se identifican con los icnogéneros *Planolites*, *Palaeophycus* y *Camborygma*. La cantidad de las trazas es escasa, pero la icnocenosis puede relacionarse a la icnofacies *Scoyenia*. Los icnogéneros están en una sucesión estratigráfica compuesta por cinco unidades formadas por siliciclásticos, carbonato y toba, que se aglutinan en un grupo al que informalmente se designa con el nombre de Garamé. La litología y estructuras sedimentarias vinculadas a los icnogéneros, aunado a tapetes microbianos, rizolitos, troncos fósiles y palinomorfos, sugieren que la sucesión ascendente de facies varía de aluvial a fluvio-lacustre, depositadas en un paleoambiente continental subaéreo. Zirrones detríticos, polen y posición estratigráfica debajo de la cubierta volcánica de la Sierra Madre Occidental sugieren una posible edad de depósito Cretácico-Paleógeno, con acortamiento estructural.

Palabras clave: *Planolites*, *Palaeophycus*, *Camborygma*, *Scoyenia*, Durango, Cretácico-Paleógeno.

Abstract

At the south of the Garamé de Abajo town, Durango state, through field work a lithological succession not previously described in the geological literature was studied, in which there exists a trace of fossils that are identified with the ichnogenera *Planolites*, *Palaeophycus* and *Camborygma*. The amounts of trace fossils are scarce, but the ichnocoenosis may correspond to the *Scoyenia* ichnofacies. The ichnogenera are in a stratigraphic succession composed of five lithological units formed by siliciclasts, carbonates and tuffs, which are included together in a group that is informally designated as Garamé. The lithology and sedimentary structures linked to the ichnogenera, as well as microbial mats, rhizoliths, fossil wood and palynomorphs, suggest that the ascending succession of facies varies from alluvial to fluvial-lacustrine, deposited in a subaerial continental paleoenvironment. Detrital zircons, pollen and stratigraphic position under the volcanic cover of the Sierra Madre Occidental suggest a possible Cretaceous-Paleogene age, with structural shortening.

Keywords: *Planolites*, *Palaeophycus*, *Camborygma*, *Scoyenia*, Durango, Cretaceous-Paleogene.

1. Introducción

La icnología (ichnos, huella y logos, tratado) puede ser estudiada desde el punto de vista taxonómico, por la morfología que presenta; tafonómico, por la relación estructural orgánica que la formó; o etológico, por el comportamiento del organismo vinculado a las condiciones ambientales en que se formó (Buatois y Mángano, 2011). La icnología apoya a la sedimentología para descifrar la reconstrucción de ambientes antiguos al integrarse como herramienta al estudio de una parte del aspecto total de la roca, como estructuras primarias preservadas *in situ* originadas por organismos que transitaron el medio de depósito, que vivieron condiciones físicas y químicas particulares (temperatura, humedad, batimetría, tasas de sedimentación, salinidad, etc.), en medios subaéreos o subacuáticos, lo que garantiza que el entorno litológico se vincula genéticamente al ambiente en el que el organismo se adaptó (Müller, 1962; Pemberton, 1992; Bromley, 1996). La icnología posee una baja resolución bioestratigráfica temporal, pero facilita comparaciones paleo-ecológicas adecuadas para rocas de variada edad. La clasificación de icnofacies originalmente agrupó a conjuntos de trazas fósiles asociadas a un contexto batimétrico y hábitat del sustrato marino particular (Seilacher, 1967; Pemberton *et al.*, 1992), esto creó un paradigma que perdura en la actualidad, entre la profundidad del ambiente, constitución del sustrato y su relación con la traza fósil. Para la interpretación de ambientes sedimentarios los parámetros más importantes son las características de acumulación del sedimento (estructuras y texturas sedimentarias, fósiles, etc.), vinculadas con las características paleo-icnológicas esenciales, como son el índice de bioturbación, la abundancia y la icnodiversidad, entre otros factores (Taylor y Goldring, 1993; Bann *et al.*, 2008; Gingras *et al.*, 2007; Pemberton *et al.*, 1992). El estudio de las trazas fósiles de origen continental ha mostrado un importante avance, algunos ejemplos, en especial de ambientes fluvio-lacustres, son los realizados por Buatois y Mángano (2009), Melchor *et al.* (2012) y Sato *et al.* (2018). En estos ambientes la distribución de las trazas se distingue esencialmente por una combinación de diversos factores tafonómicos, como el estrés ambiental, el tipo de sedimento y el nivel de la columna de agua, y en especial, por los procesos tafonómicos que afectan significativamente la preservación de las trazas (Buatois y Mángano, 1996). Los rasgos mineralógicos, texturales y estructuras sedimentarias constituyen la fábrica particular en una sección estratigráfica, estos rasgos permiten inferir el medio de depósito, aunado a los fósiles dan una mayor aproximación al ambiente, pero ante la carencia de estos fósiles en sucesiones litológicas sedimentarias, la identificación de los rastros dejados por los organismos es de gran ayuda para apoyar la interpretación y reconstrucción de ambientes sedimentarios antiguos. El uso de icnofósiles

y sus asociaciones, como herramienta vinculada a la estratigrafía, es de gran utilidad y proporciona alta resolución para identificar procesos formadores de eventos transgresivos, regresivos, inundación, condensación, interrupciones, etc., en el registro secuencial de depósitos en diferentes ambientes evolutivos de una cuenca.

Por primera vez en la literatura geológica se da a conocer de manera informal, a cinco unidades litológicas que se denominan: Aguajito, Adobes, Los Rodeos, Rancho Viejo y Ratia, estas unidades se integran en un grupo al que se designa, también de manera informal, con el nombre Garamé. Estas litologías fueron descritas y preliminarmente designadas en informes inéditos de la compañía GEOCA (1961), que realizó exploración de uranio para la institución del Gobierno de México denominada Uranio Mexicano (URAMEX), pero actualmente esos informes son del dominio público y pueden ser consultados en el portal del Servicio Geológico Mexicano, en el ícono consulta de informes técnicos URAMEX (www.gob.mx/sgm). La sección estratigráfica que se describe en este trabajo está formada principalmente por siliciclastos, tobas y distribución limitada de carbonatos, las características litológicas, aunado a trazas fósiles dejadas por organismos, sugieren cambios de ambiente de depósito repetitivos. La sucesión de unidades objeto de este trabajo aflora al sur de la población de Garamé de Abajo, Municipio de Santiago Papasquiaro, Durango, en la Sierra Madre Occidental. El acceso al área se realiza por carretera pavimentada hasta el poblado de Garamé de Abajo y por camino de terracería y brechas hay acceso limitado al área de estudio (Figura 1). El objetivo del presente trabajo es dar a conocer el registro de trazas fósiles, que aunadas a las características litológicas, permiten interpretar el ambiente de depósito de una sección estratigráfica no conocida con anterioridad.

2. Metodología

En la década de los años ochenta se tuvo el primer contacto con el área mediante un reconocimiento preliminar. Recientemente se realizó la compilación de los trabajos previos y se realizaron tres periodos de campo para obtener datos estratigráficos y estructurales. La metodología del trabajo consistió en observaciones de campo que permitieron distinguir texturas, estructuras y estimar espesores de la columna estratigráfica (Figura 2), los cambios de coloración de las rocas facilitaron distinguir cinco unidades litológicas, que se integran en un grupo litoestratigráfico, su nomenclatura aquí es preliminar e informal pues su designación está fuera de los alcances del presente trabajo, pero por sus características litoestratigráficas y extensión pueden identificarse como formaciones para un trabajo futuro. Para describir las estructuras dejadas por la biodiversidad orgánica en el registro geológico se consideró

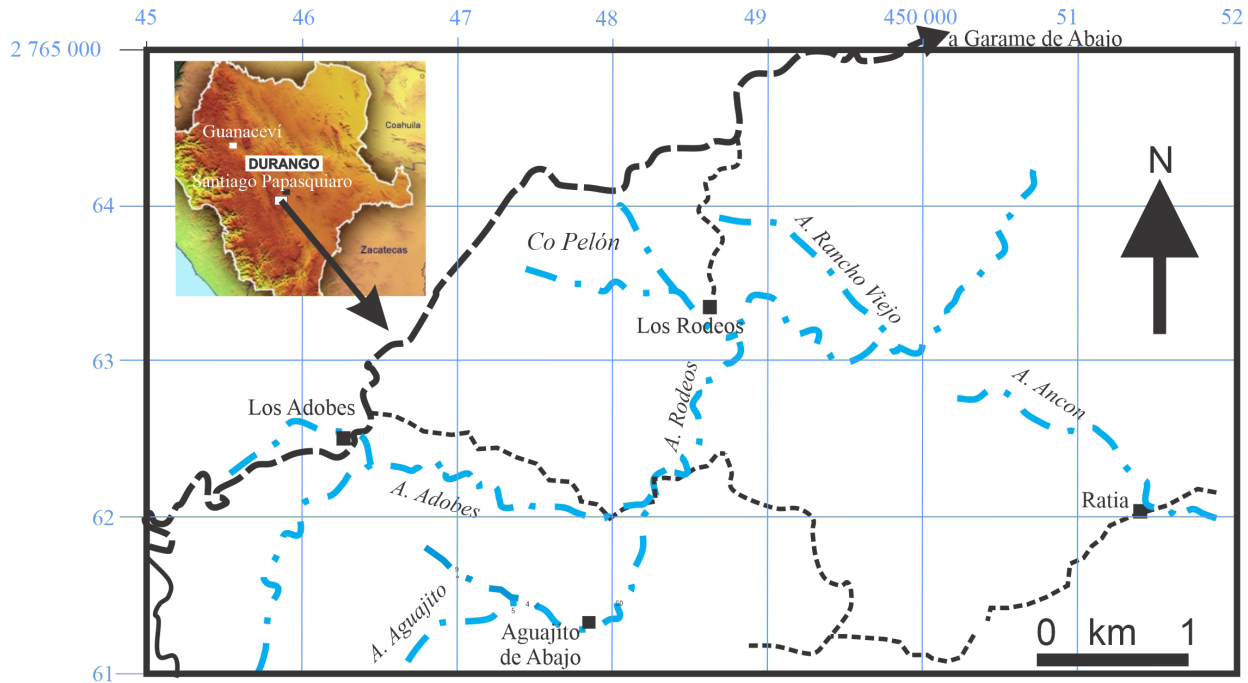


Figura 1. Localización del área de estudio. Se muestran los arroyos (en color azul) en donde afloran las unidades estratigráficas. Coordenadas en el sistema UTM.

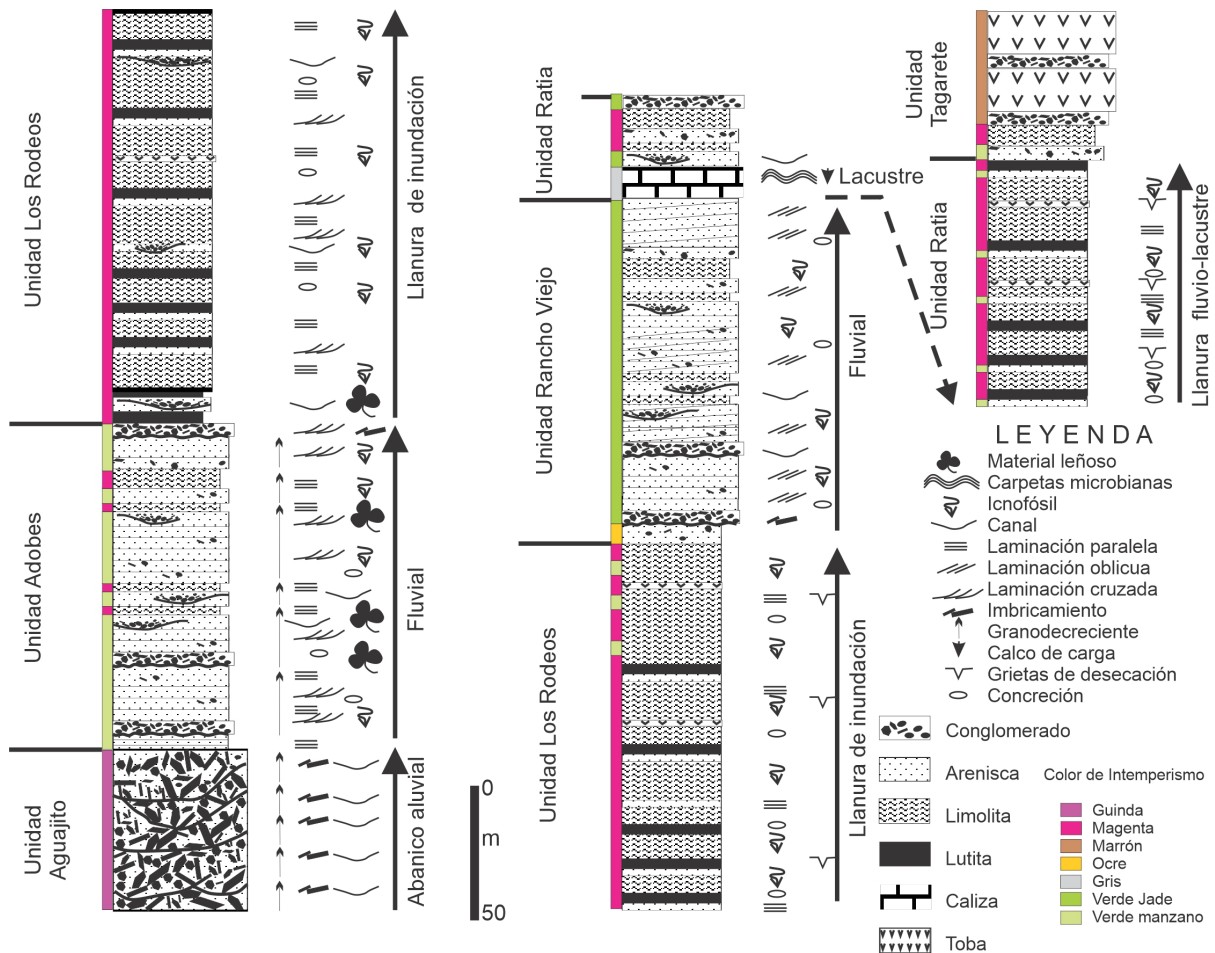


Figura 2. Columna estratigráfica de las unidades del grupo Garame.

el índice de bioturbación (IB), de acuerdo con la propuesta de Taylor y Goldring (1993). Se identificaron a nivel de icnogénero las trazas fósiles estudiadas mediante imágenes tomadas en el campo y los icnogéneros preliminarmente se vinculan a una icnofacies. La identificación icnológica y características estratigráficas permitieron interpretar la sedimentología y posible ambiente de depósito.

3. Litoestratigrafía

3.1. Unidad Aguajito

La unidad más antigua que aflora es referida informalmente como Aguajito (GEOCA, 1961) y está compuesta por conglomerado de guijas y guijarros, angulosos a subangulosos, granosoportados y burdamente estratificados, que provienen de rocas volcánicas, estos clastos tienen matriz de arenisca de grano grueso y presentan estructuras sedimentarias de corte y relleno, en capas de 40 a 60 cm de espesor, pero por estar amalgamadas aparentan ser masivas y su color es guinda y morado. Aflora un espesor de 60 m (Figura 2), sin observar su base y no presenta icnofósiles. Este conglomerado pasa en transición rápida a la unidad informal Adobes, descrita originalmente por GEOCA (1961) con el nombre de Papasquiario.

3.2. Unidad Adobes

La unidad Adobes está compuesta por arcosa de grano grueso a grano medio y arenisca conglomerática, con mica blanca y fragmentos carbonizados de material leñoso fósil, posee estratificación paralela laminar, estratificación cruzada y estructuras de corte rellenas en la base por conglomerado subanguloso con grano-decrecimiento a la cima del estrato, en capas de 20 a 40 cm de espesor, de color verde manzana. Numerosos troncos y restos de madera fósil carbonizada en su base propician la precipitación de minerales de uranio. En esta unidad Miranda *et al.* (1982) reportan polen que mediante microscopía petrográfica identifican las especies *Classopollis* sp. (Pflug, 1953), *Classoidites crassiramosus* (Rueda-Gaxiola, 1967), *Polyplacodites* sp. (Hammen *et al.*, 1961), *Faveotricolpites* sp. (Pierce, 1961) y *Exesipollenites* sp. (Fensome, 1983). La cima de esta unidad tiene estructuras de corte y en la base de estas estructuras hay relleno de conglomerado con clastos de argilita de 0.5 a 4.0 cm de diámetro, subanguloso a moderadamente redondeados y bien cementados. La unidad Adobes tiene un espesor promedio de 100 m y su cima pasa en concordancia estratigráfica a la unidad Los Rodeos, predominantemente pelítica (Figura 2). En la base y la cima de los estratos hay trazas de organismos que se reconocen asignadas a los icnogéneros *Planolites* y *Palaeophycus*, que se describirán más adelante.

3.3. Unidad Los Rodeos

La base de la unidad Los Rodeos está formada por lutita, limolita y arenisca de grano fino, con estratificación laminar paralela, o de ángulo bajo, con grietas de desecación y concreciones de sílice, se acumula en bancos de 3 a 4 m de espesor, interrumpidos por lentes de conglomerado con clastos de argilita, de 0.5 a 2.5 cm de diámetro, con forma angulosa y subangulosa, soportados por arenisca de grano medio, en capas delgadas, también se presentan intercaladas en la sección esporádicas capas de toba, pero son difíciles de reconocer. El color de esta unidad es magenta predominantemente, pero hay intervalos de coloración verdosa y el espesor de esta unidad fluctúa entre 175 a 200 m (Figura 2). Las trazas reconocidas en esta unidad están compuestas por los icnogéneros *Planolites* y *Camborygma*, asociados a galerías ramificadas que se identifican como posibles rizolitos. La cima de la unidad Los Rodeos pasa en transición concordante hacia la unidad Rancho Viejo.

3.4. Unidad Rancho Viejo

La unidad Rancho Viejo está compuesta por arcosa de grano medio y horizontes de conglomerado, con estratificación laminar paralela y estratificación cruzada de ángulo bajo, en capas de 40 a 80 cm de espesor, que pueden amalgamarse y dar apariencia masiva (Figura 2). Es característica de esta unidad su coloración verde jade, el espesor completo es inferior a 60 m. Las trazas que se reconocen en esta unidad son formadas por los icnogéneros *Planolites* y *Palaeophycus*. El contacto superior de esta unidad pasa en transición y concordancia a la unidad Ratia.

3.5. Unidad Ratia

La litología más joven que se describe en este trabajo es la unidad informal Ratia y constituida en la base por arenisca de grano fino de limolita y lutita, tienen estructura laminar y se amalgaman para formar bancos de 1 a 3 m de espesor, interrumpidas por toba o arenisca de grano fino a grano medio y algunas estructuras de corte y relleno de conglomerado con clastos de 0.5 a 2.0 cm de diámetro, angulosos a subredondeados y predomina una coloración magenta a violácea. Esta litología lateralmente cambia a caliza gris, en capas delgadas, con carpetas microbianas. La parte superior de la unidad es predominantemente arenosa, de grano grueso y conglomerática, de color crema, ocre, verdoso o inclusive blanquecino, con capas decimétricas de toba intercalada. El espesor completo de la unidad Ratia es variable, pero no mayor a 100 m (Figura 2). La bioturbación en la unidad Ratia es escasa y hay trazas fósiles difíciles de identificar. La sucesión estratigráfica arriba descrita pasa en transición a toba, arenisca y conglomerado de otra unidad denominada informalmente Tagarete, no estudiada en este trabajo. Una muestra de roca sedimentaria en la

parte inferior de la unidad Ratia tiene población de zircones detríticos con edades de 240, 138 y 90 Ma (Guzmán-Lugo *et al.*, 2016), con la mayor población de este mineral detrítico para la edad más joven y este último dato, acorde a la Comisión Internacional de Estratigrafía (IUGS, 2017), corresponde a la cima del Turoniano, por lo que el depósito de la unidad Ratia puede ser Coniaciano o más joven.

El conjunto de unidades descritas aquí se propone designarlas informalmente como un grupo con el nombre de Garamé. Estas unidades tienen estrecha semejanza litológica con las rocas sedimentarias que afloran en Guanaceví, Durango (Terrones-Benítez, 1922; Cruz-Pérez y Ríos-Vázquez, 1999) y, por lo tanto, se requiere hacer una correlación regional que pueda incluir a estas litologías en un grupo mayor. Estas rocas están afectadas por fallas inversas, normales, lístricas y laterales, con pliegues amplios, que arman el buzamiento noroeste de un anticlinal orientado NW-SE, esta estructura sugiere que las rocas descritas fueron afectadas por un episodio de acortamiento, por lo tanto, su deformación requiere un estudio especial fuera de los alcances de este trabajo.

4. Icnotaxonomía

Planolites Nicholson, 1873

Descripción. *Planolites* isp. presenta trazas cilíndricas simples, con sección transversal de aproximadamente 8 milímetros de diámetro mayor y 5 milímetros de diámetro menor, de superficie lisa homogénea, con 70 milímetros o más de longitud, en acomodo sub-horizontal a oblicuo, sin ramificaciones, abundantes trazas entrecruzadas, conservadas en epirrelieve o atenuadas por intemperismo (Figuras 3 A–E), la estructura en relleno de madriguera está ausente, el relleno de la traza es diferente al de la matriz hospedante como característica de este icnogénero y en este caso se ve bien la diferencia (Figura 3 A). Estas trazas son muy frecuentes en las unidades Adobes y Los Rodeos, a escala de observación decimétrica el índice cualitativo de bioturbación IB varía de 3 a 4, dispuestas en capas de limolita y arenisca de grano fino, con estratificación laminar paralela. (Figura 5 A–B).

Comentarios. Según Pemberton y Frey (1982) y adoptado por otros autores, *Planolites* se diagnostica sobre la base de que es una traza simple sin forro, mientras que *Palaeophycus* es una traza con forro. *Planolites* puede considerarse un sinónimo menor de *Palaeophycus*, pero se mantiene como un icnotaxón válido sobre la base de la estabilidad de la nomenclatura. Este icnogénero se ha asignado a organismos productores muy variados como, por ejemplo, anélidos e insectos, que reflejan un comportamiento de búsqueda de alimento y producen relleno activo o trazas de domicilio (Pemberton y Frey, 1982; Fillion y Pickerill, 1984; Seilacher, 2007) y raramente se encuentran ramificadas. Ambientalmente se ha reportado

tanto en medios marinos como continentales, para este último especialmente en medios fluviales, lacustres (Pieńkowski, 2004) y eólicos (Ekdale *et al.*, 2007), frecuentemente asociado en la icnofacies de *Scoyenia* (Buatois y Mángano, 2002) y en rocas sedimentarias que van desde el Precámbrico al Holoceno.

Palaeophycus Hall, 1847

Descripción. Se reconoce *Palaeophycus* isp., por presentar su traza horizontal, tubular y ligeramente curva en las puntas, se conserva en forma de epirrelieve, el relleno de las trazas es el mismo que la matriz hospedante, su longitud sobrepasa 100 mm, con 10 mm de diámetro (Figura 4 A–C; Figura 5 A–C). Estas trazas se alojan en arenisca de grano fino y limolita, con estratificación paralela laminar, con índice cualitativo de bioturbación IB de 2 a 3, en estratos de escala de observación decimétrica y está presente en las unidades Adobes y Rancho Viejo.

Comentarios. La identificación del icnogénero *Palaeophycus* ha sido confusa al no proponer Hall (1847) el ejemplar tipo específico para su designación original. Trabajos posteriores propusieron cambios para definir su adecuada icnotaxonomía (Bassler, 1915) y fue Andrews (1955) quien propuso el material tipo como referencia para *Palaeophycus*. Häntzschel (1975) y Pemberton y Frey (1982) realizaron una revisión taxonómica minuciosa de los icnogéneros *Palaeophycus* y *Planolites* con objeto de hacer una distinción adecuada entre ellos, pero según Fillion y Pickerill (1984) queda pendiente un diagnóstico taxonómico menor para excluir de este icnogénero a las madrigueras y galerías sinuosas que se llegan a presentar. El icnogénero *Palaeophycus* se ha interpretado como estructuras de alimentación, de organismos suspensívoros o de detritus (Pemberton y Frey, 1982). *Palaeophycus* se distingue por la presencia de un forro en la pared, el cual está ausente en *Planolites* (Pemberton y Frey, 1982; Keighley y Pickerill, 1995). En ambiente continental esta traza se ha asociado a facies lacustres y fluviales (Melchor, 2004; Barras y Twitchett, 2016) y a la icnofacies de *Scoyenia* (Buatois y Mángano, 2011). Su alcance estratigráfico se ha reportado desde el Precámbrico al Reciente.

Camborygma Hasiotis y Mitchell, 1993

Descripción. Este icnogénero posee una galería cilíndrica, de forma robusta, constituida por un conducto vertical a ligeramente inclinado, anillado, de 20 milímetros de diámetro, con 300 milímetros de longitud, con la pared de la traza rodeada por una litología de grano muy fino, mientras que el relleno de la traza es conservado en arenisca de grano medio. Hacia la base de la galería se observa una cámara esférica a subesférica, bien definida, que mide aproximadamente 50 milímetros de diámetro, la cual está conectada con el eje vertical que tiene forma aparente de anillos o nódulos (Figura 6 A–B). Varias estructuras

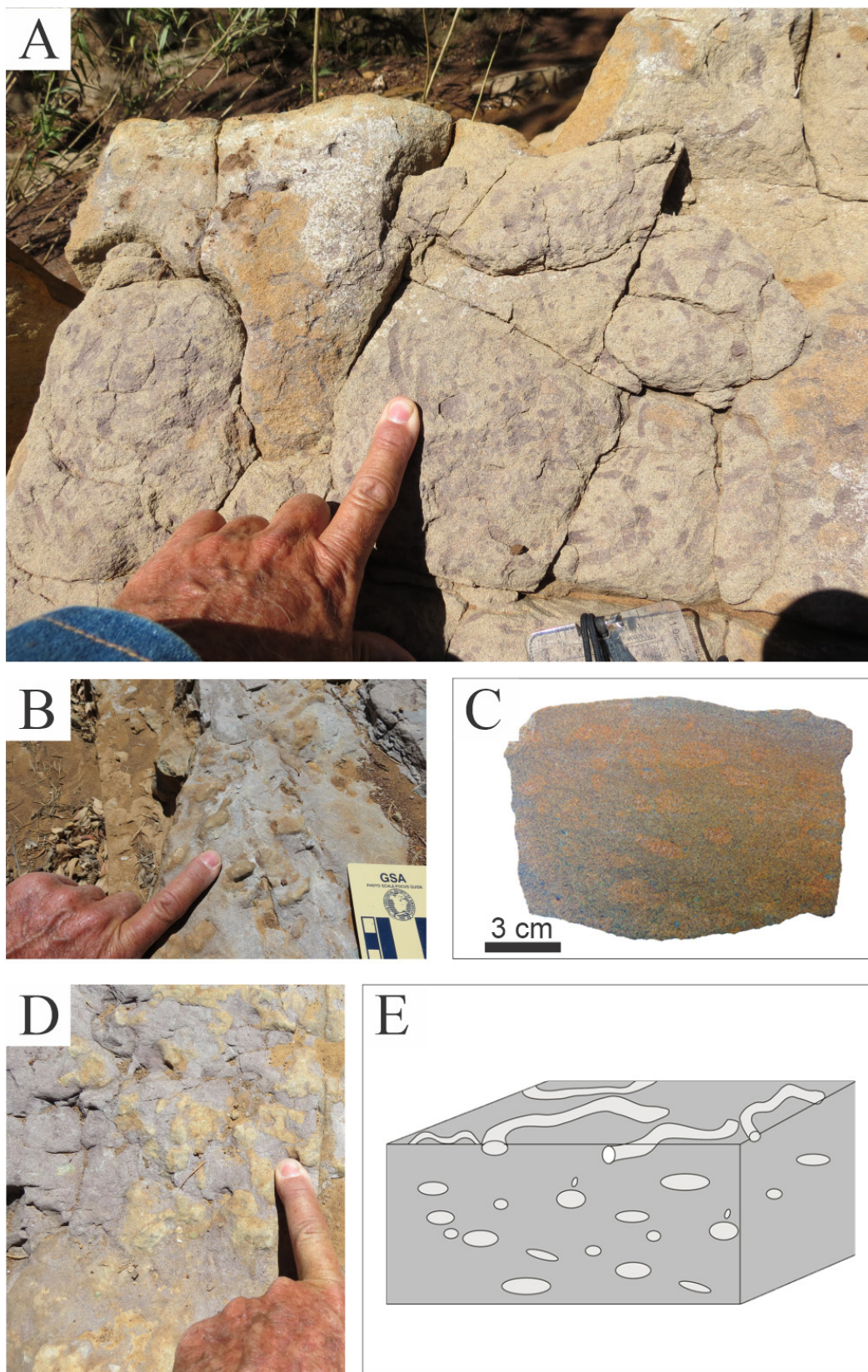


Figura 3. A) Trazas horizontales cilíndricas y entrecruzadas de *Planolites*, el relleno de la pista es diferente al de la matriz hospedante y en este caso se ve bien la diferencia, las trazas están atenuadas posiblemente por intemperie, ubicadas en la unidad informal Los Rodeos, escala del dedo 6 cm (localidad 4, UTM 446,450; 2 762,736). B y D) Trazas horizontales de *Planolites*, ubicadas en la unidad informal Adobes, arroyo Aguajito (localidad 1, UTM 447,342; 2 761,512). C) Cortes transversales con galerías de *Planolites* (misma localidad). E) Representación esquemática de cómo se conserva *Planolites* dentro de la roca hospedante.

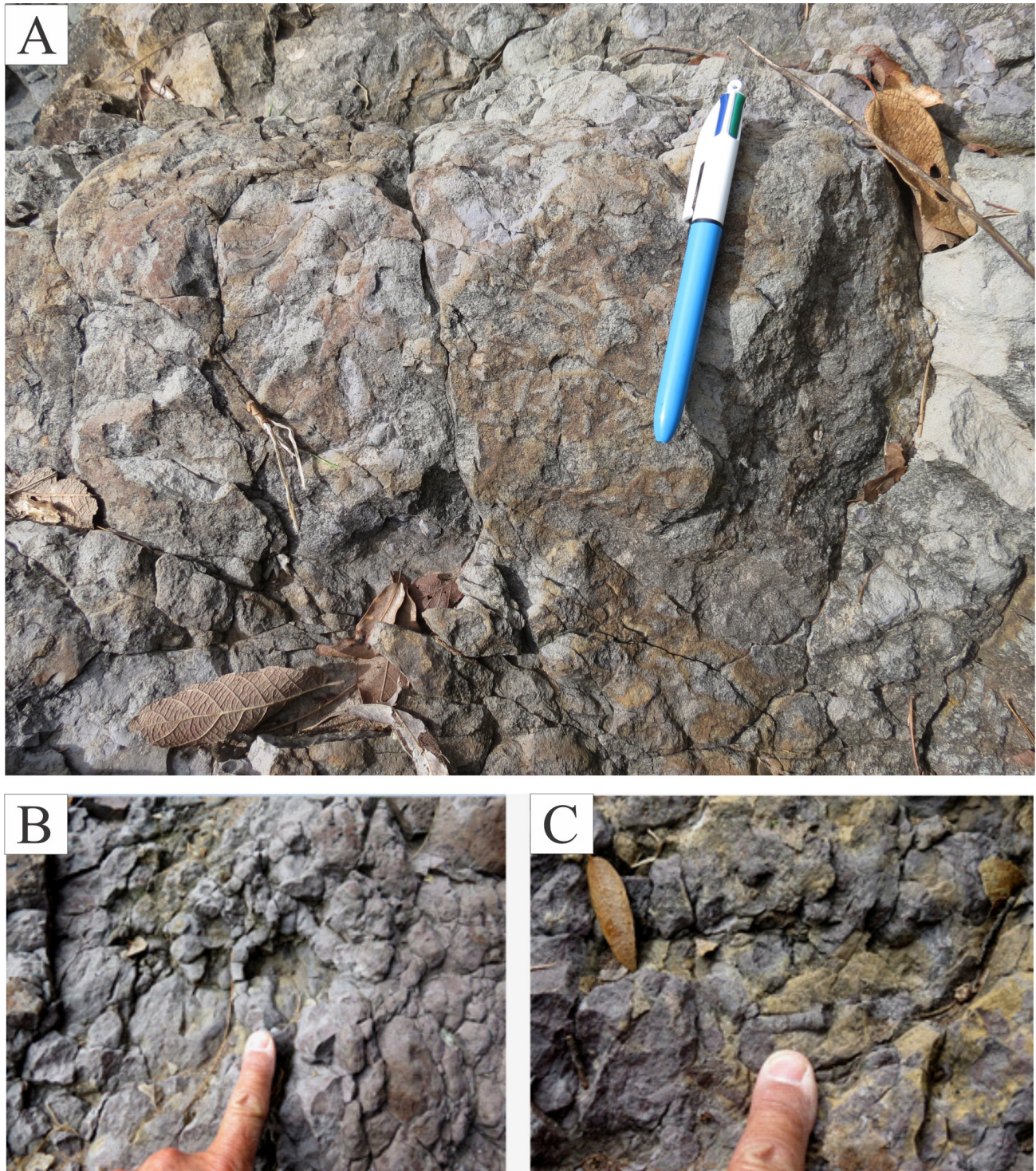


Figura 4. A) Trazas de *Palaeophycus* mal conservadas. B) y C) Numerosas trazas de *Palaeophycus*, en donde se alcanzan a distinguir conductos individuales, con una morfología tubular y curva, la pared no tiene ornamentación y el relleno es similar al de la matriz donde están las trazas, en el tercio superior de la unidad Adobes. Escala de la uña 1.5 cm (localidad 2, arroyo Los Rodeos, UTM 448,597; 2 762,681).

similares rodean a la galería mejor preservada y su relieve se conserva entre siliciclastos de grano fino a muy fino, de color magenta en la unidad Los Rodeos y su presencia tiene un índice de bioturbación relativo IB 2. Adicionalmente, en esta litología hay *Planolites*, formas identificadas como posibles rizolitos (Figura 7 A) y concreciones subsféricas, calcáreas, de 10 a 20 milímetros de diámetro, que parecen ser atribuibles a icnofósiles.

Comentarios. El icnogénero *Camborygma* incluye sistemas perforantes simples o complejos, con túneles con eje vertical, subvertical o subhorizontal, que termina en una cámara hacia la base de la galería, con rasguños y marcas de los organismos productores (Genise, 2017; Smith *et al.*, 2008), sus dimensiones son muy variables, desde 10 a 400 cm de longitud y diámetros de 1 a 14 cm. Siguiendo los criterios icnotaxonómicos de Hasiotis y Mitchell (1993) basados en la arquitectura de la estructura perforante, este icnogénero tiene cuatro icnoespecies: *Camborygma lironomos* Hasiotis y Mitchell, 1993, *Camborygma araioklados* Hasiotis y Mitchell, 1993 y *Camborygma symplokonon* Hasiotis y Mitchell, 1993 y *Camborygma eumekenon* Hasiotis y Mitchell, 1993.

Mitchell, 1993. Los tres primeros construyen un conducto de comunicación corto en donde la cámara de habitación está en la zona freática somera y se asocia a depósitos de canal, dique, desborde de canal y planicie de inundación proximal, a diferencia de *Camborygma eumekenon* Hasiotis y Mitchell 1993, que construye un conducto más largo para que su cámara de habitación se aloje en la zona freática que es relativamente más profunda a la superficie. El material estudiado en este trabajo no se asignó a una icnoespecie particular. Este icnogénero representa la actividad de crustáceos decápodos (Cambaridae), de ambiente fluvial (Hasiotis y Mitchell, 1993; Hasiotis y Honey, 2000). Se ha interpretado como trazas de domicilio (Domichnia), en donde los organismos tratan de alcanzar el nivel freático (Do Nascimento *et al.*, 2017). Este organismo habita en planicies de inundación distal, como pudiera ser el caso del ejemplar descrito en este trabajo. *Camborygma* es conocido en depósitos continentales, se asocia estrechamente a depósitos de paleosuelo, con niveles freáticos fluctuantes en bosques, matorrales y vegetación herbácea abierta (Keighley y Pickerill, 1995). Este icnogénero da nombre

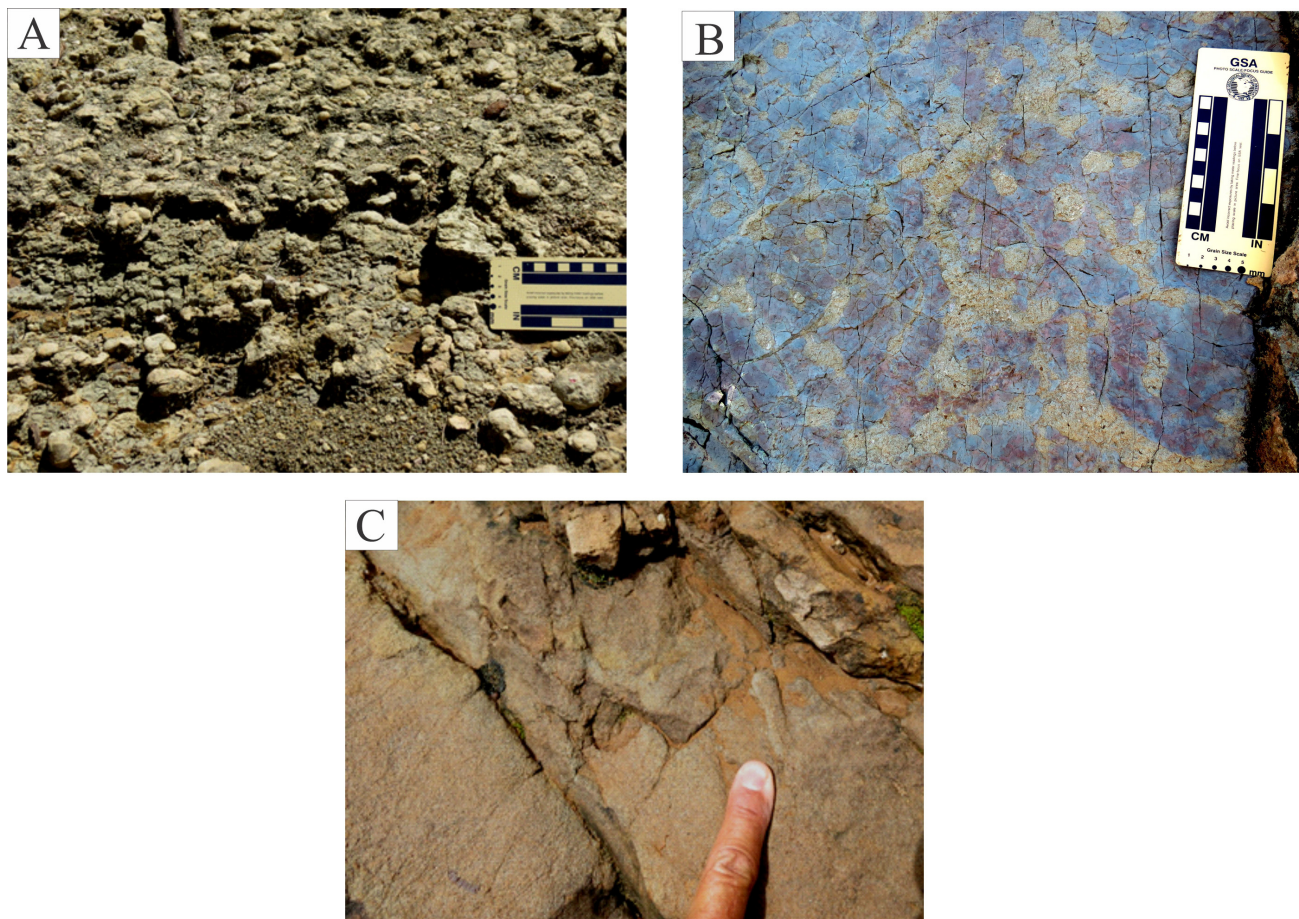


Figura 5. A) Trazas verticales mal conservadas de *Palaeophycus*, en la cima de la unidad Rancho Viejo (localidad 3 UTM 451,350; 2 762,431). B) Trazas de *Palaeophycus* mal conservadas en la base de la unidad Rancho Viejo (localidad 5, UTM 445,414; 2 762,101), en ambas localidades escala gráfica señalada. C) Taza de *Palaeophycus*, en arenisca ubicada en la base de la unidad informal Adobes (localidad 1, en el arroyo Aguajito, UTM 447,342; 2 761,512). Uña de escala 1.5 cm.

a la icnofacies *Camborygma*, la cual es considerada como una fase de advenimiento masivo de crustáceos y organismos vermiformes, estas trazas se agrupan en una nueva icnofacies arquetípica que precedió a la extinción masiva de organismos del Paleozoico (Genise *et al.*, 2016), por lo que el registro *Camborygma* varia del Paleozoico Superior al Reciente, pero tiene un amplio reconocimiento en el Mesozoico (Hembree y Swaninger, 2018).

Adicionalmente a las trazas fósiles anteriormente descritas, hay evidencia de estructuras orgánicas de tapetes microbianos en estratos delgados de caliza (Figura 7 B-C), así como fragmentos aciculares de hojas de pinacea alojados en limolita, en posibles costras de desecación (Figura 7 C), fragmentos de troncos fósiles, algunos en posición de crecimiento y otros derribados (Figura 7 D) y rizolitos.

5. Discusión

Las icnofacies reconocidas en entornos continentales generalmente incluyen las icnofacies *Mermia*, *Coprinisphaera* y *Scoyenia*, (MacEachern *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2016), sin embargo, recientemente estas se han ampliado (Genise *et al.*, 2016). La icnofacies *Scoyenia* se caracteriza por tener una icnodiversidad baja, que en ocasiones es monoespecífica, escasos icnogéneros exclusivos y similitud con icnoasociaciones marinas (Frey *et al.*, 1984). Esta icnofacies se presenta en una diversidad de subambientes continentales, periódicamente expuestos e inundados (v. gr. llanuras de inundación, lagos efímeros, zonas de transición entre áreas fluviales y lacustres) y áreas en márgenes de lagos (Buatois y Mángano, 1996; Melchor *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2016). Generalmente *Scoyenia*

también se asocia a *Skolithos*, *Cruziana* y *Palaeophycus* y formas comunes en ambientes marinos (Buatois y Mángano, 1996).

El conjunto de icnogéneros descritos en las diferentes unidades estratigráficas de este trabajo muestra una baja diversidad de formas identificadas (Tabla 1) y las trazas que se presentan pueden corresponder con características asociadas más propias a la icnofacies *Scoyenia* que a otras icnofacies de ambiente subaéreo. La carencia de restos fósiles diagnósticos para identificar el ambiente y edad de depósito de estas rocas motiva a los autores para combinar métodos alternos de identificación icnológica, estratigrafía y sedimentología, con objeto de interpretar el ambiente y subambientes en que se depositaron estas rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas.

La columna estratigráfica muestra cambios substanciales de granulometría, fábrica y coloración (Figura 2). Las características litológicas descritas para la unidad Aguajito, denota inmadurez y poco transporte, que se interpreta como depósito de flujos de escombros con alta energía, relleno de canal y abanicos aluviales proximales (Miall, 1978), derivadas de una fuente de aporte constituida por rocas ígneas extrusivas. Sobre la litología anterior está la unidad Adobes, que pasa concordante y en transición a una granulometría con mayor selección. Sus características litológicas, estructuras sedimentarias y trazas de los icnogéneros *Palaeophycus* y *Planolites*, aunado a la presencia de troncos fósiles derribados y cuellos de troncos en posición vertical de posible crecimiento y palinomorfos, sugieren que este depósito pertenece a un ambiente fluvial, posiblemente trenzado (Miall, 2010) y la icnoasociación se asocia a un ambiente lacustre cerrado. La litología descrita en la cima de la unidad Adobes sugiere la presencia de canales de

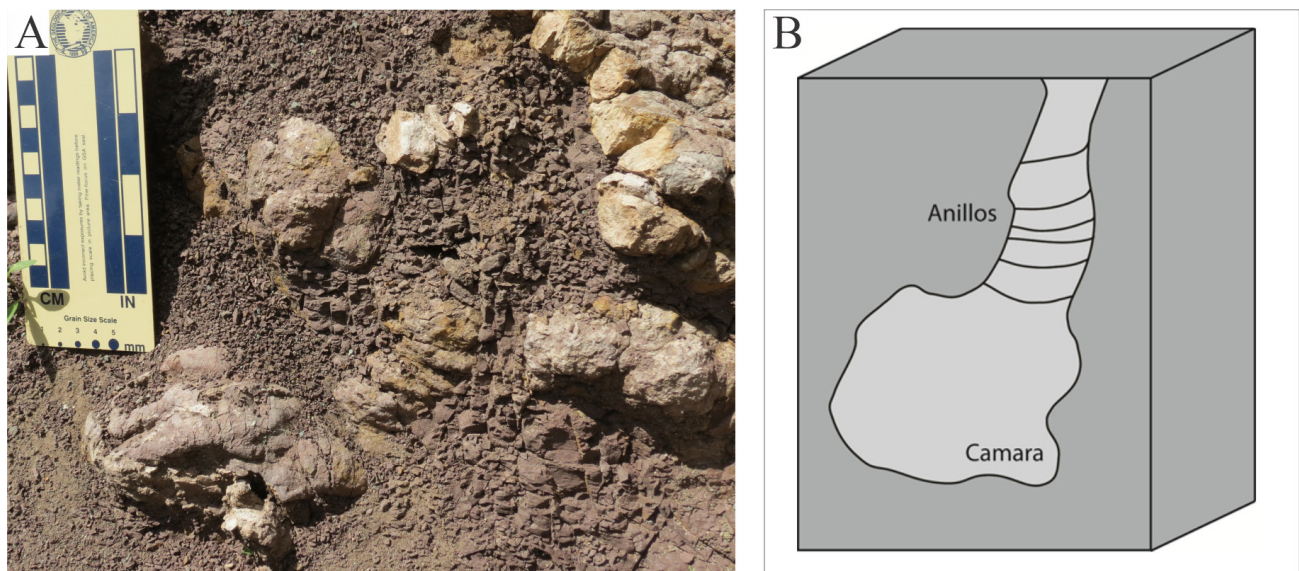


Figura 6. A) Galerías asignadas al icnogénero *Camborygma*, en la unidad Los Rodeos (localidad 6, UTM 448,483; 2 763,389). B) Representación de *Camborygma* isp. y su posición dentro del sustrato.

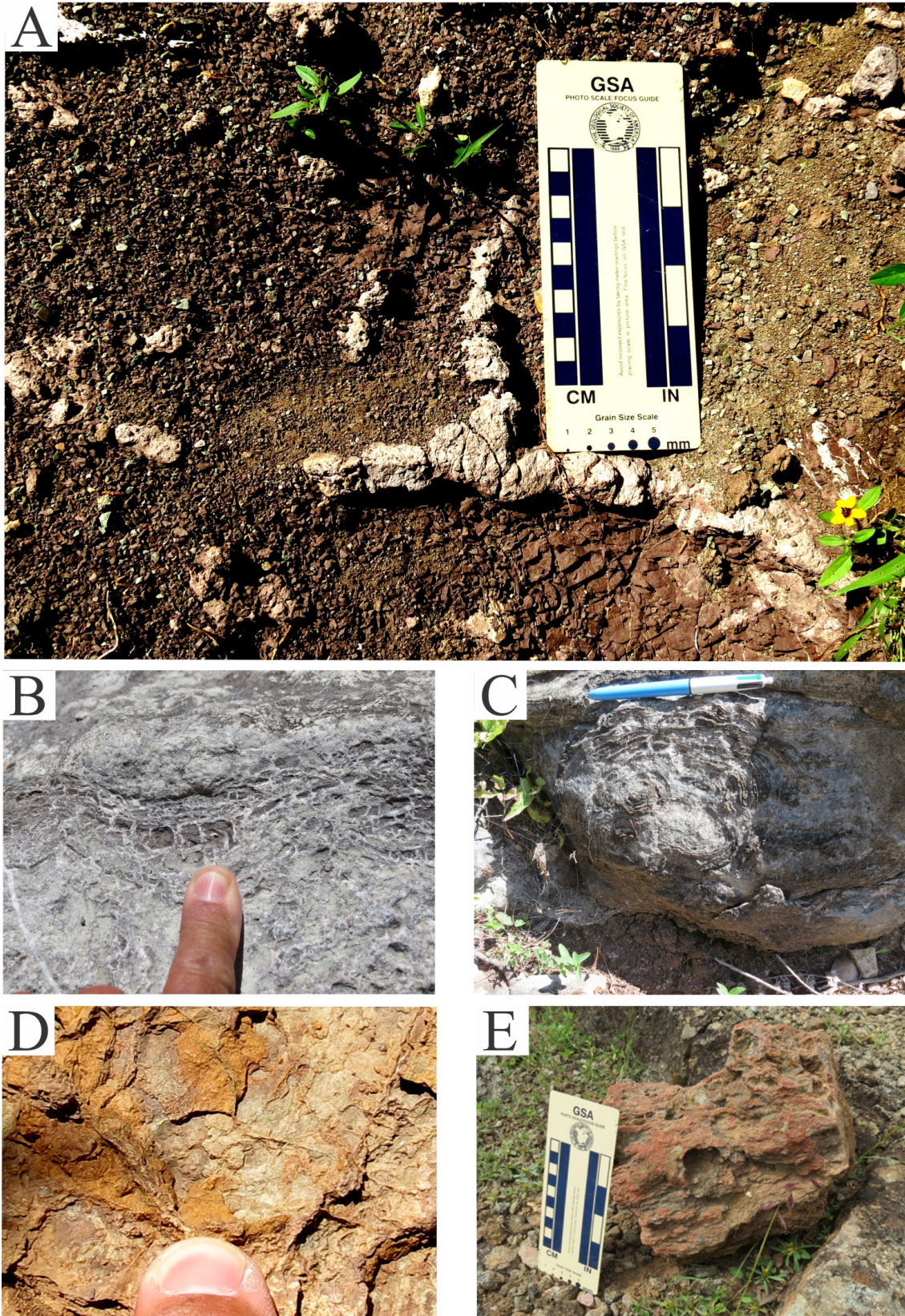


Figura 7. A) Posibles rizolitos en posición vertical, en limolita laminar y arenisca de grano fino, en la unidad informal Los Rodeos (localidad 6, UTM 448,483; 2 763,389). B) Detalle de estructuras de posibles estromatoporoides, en capas de caliza asociadas con carpetas microbianas en la unidad informal Ratia. C) Corte transversal de tapetes microbianos (posibles trombolitos), en capas de caliza de la unidad *Ratia*. Longitud de la escala 20 cm (cabecera del Arroyo Ancón, UTM 451,154; 2 762,657). D) Posible resto foliar acicular de Pinaceae, incluida en probable grieta de desecación en capas rojas de la unidad Ratia (localidad UTM 448,140; 2 764,157). E) Fragmento de tronco petrificado en la base de la unidad Adobes (UTM 447,305; 2 761,173).

Tabla 1. Asociación de las trazas fósiles en las unidades litológicas del grupo Garamé (informal). Localidades: 1 y 2 unidad Adobes; 3 y 5 unidad Rancho Viejo; 4 y 6 unidad Los Rodeos.

Trazas	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3	Localidad 4	Localidad 5	Localidad 6
<i>Palaeophycus</i>	X	X	X		X	
<i>Planolites</i>	X	X		X		
<i>Camborygma</i>						X
rizolitos						X

erosión, con un flujo hidrodinámico mayor, en un sistema de depósito posiblemente de corriente fluvial trenzada o anastomosada (Leopold y Wolman, 1957; Bridge, 1985). Las características litológicas descritas para la unidad Los Rodeos, con numerosas trazas de *Planolites* y galerías asignables a *Camborygma* y posibles rizolitos, sugieren pertenecer a un depósito en ambiente encharcado (Talbot y Allen, 1986), condiciones similares han sido referidas para planicie de inundación del Paleoceno y Eoceno en la Formación Willwood en Wyoming (Smith *et al.*, 2008). Las estructuras sedimentarias con grietas de posible desecación indican un ambiente con periodos húmedos alternos con sequía y exposición subaérea, lo cual puede suceder en un depósito de planicie fluvial y lacustre en ambientes de oxidación. La unidad Rancho Viejo compuesta por capas de arcosa amalgamadas, pseudomasivas, con la presencia de escasas trazas del género *Palaeophycus*, vinculadas a sus características litológicas, permiten interpretar que su depósito obedece a una subsidencia con mayor aporte de siliciclastos e inhibición del desarrollo de trazas fósiles, en ambiente fluvial, con energía moderada (MacEachern *et al.*, 2010). La base de la unidad Ratia, tiene trazas fósiles escasas e irreconocibles, está compuesta por argilita de color magenta y guinda, que tiene cambios laterales a caliza, con desarrollo de tapetes microbianos. Estas características se vinculan con planicies de inundación y lagos someros, las tobas interestratificadas en la sucesión indican periodos de vulcanismo piroclástico y derrames, en un ambiente continental, en climas variables por cambios alternantes de desecación e inundación.

El conjunto de litologías se relaciona con un entorno hidrodinámico variable, de energía alta a energía baja y moderada, con cambios de ambiente alternantes, así como también procesos de inhibición de icnofauna, posiblemente afectados por subsidencia y aporte sedimentario acelerado (que son más evidentes en la unidad Rancho Viejo). El modelo de depósito para estas sucesiones estratigráficas se muestra en la Figura 8. Es de resaltar la coincidente semejanza del ensamble icnológico observado en la sucesión estratigráfica de este trabajo con otros reportes con rocas de ambiente continental del Cretácico Superior de Corea (Kim *et al.*, 2002), Wyoming (Smith *et al.*, 2008) y China (Wang *et al.*, 2016). Por el entorno descrito no se descarta la posibilidad de que puedan descubrirse huellas de vertebrados en estas rocas.

En cuanto a la edad de depósito de la unidad Adobes, los géneros *Classopollis* sp., *Classoidites crassiramosus*, *Polyplicadites* sp., *Faveotricolpites* sp. y *Exesipollenites* sp., (citados por Miranda *et al.*, 1982), tienen alcances estratigráficos amplios que varían desde el Jurásico al Mioceno. Según la base de datos (Palynodata, <https://paleobotany.ru/palynodata/taxa>) creada por White y Jessop (2002), la presencia de la asociación *Classoidites crassiramosus*, reportado en el Maastrichtiano en México (Rueda-Gaxiola, 1967), *Faveotricolpites* sp., persistente entre el Cenomaniano al Paleoceno en América y China (Pierce, 1961; Potonie, 1970) y principalmente *Polyplicadites* sp., que se distribuye entre el Maastrichtiano y Paleoceno en México, Guayana y Colombia (Hammen y García, 1964; Rueda-Gaxiola, 1967; Penny, 1969), son persistentemente presentes en el Cretácico Superior y Paleoceno. Por otro lado, la geocronología de los zirrones detríticos (Guzmán-Lugo *et al.*, 2016) en la base de la unidad Ratia no permite que esta unidad pueda ser anterior al Turoniano tardío, lo que resulta congruente con la edad más joven que pueden tener *Polyplicadites* sp. y *Faveotricolpites* sp. Así mismo, si consideramos que la deformación de acortamiento estructural que tienen las rocas aquí descritas no es propia del dominio geológico de la cubierta volcánica félsica de la Sierra Madre Occidental y que este vulcanismo ha sido fechado no mayor a 34 Ma (Ferrari *et al.*, 2005), podemos inferir que el grupo Garamé se depositó entre el Cretácico Superior y el Paleógeno.

6. Conclusiones

Este trabajo identifica la presencia de los icnogéneros *Planolites*, *Camborygma* y *Palaeophycus* en una sucesión siliciclastica de litología variada. No obstante, la diversidad y abundancia de las trazas fósiles es baja, estos icnogéneros posiblemente se vinculan con la icnofacies *Scoyenia*, ya que su relación parece más estrecha con ésta, que su liga a otras icnofacies continentales. Con base en la litología, características físicas de estructuras sedimentarias, ausencia de fósiles marinos, presencia de trazas orgánicas de los diversos icnogéneros aquí descritos, polen, rizolitos y cuellos de troncos fósiles en posición de crecimiento, en este trabajo se propone que las unidades estudiadas corresponden a un depósito subaéreo continental, con paleoambientes

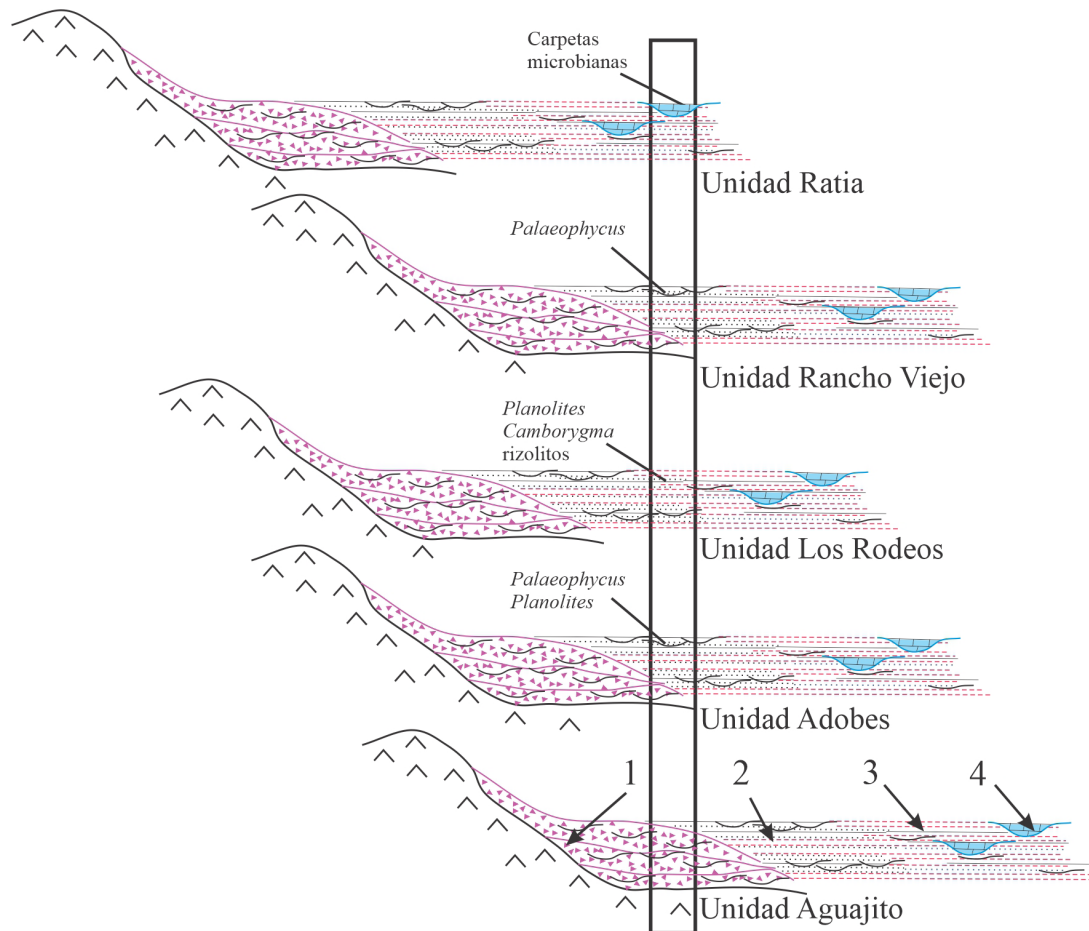


Figura 8. Modelo de depósito del grupo Garame. Las icnoasociaciones se distribuyen con las variaciones litológicas laterales que se superponen a la subsidencia y acumulación sedimentaria conforme a la Ley de Walther, como se representa en la columna estratigráfica del recuadro. Al calce del modelo los sub-ambientes: (1) facies de abanico aluvial. (2) facies fluviales y canales entrecruzados. (3) facies de llanura fluvial y lacustre. (4) facies lacustres someras y efímeras. Icnofósiles acordes a la Tabla 1.

de ciclos alternantes, en un modelo sedimentario que varió desde abanicos aluviales, a llanuras de inundación y lacustre efímero. Estos ambientes se sucedieron temporal y espacialmente en apilamiento de agradación, con actividad volcánica intercalada representada por tobas. Sus características litológicas indican energía de depósito que varió desde alta a moderada y por su índice de bioturbación, que conserva mayormente las estructuras sedimentarias primarias, se considera con una tasa de sedimentación alta. La edad del depósito no está establecida, pero con base al contenido palinológico, edad más joven de los zircons detríticos, por la deformación estructural con acortamiento NW-SE que presenta la sucesión estratigráfica aquí estudiada y su relación estratigráfica con la cubierta volcánica félsica de la Sierra Madre Occidental, las rocas descritas en este trabajo pueden ser asignadas al Cretácico Superior-Paleógeno.

Agradecimientos

Los autores agradecemos los valiosos comentarios de la revisión a este trabajo realizados por el Dr. Francisco Sour Tovar y Dr. Rafael Barbosa Gudiño, de manera particular el apoyo y sugerencias preliminares para mejorar este trabajo dados por el Dr. Josep Moreno Bedmar, Dra. Gabriela Pineda Salgado y Dr. Antoni Camprubí. La valiosa colaboración en los trabajos de campo de Juan José Islas Tenorio y los comentarios técnicos y facilidades logísticas de soporte técnico de Eduardo Rivera Carranza, ambos ingenieros del Servicio Geológico Mexicano. A la Dra. Uxue Villanueva Amadoz por sus observaciones sobre el alcance estratigráfico de los palinomorfos y a la Maestra Sandra Ramos, responsable de la Unidad Editorial del Instituto de Geología por su esmerado trabajo, a todos ellos reiteramos nuestro agradecimiento por los comentarios y sugerencias

vertidas que mejoraron este trabajo. Al señor José Cristóbal Quiñones por su apoyo como guía de campo.

Referencias

- Andrews, H.N. Jr., 1955, Index of generic names of fossil plants, 1820–1950: Bulletin of the United States Geological Survey, 1013, 262 pp.
- Bann, K.L., Tye, S.C., MacEachern, J.A., Fielding, C.R., Jones, B.G., 2008, Ichnological and sedimentologic signatures of mixed wave- and storm-dominated deltaic deposits: Examples from the Early Permian Sydney Basin, Australia, *en* Hampson, G., Steel, R., Burgess, P., Dalrymple, R. (eds.), Recent Advances in Models of Siliciclastic Shallow-Marine Stratigraphy: Dordrecht, SEPM Special Publication 90, 293–332.
- Barras, C., Twitchett, R.J., 2016, The Late Triassic Mass Extinction Event, *en* Mángano, M.G., Buatois, L.A. (eds.), The Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events, Volume 2: Mesozoic and Cenozoic: Dordrecht, Springer, 1–17.
- Bassler, R.S., 1915, Bibliographic index of American Ordovician and Silurian fossils: Bulletin of the United States National Museum, 92, 718 pp.
- Bridge, J.S., 1985, Paleochannel patterns inferred from alluvial deposits: a critical evaluation: Journal of Sedimentary Petrology, 55, 579–589.
- Bromley, R.G., 1996, Trace fossils: Biology, taphonomy and applications: London, Chapman and Hall, 349 pp.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., 1996, Icnología de ambientes continentales: problemas y perspectivas: III Reunión Argentina Icnológica, 5–30.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., 2002, Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: Implications for ichnofacies models of continental environments: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 183, 71–86.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., 2009, Applications of ichnology in lacustrine sequence stratigraphy: Potential and limitations: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 272, 127–142.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., 2011, Ichnology, Organism-Substrate Interactions in Space and Time: Cambridge, Cambridge University Press, 358 pp.
- Crúz-Pérez, R., Ríos-Vázquez, J.R., 1999, Carta Geológico-Minera Guanaceví G13 C17, Durango, escala 1:50000: Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano.
- Do Nascimento, D.L., Batezelli, A., Ladeira, F.S.B., 2017, Freshwater decapoda trace fossils in floodplain paleosols of marília formation in Minas Gerais State (SE Brazil): Revista Brasileira de Paleontologia, 20(3), 287–298.
- Ekdale, A., Richard, G., Bromley, David, B. Loope, 2007, Ichnofacies of an ancient erg: A climatically influenced traces fossil association in the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA, *en* Miller III, W., Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects: Netherlands, Elsevier, B.V., 562–574.
- Fensome, R.A., 1983, Miospores from the Jurassic-Cretaceous boundary beds, Aklavik Range, Northwest Territories, Canada. (Incorporating taxonomic reviews of several Groups of Mid-Late Mesozoic miospores): Canada, University of Saskatchewan, PhD Thesis, 762 pp.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S.E., 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 3, 343–378.
- Fillion, D., Pickerill, R.K., 1984, Systematic ichnology of the Middle Ordovician Trenton Group. St. Lawrence Lowland, eastern Canada: Maritime sediments and Atlantic Geology, 20(1), 1–40.
- Frey, R.W., Pemberton, S.G., Fagerstrom, J.A., 1984, Morphological, ethological and environmental significance of the ichnogenera *Scoyenia* and *Ancorichnus*: Journal of Paleontology, 58, 511–528.
- Genise, J.F., 2017, Ichnoentomology Insect Traces in Soils and Paleosols: Switzerland, Springer, 694 pp.
- Genise, F.J., Emilio Bedatou, Bellosi, Eduardo S., Sarzetti, Laura C., Victoria Sánchez M., Marcelo Krause, J., 2016, The Phanerozoic four revolutions and evolution of paleosol ichnofacies, *en* Mángano, M.G., Buatois, L.A. (eds.), Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events, Volume 2, Mesozoic and Cenozoic: Verlag, Springer, 301–370.
- GEOCA, S.A., 1961, Informe de avance de los trabajos geológico-radiométricos sistemáticos y de reconocimiento llevados a cabo en la Sierra Garama, Municipio de Santiago Papasquiaro, Durango II, periodo 1º-31 de enero, Brigada 4, Servicio Geológico Mexicano, Consulta de informes Técnicos, URAMEX, <https://www.sgm.gob.mx/uramex_inf/Inf_Municipio3.jsp>, consultado el 12 de diciembre, 2018.
- Gingras, M.K., Pemberton, S.G., Henk, F., MacEachern, J.A., Mendoza, C., Rostron, B., Mendoza, C., Ronstron, B., O'Hare, R., Spila, M., Konhauser, K., 2007, Applications of Ichnology to Fluid and Gas Production in Hydrocarbon Reservoirs, *en* MacEachern, J.A., Bann, K.L., Gingras, M.K., Pemberton, S.G., (eds.), Applied Ichnology: Dordrecht, SEPM Society for Sedimentary Geology, 131–145.
- Guzmán-Lugo, A., Doria-Alvarado, H., Enriquez-Olmos, J., 2016, Informe final de la carta Llano Prieto G13 C58, escala 1:50000, Estado de Durango, Servicio Geológico Mexicano, 68 pp.
- Hall, J., 1847, Paleontology of New York: Albany, C. Van Benthuyssen, 338 pp.
- Hammen, T.V.D., Wymstra, T.A., Leidelmeyer, P., 1961, Paleocene sediments in British Guiana and Surinam: Geologie en Mijnbouw, 40(6), 231–232.
- Hammen T.V.D., García de M.C., 1964, La Flora del polen del Paleoceno de Colombia: Ministerio de Minas y Petróleos, República de Colombia, Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico, 12(1–3), 33–45.
- Häntzschel, W., 1975, Trace fossils and problematica, *en* Moore, R.C. (ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellanea, Supplement 1: Lawrence, E.U.A., Geological Society of America, University of Kansas Press, 1–269.
- Hasiotis, S.T., Mitchell, C.E., 1993, A Comparison of Crayfish Burrow Morphologies: Triassic and Holocene Fossil, Paleo- and Neoichnological Evidence, and the Identification of their Burrowing Signatures: Ichnos, 2(4), 291–314.
- Hasiotis, S.T., Honey, J., 2000, Paleohydrologic and Stratigraphic Significance of Crayfish Burrows in Continental Deposits: Examples from Several Paleocene Laramide Basins in the Rocky Mountains: SEPM Journal of Sedimentary Research, 70(2), 127–139.
- Hembree, D.I., Swaninger, E.S., 2018, Large *Camborygma* isp. in fluvial deposits of the Lower Permian (Asselian) Dunkard Group, southeastern Ohio, U.S.A.: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 491, 137–151.
- IUGS, 2017, Tabla Cronostratigráfica Internacional, <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2017-02SpanishAmer.pdf>.
- Keighley, D.G., Pickerill, R.K., 1995, The ichnotaxa *Palaeophycus* and *Planolites*, Historical perspectives and recommendations: Ichnos, 30, 301–309.
- Kim, J.Y., Kim, K.S., Pickerill, R.K., 2002, Cretaceous nonmarine trace fossils from the Hasandong and Jinju formations of the Namhae area, Kyongsangnamdo, southeast Korea: Ichnos 9, 41–60.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957, River channel patterns; braided, meandering, and straight: U.S. Geological Survey, Professional Paper 282-B.
- MacEachern, J.A., Pemberton, George S., Bann, Kerrie L., 2010, Ichnology and Facies Models, *en* James, N.P., Dalrymple, R.W. (eds.), Facies Models 4: Canada, Canadian Sedimentology GEO 6 Geological Association of Canada, 19–58.
- Melchor, R.N., 2004, Trace fossil distribution in lacustrine deltas: examples from the Triassic rift lakes of the Ischigualasto-Villa Unión Basin, Argentina, *en* McIlroy, D. (ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: London, Geological Society Special Publications, 335–354.

- Melchor, R.N., Bedatou, E., de Valais, S., Genise, J., 2006, Lithofacies distribution of invertebrate and vertebrate trace-fossil assemblages in an Early Mesozoic ephemeral fluvio-lacustrine system from Argentina: Implications for the *Scoyenia* ichnofacies: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, 253–285.
- Melchor, R.N., Genise, J.F., Buatois, L.A., Umazano, A.M., 2012, Fluvial Environments, *en* Knaust, D., Bromley, R. (eds.), *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments*: London, Developments in Sedimentology 64, 327–378.
- Miall, A.D., 1978, Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits; a summary, *en* Miall, A.D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*: Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5, 597–604.
- Maill, A.D., 2010, Alluvial deposits, *en* James, N.P., Dalrymple, R.W. (eds.), *Facies Models 4: Canada*, Canadian Sedimentology, Geological Association of Canada, 105–137.
- Miranda, E.C., Aquilez, L.E.N., Munguía, A.O.M., 1982, Resultado del trabajo de exploración geológica-radiométrica en la paleocuenca sedimentaria de Santiago Papasquiaro, Durango: Servicio Geológico Mexicano, Uranio Mexicano, Informe Inédito, 56 pp.
- Müller, A.H., 1962, Zur Ichnologie, Taxologie und Ökologie fossiler Tiere. Tiel 1: Freiburger Forschungshefte, 151, 5–49.
- Nicholson, H.A., 1873, Contribution to the study of errant annelids of the Older Paleozoic rocks: *Proceedings of the Royal Society of London*, 21, 288–290.
- Pemberton, S.G., 1992, Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: Oklahoma, Society of Paleontologists and Mineralogists, 429 pp.
- Pemberton, S.G., Frey, R.W., 1982, Trace Fossil Nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* Dilemma: *Journal of Paleontology*, 56(4), 843–881.
- Pemberton, S.G., Frey, R.W., Ranger, M.J., 1992, The conceptual framework of Ichnology, *en* Pemberton, S.G. (ed.), *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration*: Oklahoma, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1–32.
- Penny, J.S., 1969, Late Cretaceous and Early Tertiary palynology, *en* Tschudy, R.H., Scott, R.A. (eds.), *Aspects of Palynology*: New York, U.S.A., John Wiley & Sons, 331–376.
- Pflug, H.D., 1953, Zur Entstehung und Entwicklung des angiospermiden Pollens in der Erdgeschichte: *Palaeontographica Abteilung B*, 95, 61–171.
- Pieńkowski, G., 2004, Sołtyków, Poland an unique palaeoecological record of the Early Jurassic continental deposits: *Volumina Jurassica*, 2, 1–16.
- Pierce, R.L., 1961, Lower Upper Cretaceous plant microfossils from Minnesota: *Minnesota Geological Survey Bulletin*, 42, 1–86.
- Potonie, R., 1970, Synopsis of the genera of the sporae dispersae. Part 5, Supplement to all Groups (Turmae): *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, 1–172.
- Rueda-Gaxiola, J., 1967, Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du charbon crétacé du bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique: applications géologiques: France, University of Lille, PhD Thesis, 184 pp.
- Sato, T., Chan, M.A., Ekdale, A.A., 2018, Trace fossils and fluvial-lacustrine ichnofacies of the Eocene Uinta and Duchesne River Formations, northern Uinta Basin, Utah: *Geology of the Intermountain West*, 5, 209–226.
- Seilacher, A., 1967, Bathymetry of trace fossils: *Amsterdam, Marine Geology*, 5(5), 413–428.
- Seilacher, A., 2007, *Trace Fossil Analysis*: Heilderberg, Springer, 226 pp.
- Smith, J.J., Hasiotis, Stephen T., Kraus, Mary J., Woody, Daniel T., 2008, Relationship of floodplain ichnocoenoses to paleopedology, paleohydrology, and paleoclimate in the Willwood Formation, Wyoming, during the Paleocene–Eocene thermal maximum: *Palaaios*, 23, 683–699.
- Talbot, M.R., Allen, P.A., 1996, *Lakes*, *en* Reading, H.G. (ed.), *Sedimentary environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, 3rd Edition: Blackwell, Oxford, 83–124.
- Taylor, A.M., Goldgring, R., 1993, Description and analysis of bioturbation and Icnofabric: *Journal of the Geological Society of London*, 150, 141–148.
- Terrones-Benitez, A., 1922, The camp of Guanacevi, Engineering and Mining: *Journal-Press*, 114(4), 139–144.
- White, M.J., Jessop, M.C., 2002, Population-based analysis and graphic interpretation of fossil palynomorph records from Palynodata: taxonomic and biostratigraphic implications: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180(1-3), 129–146.
- Wang, C., Wang, J., Hu, B., Lu, X., Wang, J., Hu, B., Trace, X.L., 2016, Trace fossils and sedimentary environments of the upper cretaceous in the Xixia Basin, Southwestern Henan Province, China: *Geodinamica Acta*, 28(1–2), 53–70.

Manuscrito recibido: Enero 28, 2020.

Manuscrito corregido recibido: Mayo 30, 2020.

Manuscrito aceptado: Mayo 30, 2020.

***Euagnostus interstrictus* (White, 1874) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliuano) del cerro El Sahuaral, Sonora central, México**

Cuen-Romero Francisco, Javier^{a,*}, Noriega-Ruiz, Héctor A.^b, Buitrón-Sánchez, Blanca E.^c

^aDepartamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

^bDepartamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Luis Donaldo Colosio s/n, entre Sahuaripa y Reforma, Col Centro, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

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

* francisco.cuen@ciencias.uson.mx

Resumen

Se describe por primera vez para México el trilobite agnóstico *Euagnostus interstrictus* (White), recolectado en capas del Cámbrico de la Formación El Gavilán (Miaolingiano, Wuliuano) que se localiza en el cerro El Sahuaral, parte central del estado de Sonora. En la localidad aflora una secuencia sedimentaria del Paleozoico inferior representada por las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán, con una litología predominante de cuarzoarenita, caliza y lutita. Esta secuencia está caracterizada por una abundante y diversa biota fósil, la cual consiste en icnofósiles, algas oncolíticas, esponjas, hiolítidos, braquiópodos y trilobites. Las rocas cámbricas del área de Sonora central se depositaron como parte de una potente secuencia de sedimentos del margen occidental del cratón de Laurentia en un ambiente de plataforma exterior. Se confirma la distribución cosmopolita de *Euagnostus interstrictus*, ya que se encuentra ampliamente distribuida en localidades como el norte de Australia (Territorio del Norte y Queensland), Europa (Dinamarca), Estados Unidos de América (Utah y Nevada) y México (Sonora).

Palabras clave: Cámbrico, *Euagnostus*, México, Sonora, Trilobite.

Abstract

We describe, for the first time in Mexico, the agnostid trilobite *Euagnostus interstrictus* (White), collected from Cambrian strata of the El Gavilán Formation (Miaolingian, Wuliuan) which is located in the El Sahuaral hill, on the central part of the state of Sonora. A lower Paleozoic sedimentary sequence is exposed in the study site, represented by the Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, and El Gavilán formations, with a predominant lithology of quartz-arenite, limestone and shale. This sequence is characterized by an abundant and diverse fossil biota, consisting of ichnofossils, oncolytic algae, sponges, hyolithids, brachiopods, and trilobites. The Cambrian rocks from the central Sonora area were deposited as part of a thick sedimentary sequence from the western margin of the Laurentia craton in an outer shelf environment. The cosmopolitan distribution of *Euagnostus interstrictus* is confirmed, as it is widely distributed in locations such as northern Australia (Northern Territory and Queensland), Europe (Denmark), United States of America (Utah and Nevada) and Mexico (Sonora).

Keywords: Cambrian, *Euagnostus*, Mexico, Sonora, Trilobite.

1. Introducción

Los estudios estratigráficos y paleontológicos de las secuencias sedimentarias del Cámbrico en México se han incrementado de manera trascendental en las últimas décadas, particularmente, en el estado de Sonora (Stewart *et al.*, 2002; Almazán-Vázquez *et al.*, 2006; Nardin *et al.*, 2009; Cuen-Romero *et al.*, 2016, 2018, 2019a, 2019b; Sour-Tovar y Hernández-Barbosa, 2018; Beresi *et al.*, 2019), donde se registra una gran abundancia y diversidad de trilobites, los cuales se encuentran relativamente bien preservados.

La bioestratigrafía del Cámbrico está basada en rangos estratigráficos de trilobites, debido a que tienen una gran diversidad y rápida evolución; particularmente los trilobites agnóstidos, permiten establecer correlaciones a nivel global, mientras que el resto de los grupos presentan un marcado provincialismo, sin embargo, son útiles para reconstrucciones paleogeográficas y como indicadores paleoecológicos (Shergold, 1997; Webster, 2011). El orden Agnostida Salter, es un grupo de gran importancia bioestratigráfica, especialmente durante el Cámbrico-Ordovícico, debido a que sus formas tienen una distribución cosmopolita, no obstante que son considerados como controversiales por presentar rasgos morfológicos poco comunes para los trilobites, indicando características particulares en cuanto a su morfología, función, desarrollo ontogénico y evolución (Ritterbush, 1981; Peng *et al.*, 2012). En general, el grupo de los agnóstidos se caracteriza por ser trilobites de tamaño reducido, isopigios, con solamente dos o tres segmentos torácicos y en ocasiones con ausencia de suturas faciales y oculares (Cotton y Fortey, 2005).

De acuerdo a Cuen-Romero *et al.* (2018), las faunas de trilobites del Cámbrico del estado de Sonora fueron divididas en cuatro regiones por su distribución geográfica y ambiente de depósito: 1) región noroeste (Caborca); 2) región norte (Cananea); 3) región central (San José de Gracia y Mazatán) y 4) región este (Arivechi). Únicamente en la región central y oriente se ha documentado la presencia de trilobites agnóstidos para el Cámbrico medio-superior, donde dominan los géneros *Peronopsis* y *Quadragnostus*. Cuen-Romero *et al.* (2018), reportaron una gran diversidad de trilobites para el estado de Sonora, documentando la presencia de 82 especies; no obstante, los estudios realizados recientemente en la región central del estado señalan la existencia de nuevas taxa para México, por lo cual dicha cifra se ha incrementado.

Estudios recientes en el área de estudio, documentan una secuencia sedimentaria del Cámbrico inferior-medio con abundantes fósiles de invertebrados. Particularmente, en la Formación El Gavilán, se preservaron faunas representativas del Cámbrico medio, mayormente trilobites agnóstidos. El presente trabajo describe e ilustra por primera vez para el Cámbrico en México la especie *Euagnostus interstrictus* (White, 1874), la cual se encuentra asociada con

chancellóridos, espículas de esponjas reticulosas, hiolítidos, braquiópodos linguliformes y otros trilobites.

2. Antecedentes y trabajos previos

Los primeros estudios del Cámbrico en México fueron realizados por Cooper y Arellano (1946) y Cooper *et al.* (1952), quienes estudiaron la estratigrafía y contenido paleontológico de la región de Caborca, en el noroeste de Sonora, describiendo por primera vez para el país algas calcáreas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos y trilobites. También, estos autores propusieron las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren.

En la parte central del estado de Sonora, Vega-Granillo (1996), describió la geología estructural de la Sierra de Mazatán, documentando una secuencia de rocas carbonatadas y detríticas con fauna de trilobites característicos de la Zona de *Ehmaniella*. Posteriormente, Nardin *et al.* (2009) estudiaron el eocrinoide *Gogia granulosa* Robison, 1965 recolectado en capas del Cámbrico de la Formación Buelna del cerro El Chihuarruita. Cuen *et al.* (2013), documentaron para la misma localidad, la presencia de escleritos aislados de *Chancelloria eros* Walcott, 1920 y *Diagoniella* sp., asociados a trilobites como *Pentagnostus* (*Meragnostus*) *bonnerensis* (Resser, 1939a), *Oryctocephalites walcotti* Resser, 1938, *Ogygopsis typicalis* (Resser, 1939b) y *Elrathina antiqua* Palmer in Palmer y Halley, 1979, indicadores de la Zona de *Mexicella mexicana*. Posteriormente Buitrón-Sánchez *et al.* (2016), estudiaron los icnofósiles de la Formación Proveedora del cerro El Chihuarruita, reportando la presencia de *Skolithos* isp., *Palaeophycus* isp., *Asteriacites* isp. y *Asterosoma* isp. Cuen-Romero *et al.* (2016), describieron la estratigrafía del Cámbrico del área de San José de Gracia, compuesta por cuatro formaciones: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y propusieron una nueva unidad denominada Formación El Gavilán. Buitrón-Sánchez *et al.* (2017), reportaron por primera vez para Sonora central los hiolítidos del Cámbrico *Hyolithes* cf. *H. sonora* Lochman, 1952 y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988. Cuen-Romero *et al.* (2018), realizaron un análisis bioestratigráfico basado en trilobites para el estado de Sonora, asignando edad a las unidades del Cámbrico. Cuen-Romero *et al.* (2019a), realizaron el primer estudio paleoecológico de los ecosistemas marinos del Cámbrico de México.

La secuencia expuesta en el cerro El Sahuaral, fue estudiada inicialmente por Stewart y Poole (2002), quienes documentaron la presencia de rocas del Cámbrico y una gran abundancia de trilobites del Cámbrico medio. El primer trabajo formal en el área de estudio es el de Beresi *et al.* (2019), quienes describieron, por primera vez del área de estudio, la presencia de escleritomos de chancellóridos articulados, correspondientes a

Chancelloria eros y escleritos aislados de *Allonia tintinopsis* Bengston y Collins, 2015, y *Archiasterella* sp.

3. Localización del área de estudio

Los afloramientos del suroeste del cerro El Sahuaral se encuentran en las coordenadas geográficas 29°2'02" latitud norte y 110°37'12" latitud oeste, ubicados a 7 km al norte de la localidad de San José de Gracia, misma que se localiza a 45 km al noreste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México (Fig. 1).

4. Estratigrafía

En el cerro El Sahuaral afloran rocas que varían en edad del Precámbrico al Holoceno, sin embargo, en el

presente trabajo se hace énfasis en las rocas del Cámbrico, que consiste de las formaciones Proveedora, Buelna Cerro Prieto y El Gavilán (Fig. 2).

La Formación Proveedora está compuesta, de la base a la cima, por una cuarzoarenita de grano fino a grueso, con manchas rojas de oxidación; seguida por una cuarzoarenita de color gris oscuro con la presencia de icnofósiles como *Skolithos* isp. La unidad posee un espesor de 216 m y aflora en la cima del cerro El Sahuaral. El contacto inferior no se observa, mientras que el contacto superior es concordante con la Formación Buelna.

La Formación Buelna está conformada por caliza arenosa con fragmentos de hiolítidos, seguida por caliza con algas oncolíticas. En la parte media de la unidad se encuentra caliza oolítica. La unidad aflora en el cerro El Sahuaral con un espesor de 64 m. Los contactos inferior y superior son concordantes con las formaciones Proveedora y Cerro Prieto, respectivamente.

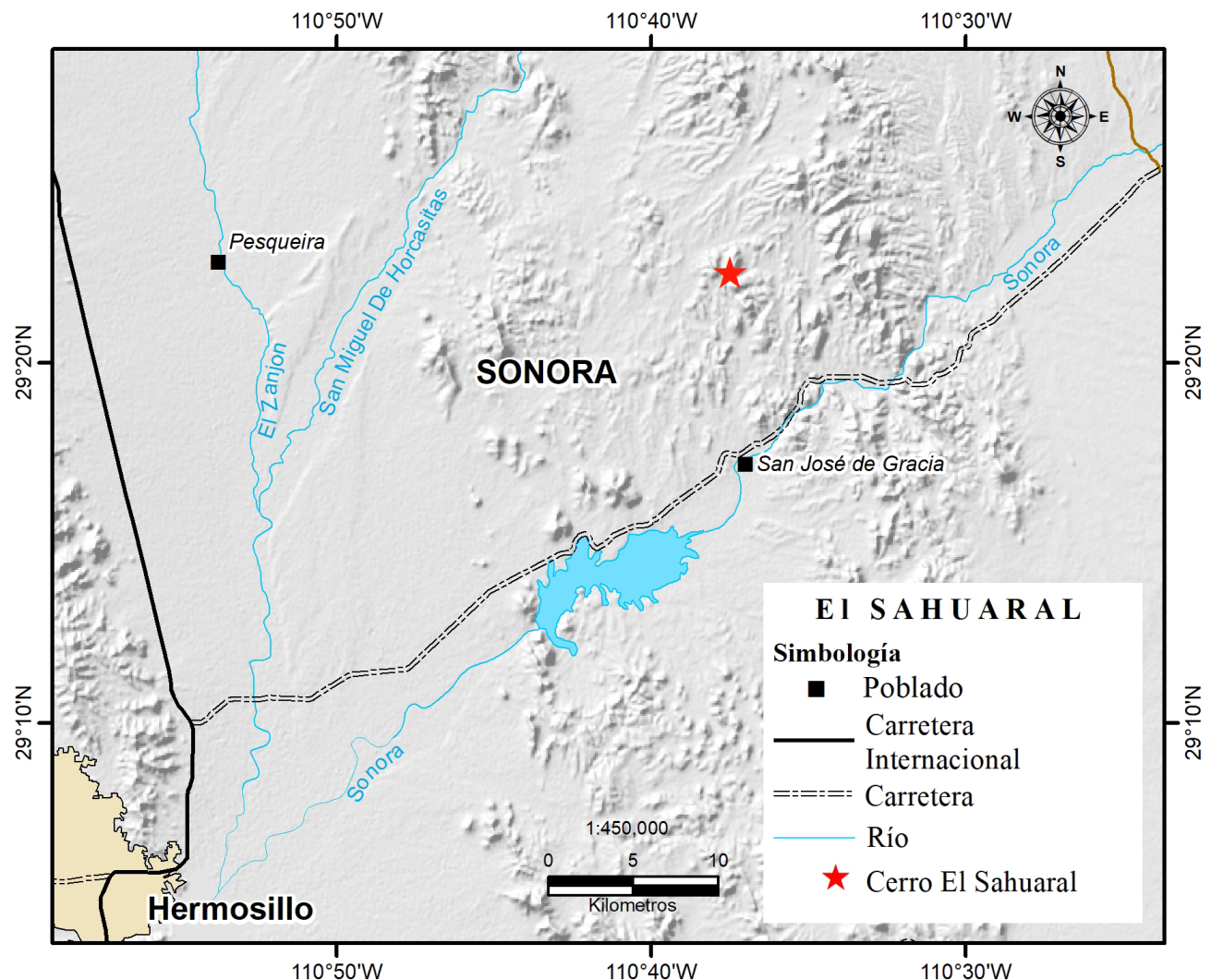


Figura 1. Localización del cerro El Sahuaral, área de estudio.

La Formación Cerro Prieto consiste en una caliza oolítica dolomitizada, la cual forma cantiles. Posee un espesor de 53 m y aflora en la parte sureste del cerro El Sahuaral. El contacto inferior es concordante con la Formación Buelna, mientras que el contacto superior también es concordante con la Formación El Gavilán.

La Formación El Gavilán está compuesta en la base por capas de lutita de color rojo con presencia de esponjas reticulosas, chancellóridos, braquiópodos y trilobites. La parte intermedia consiste en una intercalación de lutita de color rojo con caliza de color gris la cual varía en espesor menor a 30 cm (Figs. 2, 3). La parte superior de la unidad es una arenisca de color amarillo. El espesor total de la unidad no fue determinado debido al fuerte plegamiento. El contacto inferior es concordante con la Formación Cerro Prieto y el superior es discordante con riolitas-andesitas del Mioceno.

5. Paleontología Sistemática

El material estudiado se encuentra depositado en la Colección de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora con los números de catálogo USDG 356 y USDG 357. La nomenclatura y términos morfológicos utilizados para la descripción de los ejemplares son los propuestos por Robison (1982) y Whittington y Kelly (1997).

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848
Clase Trilobita Walch, 1771
Orden Agnostida Salter, 1864
Familia Peronopsidae Westergård, 1936

Género *Euagnostus* Whitehouse, 1936
Especie tipo. *Euagnostus opimus* Whitehouse, 1936

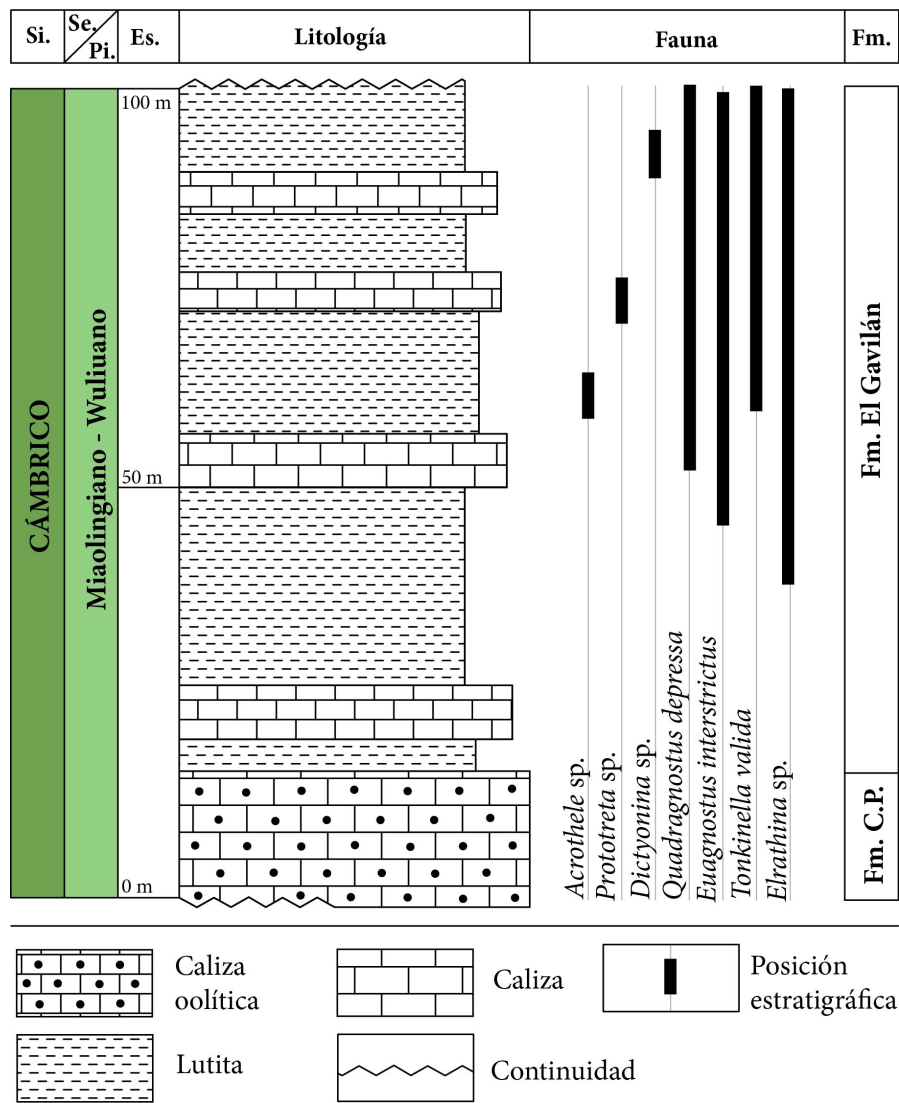


Figura 2. Columna estratigráfica de la Formación El Gavilán.

Euagnostus interstrictus (White, 1874)

Figura 5 A–B.

Sinonimia. *Aagnostus interstrictus* White, 1874, p. 7; White, 1877, lám. 2, figs. 5a–5b.

Peronopsis interstrictus Palmer, 1954, lám. 13, fig. 6; Robison, 1964, lám. 82, fig. 18; Robison, 1982, lám. 6, figs. 10–11.

Peronopsis interstricta Young y Ludvigsen, 1989, lám. 1, figs. 21–26, lám. 2, figs. 1–2; Fritz y Simandl, 1993, lám. 1, figs. 6–7 y 15; Westrop *et al.*, 1996, fig. 22.1–3, 8.

Euagnostus interstrictus Laurie, 2006, fig. 15A–G.

Euagnostus aff. *interstrictus* Laurie, 2004, fig. 18A–N. Laurie, 2006, fig. 16A–R; Weidner y Nielsen, 2014, fig. 27A–F.

Diagnosis. La glabella es ancha, ligeramente expandida. Lóbulo glabellar anterior bien definido y semiovalado. El axis del pigidio es largo, moderadamente ancho, casi extendiéndose al surco del borde, M2 constricto (Laurie, 2006).

Descripción. El ejemplar USDG 356 presenta el cefalón ligeramente más grande que el pigidio, redondeado y ligeramente subcuadrado en los bordes, sin espinas laterales, con la superficie lisa, sin escrobiculaciones, más ancho (2.39 mm) que largo (2.29 mm). El contorno es estrecho,

prominente y bien definido, con una anchura máxima de 0.21 mm en la parte anterior. La glabella tiene aproximadamente 1.57 mm de largo y con un ancho máximo de 0.85 mm, correspondiente al 67% de la longitud del cefalón. El lóbulo glabellar anterior es de forma semiovalada, con surco profundo que ocupa el ~35% de la longitud de la glabella. Lóbulo glabellar posterior ligeramente expandido hacia la parte posterior, con los surcos F1 y F2 ausentes. Surco transglabellar (F3) bien definido, profundo y estrecho con longitud máxima de 0.63 mm. No se observa la presencia de un nódulo axial, y los nódulos basales son muy pequeños, los cuales se aprecian más claramente en el ejemplar USDG 357. El tórax tiene dos segmentos. El pigidio es más pequeño que el cefalón y más ancho (2.32 mm) que largo (1.88 mm), subredondeado a levemente subcuadrado en los bordes laterales, los cuales poseen un ancho máximo de 0.36 mm, con diminutas espinas posterolaterales con longitud de 0.09 mm. El surco axial posterior (F2) está bien marcado es ancho y corto (1.03 mm x 0.15 mm). El axis tiene una longitud de 1.44 mm que ocupa el 77% de la longitud del pigidio, es moderadamente convexo y no se extiende hasta el surco del margen, levemente adelgazado hacia F1. El nódulo axial es de tamaño moderado (ancho 0.36 mm x largo 0.46 mm), M1 ancho; M2 constricto con márgenes convexos; el lóbulo posterior (M3) es de forma ojival con el ancho máximo (1.18 mm) en la parte anterior.



Figura 3. Capas de lutita de la Formación El Gavilán en el cerro El Sahuaral, Sonora, México.

Tabla 1. Dimensiones de los ejemplares. Lst= Longitud sagital total, Lm= Longitud máxima, Am = ancho máximo, Ab = ancho del borde, Lsp= longitud del surco preglabellar, Lspp = longitud del surco postaxial.

Ejemplar	Cefalón (en mm)					Pigidio (en mm)			
	Lst	Lm	Am	Ab	Lsp	Lm	Am	Ab	Lspp
USDG 356	4.86	2.29	2.39	0.21	0.40	1.88	2.32	0.36	0.05
USDG 357	4.53	2.17	2.29	0.13	0.49	1.73	2.21	0.27	0.10

Material y ocurrencia. Dos ejemplares. USDG 356-357. Fm. El Gavilán, Cámbrico medio (Miaolingiano, Wuliuano). Zona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus*.

Discusión. El género *Euagnostus* fue descrito para el Cámbrico de la Caliza Currant Bush en la región noroeste de Queensland, Australia. El género ha sido controversial debido a que la especie tipo (*Euagnostus opimus* Whitehouse) y dos paratipos utilizados para describirlo corresponden a géneros diferentes (*Baltagnostus* Lochman in Lochman y Duncan, 1944, y *Doryagnostus* Kobayashi, 1939 Jell y Robison (1978). Jell y Robison (1978) redescubrieron el material tipo de *Euagnostus* y lo asignaron a un sinónimo de *Peronopsis* Hawle y Corda, 1847, con la propuesta de una nueva combinación *Peronopsis opimus* (Whitehouse).

La especie *Euagnostus interstrictus* fue descrita como *Aagnostus interstrictus* (White, 1874), y posteriormente asignada al género *Peronopsis* por Palmer (1954), proponiendo la nueva combinación *Peronopsis interstrictus* (White). Robison (1964) describió nuevamente a la especie del Cámbrico de la Wheeler Shale y de la Formación Marjuman, y la renombra como *Peronopsis interstricta* (White). Finalmente, Laurie (2004), al realizar un estudio detallado de la especie la asigna nuevamente al género *Euagnostus* Whitehouse y propone a la especie como *Euagnostus interstrictus* (White).

El material estudiado procede del Sahuaral y se compara con *Euagnostus interstrictus* del Cámbrico de la Wheeler Shale, House Range, Utah, EUA (Palmer, 1954), sin embargo, el ejemplar mexicano es ligeramente más pequeño, con la forma de la glabella y el raquis muy similar, y en ambos ejemplares el nódulo axial es conspicuo. En el ejemplar estadounidense el surco entre el límite del lóbulo posterior y el borde es un poco más largo que en el ejemplar mexicano.

Euagnostus interstrictus de la Formación El Gavilán de la sección El Sahuaral, Sonora, presenta similitud con la misma especie del Cámbrico de la región de Pacific Oil and Gas Baldwin 1 well, ubicada al oeste de Georgina Basin, Territorio del Norte de Australia (Laurie, 2006); sin embargo, el cefalón y pigidio del ejemplar australiano es más grande (Lm ~ 3.5 mm) que el ejemplar mexicano (Lm ~ 2.29 mm). En el ejemplar australiano la glabella tiene el 72% de la longitud total del cefalón, mientras que en el ejemplar mexicano ocupa el 67%, sin embargo, el raquis tiene el 77% de la longitud del pigidio en ambos casos. Una diferencia notoria es que el ejemplar australiano posee un surco entre

el límite del lóbulo posterior y el borde, mientras que en el ejemplar mexicano está casi ausente.

Euagnostus interstrictus de México es comparado con la misma especie del Cámbrico de la Formación Alum Shale, Bornholm, Dinamarca (Weidner y Nielsen, 2014), pero difiere de los ejemplares daneses (Lm ~ 3.5 mm) en cuanto a que el ejemplar mexicano posee el pigidio más pequeño (~1.88 mm) de forma subredondeada. Las espinas posterolaterales en el ejemplar de Dinamarca están ausentes, el axis es más estrecho con un surco entre el ápice del lóbulo posterior y el margen.

6. Consideraciones Bioestratigráficas

La Formación El Gavilán en el área de estudio, contiene trilobites como *Quadragnostus depressa*, *Euagnostus interstrictus*, *Tonkinella valida* y *Elrathina* sp., los cuales en conjunto indican el Cámbrico medio (Miaolingiano, Wuliuano). El contenido biótico es asignado a la Zona de *Ptychagnostus praecurrens* – *Ptychagnostus gibbus* (plataforma abierta) y/o Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella* (plataforma restringida) (Fig. 4).

Respecto a la concepción bioestratigráfica de *Euagnostus interstrictus*, se tiene que Öpik (1967), menciona las faunas *Xystridura templetonensis* en Queensland y *Xystridura browni* en el Territorio del Norte en asociación con otros trilobites, y consideró que la parte superior del Piso Templetoniano (Miaolingiano, Wuliuano) para Norteamérica, se encontraba en la parte superior de la Zona *Ptychagnostus gibbus* (syn. *Triplagnostus gibbus*). Posteriormente, Laurie (2004, 2006) reportó que la especie *Euagnostus interstrictus* (White) se encontró en estratos de la Formación Arthur Creek del Cámbrico medio del Territorio del Norte, Australia, asignando la Zona *Ptychagnostus gibbus* correspondiente a una edad templetoniana.

Robison (1982), determinó tres intervalos de biozonas y nueve especies de trilobites agnóstidos para el oeste de Norteamérica, en este estudio *Euagnostus interstrictus* (syn. *Peronopsis interstricta*), se restringe a la Zona de *Ptychagnostus gibbus*. Robison (1984), describió 21 especies de trilobites de la Familia Ptychagnostidae y examinó las litofacies de plataforma abierta en América del Norte y Groenlandia. Este autor reporta faunas representativas de la Zona *Ptychagnostus gibbus* presentes en la parte superior de la Formación 2 del Grupo Brønlund Fjord, con la identificación de una gran diversidad de trilobites agnóstidos como *Peronopsis amplaxis*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis gaspensis*, *Euagnostus interstrictus* (syn. *Peronopsis interstricta*), *Ptychagnostus gibbus*, *Ptychagnostus intermedius* y *Tomagnostus* sp. y la asignación de la Zona *Ptychagnostus gibbus*, que posiblemente mantenga una estrecha correlación con la Zona *Ptychagnostus gibbus* de Westergård (1946) para el Cámbrico de Suecia.

Young y Ludvigsen (1989) indicaron la presencia de *Euagnostus interstrictus* entre las zonas de *Ptychagnostus gibbus* – *Ptychagnostus punctuosus* en Utah y Nevada (EE UU.), confirmando el análisis bioestratigráfico propuesto por Robison (1982). Con base a lo anterior, tales depósitos son correlacionados con afloramientos expuestos en el oeste de Terranova (Young y Ludvigsen, 1989).

Weidner y Nielsen (2014) analizaron una colección de trilobites provenientes de la Formación Alum Shale que comprende alrededor de 60 especies y describieron

seis especies de agnóstidos que incluyen a *Euagnostus interstrictus*; no obstante, la restringen a la Zona de *Ptychagnostus gibbus*. Los autores mencionaron que tales especies no se han registrado previamente en la provincia de Acado-Báltico y que muestran afinidad a taxones provenientes de Laurentia, Australia, Bohemia y República Checa.

Con base a los trabajos descritos anteriormente, la especie *Euagnostus interstrictus* se encuentra dentro de las zonas *Ptychagnostus praecurrens* y *Ptychagnostus gibbus*,

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</i> / <i>Cedarina dakotaensis</i>	(<i>Agnostus pisiformis</i>)		
	<i>Bolaspidella</i>			<i>Lejopyge laevigata</i> ? — — ? — — ?			
				(<i>Goniagnostus nathorsti</i>)			
				<i>Ptychagnostus punctuosus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>			
	Drumiano		Topazano	<i>Ehmaniella</i>	<i>Ptychagnostus gibbus</i>		
					<i>Ptychagnostus praecurrens</i>		
	Delamarano				<i>Glossopleura walcotti</i>		<i>Peronopsis bommerensis</i>
			<i>Albertella highlandensis</i> <i>Mexicella mexicana</i> Sin nombre <i>Albertella aspinosa</i>		<i>Oryctocephalus indicus</i>		
			<i>Poliella denticulata</i> <i>Amecephalus arrojosensis</i> <i>Eokochaspis nodosa</i>				
		Wuliuano					
			Piso 4				

Figura 4. Correlación bioestratigráfica de la Formación El Gavilán con algunas unidades de Laurentia. Modificado de Cuen-Romero *et al.* (2019b).

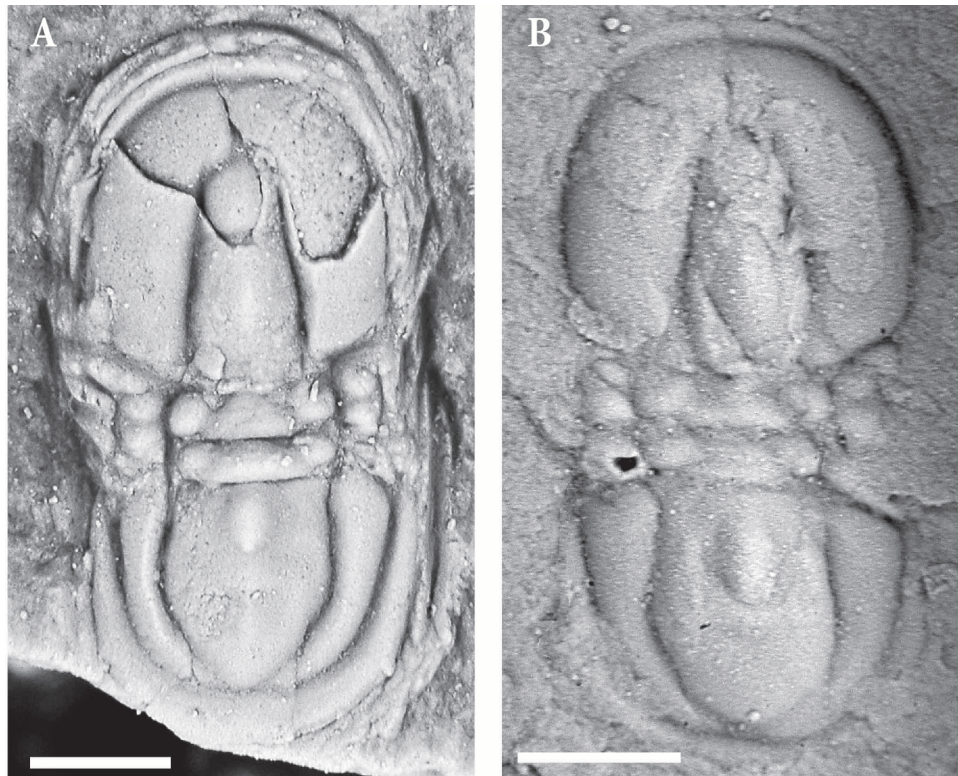


Figura 5. A) *Euagnostus interstrictus* USDG 356; B) *Euagnostus interstrictus* USDG 357. La escala gráfica equivale a 1 mm.

al igual que como ocurre en la sección del Cámbrico del cerro El Sahuaral (Fig. 4).

7. Conclusiones

Se describe por primera vez la especie de trilobite agnóstico *Euagnostus interstrictus* (White), para el Cámbrico medio (Miaolingiano, Wuliuano) de México. La distribución de la biota del cerro El Sahuaral, que presenta trilobites, confirma la distribución cosmopolita de *E. interstrictus*, pues comprende localidades como Australia, Europa, Estados Unidos de América y México.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto PRODEP UNISON PTC-301: "Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y su relación con el cratón de Norteamérica". También agradecen al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por las facilidades otorgadas para llevar a cabo el estudio.

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.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., 1988, Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America: *The University of Kansas Paleontological Contributions*, 121, 1–22.
- Bengtson, S., Collins, D., 2015, Chancelloriids of the Cambrian Burgess Shale: *Palaeontología Electronica*, 18(1), 1–67.
- Beresi, M.S., Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F.J., Palafox, J.J., 2019, Escleritos 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.
- Buitrón-Sánchez, B., Corona-González, N., Cuen-Romero F., Palafox-Reyes, J.J., Ramírez-Guerrero, G., 2016, Icnofósiles del Cámbrico Inferior de San José de Gracia, Sonora: *Paleontología Mexicana* 5(1), 33–40.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero F., Huerta-Ruiz, A., Montijo-González, A., 2017, Hiolitidos del Cámbrico (*Hyolitha*) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas: *Paleontología Mexicana* 6(1), 25–34.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., 1946, Stratigraphy near Caborca, Northwest Sonora, México: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 30(4), 606–611, <https://doi.org/10.1306/3D933812-16B1-11D7-8645000102C1865D>.
- 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.
- Cotton, T.J., Fortey, R.A., 2005, Comparative morphology and relationships of the Agnostida: *Crustacean Issues*, 16, 95–116, <https://doi.org/10.1201/9781420037548.ch5>.
- Cuen, R.F., Beresi, M.S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., De la O, M., Palafox, J.J., 2013, Chancelloriia Walcott, 1920 y Reticulosa Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 581–590.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo-González, A., Minjárez-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., Enriquez-Ocaña, L.F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J.A., Palafox-Reyes, J.J., 2018, Trilobite-based biostratigraphy (arthropoda-trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 227–236.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B. E., Monreal, R., Enriquez-Ocaña, L.F., Hinojosa, E.A., Ochoa-Granillo, J.A., Grijalva-Noriega, F.J., Palafox Reyes, J.J., 2019a, Paleoecology of cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 631–645.
- Cuen-Romero, F.J., Beresi, M.S., Palafox-Reyes, J.J., Montijo-González, A., 2019b, *Ptychagnostus atavus* (Tullberg, 1880) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Drumiano) de Arivechi, Sonora, México: *Significado bioestratigráfico*. *Paleontología Mexicana* 8(2), 97–108.
- Fritz, W.H., Simandl, G.J., 1993, New Middle Cambrian fossil and geological data from the Brussilof magnesite mine area, southeastern British Columbia: *Geological Survey of Canada Paper*, 93-1A, 183–190, <https://doi.org/10.4095/134205>.
- Hawle, I., Corda, A.J.C., 1847, *Prodrom einer Monographie der böhmischen Trilobiten*: K. Böhmischen Ges. Wiss. (Prague), Abh 5, 1–176.
- Jell, P.A., Robison, R.A., 1978, Revision of the late Middle Cambrian trilobite faunule from Northwestern Queensland: *The University of Kansas Paleontological Contributions*, Paper 90, 1–25, <http://hdl.handle.net/1808/3702>.
- Kobayashi, T., 1939, On the agnostids (Part I): *Journal of the Faculty of Science of the University of Tokyo section*, 2 (5), 69–198.
- Laurie, J.R., 2004, Early Middle Cambrian trilobite faunas from NTGS Elkedra 3 corehole, southern Georgina Basin, Northern Territory: *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 30, 221–260.
- Laurie, J.R., 2006, Early Middle Cambrian trilobites from Pacific Oil & Gas Baldwin 1 well, southern Georgina Basin, Northern Territory: *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 32, 127–204.
- Lochman, C., 1952, Trilobites, en Cooper, G.A., Arellano, et al. (eds.), *Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México*: *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(1), 60–107.
- Lochman, C., Duncan, D., 1944, Early Upper Cambrian faunas of central Montana: *Geological Society of America, Special Papers*, 54, 1–181, <https://doi.org/10.1130/spe54-p1>.
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009, First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early-Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeoecological comments: *Geobios* 42(2), 233–242, <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2008.10.003>.
- Opik, A.A., 1967, Mindyallan fauna of North-western Queensland: Commonwealth of Australia, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics Bulletin, 1, 1–404.
- Palmer, A.R., 1954, An appraisal of the Great Basin Middle Cambrian trilobites described before 1900: *U.S. Geological Survey Professional Paper* 264D, 56–86, <https://doi.org/10.3133/pp264D>.
- Palmer, A.R., Halley, R.B., 1979, Physical stratigraphy and trilobite biostratigraphy of the Carrara Formation (Lower and Middle Cambrian) in the southern Great Basin: *U.S. Geological Survey Professional Paper* 1047, 1–131, <https://doi.org/10.3133/pp1047>.

- Peng, S., Babcock, L.E., Cooper R.A., 2012, The Cambrian Period, *en* Gradstein, F., *et al* (eds), The Geologic Time Scale: 2012, Amsterdam, Elsevier, 437–488, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59425-9.00019-6>.
- Resser, C.E., 1938, Middle Cambrian Fossils from Pend Oreille Lake, Idaho: Smithsonian Miscellaneous Collections, 97(3), 1–12.
- Resser, C.E., 1939a, The Spence shale and its fauna: Smithsonian Miscellaneous Collections, 97(12), 1–29.
- Resser, C.E., 1939b, The Ptarmigan strata of the northern Wasatch Mountains: Smithsonian Miscellaneous Collections, 98(24), 1–72.
- Ritterbush, L.A., 1981, Paleobiology of agnostid trilobites: functional morphology, growth, and evolution: Northridge, California State University, (Doctoral dissertation), 93 pp.
- Robison, R.A., 1964, Late Middle Cambrian faunas from Western Utah: Journal of Paleontology, 38, 510–566.
- Robison, R.A., 1965, Middle Cambrian eocrinoids from western North America: Journal of Paleontology, 39, 355–364.
- Robison, R.A., 1982, Some Middle Cambrian agnostoid trilobites from western North America: Journal of Paleontology, 56, 132–160.
- Robison, R.A., 1984, Cambrian Agnostida of North America and Greenland, Part I, Ptychagnostidae: University of Kansas Paleontological Contributions, Paper 109, 1–59.
- Salter, J.W., 2015, A monograph of the British Trilobites from Cambrian, Silurian and Devonian formations: Cambridge, Cambridge University Press, 22–216, <https://doi.org/10.1017/CBO9781316146446>.
- Shergold, J.H., 1997, Explanatory notes for the Cambrian correlation chart: Treatise on Invertebrate Paleontology, Part O, Revised. Arthropoda, 1, 303–311, <https://doi.org/10.17161/dt.v0i0.5610>.
- Sour-Tovar, F., Hernández-Barbosa, A., 2018, *Rusophycus* y *Cruziana*, galerías y rastros de trilobites del Terreneuviano (Cámbrico inferior) de la Formación Puerto Blanco, Noroeste de Sonora, México. Implicaciones paleoambientales: Paleontología Mexicana, 7(1), 1–11.
- Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., Palmer, A.R., 2002, Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, Mexico: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin: Special Papers-Geological Society of America, 365, 5–48.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., 2002, Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 02-97, 1–50, <https://pubs.usgs.gov/of/2002/0097/>.
- Vega-Granillo, R., 1996, Geología de la Sierra de Mazatán: Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 13(1) 89–102.
- Von Siebold, C.T., 1848, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbellosen Thiere. Erster Theil, *en* von Siebold C.T., Stannius H. (eds.): Lehrbuch der vergleichenden Anatomie, Berlin, Verlag von Veit und Comp, 1–679.
- Walch, J.E.I., 1771, Die Naturgeschichte der Versteinerungen zur Erläuterung der Knorr'schen Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur, Nürnberg, Felßbecker, 1–85.
- Walcott, C.D., 1924, Middle Cambrian Spongiae: Smithsonian Miscellaneous Collections, 67(6), 261–364.
- Webster, M., 2011, Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (Traditional Laurentian “lower Cambrian”) in the southern Great Basin, U.S.A., *en* Hollingsworth, J.S., *et al.* (eds.), Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada: Museum of Northern Arizona Bulletin, 67, 121–154.
- Weidner, T., Nielsen, A.T., 2014, A highly diverse trilobite fauna with Avalonian affinities from the Middle Cambrian *Acidusus atavus* Zone (Drumian Stage) of Bornholm, Denmark: Journal of Systematic Palaeontology, 12, 23–92, <https://doi.org/10.1080/14772019.2012.740080>.
- Westergård, A.H., 1936, *Paradoxides oelandicus* beds of Oland with an Account of a Diamond Boring through the Cambrian at Mossberga: Sveriges Geologiska Undersökning, C (394), 1–66, <https://doi.org/10.1017/S0016756800094140>.
- Westergård, A.H., 1946, Agnostidea of the Middle Cambrian of Sweden: Sveriges Geologiska Undersökning, C (477), 1–141.
- Westrop, S.R., Ludvigsen, R., Kindle, C.H., 1996, Marjuman (Cambrian) agnostoid trilobites of the Cow Head Group, western Newfoundland: Journal of Paleontology, 70, 804–829, <https://doi.org/10.1017/s0022336000023854>.
- White, C.A., 1874, Preliminary report upon invertebrate fossils collected by the expeditions of 1871, 1872 and 1873 with descriptions of new species: Report of the United States Army Geographical and Geological Exploratory Surveys West of the 100th Meridian, 5–27.
- White, C.A., 1877, Report upon the invertebrate fossils collected in portions of Nevada, Utah: Report of the United States Army Geographical and Geological Exploratory Surveys West of the 100th Meridian, 4, 3–219, <https://doi.org/10.5962/bhl.title.51607>.
- Whitehouse, F.W., 1936, The Cambrian faunas of northeastern Australia. Parts 1 and 2: Memoirs of the Queensland Museum, 11(1), 59–112.
- Whittington, H.B., Kelly, S.R.A., 1997, Morphological terms applied to Trilobita, *en* Moore, R.C., *et al.* (eds.), Treatise of Invertebrate Paleontology, Part O, Arthropoda 1; Trilobita (Revised), 1: Geological Society of America and University of Kansas, 313–329.
- Young, G.A., Ludvigsen, R., 1989, Mid-Cambrian trilobites from the lowest part of the Cow Head group, western Newfoundland: Geological Survey of Canada, Bulletin, 392, 1–49, <https://doi.org/10.4095/127004>.

Manuscrito recibido: Mayo 11, 2020.

Manuscrito corregido recibido: Mayo 31, 2020.

Manuscrito aceptado: Julio 2, 2020.

La Sociedad Mexicana de Paleontología: Una Retrospectiva Pertinente

Chacón-Baca, Elizabeth^{a,*}; Velasco-de León, María Patricia^b; Castañeda-Posadas, Carlos^c; Cuen-Romero, Francisco J.^d; Lozano-Carmona, Diego E.^b

^a Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera a Cerro Prieto Km. 8, Linares, Nuevo León, México, C.P. 67700, México.

^b Colección de Paleontología, Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Guelatao, Ejercito de Oriente, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México, México.

^c Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Paleontología. Edificio BIO 1, Blv. Valsequillo S/N. Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México.

^d Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

* cienciafct@gmail.com

Resumen

La Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL) constituye un pilar importante en el ámbito científico que promueve, difunde e impulsa el conocimiento de la paleontología en México, así como el uso racional de los fósiles del país. Esta asociación fue fundada en 1986 como una necesidad de contar con un espacio abierto para publicar y difundir los conocimientos del patrimonio paleontológico de México. A más de 30 años de su fundación la SOMEXPAL ha mantenido un crecimiento constante, incluyendo en su membresía a la mayoría de los científicos de la paleontología en México y algunos extranjeros. El presente trabajo tiene como objetivo reseñar brevemente el desarrollo de la SOMEXPAL dentro de su contexto histórico. Los resultados de este trabajo indican que existe un incremento notable de estudiantes, y en particular de mujeres estudiantes, en la participación en los congresos bienales de la SOMEXPAL. Este análisis también muestra que las seis líneas de investigación más cultivadas entre los paleontólogos de la SOMEXPAL se distribuyen de la siguiente manera: 44% corresponde a investigación en vertebrados, 26% a invertebrados, 21% a paleobotánica, 5% a palinología, 2% a micropaleontología y 2% realiza estudios generales de paleontología. La distribución geográfica de paleontólogos a nivel nacional también muestra una contribución cada vez mayor de universidades estatales a la paleontología mexicana. Finalmente, este trabajo propone replantear los retos de la paleontología dentro del marco de la Agenda UNESCO 2030, así como el uso de los fósiles como patrimonio científico-cultural entre los profesionales de la paleontología.

Palabras clave: Paleontología, México, Sociedad, Ciencias de la Tierra, SOMEXPAL.

Abstract

The Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL) constitutes an important pillar in the scientific field that promotes, disseminates, and encourages the knowledge of paleontology in Mexico, as well as making rational use of fossils in the country. This association was founded in 1986, as a necessity to have an open space to publish and disseminate the knowledge of the paleontological heritage of Mexico. More than 30 years after its foundation, the SOMEXPAL has steadily evolved, including in its membership the majority of paleontologists in Mexico, and some foreign scientists. This work aims to present a brief review of the development of SOMEXPAL in Mexico. This review indicates that there is a remarkable participation increment during the biennial congresses in the number of students regarding professors as well as in the number of women concerning men. These results also show that the six main cultivated research lines among SOMEXPAL professionals correspond to 44% on vertebrates, 26% on invertebrates, 21% on paleobotany, 5% on palynology, 2% on micropaleontology, and 2% on general paleontology. The geographical distribution of paleontologists nationwide also shows a higher participation from state universities in Mexican paleontology. Lastly, this work proposes to discuss the challenges of paleontology within the context of the global 2030 UNESCO Agenda, and the use of fossils as scientific and cultural heritage among the professionals of paleontology.

Keywords: Paleontology, Mexico, Society, Earth Sciences, SOMEXPAL.

1. Introducción

La paleontología estudia la vida en el pasado geológico a través de los fósiles, por lo cual desempeña un papel central para entender y documentar la evolución biológica y geológica del planeta. Los fósiles se han conservado hasta la actualidad debido a diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que actúan sobre los organismos al momento de morir y ser depositados en el sedimento. Los fósiles son importantes debido a que proporcionan la edad relativa de las rocas que los contienen (indicadores estratigráficos), contribuyendo a resolver complejos problemas geológicos. Además, son una de las pruebas que han permitido conocer la diferente distribución de los continentes y los mares en el pasado, determinan las condiciones climáticas que imperaron en las distintas épocas geológicas, proporcionan datos fehacientes sobre la evolución orgánica, constituyen importantes depósitos de recursos naturales no renovables como los hidrocarburos (petróleo y gas natural), y en menor escala cubren un importante sector económico relacionado con materiales para la construcción. México cuenta con una gran diversidad y abundancia de flora y fauna en su registro fósil, distribuida en la mayoría del territorio nacional, siendo reconocida su gran riqueza natural a nivel internacional. Por lo anterior, es clara la importancia que tiene la Sociedad Mexicana de Paleontología como ente científico que promueve, difunde e impulsa el conocimiento de la paleontología, además de proteger y hacer uso racional de los fósiles de la nación.

Desde los inicios de la humanidad los fósiles han despertado la curiosidad del hombre, en ocasiones como amuletos o con un sentido místico, pero mayoritariamente como objetos de estudio. La paleontología tiene sus orígenes formales en el siglo XIX, cuando Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert Cuvier, conocido como barón de Cuvier, dota a la Historia Natural de una escala temporal que funda los cimientos de la paleontología. Aunque, tanto Cuvier como Jean-Baptiste Lamarck se apoyaron en el trabajo previo del conde Buffon (Georges Louis Leclerc), es Cuvier quien aplica con todo éxito la teoría y la praxis en paleontología. Después de él, muchos otros grandes hombres en Historia Natural se han ido sumando a esta gran disciplina científica de los fósiles, dotándola de rigor metodológico técnico como cualquier otra rama de las ciencias naturales y exactas. Aunque la ciencia es una labor colectiva y acumulativa, destacan como pioneros Charles Darwin, Jean-Baptiste Lamarck, Louis Agassiz, Geoffroy Saint-Hilaire, Robert Grant, Richard Owen, William Conybeare, Henry De la Beche, William Buckland, Edward Drinker Cope, Henry Fairfield Osborn y otros grandes naturalistas.

El origen, evolución y distribución de los organismos en la Tierra, considerando el tiempo y espacio es de fundamental importancia para entender la biodiversidad

actual, así como para conocer patrones evolutivos a gran escala y las tendencias evolutivas ante cambios ambientales. La paleontología integra conocimientos científicos y técnicos de la biología, física, química, astronomía y geología que permiten estudiar, entre otras cosas, cómo surgió la vida en la Tierra, cómo evolucionó, las interacciones entre el planeta y los organismos, así como los procesos que dieron lugar a la formación del planeta que se conocen actualmente, la diversidad de ambientes en tiempo y espacio.

Además, la paleontología es una ciencia formadora que concientiza sobre los geo-recursos y recursos naturales, ya que el patrimonio natural de una nación también se evalúa por sus elementos de geobiodiversidad. En este contexto la paleontología en México es un área importante por el gran número de localidades, paleoambientes y grupos de fósiles que se han preservado.

Actualmente, la paleontología y las geociencias en general, constituyen una disciplina en pleno desarrollo con gran impacto a nivel internacional, puesto que promueve el uso de bienes y servicios ambientales de manera sustentable, la colaboración interdisciplinaria e incide en la exploración ordenada de nuestro planeta y de nuestros recursos.

La Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL) está conformada por investigadores, estudiantes y divulgadores de la ciencia. Uno de los grandes objetivos desde su creación en 1986, fue contar con un espacio abierto para publicar o difundir los descubrimientos en torno al patrimonio paleontológico de México (Ferrusquía-Villafranca, 2011). Los objetivos generales de esta sociedad incluyen la promoción del estudio y el desarrollo de la paleontología en México y sus áreas afines, el diálogo entre colegas, y la creación de vínculos académicos a nivel nacional a través de la organización de congresos bienales (Figura 1). De este modo, desde sus inicios, se ha puesto énfasis especial en la participación de estudiantes de Licenciatura y Posgrado, ya que la asistencia a congresos es formativa toda vez que se practica la capacidad argumentativa, el debate y la etiqueta académica al plantear preguntas que requieren respuestas científicas. Esta práctica invita a la reflexión colectiva sobre un tema determinado con actitud crítica para todo el público. La SOMEXPAL fomenta también la excelencia académica mediante actividades como concursos de tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Además, a los estudiantes se les incluye en las actividades académicas de los congresos como pares de los investigadores. Esta visión y estas actividades fortalecen los vínculos ya existentes con instituciones educativas y de investigación, nacionales e internacionales. Desde su creación y hasta la fecha la SOMEXPAL se rige mediante un Estatuto donde se han establecido las reglas de operación que dirigen su adecuado desarrollo y sus objetivos. Dicho estatuto puede ser consultado directamente con el Consejo Directivo en turno o en la página web oficial (SOMEXPAL, 2015; SOMEXPAL, 2020b).



Figura 1. Foto grupal del XV Congreso Nacional de Paleontología organizado por la SOMEXPAL y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, celebrado en la Ciudad de San Luis Potosí (Tomada de SOMEXPAL, 2017).

En la sociedad actual la paleontología se encuentra en un punto de valoración y modernización, no solo por las técnicas analíticas modernas actualmente aplicadas al estudio de los fósiles, sino por la revalorización de recursos fósiles y la tendencia en la creación de geoparques. En el presente trabajo se presenta una retrospectiva histórica de la Sociedad Mexicana de Paleontología, considerando sus orígenes, su presente y su futuro como un eje de articulación e integración científica en paleontología. Además, se aborda la distribución geográfica y especialidad de los miembros con los que actualmente cuenta la SOMEXPAL, así como un panorama general utilizando indicadores como participantes, temas y trabajos durante los últimos cinco años. A sus 34 años de fundación, la SOMEXPAL representa un estandarte de la paleontología mexicana que incluye y atañe a los futuros y actuales profesionales interesados en la paleontología.

2. Una perspectiva histórica sobre la Sociedad Mexicana de Paleontología

El auge de las diversas sociedades científicas que caracterizaron la vida intelectual de México a finales del siglo XIX, el intercambio epistolar con Europa y la concreción de los planes de estudio para las escuelas de enseñanza superior y del nivel medio superior, propició la vinculación con intelectuales de diversas especializaciones. Es notable la contribución científica del francés Alfredo A. Dugès con sus trabajos clásicos sobre vertebrados del Pleistoceno de Guanajuato (Dugès, 1882, 1891; Azuela y Vega y Ortega, 2011; Zamudio, 2013), así como las contribuciones sobre el Valle de México de Manuel Villada (Gío-Argáez y Rodríguez-Arévalo, 2003; Cuevas, 2001; Guevara 2002; Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005). Otros trabajos pioneros fueron realizados por Manuel María Villada Peimbert, graduado en Historia Natural, física y química y quien participó en la Comisión Científica de Pachuca. Otros trabajos pioneros fueron realizados por

Manuel María Villada Peimbert, graduado en Historia Natural, física y química y quien participó en la Comisión Científica de Pachuca (Cuevas, 2001; Gómez-Caballero, 2005; Morelos-Rodríguez y Moncada-Maya, 2015). Sin duda, la manifestación más clara del espíritu intelectual de la época fue la fundación de la Sociedad Mexicana de Historia Natural en 1868 (Cuevas, 2001), misma que serviría como antecedente académico para la emergencia de una nueva ciencia en México y en el mundo. Dentro de esta sociedad se fundó la revista *La Naturaleza*, un órgano editorial a la vanguardia donde se publicaban trabajos regionales y noticias científicas internacionales (Azuela y Guevara Fefer, 1998; Cuevas, 2001; Guevara, 2002; Azuela y Vega y Ortega, 2011). Esta época estuvo caracterizada por científicos de gran calidad; en el caso particular de la paleontología uno de los máximos exponentes fue Santiago Ramírez (Pérez-Tamayo, 2005). Adicionalmente, José Guadalupe Aguilera, junto con Manuel del Río y Samuel Rodríguez, establecieron las primeras colecciones paleontológicas para un museo institucional, por lo que es considerado como el padre de la paleontología en México.

En particular, hubo dos iniciativas gubernamentales que propiciaron el desarrollo de la geología y la paleontología en México: la creación de la Comisión Geológica Mexicana en 1886, y dos años más tarde, el Instituto Geológico Nacional (Gío-Argáez, 1978; González-Torres, 2004; Morelos-Rodríguez y Moncada-Maya, 2015), cuyo director fue Don Antonio Del Castillo hasta 1895, año en que lo sucede el Ing. Geól. José Guadalupe Aguilera como director. Con una gran visión académica y empresarial, Don Antonio Del Castillo junto con José Guadalupe Aguilera, impulsaron el desarrollo naciente de la paleontología al integrar a Emil Böse en 1898 y posteriormente Carl Burckhardt en 1904, ambos paleontólogos con una demostrada trayectoria internacional (Morelos Rodríguez, 2014).

La institucionalización de una disciplina científica es un proceso complejo y multifactorial (Gortari, 1980; Alvarado, 2009) que involucra condiciones externas socioculturales y políticas, además de las consideraciones

epistemológicas internas (Clark, 1972). A su vez, dichas condiciones se establecen de acuerdo a ciertos valores y criterios que generalmente siguen una evolución temporal antes de su consolidación (Pérez-Sedeño, 2000). Aunque es claro que la publicación sobre los fósiles mesozoicos de Real de Catorce (Castillo y Aguilera, 1895) abrió el campo de la paleontología en México, pasarían varias décadas antes de la institucionalización de la paleontología, la cual conllevó un proceso diferente de la institucionalización de la geología durante el siglo XIX (Azuela, 2013) y diferente de la institucionalización de la Biología durante el siglo XX (Argueta Villamar, 2003; Retana Guisacón, 2009; Ledezma, 2013). El inicio de la paleontología como una ciencia autónoma en México tiene sus raíces en las publicaciones pioneras de localidades fosilíferas, cuyos reportes fueron más comunes y continuados a partir del siglo XX (Buitrón-Sánchez, 2019). La necesidad de agrupar una especialización geológica disciplinaria se concretó hasta 1904, fecha en que se funda la Sociedad Geológica Mexicana (González-Torres, 2004; Gómez-Caballero, 2005), misma que también aglutinaba de manera natural investigaciones paleontológicas por su estrecha relación con la estratigrafía (Ferrusquía-Villafranca, 2011). Aún cuando muchas sociedades científicas se formaron en las últimas décadas del siglo XIX, una etapa caracterizada por la especialización científica dentro de un contexto económico y político favorable (Trabulse, 1984), las geociencias y en particular la paleontología empezó en México como una disciplina oficial sólo hasta las primeras décadas del siglo XX y como respuesta a la necesidad concreta de desarrollar la industria petrolera y minera.

Aunque pueden existir apreciaciones diferentes, Trabulse (1984), indica etapas de institucionalización que dependen en cierta medida de la percepción social de la ciencia. Los primeros reportes realizados en territorio mexicano por científicos mexicanos como el de José Guadalupe Aguilera marcan un comienzo en la disciplina emergente. Para otros, surge cuando existe de manera oficial el perfil profesional de paleontólogo(a). Un tercer criterio se basa en especificar un problema concreto que se resuelva o se aproxime con una metodología científica derivada de la paleontología. No obstante, las primeras investigaciones muestran que, desde la fundación del Instituto de Geología, las líneas de investigación eran “aplicadas” especialmente para la Exploración Petrolera, acentuada de manera más urgente después de la Expropiación Petrolera en 1938. Por consiguiente, parece lógico que la paleontología se institucionalizara en su primera fase a través de la micropaleontología, área que incidió de manera determinante en su desarrollo ulterior (Suárez-Noyola, 2019). El Laboratorio de Micropaleontología de la Gerencia de Exploración de PEMEX conformado por el Dr. Manuel Maldonado Koerdell, incluyó jóvenes científicos como Gloria Alencáster Ybarra, María Elena Caso Muñoz, Raúl N. Ondarza, Carlos Márquez Mayaudón, Héctor Ochoterena

Fuentes y Agustín Ayala-Castañares (Ayala-Castañares, 2003).

Otros criterios que se consideran en la institucionalización de una disciplina científica es su reconocimiento profesional. La creación de una línea de investigación original en paleontología constituye un criterio adicional de institucionalización. En este sentido, se refiere a una investigación independiente y no accesoria de la estratigrafía y geología regional de una localidad determinada. Esta actividad comenzó con el ingreso de la Dra. Gloria Alencáster Ybarra, quien inicia su carrera profesional en paleontología de invertebrados en la Sección de paleontología de la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2018). La existencia de una escuela y de una actividad docente continuada constituye una etapa subsecuente en la institucionalización y madurez de la paleontología en México, como es el caso de la Dra. Gloria Alencáster (Perrilliat-Montoya, 2012; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2018). Los alumnos de la Dra. Gloria Alencáster a su vez han formado recursos humanos especializados en paleontología que, a su vez, han seguido formando paleontólogos en México en sus diferentes vertientes.

Por otra parte, las primeras contrataciones de profesionales en paleontología empezaron hasta mediados del siglo XX, una vez que el Servicio de Investigación Científica y Exploración Geológica se anexa al Instituto de Geología (De Cserna, 1990; Ayala-Castañares, 2003). Se puede decir que a partir de entonces comenzaron nuevas líneas de investigación cuyo eje vertebral fue la paleontología. Dentro de este contexto, la incursión de la Dra. Gloria Alencáster Ybarra junto con otros investigadores del Instituto de Geología (Ferrusquía, 2012), proporcionó una identidad propia a la paleontología en México. Pocos años después, los primeros estudiantes de la Dra. Gloria Alencáster Ybarra, con líneas de investigación individuales y originales en México, habrían de formar la escuela que la Dra. Alencáster dejó como clara manifestación de la institucionalización de la paleontología en México. La inclusión como carrera dentro de un programa de estudios de la UNAM ocurrió hasta la década de los 60s (Mendoza-Flores, 2003).

Dentro del intervalo 1960-1986, Ferrusquía-Villafranca (2011) reconoce tres sectores fundamentales alrededor de los cuales se agrupó la comunidad paleontológica de entonces: (a) Económico-Petrolero, realizaba investigación aplicada a la exploración y explotación petrolera con sede en el Instituto Mexicano del Petróleo y PEMEX, (b) Académico-Investigativo y/o (c) Académico-Docente, ambos con sede en el Instituto de Geología de la UNAM.

Sin embargo, es hasta 1986 cuando la Sociedad Mexicana de Paleontología, también conocida como SOMEXPAL, se funda con el firme propósito de interaccionar académicamente y dar a conocer el trabajo paleontológico de diversas instituciones mexicanas. Desde el primer Congreso

Nacional de Paleontología realizado en 1987 en la Ciudad de México, se han celebrado 14 congresos bienales donde se han difundido las investigaciones en paleontología realizadas principalmente en México y cada vez se han ido sumando más estudiantes y se ha visto la consolidación de diferentes grupos de trabajo.

El primer Consejo Directivo quedó conformado, de acuerdo con la Reunión Constitutiva por: Ismael Ferrusquía Villafranca (presidente), Abelardo Cantú Chapa (vicepresidente I), Fidel Soto Jaramillo (vicepresidente II), Ángel Silva Bárcenas (secretario), Blanca E. Buitrón Sánchez (tesorera), Gloria Alencáster, Beatriz Yolanda

Contreras Montero, Palmira Brunner Liebshard (vocales del área metropolitana), Margarita Livas (vocal región norte) y Jorge Enrique Lugo Rivera (vocal región sur). Los consejos directivos siguientes (Tabla 1) fueron constituidos mediante la elección de sus miembros por votación directa, libre y secreta. La figura de un segundo Vicepresidente eventualmente desapareció del Consejo Directivo.

El 15 de abril de 2016 se conmemoró el 30 aniversario de la fundación de la Sociedad Mexicana de Paleontología. Esta celebración fue convocada por el Consejo Directivo de la SOMEXPAL con la intención de rendir homenaje a los fundadores de esta organización académica, la gran mayoría

Tabla 1. Consejos directivos de la Sociedad Mexicana de Paleontología desde 1988 hasta 2019 (SOMEXPAL, 2020b).

PERIODO	Presidente	Vicepresidente I	Vicepresidente II	Secretario	Tesorero	Vocales
1988-1990	A. Cantú Chapa	F. Soto Jaramillo	B. Contreras y Moreno	D.J. Zamudio Angeles	A. Silva Bárcenas	A. Díaz Puebla, P.García-Barrera, O. Polaco, S. Ramos, A.B. Villaseñor Martínez
1990-1992	F. Soto Jaramillo	B. Contreras y Montero	D. Hernández Láscars	M.E. Gómez Luna	F. Franco Navarrete	M. Aranda García, E. Galván Mendoza, R. Landeros Flores, J. Salzar Soto, R. Sánchez Quiñones
1992-1994	B. Contreras y Montero	D. Hernández Láscars	A.B. Villaseñor Martínez	P. Brunner Liebshard	A. Martínez Violante	C. González Arreola, M.A.Hernández, A. Ruiz Violante, L. Salinas Ramos, J.J. Velasco Torres
1994-1996	C. Hernández Láscars	A.B. Villaseñor Martínez	S.R.S. Cevallos Ferriz	L. Pérez Cruz	A. Ruiz Violante	J. Araujo Mendieta, G. Alvarado Valdéz
1996-1998	G. Alencáster Ybarra	A.L. Carreño	L. Espinosa Arrubarrena	M. Montellano Ballesteros	A. de la Mora Vidal	M.J. Avendaño, J. Helenes Escamilla, G. Alvarado Valdéz, M.C. Rosales Domínguez, F. Sour Tovar.
1998-2000	A.L. Carreño	L. Espinosa Arrubarrena		S.R.S. Cevallos Ferriz	M. Montellano Ballesteros	M.C. Rosales, S. Quiroz Barroso.
2000-2002	L. Espinosa Arrubarrena	P. García Barrera		S. Quiroz Barroso	M. Montellano Ballesteros	D. Navarro Santillán, G. Carbot Chanona, M. Aguilar Piña
2002-2004	P. García Barrera	M.C. Perrilliat		S. Quiroz Barroso	M. Montellano Ballesteros	D. Navarro Santillán, G. Carbot Chanona, M. Aguilar Piña
2004-2006	M.C. Perrilliat	M.C. Rosales		A. Segura	M. Aguilar Piña	
2007-2009	F.J. Vega Vera	F. Sour Tovar			M. Aguilar Piña	
2010-2012	F. Sour Tovar	V.H. Reynoso Rosales		L. Martín Medrano	M. Aguilar Piña	F.J. Aguilar (Zona Noreste), V.M. Bravo Cuevas (Zona Centro Este), G. Carbot Chanona (Zona Sur).
2013-2015	V.H. Reynoso Rosales			G. Carbot Chanona	J.A. Cruz Silva	F.J. Aguilar (Zona Noreste), V.M. Bravo Cuevas (Zona Centro-Este)
2015-2017	M.P. Velasco de León	G. Alvarado Valdez			C. Castañeda Posadas	A.E. Hernández Cisneros (Vocal noroeste), R.A. Rodríguez de la Rosa (Vocal noreste), E.L. Ortiz Martínez (Vocal centro), A.H. Marín Leyva (Vocal centro-oeste), B. Than Marchese (Vocal sur).
2017-2019	G. Alvarado Valdez	A. Oviedo			C. Castañeda Posadas	A.H. Hernández Cisneros (Vocal noroeste), E.L. Ortiz Martínez (Vocal centro), A.H. Marín Leyva (Vocal centro-oeste), B. Than Marchese (Vocal sur).

de ellos pioneros de la paleontología mexicana (Figura 2). A lo largo de la organización del 30 aniversario se revelaron anécdotas que desenrollaron un delgado hilo en la historia de la SOMEXPAL. Desde las razones de su fundación, hasta situaciones peculiares que sólo en la convivencia cercana con los partícipes de la sociedad se podían dar y recordar. Muchos de los fundadores mostraron la alegría que describía la sensación de saber que, una iniciativa que ellos tomaron como parte de su actividad científica en el país, hoy seguía dando frutos. Entre las anécdotas más memorables, varias de ellas resaltaron que no obstante de los altos y bajos académicos y económicos la SOMEXPAL, a los 30 años de su fundación seguía con el principal objetivo de buscar el desarrollo de la paleontología en México. En esta celebración histórica del 30 Aniversario, se reconocieron a los académicos que se organizaron para fundar una asociación de profesionales que además de publicar hallazgos científicos, promovieron la colaboración entre pares, el intercambio de ideas y las sinergias entre diversos proyectos de investigación. La celebración culminó con una emotiva ceremonia en el emblemático Museo de Geología en la colonia Santa María la Ribera, donde cada miembro fundador expresó su expectativa y sus anécdotas. La organización del aniversario estuvo a cargo del presidente de la Sociedad, Dra. Patricia Velasco de León, el vicepresidente M. en C. Guillermo Alvarado, el jefe del Museo de Geología, Maestro Luis Espinosa y la Dra. Ana Bertha Villaseñor, en representación de la directora del Instituto de Geología (Figura 3). Posteriormente, el Dr. Ismael Ferrusquía-Villafranca, como miembro fundador de la SOMEXPAL, ofreció una breve remembranza de la fundación de la Sociedad, seguida de la entrega de reconocimientos a los fundadores presentes. En orden alfabético la entrega fue



Figura 2. Pioneros de la paleontología en México que colaboran con las nuevas generaciones de especialistas. De izquierda a derecha: Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez, Dr. Abelardo Cantú Chapa (Fundadores de la SOMEXPAL), Dr. Francisco Javier Cuen Romero. XVI Congreso Nacional de Paleontología Organizado por la SOMEXPAL, Chihuahua, 2019.

la siguiente: Ana Bertha Villaseñor Martínez, Ángel Silva Bárcenas, Beatriz Contreras y Montero, Blanca Estela Buitrón Sánchez, Carlos Manuel Cantú Chapa, Carmen Rosales Domínguez, Celestina González Arreola, David Zamudio Ángeles, Ismael Ferrusquía Villafranca, María de Lourdes Omaña Pulido, María Eugenia Gómez Luna, y María Ornelas Sánchez (Figura 4). Por último, en el vestíbulo y la sala principal del Museo, con el mamut, emblema de la Sociedad de fondo, se llevó a cabo una breve, pero muy grata y vívida convivencia entre los fundadores y los paleontólogos mexicanos de distintas generaciones.



Figura 3. Presidio de la celebración de los 30 años de la fundación de la Sociedad Mexicana de Paleontología. De derecha a izquierda: Dra. Ana Bertha Villaseñor Martínez, Dra. Ma. Patricia Velasco de León, Mtro. Luis Espinosa Arrubarrera (Director del Museo de Geología, UNAM), Mtro. Guillermo Alvarado Valdez y Dra. Elizabeth Chacón Baca. Abril 30 de 2013, Museo de Geología, UNAM, Ciudad de México.



Figura 4. Miembros Fundadores de la Sociedad Mexicana de Paleontología en la celebración del 30 aniversario. De Izquierda a derecha: Lourdes Omaña Pulido, Blanca E. Buitrón Sánchez, Carlos Cantú Chapa, Celestina González Arreola, María Ornelas, Ana Bertha Villaseñor, Carmen Rosales Domínguez, Ismael Ferrusquía, David Zamudio Ángeles; Ángel Silva Bárcenas, Beatriz Contreras y Montero, Ma. Eugenia Gómez Luna, Patricia Velasco. Museo de Geología, UNAM.

Durante 2016 se organizaron eventos para la difusión de la paleontología, especialmente en la FES Zaragoza, como una labor paralela y continua. La SOMEXPAL ha tenido un papel preponderante en la difusión educativa (Figura 5) para la comunidad estudiantil y para publicar los avances en este campo.



Figura 5. Divulgación Científica desde la SOMEXPAL. Bióloga Elizabeth Ortega Chávez (FES Zaragoza) como socia de la SOMEXPAL, San Luis Potosí, 2017.

3. La SOMEXPAL en números reales

Actualmente el Consejo Directivo de la Sociedad está conformado por integrantes que pertenecen a cinco distintas instituciones nacionales de diferentes estados de la República Mexicana (SOMEXPAL, 2020a). Esta descentralización es un reflejo del crecimiento y expansión de la SOMEXPAL que no se tenía hace diez años. Sin embargo, existen paleontólogos que realizan docencia e investigación de manera oficial, aunque no estén representados en la distribución de socios SOMEXPAL (Figura 6). Cabe señalar que, a través de los congresos nacionales, la SOMEXPAL ha estrechado los vínculos académicos ya existentes y ha generado un fuerte sentido de pertenencia entre los jóvenes estudiantes y entre los investigadores nacionales y visitantes académicos de los países representados. Uno de los mayores beneficios es la participación creciente de estudiantes de todas las universidades mexicanas, la promoción de movilidad estudiantil así como la práctica colegiada de proveer un espacio flexible de discusión académica.

En México como en todo el mundo, las líneas de especialización de la paleontología en cierta medida dependen de la geología regional y la distribución relativa

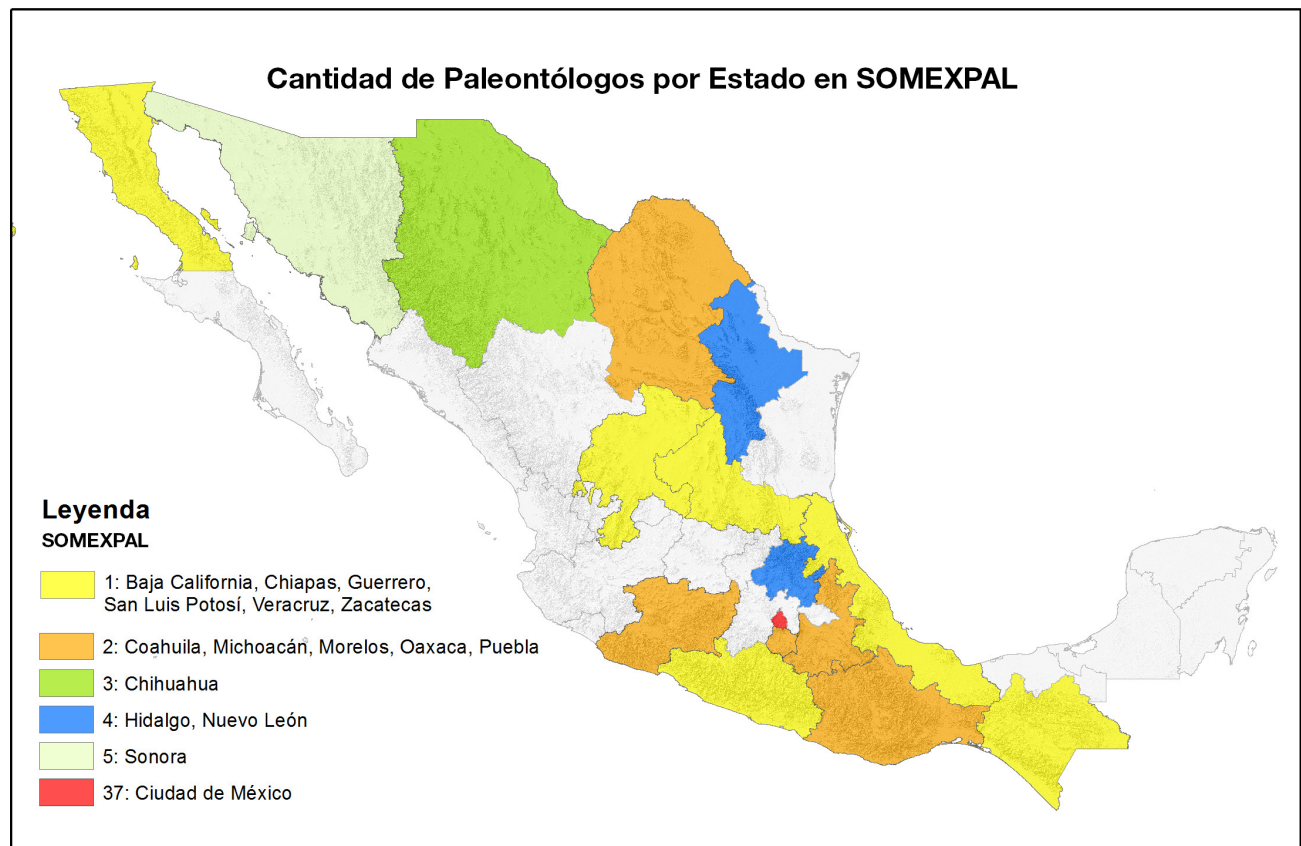


Figura 6. Estados de la República Mexicana donde existen socios de la SOMEXPAL en el 2020.

de las localidades representadas en el registro fósil nacional. Otro factor importante reside en la continuidad académica de los pioneros paleontólogos y las líneas de investigación cultivadas. Un tercer factor podría ser adjudicado a condiciones de índole logística y técnica, más que a razones científicas, para desarrollar ciertas áreas en comparación con otras. Existe, sin embargo, mucho potencial para el desarrollo de la paleontología mexicana bajo enfoques multidisciplinarios y para seguir preparando especialistas en las líneas de investigación tradicionales. Actualmente, la distribución relativa de las distintas áreas de especialidad, tomando en cuenta sólo a los socios de la SOMEXPAL (Figura 7) muestra con claridad que hay áreas de la paleontología que necesitan reforzarse; además, hay otras líneas de investigación emergentes que pueden complementarse con las nuevas metodologías digitales.

Las principales actividades de la SOMEXPAL se centran en una reunión bienal y la organización de eventos como exposiciones, simposios, talleres y/o cursos. Como la SOMEXPAL cuenta con limitados recursos económicos que se obtienen a partir de las cuotas que pagan sus miembros, los eventos son generalmente espaciados y poco numerosos, pero tienen la característica constante que la mayoría de ellos son de carácter gratuito. Por ejemplo, la inscripción al congreso ha mantenido un bajo costo, mismo que incluye la gran mayoría de sus actividades. Cabe destacar que la SOMEXPAL ha contado siempre con el apoyo económico y logístico de las autoridades de las distintas instituciones de adscripción laboral de sus miembros.

Dentro del esfuerzo para generar recursos humanos dedicados a esta ciencia, la SOMEXPAL ha participado en la consolidación de grupos de trabajo al integrar estudiantes y tesis en la organización de los congresos, y esta tendencia ha sido cada año más acentuada. Adicionalmente la SOMEXPAL organiza conferencias y mesas de divulgación

donde participan estudiantes de diversos niveles educativos. Actualmente se cuenta con 67 socios (que cubren su cuota de manera regular) y 132 miembros que asisten con frecuencia a los congresos nacionales (Figura 8).

Debido al creciente número de miembros y al interés en el conocimiento de la evolución biológica, la paleontología tendrá un papel cada vez más central a nivel nacional e internacional en la década por venir. Por ello, los objetivos de la SOMEXPAL se centrarán en seguir promoviendo la consolidación de la paleontología en México, y así convertirse en un espacio que facilite la interacción entre los científicos nacionales e internacionales cuyas líneas de generación de conocimiento toquen de manera directa o indirecta la paleontología. Los retos que enfrenta la ciencia del siglo XXI constituyen una misión que debe cubrirse desde varios frentes y el acercar a los estudiantes matriculados en licenciaturas y posgrados del área de ciencias a la paleontología y dotarlos de mejores competencias será un esfuerzo ineludible de la SOMEXPAL y sus miembros.

Si se analiza con perspectiva de género, la distribución general presenta una distribución aproximadamente simétrica o equivalente, como se puede observar en la Figura 9. Para los dos últimos congresos hubo una participación aproximada de mujeres entre el 40 y 44 %. Esta tendencia parece mucho más relevante si se considera que el número de mujeres (estudiantes e investigadoras) era aproximadamente de 36% hace 15 años (Memorias del X Congreso Nacional de Paleontología, 2006).

Obviamente existe una gran variación en el número de participantes en cada congreso. Las fuentes de estas variaciones son diversas, en general, se apuntan un mayor número de participantes de los que asisten realmente a los congresos. Otra fuente de variación que impide un conteo preciso de la contribución específica de participantes es el

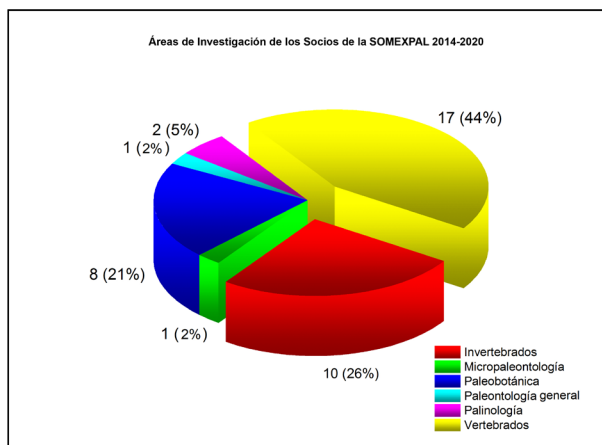


Figura 7. Distribución de investigadores por áreas en la paleontología en la SOMEXPAL.



Figura 8. Distribución de socios SOMEXPAL por jerarquía académica.

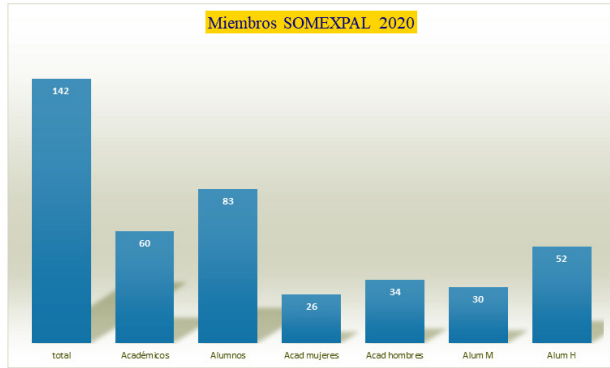


Figura 9. Distribución actual de socios en la SOMEXPAL (Acad mujeres = investigadoras; Acad hombres = investigadores; Alum M = alumnas mujeres; Alum H = alumnos hombres).

hecho de que un mismo trabajo puede contener entre uno a más de diez autores que se contabilizan, pero no participan de manera efectiva. Por otra parte, también es común que un mismo autor presente varios trabajos junto con sus estudiantes. Con todo, se ha contabilizado la proporción relativa de participantes investigadores y estudiantes y entre hombres y mujeres. Dicha estimación se basa en tres criterios aproximados: utilizando tres criterios aproximados (programa del congreso de los últimos cinco años, número total de autores y foto grupal de los congresos). Los resultados se muestran a continuación (Figura 10). A comparación de las cifras contabilizadas para 2006, se ha invertido la participación relativa entre investigadores y estudiantes. Esto indica una evolución lógica del impacto de la paleontología en la docencia, pero también un área de oportunidad para seguir fomentando la participación constante de los paleontólogos de México en este foro nacional.

4. La SOMEXPAL en el México del siglo XXI

La SOMEXPAL ha tenido como agenda prioritaria promover la investigación y la divulgación de la paleontología y de los fósiles como patrimonio científico y cultural de México. La SOMEXPAL también se interesa en promover la vinculación entre instituciones nacionales y su proyección internacional en investigación, divulgación y formación de recursos humanos. A pesar de su larga historia, permanencia y trayectoria, la SOMEXPAL se encuentra en un punto que demanda una mayor vinculación con las geociencias frente al panorama global de hoy en día. Dentro de este contexto, resulta muy atractivo que los objetivos de la UNESCO en su Agenda 2030 (UNESCO, 2017) contemplen metas relacionadas con las ciencias de la Tierra. En efecto, la SOMEXPAL está ante un panorama internacional vigente que demanda de la discusión de nuevas formas de situar a la paleontología en el marco vigente de cambio climático y del uso racional de recursos, incluyendo el patrimonio natural de México. Esto invita a considerar la vigencia y pertinencia del perfil profesional de los paleontólogos nacionales, así como sus competencias técnicas y científicas dentro de un marco internacional.

La paleontología ha sido una piedra angular en el desarrollo de las geociencias de México y del mundo, pero muy especialmente en los tiempos que corren. De acuerdo con los objetivos de la Agenda 2030, es claro que el conocimiento de los geo-recursos y la biodiversidad para mitigar los grandes problemas de la humanidad también atañen a los profesionales de la paleontología y de las geociencias en general. Por ello se considera que ahora más que nunca, la paleontología debe estar a la vanguardia de la ciencia y volver a dialogar de manera continua con otras especialidades de las geociencias, tal como ocurrió en sus inicios. Dado el creciente interés en la interpretación

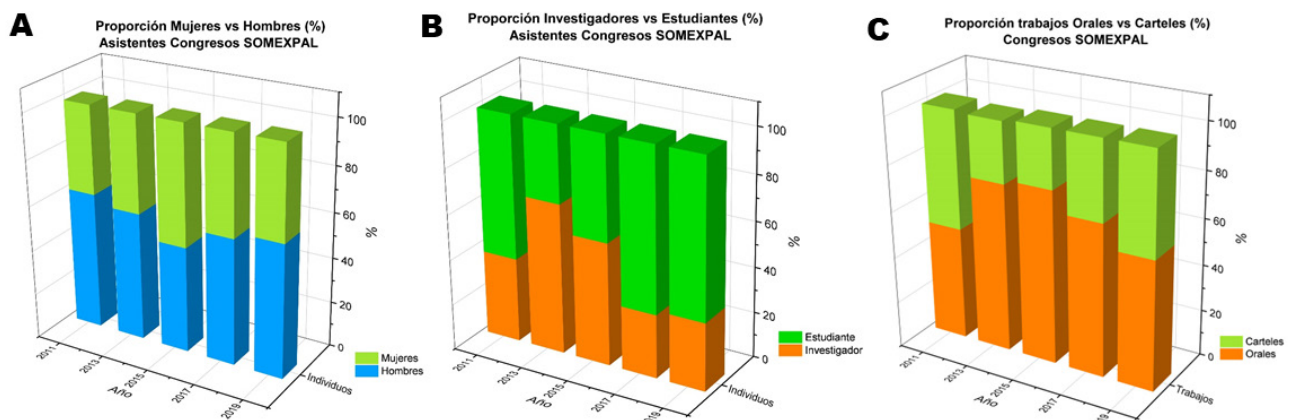


Figura 10. A, proporción Mujeres vs. Hombres (%) asistentes a congresos SOMEXPAL. B, Proporción Investigadores vs Estudiantes (%) asistentes a congresos SOMEXPAL. C, Proporción de trabajos orales vs carteles (%) congresos SOMEXPAL.

de los diferentes tipos de fósiles, es necesario expandir vínculos, competencias y visiones que puedan incidir en una apreciación más integral de las diversas formas de vida de nuestro planeta y de sus relaciones geobiológicas en espacio y tiempo. Esto implica también estudiar los límites de sobrevivencia y las estrategias a generar para garantizar la preservación del medio ambiente global, sus manifestaciones y el llamado equilibrio ecológico.

Por lo anterior, la SOMEXPAL se interesa en:

1. Seguir contribuyendo a la formación de recursos humanos especializados en paleontología, afinando o cultivando sus experiencias académicas.
2. Discutir sobre el perfil profesional de los paleontólogos del siglo XXI e incidir en algún objetivo marcado en la Agenda de la UNESCO, 2030.
3. Agrupar a científicos, profesionales e investigadores que tengan interés en el estudio y desarrollo de la paleontología con objeto de preparar científicos integrales de alto nivel que interaccionen con las geociencias para incrementar el conocimiento en este campo.
4. Establecer relaciones con profesionales en geociencias y áreas afines con objeto de contender con las demandas del siglo XXI.
5. Difundir los sitios y geoparques con recursos paleontológicos en México
6. Fomentar una mayor participación entre especialistas, profesores y alumnos para las reuniones bienales por medio del acercamiento a otras actividades precongreso.
7. Generar recursos para la divulgación de la paleontología y su utilidad o deleite para la sociedad mexicana.

5. Conclusiones y reflexiones

En general la Sociedad Mexicana de Paleontología se encuentra en un punto que demanda vinculación con las geociencias a nivel internacional y contribuir para que se sitúe a la paleontología en el marco vigente del cambio climático y uso racional del patrimonio natural del país. De igual manera, la SOMEXPAL continuará contribuyendo a la formación de recursos humanos especializados, agrupar a los científicos de la paleontología, difundir sitios paleontológicos y generar recursos para la divulgación de esta ciencia.

En esta breve reseña se reconoce y aplaude el trabajo y la visión de los pioneros de la paleontología en México. Una buena proporción de las investigaciones actuales en paleontología, varias de las cuales se realizan en diferentes universidades de la provincia mexicana, son posibles gracias al trabajo de estudiantes de las primeras generaciones de los paleontólogos pioneros que se forjaron en el Instituto de Geología de la UNAM. Este reconocimiento supone

ir más allá de menciones y fotos del recuerdo; implica la reflexión acerca del momento histórico que vivimos y que vamos a heredar a los estudiantes, incluyendo herramientas que puedan seguir preservando este quehacer científico.

La organización vigente y la forma de trabajar en el mundo actual, hace aún más patente la necesidad de interacción y conectividad para el avance del trabajo colegiado entre colegas y estudiantes. Quizás sea momento de evaluar la vigencia y actualización de nuevas temáticas y líneas de generación del conocimiento que se cultivan en México en paralelo con los programas de estudio. Quizás sea pertinente una nueva apreciación del registro fósil de algunos grupos de flora y fauna que han sido parcialmente estudiados por considerarse de poca utilidad paleontológica. Quizás sea el momento de realizar un análisis autocrítico sobre la paleontología mexicana como una actualización necesaria para seguir posicionando este gran acervo natural al servicio de la ciencia y del mundo cambiante.

Agradecimientos

Los autores agradecen el tiempo y la revisión profesional de los árbitros Dra. Ana Bertha Villaseñor y del Dr. Miguel Angel Torres Martínez así como el trabajo del Editor en Jefe de Paleontología Mexicana, Dr. Josep Moreno Bedmar. Agradecemos también el trabajo de edición técnica de PM.

Referencias

- Alvarado, M.E., 2009, La ciencia en la UNAM en la primera fase de institucionalización: Ethos Educativo, 45, 45–77, *disponible en* [<http://www.imced.edu.mx/Ethos/Archivo/45-77.pdf>] *consultado el* 28 de mayo de 2020.
- Argueta Villamar, A., Noguera, R., Ruiz Gutierrez, R., 2003, La recepción del Lysenkismo en México: Asclepio, LV-1-2003, 235-262.
- Ayala-Castañares, A., 2003, Mis 47 años en la ciencia, *en* Soto, L.A., Ayala-Castañares, A. (eds.), universitario, impulsor de la investigación científica: México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 43 pp.
- Azueta, L.F., Guevara Fefer, R., 1998, La ciencia en México en el siglo XIX: una aproximación historiográfica: Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia, 50(2), 77–105.
- Azueta, L.F., Vega y Ortega, R., 2011, La geografía y las ciencias naturales en el siglo XIX mexicano, Textos Universitarios 9: México, Instituto de Geografía, UNAM, 197 pp.
- Azueta, L.F., 2013, Las relaciones internacionales en la creación del Instituto de Geológico de México (1891), *en* Azueta, L.F., Rodríguez-Sala, M.L. (ed.), Estudios históricos sobre la construcción social de la ciencia en América Latina: México, Instituto de Investigaciones Sociales, 153–180.
- Buitrón-Sánchez, B.E., García-Barrera, P., Omaña, L., Ferrusquía-Villafranca, I., Oviedo, A., Moreno-Bedmar, J.A., 2018, In memoriam Gloria Alencáster Ybarra 1926-2018: Paleontología Mexicana, 7(2), 73–79.
- Buitrón Sánchez, B.E., 2019, Los invertebrados fósiles del Estado de Puebla, La Jornada de Oriente, Saberes y Ciencias: Paleontología en Puebla, 94, 4.
- Carreño, A.L., Montellano-Ballesteros, M., 2005, La Paleontología mexicana; pasado, presente y futuro: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(2), 137–147.

- Castillo, A. del, Aguilera, J.G., 1895, Fauna fósil de la Sierra de Catorce: Boletín del Instituto Geológico de México, 1, 1–55.
- Clark, T., 1972, The stages in scientific institutionalization: International Social Science Journal, 24(4), 658–670.
- Cuevas, C.M., 2001, Biografía científica del naturalista Manuel María Villada 1841–1924: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 150 pp.
- De Cserna, Z., 1990, La evolución geológica en México (1500–1929), revista Mexicana de ciencias Geológicas, 1(9), 20 pp.
- De Cserna, Z., 2004, Influencia de la Autonomía en el desarrollo de las disciplinas científicas: Geología. Discurso pronunciado el 12 de octubre de 2004 en ocasión de las Jornadas Conmemorativas del 75 aniversario de la autonomía de la UNAM: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, (inédito).
- Dugès, A., 1882, Nota sobre un fósil de Arperos, Estado de Guanajuato: El Minero Mexicano, 9(20), 233–235.
- Dugès, A., 1891, *Platygonus alemanii*: La Naturaleza, 2(1), 16–18.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 2011, Historia de la Sociedad Mexicana de Paleontología, La fundación de la SOMEXPAL, (En Línea): México, Sociedad Mexicana de Paleontología, Publicado 31 de mayo de 2011, *disponible en* [https://somexpal.wixsite.com/inicio/historia], *consultado el 6 marzo de 2020*.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 2012, Gloria Alencáster y el desarrollo de la Paleontología de Vertebrados en México: Paleontología Mexicana, 62, 11–25.
- Gío-Argáez, R., 1978, Antecedentes históricos y situación actual del Instituto de Geología: Manual Minero Antológico Publinocticias, 2, 376–381.
- Gío-Argáez, F.R., Rodríguez-Arévalo, H.E.Y., 2003, Panorama general de la Paleontología mexicana: Ciencia Ergo Sum, 10(1), 85–95.
- Gómez-Caballero, J.A., 2005, Historia e índice comentado del Boletín del Instituto de Geología de la UNAM: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(2), 149–185.
- González-Torres, E., 2004, Bosquejo sobre la evolución de la Geología en México (1904–2004): Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(2), 123–136.
- Gortari, E., 1980, La metodología: una discusión y otros ensayos sobre el método: México, Grijalbo, 173 pp.
- Guevara, F.R., 2002, Los últimos años de la historia natural y los primeros días de la biología en México La práctica científica de Alfonso Herrera, Manuel María Villada y Mariano Bárcena: Cuadernos del Instituto de Biología, 35, 1–212.
- Instituto de Geología de la UNAM, SA, Memoria del X Congreso Nacional de Paleontología (En línea): México, UNAM, *disponible en* [http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/index.php/publicaciones/218-publicaciones-especiales/580-memoria-del-x-congreso-nacional-de-paleontologia], *consultado el 6 de junio de 2020*.
- Ledezma Martínez, J.M., 2013, Los programas hispanoamericanistas de Rafael Altamira y su primera estancia en México, 1909–1910: hacia la conformación de una red intelectual: España, Universidad Autónoma de Madrid, tesis doctoral, 500 pp.
- Maldonado-Koerdell, M., 1948, Los vertebrados fósiles del Cuaternario en México: Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, 9(1-2), 1–35.
- Mendoza de Flores, R., 2003, Trayectoria científica de Agustín Ayala-Castañares, en Soto, L.A., Agustín Ayala-Castañares (eds.), universitario, impulsor de la investigación científica: México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 371 pp.
- Morelos Rodríguez, L., 2014, Historia de las ciencias geológicas en México: de entidad gubernamental a instituto universitario (1886–1929): México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis doctoral, 327 pp.
- Morelos-Rodríguez, L., Moncada-Maya, J.O., 2015, Orígenes y fundación del Instituto Geológico de México: Asclepio, 67(2), 103.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2017, La UNESCO Avanza La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: Francia, UNESCO, 22.
- Pérez Sedeño, E., 2015, Institucionalización de la ciencia, valores epistémicos y contextuales: un caso ejemplar: Cadernos Pagu, 15, 77–102.
- Pérez-Tamayo, R., 2005, Historia general de la ciencia en México en el siglo XX: México, Fondo de Cultura Económica, 328 pp.
- Perrilliat-Montoya, M.C., 2012, Semblanza de la Dra. Gloria Alencáster Ybarra: Paleontología Mexicana, 1(1), 1–3.
- Retana Guisacón, O.G., 2009, La institucionalización de la investigación científica en México: Revista CIENCIAS, 94, 46–51.
- Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL), 2015, estatuto (En Línea): México, Sociedad Mexicana de Paleontología, actualizado el 22 de octubre de 2015, *disponible en* [https://somexpal.wixsite.com/inicio/estatuto], *consultado el 6 de junio de 2020*.
- Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL), 2020a, Historia (En Línea): México, Sociedad Mexicana de Paleontología, actualizado el 22 de octubre de 2015, *disponible en* [https://somexpal.wixsite.com/inicio/historia], *consultado el 16 de abril de 2020*.
- Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL), 2020b, Consejo Directivo (En Línea): México, Sociedad Mexicana de Paleontología, actualizado el 9 de enero de 2020, *disponible en* [https://somexpal.wixsite.com/inicio], *consultado el 16 de abril de 2020*.
- Soto, L.A., 2003, Agustín Ayala-Castañares, Universitario, impulsor de la investigación científica: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 374 pp.
- Suárez-Noyola, M.E., 2019, Análisis de Redes de Colaboración en la producción científica de la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez: Paleontología Mexicana, 8(2), 83–88.
- Trabulsee, E., 1984, El círculo roto: México, Secretaría de Educación Pública, Lecturas Mexicanas, 54, 247.
- Zamudio, G., 2013, La Botánica y los botánicos al finalizar el siglo XIX mexicano, en Azuela, L.F., Rodríguez-Sala, M.L. (eds.), Estudios históricos sobre la construcción social de la ciencia en América Latina: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 125–152.

Manuscrito recibido: Abril 21, 2020.

Manuscrito corregido recibido: Junio 3, 2020.

Manuscrito aceptado: Junio 3, 2020.

The affinities between the Lower Cretaceous Ammonoidea *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny, 1841 and *Ammonites gargasensis* d'Orbigny, 1841

Frau, Camille^{a,*}; Pictet, Antoine^b; Caïssa, Mathieu^c

^a Groupement d'Intérêt Paléontologique, Science et Exposition, 60 bd Georges Richard, 83000 Toulon, France.

^b Musée cantonal de géologie, Quartier UNIL - Dorigny, Bâtiment Anthropole, 1015 Lausanne, Switzerland.

^c Total S.A., Centre Scientifique and Technique Jean Féger, Pau, France.

* camille_frau@hotmail.fr

Abstract

The present contribution provides a taxonomic reassessment of the Lower Cretaceous ammonite species *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny (type species of *Colombiceras* Spath) and *Ammonites gargasensis* d'Orbigny (type species of *Gargasicerias* Casey) from the Aptian-type area (Apt, Vaucluse, southeastern France). Those nominal species represent two ornamental poles of a single population, here referred to *C. crassicosatum*. The genus *Gargasicerias* is, therefore, synonymised with *Colombiceras*. Implications on the taxonomy at the specific, generic, and supra-generic levels are discussed.

Keywords: Ammonite; Aptian; Cretaceous; Apt; Vaucluse; Taxonomy.

Resumen

El presente trabajo proporciona una reevaluación taxonómica de las especies de ammonites del Cretácico temprano *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny (especie tipo de *Colombiceras* Spath) y *Ammonites gargasensis* d'Orbigny (especie tipo de *Gargasicerias* Casey) del área tipo del Aptiano (Apt, Vaucluse, sureste de Francia). Estas especies nominales representan dos polos ornamentales de una sola población, aquí referida como *C. crassicosatum*. Por lo tanto, el género *Gargasicerias* se sinonimiza con *Colombiceras*. Se discuten las implicaciones taxonómicas a nivel específico, genérico y supragenérico.

Palabras clave: Ammonites; Aptiano; Cretácico; Apt; Vaucluse; Taxonomía.

1. Introduction

The knowledge of Mediterranean ammonites during the upper Aptian (Lower Cretaceous) is substantial, and mostly concerns the super-families Douvilleiceratoidea Parona and Bonarelli, 1897, Parahoplitoidea Spath, 1922 and Acanthohoplitoidea Stoyanow, 1949. Despite the tremendous quantity of material illustrated in the literature, a critical review of the dataset shows that the picture one can have on the evolution of the Acanthohoplitoidea is far from being resolved (e.g. Dauphin, 2002; Bulot, 2010; Latil, 2011). This is linked to diverging concepts between

authors due to the lack of revision of the type material but also to preservation problems of the faunas which clearly affects attempts to identify and compare taxa (Bulot, 2010; Lubert *et al.*, 2017).

This work focuses on the widely quoted acanthohoplitid taxa *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny, 1841 and *Ammonites gargasensis* d'Orbigny, 1841, which respectively typify the genera *Colombiceras* Spath, 1923 and *Gargasicerias* Casey, 1954. Intermediate forms between both taxa have long been quoted in the literature (e.g. Jacob, 1907; Kilian, 1910; Dutour, 2005; Bulot, 2010) but their supposed affinities lack a comprehensive study. The present

contribution addresses this problem by the revision of the type specimens combined with a statistic approach based on material from the Apt–Gargas type area (Luberon UNESCO Geopark, Vaucluse, southeastern France, Fig. 1A).

This work follows the most recent standard Mediterranean ammonite scale for the Aptian Stage (Reboulet *et al.*, 2018).

2. Origin of the material

As designed by Delanoy in Gauthier *et al.* (2006, p. 74–75), the lectotypes of *Colombiceras crassicosatum* and *Gargasicerias gargasense* are, respectively, the pyritic nuclei MNHN-F.R4345 (Fig. 2A) and MNHN-F.R51910 (Fig. 2B), from the d'Orbigny collection deposited at the *Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris*, France. They originate from the lower part of the blue-grey marls of the Apt–Gargas area, comprised in the Luberon UNESCO Geopark. Those marls characterize the former middle portion of the Aptian Stage (*i.e.* ‘Gargasien’) in the

sense of Leenhardt (1883), Kilian (1887), and Moullade (1965). Unfortunately, the historical outcrops of the Apt–Gargas area are no longer accessible because of extensive urbanization launched in the early sixties (Moullade, 1965). Nevertheless, surrounding localities of the Luberon Geopark provide better outcropping conditions, such as those of La Tuilière and Carniol (Dutour, 2005; Moullade *et al.*, 2006), and allow the collection of abundant quasi-topotypic individuals.

As documented by Dutour (2005), *C. crassicosatum* and *G. gargasense* both appear in the uppermost part of the *Dufrenoyia furcata* Zone (uppermost lower Aptian) at La Tuilière and Carniol sections. The plexus represents a residual part of the ammonite spectrum, *i.e.* up to ~7% (Dutour, 2005). The abundance of the two taxa subsequently increases in the bottom part of the overlying *Epicheloniceras martini* Zone (lowermost upper Aptian), and reaches 10% (Carniol – Fig. 1B) to 40% (La Tuilière) of the total ammonite assemblage.

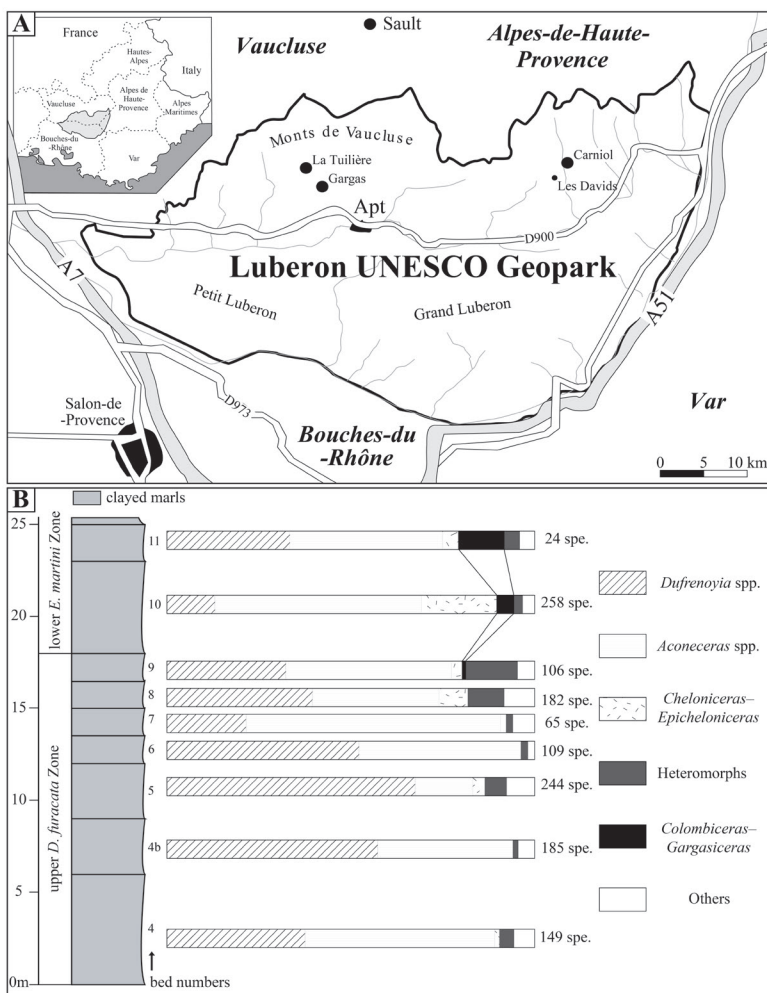


Figure 1. (A) The Luberon UNESCO Geopark (Vaucluse, southeastern France) including the localities cited in the text (modified from Frau *et al.*, 2017) and (B) the Carniol litho-log with the ammonite spectrum of the uppermost lower (*Dufrenoyia furcata* Zone) and lowermost upper Aptian (*Epicheloniceras martini* Zone) documented by Dutour (2005). The location of the upper Aptian base follows Dutour (2005).

3. Material and methods

The close relationships between *C. crassicostatus* and *G. gargasense* have been repeatedly mentioned in the literature (Jacob, 1907; Kilian, 1910; Dutour, 2005; Bulot, 2010). A wide range of variabilities in robustness and length of the ontogenetic stages is observed in the topotypic population (Dutour, 2005); from robust nuclei with a low rib density (thereafter *C. crassicostatus* morphotype) to slender finely ribbed ones (thereafter *G. gargasense* morphotype). Such variability was tentatively interpreted as the expression of the Buckman's first law of covariation between conch shape and ribbing pattern (Dutour, 2005). Unfortunately, this assumption has never been statistically sustained on a sufficiently large sample. To our knowledge, the *C. crassicostatus*–*G. gargasense* plexus is known by only twelve figured specimens in its type area, including the two lectotypes (*i.e.* those figured by Roch, 1927; Thomel, 1980; Conte, 1989; Dutour, 2005; and Gauthier *et al.*, 2006).

The numerous pyritic nucleus collected in beds 9 to 11 at Carniol by the authors form the basis for a standard biometric study (Fig. 1B). Additional specimens from the nearby locality of Les Davids (Fig. 1A) are here included. Unless otherwise specified, the studied specimens belong to the collections of two of us (C.F. and A.P.), currently being deposited at the *Maison du Parc Naturel Régional du Luberon* (PNRL), Apt, France. This study also involves the type specimens of *A. gargasensis* var. *aptiensis*, *A. gargasensis* var. *recticostata* and *A. gargasensis* var. *attenuata* from the Apt–Gargas type area, previously introduced by Roch (1927, pl. XVIII, fig. 5–5a, 6–6a, 7–7a and 8–8a) and deposited in the paleontological collections of the Grenoble Alpes University (see Fig. 2C–E).

The conch shape has been quantified by standard measurements *D* (total observed diameter taken on top of the ribs), *U* (umbilical width), *Wh* (whorl height), *Ww* (whorl thickness). The associated ratios (*U/D*, *Wh/D*, *Ww/D*, *Ww/Wh* – Fig. 3) are investigated and compared to those of the type material (Table 1). All dimensions are given in millimetres. *Rv* indicates the number of ventral ribs on the half of the last preserved whorl. This study is combined with a qualitative analysis of the ontogeny of the material at our disposal. We performed univariate and bivariate analyses to highlight possible relationships between the variables and to study the evolution of the conch parameters through ontogeny. The suture terminology is that of Korn *et al.* (2003): *E* = external lobe; *A* = adventive lobe; *U* = umbilical lobe, *I* = internal lobe.

4. The *Crassicostatus*–*Gargasense* plexus from carniol

The studied material is composed of seventy-three specimens (Figs. 4, 5 and 6) originating from around the lower/upper Aptian boundary (*D. furcata*–*E. martini* zonal

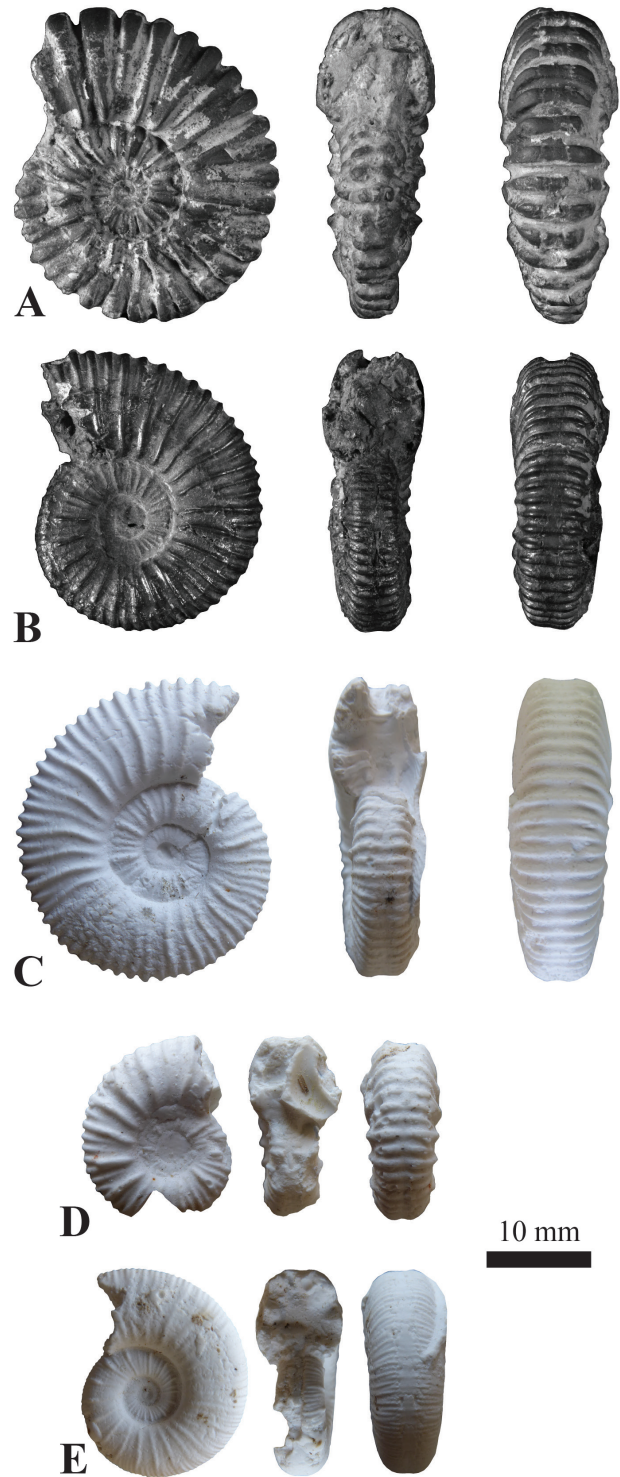


Figure 2. The lectotypes of (A) *Colombiceras crassicostatus* (d'Orbigny, 1841), specimen MNHN-F.R4345 (d'Orbigny coll.) and (B) *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny, 1841), specimen MNHN-F.R51910 (d'Orbigny coll.) designated by Delanoy in Gauthier *et al.* (2006, p. 74–75). Both from the Aptian marls of Gargas. Plaster cast of the type specimens of (C) *A. gargasensis* var. *aptiensis* Roch, 1927, specimen UJF-ID.1595 (Lory coll.) from Apt, (D) *A. gargasensis* var. *recticostata* Roch, 1927, specimen UJF-ID.1597 (Zürcher coll.) from Barrême, and (E) *A. gargasensis* var. *attenuata* specimen UJF-ID.1598 (Lory coll.) from the Aptian marls of Apt (Luberon UNESCO Geopark). Scale bar is 10 mm.

Table 1. Dimensions of the studied material from Carniol (CLR and CAR) and Les Davids (DAV), and the type specimens of *Colombiceras crassicosatum*, *Gargasiceras gargasensis*, *G. gargasense* var. *aptiensis*, *G. gargasense* var. *recticostata* and *G. gargasense* var. *attenuata*.

Specimens	Collections	Morphotypes	Illustrations	D	U	Wh	Wb	Rv	U/D	Wh/D	Wb/D	Wb/Wh	U/Wh	coiling
<i>C. crassicosatum</i> lectotype MNHN-F.R4345	d'Orbigny coll.	Crassicosatum	Fig. 2A	31	12	11	12	16	0.387	0.355	0.3871	0.3871	1.091	subvirgacone
CAR.13	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4B-B'	25	7.77	10.26		22	0.311	0.41			0.757	
CAR.14	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4C-C'	18.36	6.69	7.29	6.92	17	0.364	0.397	0.3769	0.37691	0.918	subvirgacone
CAR.15	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4D-D'	17.68	6.04	7.23	7.23	15	0.342	0.409	0.4089	0.40894	0.835	subvirgacone
CAR.16	Pictet coll.	Crassicosatum	/	21.2	7.9	7.87		20	0.373	0.371			1.004	
CAR.19	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig. 4F-F'	16.28	6.14	6.06	6.6	18	0.377	0.372	0.4054	0.40541	1.013	subvirgacone
CAR.21	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4G-G'	14.59	5.35	5.82	5.79	19	0.367	0.399	0.3968	0.39685	0.919	subvirgacone
CAR.22	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4I-I'	12.19	4.86	4.31	5.14	16	0.399	0.354	0.4217	0.42166	1.128	subvirgacone
CAR.23	Pictet coll.	Crassicosatum	/	13.9	4.6	5.94	4	17	0.331	0.427	0.2878	0.28777	0.774	virgacone
CAR.24	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4J-J'	12.66	4.9	4.95	5.32	16	0.387	0.391	0.4202	0.42022	0.99	subvirgacone
CAR.25	Pictet coll.	Crassicosatum	/	14.14	4.96	5.66	6.42		0.351	0.4	0.454	0.45403	0.876	subvirgacone
CAR.29	Pictet coll.	Crassicosatum	Fig.4H-H'	12.15	3.96	4.82	4.81	21	0.326	0.397	0.3959	0.39588	0.822	subvirgacone
CAR.33	Pictet coll.	Crassicosatum	/	12.37	4.54	4.85	4.91	16	0.367	0.392	0.3969	0.39693	0.936	subvirgacone
CAR.36	Pictet coll.	Crassicosatum	/			7.45	6.73							
CAR.8	Pictet coll.	Crassicosatum	/	13.13	4.83	4.78	5.36		0.368	0.364	0.4082	0.40823	1.01	subvirgacone
CRL.14	Frau coll.	Crassicosatum	/	11	4	3.8	5.3	14	0.364	0.345	0.4818	0.48182	1.053	subvirgacone
CRL.3	Frau coll.	Crassicosatum	/			8.5	7.4							
CRL.4	Frau coll.	Crassicosatum	/			8.1	7.2							
CRL.5	Frau coll.	Crassicosatum	Fig.4E-E'	16.3	6.8	5.9	6	18	0.417	0.362	0.3681	0.3681	1.153	subophiocone
DAV.2	Pictet coll.	Crassicosatum?	Fig.4A-A'			9.94	8.19							
CAR.26	Pictet coll.	Crassicosatum?	/	13.79	4.42	6.02	5.49	20	0.321	0.437	0.3981	0.39811	0.734	subvirgacone
CAR.34	Pictet coll.	Crassicosatum?	/			9.03	8.07							
CAR.51	Pictet coll.	Crassicosatum?	/			5.4	5.39							
<i>G. gargasense</i> lectotype MNHN-F.R51910	d'Orbigny coll.	Gargasense	Fig. 2B	31	11	12	10	28	0.355		0.3226	0.32258	0.917	subvirgacone
<i>G. gargasense</i> var. <i>aptiensis</i> holotype UJF-ID.1595	Lory coll.	Gargasense	Fig. 2C	28.31	11.23	9.83	8.73	32	0.397	0.398	0.3084	0.30837	1.142	subvirgacone
<i>G. gargasense</i> var. <i>recticostata</i> syntype UJF-ID.1597	Zürcher coll.	Gargasense	Fig. 2D	15.58	5.9	6.5	6.58	24	0.379	0.417	0.4223	0.42234	0.908	subvirgacone
CAR.1	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5D-D'	15.38	5.26	6.05	5.58	30	0.342	0.393	0.3628	0.36281	0.869	subvirgacone
CAR.10	Pictet coll.	Gargasense	/	12.39	4.01	5.2	4.07	23	0.324	0.42	0.3285	0.32849	0.771	subvirgacone
CAR.11	Pictet coll.	Gargasense	/			6.21	6.1							
CAR.2	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5A-A'		9.6	10.32	8.61	28						
CAR.28	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5M-M'	10.74	3.65	4.47	4.73	23	0.34	0.416	0.4404	0.44041	0.817	subvirgacone
CAR.3	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5C-C'	17.31	6.96	6.15	6.28	22	0.402	0.355	0.3628	0.3628	1.132	subvirgacone
CAR.30	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5L-L'	11.96	4.08	5.47	5.38	22	0.341	0.457	0.4498	0.44983	0.746	subvirgacone
CAR.32	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5K-K'	10.63	3.7				0.348					
CAR.35	Pictet coll.	Gargasense	/			6.38	5.21							
CAR.39	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5P-P'	8.59	3.1	3.44	3.79	22	0.361	0.4	0.4412	0.44121	0.901	subvirgacone
CAR.4	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5E-E'	14.41	5.25	5.73	5.53	25	0.364	0.398	0.3838	0.38376	0.916	subvirgacone
CAR.40	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5N-N'	9.2	3.23	3.6	3.86	28	0.351	0.391	0.4196	0.41957	0.897	subvirgacone
CAR.41	Pictet coll.	Gargasense	/	9.75	2.64	4.22	3.96	22	0.271	0.433	0.4062	0.40615	0.626	subdiscocone
CAR.42	Pictet coll.	Gargasense	/	9.34	2.89	3.54	3.4		0.309	0.379	0.364	0.36403	0.816	subvirgacone
CAR.43	Pictet coll.	Gargasense	/		2.19									
CAR.44	Pictet coll.	Gargasense	/	8.75	3.49	3.14	3.27	20	0.399	0.359	0.3737	0.37371	1.111	subvirgacone
CAR.45	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5Q-Q'	6.71	2.45	2.75	2.97		0.365	0.41	0.4426	0.44262	0.891	subvirgacone
CAR.46	Pictet coll.	Gargasense	/			6.03	6.25							
CAR.5	Pictet coll.	Gargasense	/	14.12	4.37	6.3	5.52	25	0.309	0.446	0.3909	0.39093	0.694	subvirgacone
CAR.50	Pictet coll.	Gargasense	/			6.82	6.94							
CAR.52	Pictet coll.	Gargasense	/			4.59	4.55							
CAR.6	Pictet coll.	Gargasense	/	12.7	4.37	5.56	5.1	24	0.344	0.438	0.4016	0.40157	0.786	subvirgacone
CAR.7	Pictet coll.	Gargasense	Fig.5I-I'	12.65	4.72	5.08	4.73	29	0.373	0.402	0.3739	0.37391	0.929	subvirgacone
CAR.9	Pictet coll.	Gargasense	/	11.73	3.25	5.11	5.08		0.277	0.436	0.4331	0.43308	0.636	subdiscocone
CRL.1	Frau coll.	Gargasense	Fig.5B-B'	24.2	9.9	9.2	7.9	25	0.409	0.38	0.3264	0.32645	1.076	subvirgacone
CRL.11	Frau coll.	Gargasense	Fig.5G-G'	12.4	4.4	5.3	5.1	24	0.355	0.427	0.4113	0.41129	0.83	subvirgacone
CRL.12	Frau coll.	Gargasense	/	12.1	4.1	5.2	4.3	20	0.339	0.43	0.3554	0.35537	0.788	subvirgacone
CRL.13	Frau coll.	Gargasense	Fig.5H-H'	11.8	4.4	4.3	4.6	21	0.373	0.364	0.3898	0.38983	1.023	subvirgacone
CRL.16	Frau coll.	Gargasense	/	10.1	3.6	4.1	4.1		0.356	0.406	0.4059	0.40594	0.878	subvirgacone
CRL.17	Frau coll.	Gargasense	Fig.5O-O'	9.1	3.3	3.6	3.6	22	0.363	0.396	0.3956	0.3956	0.917	subvirgacone
CRL.6	Frau coll.	Gargasense	/	15.9	5.5	5.8	4.9	22	0.346	0.365	0.3082	0.30818	0.948	subvirgacone
CRL.8	Frau coll.	Gargasense	/	16.3	4.9	6.8	5.9		0.301	0.417	0.362	0.36196	0.721	subvirgacone
CRL.9	Frau coll.	Gargasense	/	14.1	3.9	6.6	5.9	20	0.277	0.468	0.4184	0.41844	0.591	subdiscocone
DAV.1	Pictet coll.	Gargasense	/	10.32	3.6	3.67	4.02	20	0.349	0.356	0.3895	0.38953	0.981	subvirgacone
CAR.37	Pictet coll.	Gargasense?	/			8.75	7.46							
CAR.38	Pictet coll.	Gargasense?	/				9.09							
CAR.47	Pictet coll.	Gargasense?	/			6.49	6.37							
CAR.48	Pictet coll.	Gargasense?	/			7.12	6.71							
CAR.49	Pictet coll.	Gargasense?	/			6.95	6.51							
CRL.15	Frau coll.	Gargasense?	/			5.1	5.1							
DAV.3	Pictet coll.	pathological	Fig.5R-R'	14.57	4.93	5.73	4.76	17	0.338	0.393	0.3267	0.3267	0.86	subvirgacone
CAR.20	Pictet coll.	Transitional	Fig.6E-E'		5.86	6.63	6.43						0.884	
CRL.10	Frau coll.	Transitional	Fig.6D-D'	13.3	4.2	5.4	5.3	18	0.316	0.406	0.3985	0.3985	0.778	subvirgacone
CRL.2	Frau coll.	Transitional	Fig.6B-B'	22	7.5	9.7	8.1	22	0.341	0.441	0.3682	0.36818	0.773	subvirgacone
CAR.12	Pictet coll.	Transitional	Fig.6A-A'	28.48	9.77	11.99	10.29	22	0.343	0.421	0.3613	0.36131	0.815	subvirgacone
CAR.17	Pictet coll.	Transitional	Fig.6C-C'	17.68	6.31	7.26	6.44	20	0.357	0.411	0.3643	0.36425	0.869	subvirgacone
CAR.18	Pictet coll.	Transitional	/	18.09	6.09	7.54	6.94	18	0.337	0.417	0.3836	0.38364	0.808	subvirgacone
CAR.27	Pictet coll.	Transitional	/	14.3	4.52	5.4	5.47	20	0.316	0.378	0.3825	0.38252	0.837	subvirgacone
CAR.31	Pictet coll.	Transitional	/	11.24	3.71	4.92	4.73	18	0.33	0.438	0.4208	0.42082	0.754	subvirgacone
CRL.7	Frau coll.	Transitional	/	17.1	5.8	7	6.6	19	0.339	0.409	0.386	0.38596	0.829	subvirgacone
<i>G. gargasense</i> var. <i>attenuata</i> holotype UJF-ID.1598	Lory coll.		Fig. 2E	18.91	6.93	7.38	7.79	52	0.366	0.39	0.412	0.41195	0.939	subvirgacone

Note: Gray boxes indicate approximate measurements.

boundary). This material forms a statistically significant sample in the sense of De Baets *et al.* (2015) and can be considered as representative of a contemporaneous palaeopopulation which allows to test the conspecificity between *C. crassicostatus* and *G. gargasense*.

4.1. Size

The diameter of the studied sample ranges from ~6 mm to 31 mm with an average value equals to 14.6 mm. The size of the lectotypes of *C. crassicostatus* ($D = 30.5$ mm) and *G. gargasense* ($D = 27.6$ mm) falls into the size range of the material at our disposal. Unfortunately, only pyritic nuclei were collected, hence preventing the recognition of maturity and potential size differentiation of sexual significance. This is evidenced by the size-frequency histogram which is positively skewed and placed on specimens comprised between 10 to 20 mm (Fig. 7A).

To our knowledge, complete specimens from the Apt–Gargas area remain unknown. The most complete individuals of the *C. crassicostatus*–*G. gargasense* plexus are those figured by Salas and Moreno (2008, pl. 7, fig. C; pl. 9, fig. A) and Moreno-Bedmar *et al.* (2012, appendix fig. 8G) from the *D. furcata*–*E. martini* zonal boundary interval

of Spain. The diameter of those specimens suggests that the adult size does not exceeded ~100 mm.

4.2. Conch shape and ornamentation

4.2.1. *C. crassicostatus* morphotype

This morphotype represents 30% of the studied population. Its diameter is comprised between 11 and 31 mm (average of ~16.2 mm). The conch shape is mainly subvirgacone ($0.31 < U/D < 0.42$; average of 0.36 – Fig. 8), rarely virgacone (specimen CAR.23) or subophiocone (*e.g.* specimen CRL.5), with a discoidal to extremely discoidal ($0.29 < W_w/D < 0.48$; average of 0.40), strongly compressed ($0.29 < W_w/Wh < 0.48$; average of 0.40), very evolute coiling ($0.73 < U/Wh < 1.15$; average of 0.94) (Fig. 9).

A succession of five ontogenetic stages is recognised from this morphotype and consists of (Fig. 4):

1. Embryonic (Ammonitella) stage occupies less than 1 mm. This stage is marked by a distinctive nepionic constriction.
2. Post-embryonic stage marked by reniform whorl section, crateriform umbilicus, spaced and flat-topped ribs angulate at shoulders or bearing strong tubercles and smooth interspaces. This stage mimics

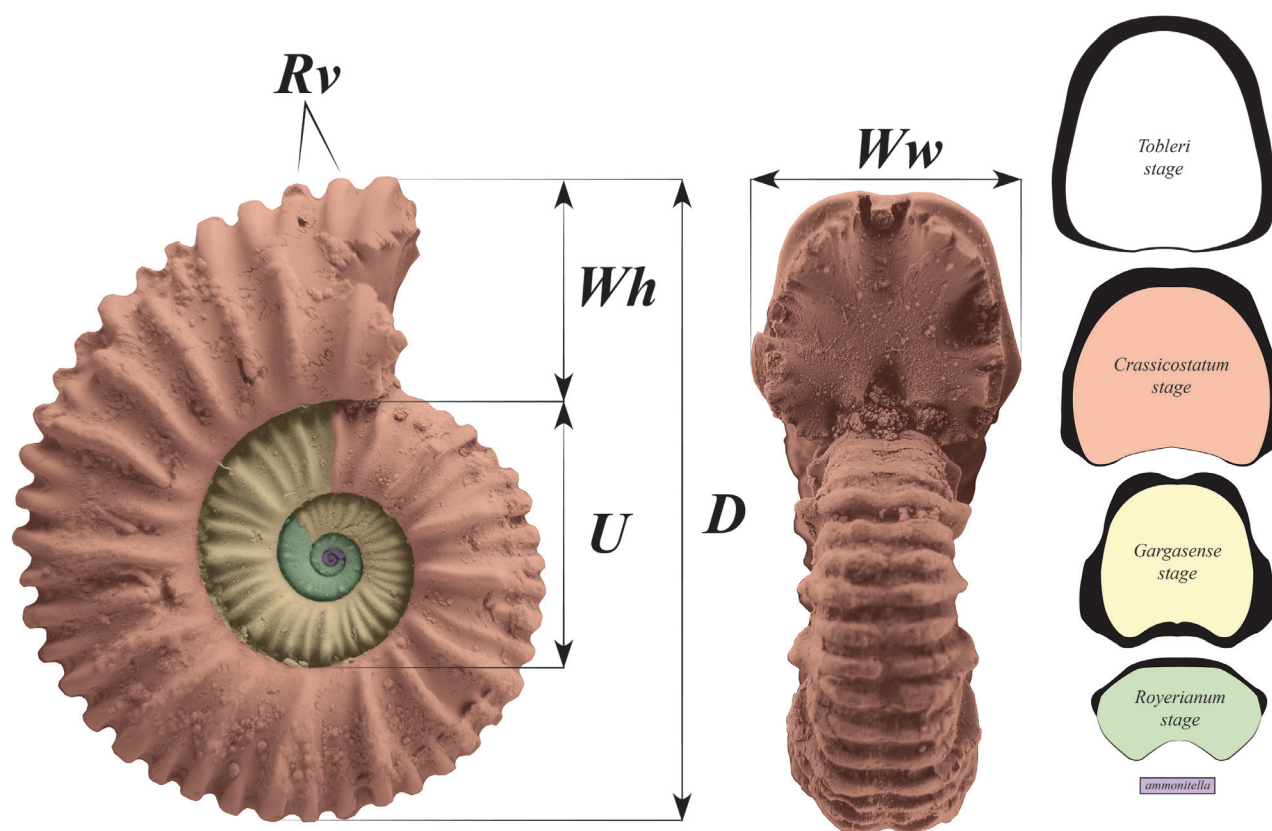


Figure 3. Explanatory diagram of the standard conch shape parameters measured, and illustration of the five ontogenetic stages and their schematised whorl sections (not to scale); namely (violet) Ammonitella, (green) Royerianum, (yellow) Gargasense, (red) Crassicostatus, and (white) Tobleri (not seen in our pyritic nuclei) on specimen CRL.1. Acronyms indicate D : diameter; Wh : whorl height; U : umbilical diameter; W_w : whorl width; R_v : number of ventral ribs on the half of the last preserved whorl.

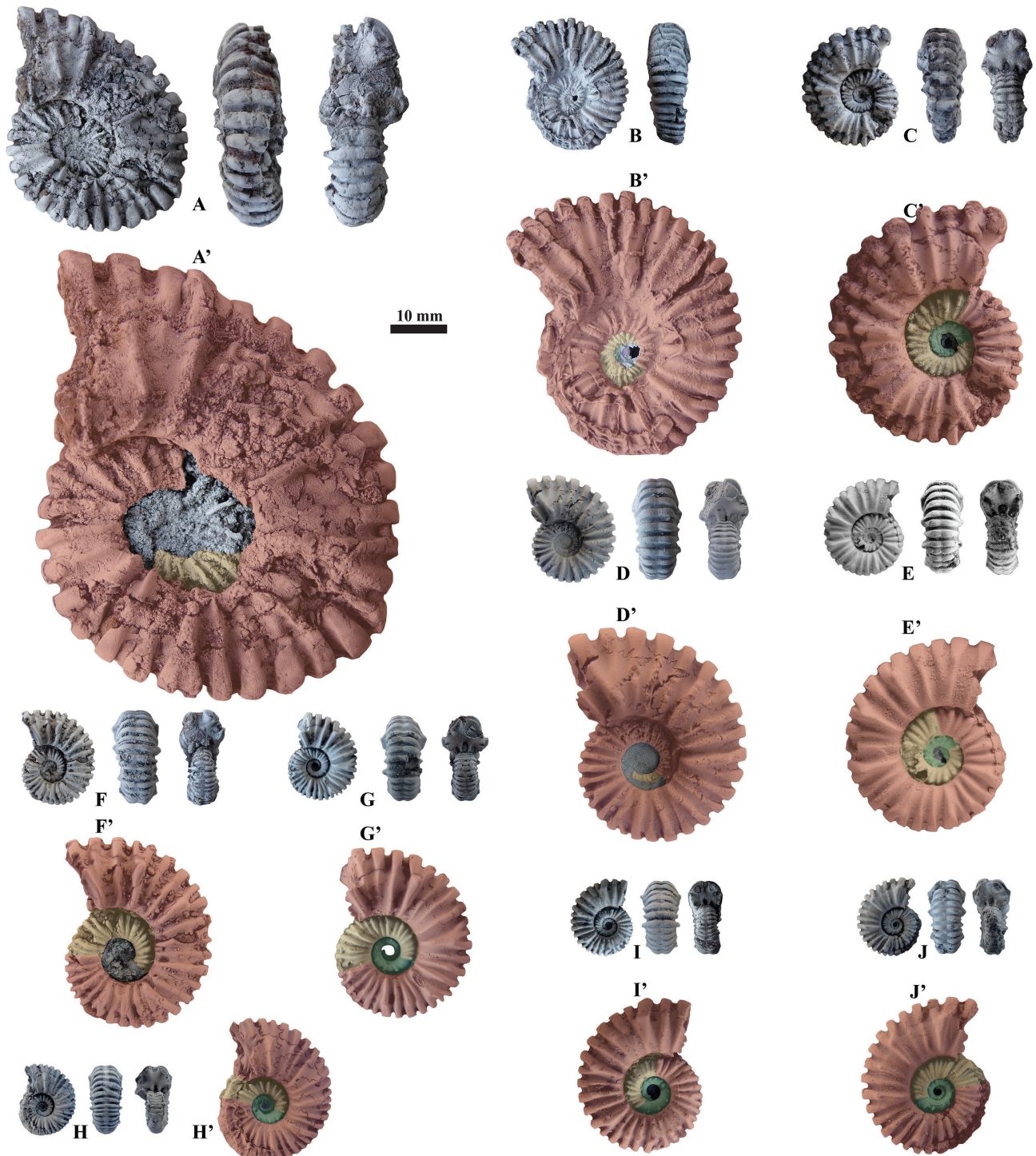


Figure 4. Selected specimens assigned to the *C. crassicostatum* morphotype from Carniol (CAR, CRL), and Les Davids (DAV), and illustration of the four ontogenetic stages on enlarged (x2) specimens. (A–A') DAV.2, (B–B') CAR.13, (C–C') CAR.24, (D–D') CAR.15, (E–E') CRL.5, (F–F') CAR.19, (G–G') CAR.21, (H–H') CAR.29, (I–I') CAR.22, and (J–J') CAR.24. All specimens were coated with ammonium chloride prior to photography. Scale bar is 10 mm. See Fig. 3 for colour legend of the four ontogenetic stages.



Figure 5. Selected specimens assigned to the *G. gargasense* morphotype from Carniol (CAR, CRL), and Les Davids (DAV), and illustration of the four ontogenetic stages on enlarged (x2) specimens. (A–A') CAR.2, (B–B') CRL.1, (C–C') CAR.3, (D–D') CAR.1, (E–E') CAR.4, (F–F') CAR.5, (G–G') CRL.11, (H–H') CRL.13, (I–I') CAR.7, (J–J') CRL.15, (K–K') CAR.32, (L–L') CAR.30, (M–M') CAR.28, (N–N') CAR.40, (O–O') CRL.17, (P–P') CAR.39, (Q–Q') CAR.45, and (R–R') DAV.3 (pathological specimen). All specimens were coated with ammonium chloride prior to photography. Scale bar is 10 mm. See Fig. 3 for colour legend of the four ontogenetic stages.

- the juvenile features of the Douvilleiceratidae *Procheloniceras*–*Chelonicer* lineage known as the Royerianum stage in *litt.* (Ropolo *et al.*, 2008).
3. Gargasense juvenile stage (presents between $ca. 2.7 < D < ca. 3.8$ mm) marks a change from a reniform to a subquadrate whorl section with venter bearing a weak or moderately deep furrow. Following the Royerianum stage, the primary ribs maintain a tubercle on the upper flank, but secondaries – generally one to four – appear. The secondary ribs start at the peri-umbilical margin, they are simple albeit sometimes bifurcate or coalescent on the primaries at varying heights. The primary ribs are simple or rarely bifurcate. Those ribs become enlarged on the flank and can develop tubercles at the point of furcation. All ribs and branches tend to be flat-topped on the venter.
 4. *Crassicostatum* sub-adult stage starts between $ca. 5.1 < D < ca. 13.2$ mm and extends up to the end of the preserved outer whorls. The ornamentation continues the Gargasense juvenile stage, but the number of secondaries quickly decreases. The primary ribs become stronger, they are simple and bifurcate, rarely trifurcate, and commonly separated by a single secondary starting at varying heights.
- The point of furcation is low, at the umbilical margin, or high on the flank and develop strong, elongated tubercles, and then strong thickenings. All ribs and branches are flat-topped or cuneiform on the venter. The ventral furrow is attenuated during the growth and progressively disappear because of ventral rounding.
5. The outer whorl ontogeny is not observed in the material at our disposal since it consists of pyritic nuclei. Nevertheless, the ribbing of the *C. crassicostatum* specimens illustrated by Salas and Moreno (2008, pl. 7, fig. C; pl. 9, fig. A), and Moreno-Bedmar *et al.* (2012, appendix fig. 8G) modifies into a regular alternation of strong, flexuous primary rib in the body chamber, with or without a slight retrocurvature at the umbilical margin, and one secondary starting at mid-flank. The whorl section is compressed, suboval, higher than wide, with a rounded venter. These features characterise the species *Colombiceras tobleri* (Jacob and Tobler, 1906); the latter being known as the potential direct descendant of *C. crassicostatum* (see discussion below). This stage is here referred to as the Tobleri adult stage (see also Fig. 3).

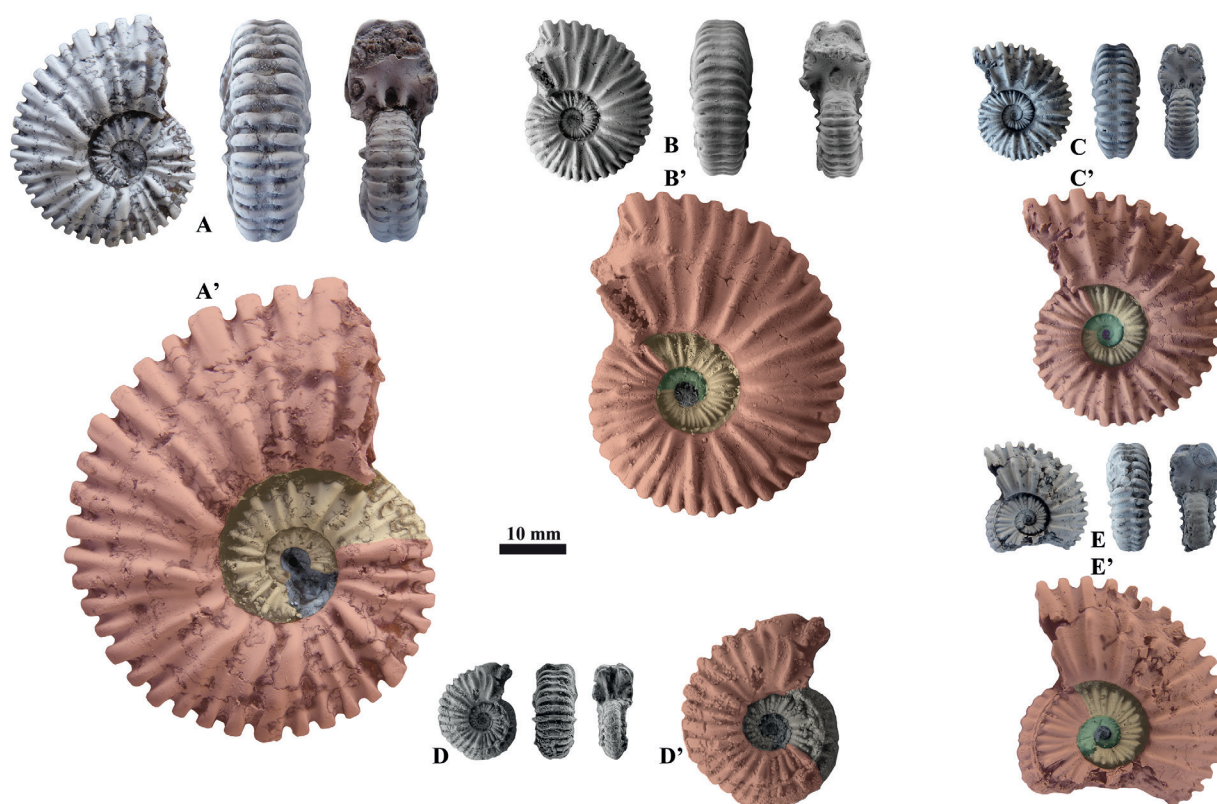


Figure 6. Selected specimens assigned to the transitional forms between the *C. crassicostatum* and *G. gargasense* morphotypes from Carniol (CAR, CRL), and Les Davids (DAV), and illustration of the four ontogenetic stages on enlarged (x2) specimens. (A–A') CAR.12, (B–B') CRL.2, (C–C') CAR.17, (D–D') CRL.10, (E–E') CAR.20. All specimens were coated with ammonium chloride prior to photography. Scale bar is 10 mm. See Fig. 3 for colour legend of the four ontogenetic stages.

4.2.2. *G. gargasense* morphotype

This morphotype represents 60% of the study sample. Its diameter is comprised between 6 and 28 mm (average of ~ 13.9 mm). The conch shape is mainly subvirgacone ($0.27 < U/D < 0.41$; average of 0.35) (Fig. 8), or rarely subdiscocone (e.g. specimens CAR.9, CAR.41, and CRL.9), with a discoidal to extremely discoidal ($0.31 < Ww/D < 0.45$; average of 0.38), strongly compressed ($0.31 < Ww/Wh < 0.45$; average of 0.38), evolute to very evolute coiling ($0.59 < U/Wh < 1.14$; average of 0.87) (Fig. 9).

This morphotype develops the four ontogenetic stages defined in the *Crassicosatum* morphotype but with major modifications of the *Crassicosatum* stage (Fig. 5):

- After the ammonitella, a similar Royerianum stage develops in most of specimens. However, this stage can sometimes be extended compared to the *C. crassicosatum* morphotype (e.g. Fig. 5D, H, N, O, P and Q). In those specimens, the ribbing is smoothed at the end of the stage and they develop a sub-rounded whorl section. Transition with the succeeding stage is more gradual as illustrated by the progressive appearance of the secondary ribs.
- The Gargasense juvenile stage appears between $ca. 2.9 < D < ca. 5.95$ mm. As a result, it appears slightly delayed and extended compared to the *C. crassicosatum* morphotype. The whorl section becomes distinctly subquadrate with flattened flanks and venter. The maximum thickness of the whorl

section is reached at the umbilical margin. Primary ribs are attenuated and tubercles at the point of furcation are mostly lacking or changed as slight thickenings (e.g. Fig. 5D). The ventral furrow is in most cases better expressed and can form a discrete smooth ventral band (e.g. Fig. 5O).

- The Gargasense juvenile stage progressively gives way to a modified *Crassicosatum* sub-adult stage consisting of finely ribbed, more or less regular alternation of simple, rarely bifurcate, primary ribs and generally one or secondaries starting at variable heights. All ribs and branches are sharp-edged and less cuneiform on the venter with progressively attenuated ventral furrow until its disappearance in larger specimens (such as in the lectotype, see Fig. 2B). This stage maintains a subrectangular whorl section with a flattened venter.
- Adult individuals of the *G. gargasense* morphotype are scarce in the literature and the presence of a Tobleri stage remains unclear.

Note that few specimens are transitional between the *C. crassicosatum* and *G. gargasense* morphotypes regarding conch shape and ribbing (see Fig. 6). These specimens maintain the compressed, subrectangular whorl section as those seen in *G. gargasense* sub-adult forms but develop a ribbing that better conform to the *Crassicosatum* stage.

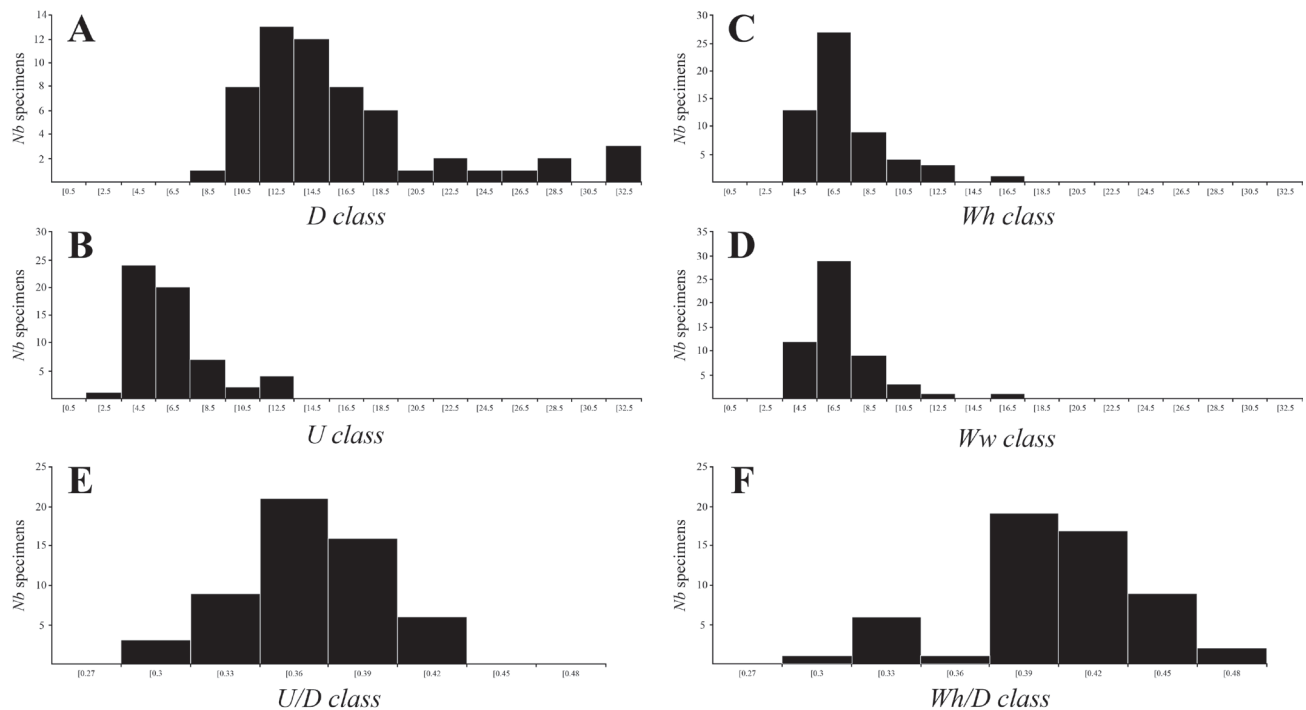


Figure 7. Frequency histograms of the conch shape parameters (*D*, *U*, *Wh*, *Ww*) and ratios (*U/D*, *Wh/D*) of the *C. crassicosatum* - *G. gargasense* plexus from the Aptian-type area.

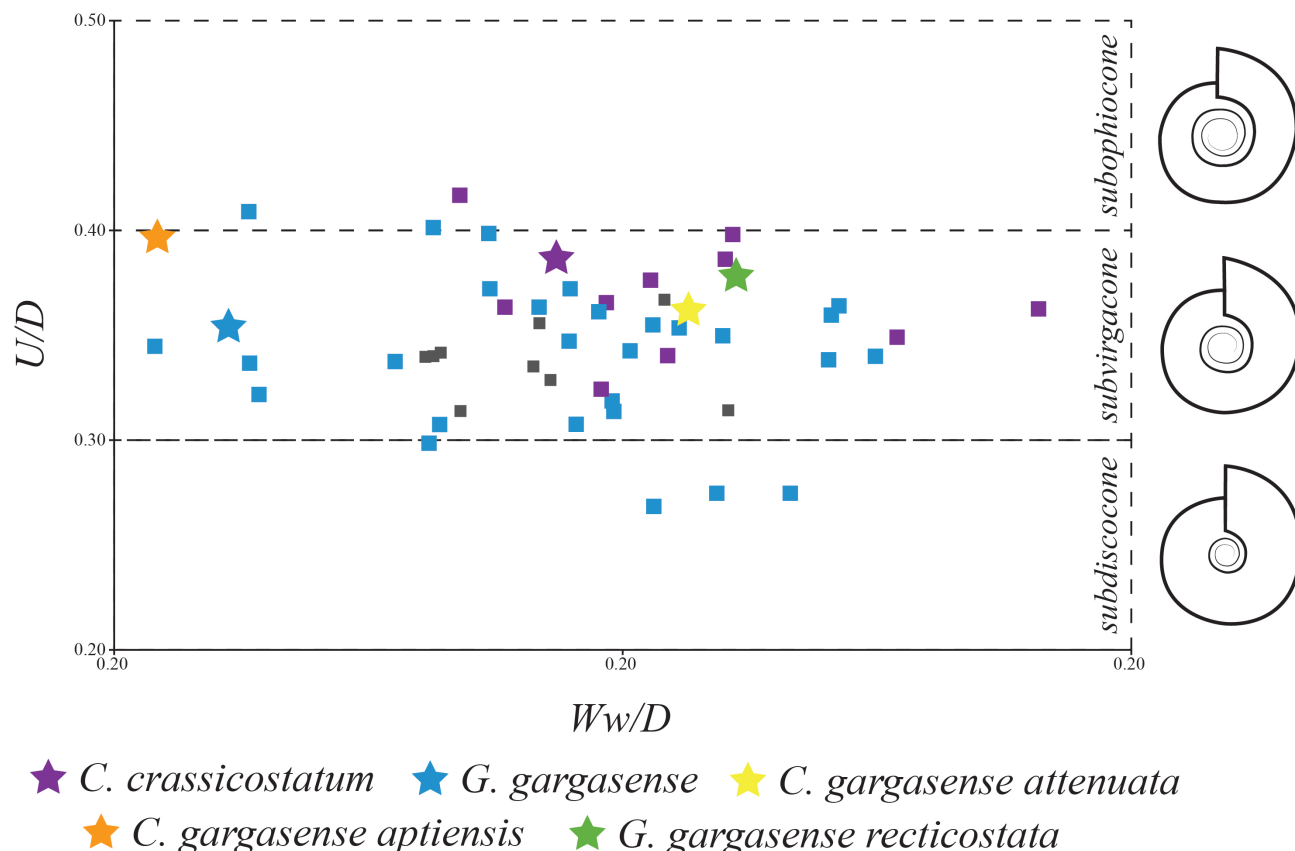


Figure 8. Relationships between the U/D and Ww/U ratios for describing the conch shape of the *C. crassicosatum* (blue squares) and *G. gargasense* (green squares) morphotypes, and the transitional forms (grey squares), from Carniol and Les Davids, as well as those of the *C. crassicosatum*, *G. gargasense*, *G. gargasense* var. *aptiensis*, *G. gargasense* var. *recticostata*, and *G. gargasense* var. *attenuata* type specimens.

4.2.3. Biometric investigation

Although the distinction of two morphotypes can be a priori performed, the box plots of the four conch shape ratios (Ww/D , Ww/H , U/Wh and U/D – Fig. 9A–D) show that the two morphological groups do not differ significantly as indicated by their overlap. There is no major shell difference since the frequency histograms of the conch shape parameters D , U , Wh and Ww (Fig. 7A–D), as well as those of the ratios U/D and Ww/D (Fig. 7E and F) exhibit normal distributions. Finally, the investigation on the dimensional parameter growth of the shell (U , Wh and Ww in function of D – Fig. 10A–C; and Ww in function of Wh – Fig. 10D) of the seventy-three specimens show homogeneous scattering around the mean curve (with R^2 very high > 0.91), with a linear, isometric and harmonic growth which corresponds to the relationship $Y=bD$. Dense and homogenous scatter plots of the shell ratios U/D and Ww/Wh in function of D (Fig. 10E and F) are observed. Regarding the costal density on the venter, the values are comprised between 15 and 32 ventral ribs on the last preserved whorls of the studied specimens (including the types), except for the holotype of *G. gargasense* var. *attenuata* that reaches 52 ventral ribs and thus strongly deviates from the point cloud (Fig. 10G).

Taken together, the biometric investigation gives evidence of the sample homogeneity (except for *G. gargasense attenuata* regarding its ribbing), and the existence of a continuum in conch shapes. As such, the hypothesis of conch shape covariation proposed by Dutour (2005) for explaining the two morphotypes is unlikely.

4.3. Suture line

D'Orbigny (1841, pl. 59, fig. 3 and 7) provided hand-drawings of the suture lines of both *C. crassicosatum* and *G. gargasense* (here re-illustrated on Fig. 11A–B). The suture line of the *C. crassicosatum*–*G. gargasense* plexus shows the typical features of Cretaceous quinquelobate ammonites *sensu* Korn et al. (2003). The external lobe (E) is bifid with a bipartite median saddle while the adventive one (A) is trifid, more or less symmetrical with a long central branch. Between them, the saddle E/A is high, distinctly, or weakly asymmetrically, bifid. There are two umbilical lobes; the U_2 is bifid while the U_1 is shallow and trifid in both species but less distinct in *C. crassicosatum*. The saddle A/U_2 is asymmetrical and narrower than the E/A one. D'Orbigny does not provided description of the internal (I) lobe.

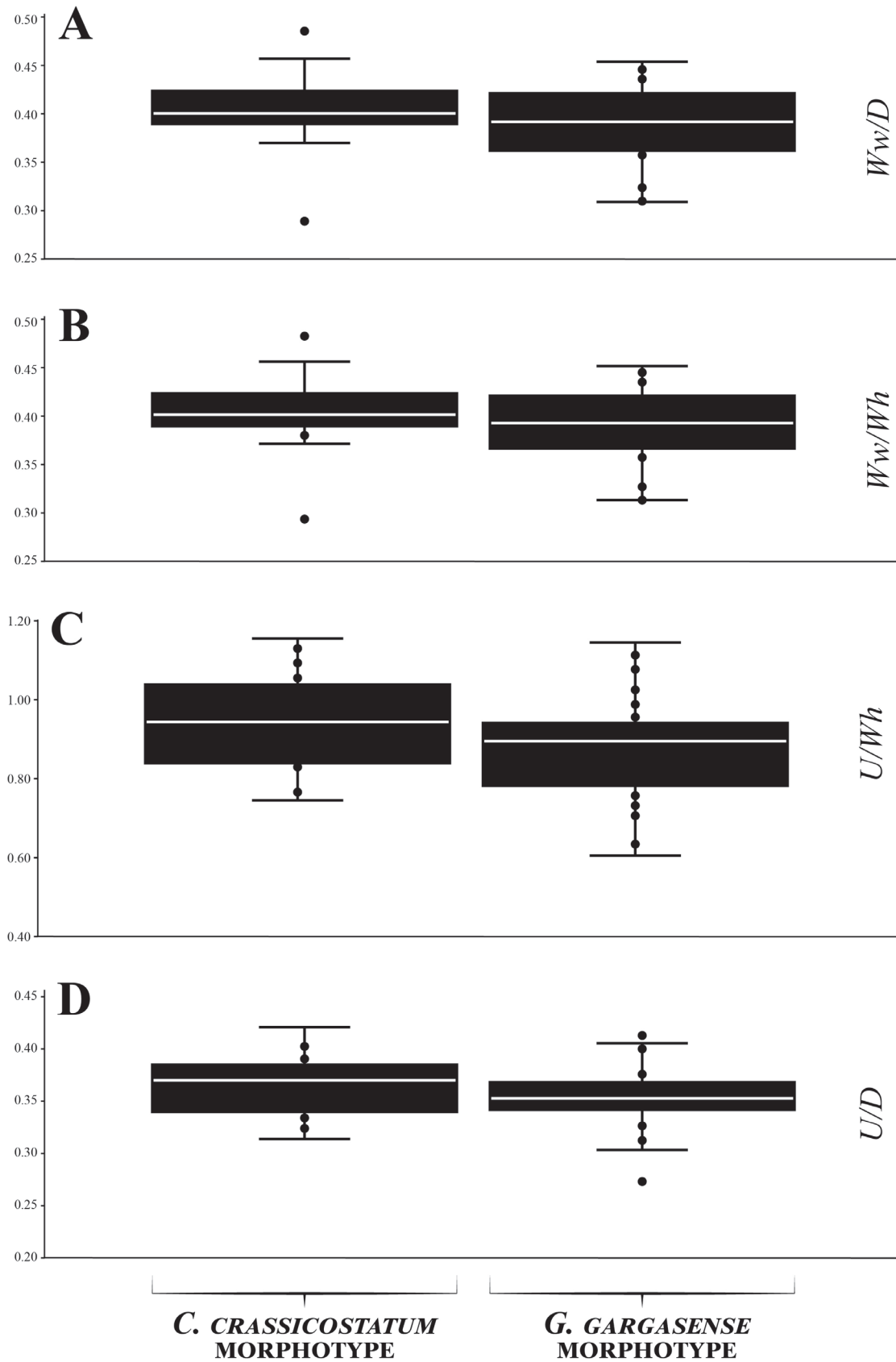


Figure 9. Box plots of shell shape ratios (A) Ww/D , (B) Ww/Wh , (C) U/Wh , and (D) U/D for the *C. crassicosatus* and *G. gargasensis* morphotypes. The boxes represent the interquartile range (*i.e.* the values ranging from the first to third quartiles, which are the 25th and 75th percentiles, respectively), the median value (white line), the extended interquartile range (whiskers) and the eventual outliers (isolated black dots).

According to the revision of Bogdanova and Mikhailova (2016), it is deep, narrow and bifid with almost parallel serrated sides. The saddle U1/I is narrow bifid with a deep secondary lobe. Despite being observed on a limited number of specimens, these features do not appear to vary on the material at our disposal (Fig. 11C–F).

4.4. Pathology

In the material at our disposal, at least three specimens show pathologies (= 4% of the study sample):

- Specimen CAR.29 (Fig. 4H) shows a slight anomalous rib branching on the venter.
- Specimen DAV.3 (Fig. 5R) has a slightly deformed shell with a chaotic sculpture with respect to the ontogenetic stages defined above. This refers to the chaotica forma-type pathology *sensu* Keupp (1977) and could either be related to endo and exogenic causes (Hengsbach, 1996).
- Specimen CRL.10 (Fig. 6D) shows a conspicuous, temporary bulbous swelling of the external part of the venter. It corresponds to the inflata forma-type pathology as defined by Keupp (1976) and related to parasitism (Hengsbach, 1996).

5. Discussion

5.1. Species level

Our biometric investigation reveals a continuum of conch shapes between the *C. crassicosatum* and *G. gargasense* morphotypes. The variability observed mainly relates to accelerated/decelerated ornamental sequence. The *C. crassicosatum* morphotype develops earlier the Crassicosatum stage while the *G. gargasense* morphotype retains ribbing and conch shape of the Gargasense stage throughout most of the preserved sub-adult whorls. The variable duration of the ornamental stages accounted for the age-old taxonomic distinction between the *C. crassicosatum* and *G. gargasense* morphotypes. As such, *C. crassicosatum* and *G. gargasense* might be interpreted, respectively, as tachymorphic and bradymorphic forms *sensu* Besnozov and Mitta (1995) of a single palaeobiological entity. The lectotypes of *C. crassicosatum* and *G. gargasense* correspond to extreme representatives of the variation series (= typical tachy- and bradymorph as defined by Besnozov and Mitta, 1995). The two species can be, therefore, considered as synonym.

We thereafter retain *C. crassicosatum* as the senior subjective synonym of *G. gargasense* and its subspecies *aptiensis* and *recticostata*. In the lack of date priority between the two taxa, this synonymy is supported by the long quoting history of *C. crassicosatum* in the literature and its historical use as a zonal index of the Aptian in the Caucasus (Renngarten, 1951; Drushchits and Mikhailova,

1979; Drushchits *et al.*, 1985, 1986), Lesser Balkhan and Kyurendag (Bogdanova and Mikhailova, 2016 and references therein) and Vocontian through as well (Dauphin, 2002). Consequently, the genus *Gargasicerias* is here considered as junior subjective synonym of *Colombiceras* according to the ICZN's rules. Revision of the synonymy of *C. crassicosatum* is given in appendix 1. As herein understood, the species occurs in the Mediterranean-Caucasian Subrealm of the Tethyan Realm *sensu* Westermann (2000) and remains doubtful in Japan and the Caribbean domain.

Note that the taxon *G. gargasense* var. *attenuata* can be easily distinguished from the *C. crassicosatum* type population by its high costal density. Its generic assignment remains unclear and the taxon is provisionally kept in *Colombiceras* pending further refinements.

5.2. Genus level

5.2.1. Specific content

Based on the present results, the genus *Colombiceras* is here restricted to the following taxa:

- *C. crassicosatum* (and its junior subjective synonyms *G. gargasense*, *G. gargasense* var. *aptiensis*, and *G. gargasense* var. *recticostata*).
- *C. tobleri* and the closely allied, virtually coexisting taxa *Acanthohoplites tobleri* var. *discoidalis* Sinzow, 1908, *Acanthohoplites subpeltoceroideus* Sinzow, 1908, *Acanthohoplites quadratus* Kazansky, 1914, *Acanthohoplites rectangularis* Kazansky, 1914, *Acanthohoplites sinzowi* Kazansky, 1914 and *Acanthohoplites subtobleri* Kazansky, 1914, *Colombiceras lecollei* Cantú-Chapa, 1963, *Colombiceras medellini* Cantú-Chapa, 1963, *Colombiceras bogdanovae* (Tovbina, 1982), *Colombiceras korotkovi* Bogdanova and Mikhailova, 2016 and doubtfully *Acanthohoplites subtobleri batinensis* Dimitrova, 1967. By comparison with the type species, the gathers of *C. tobleri* group taxa with Crassicosatum-like morphotype with earlier acquisition of a rounded whorl section, reduced Gargasense and Crassicosatum stages in the inner whorls, and a long Tobleri adult stage on the outer whorl (compare with Fig. 12A). The species is of younger age since it is reported in the middle to upper part of the *E. martini* Zone in the Mediterranean-Caucasian settings (Dauphin, 2002; Lubert *et al.*, 2017). A direct phyletic relationship between *C. crassicosatum* and *C. tobleri* is likely and may correspond to a peramorphic evolution that deserves further investigation.
- *C. spathi* Humphrey, 1949 is based on a moderate-sized, calcareous mold from the Aptian of La Peña Formation of northern Mexico (see illustration of the holotype in Barragán *et al.*, 2016, Fig. 3) (Fig. 12B). The holotype lacks inner whorls,

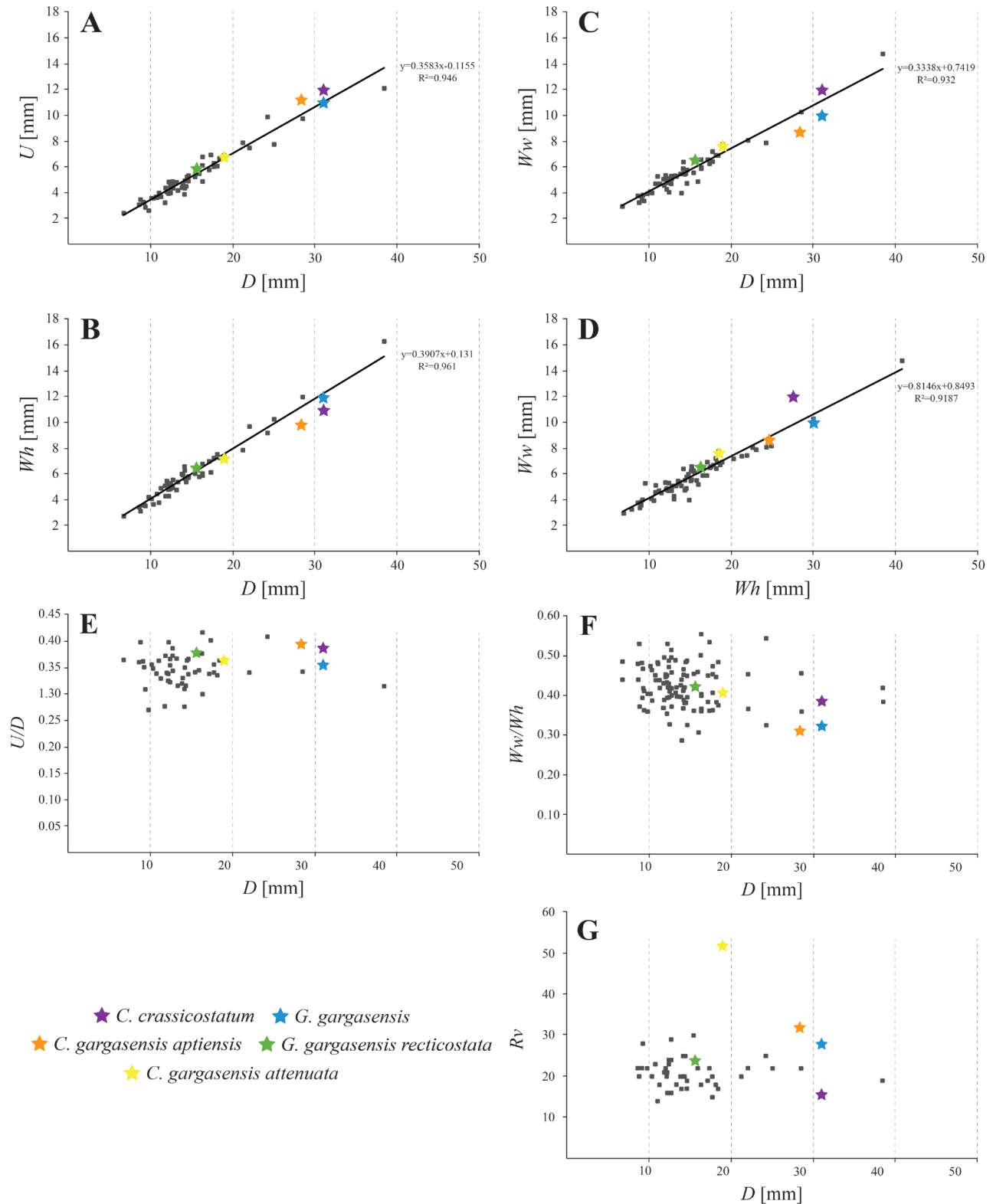


Figure 10. Bivariate diagrams of the conch parameters (A) U , (B) Wh , (C) Ww , and (G) Rv in function of D ; (D) Ww in function of Wh ; and the ratios (E) U/D , and (F) Ww/Wh in function of D for the 73 specimens of the *C. crassicosatus* – *G. gargasense* plexus from the Aptian-type area.

and this prevents further comparison with *C. crassicostatum*. Subsequent illustrations of northern Mexican colombiceratids assigned to *C. spathi* suggest that the species is closely related to the group of *C. tobleri* (compare for example Barragán et al., 2016, fig. 1D and H and the typological taxa *Colombiceras subtobleri* and *C. quadratus*).

- *C. formosum* Sharikadze, Kakabadze and Hoedemaeker, 2004 is close to *C. crassicostatum* but develops a sub-rectangular whorl section in the adult with a flattened venter (see holotype in Fig. 12C). Its juvenile whorls are densely ribbed and then develop a Crassicostatum-like stage. It gives way to a short terminal stage on the outer whorls consisting of slightly prorsiradiate primary ribs and secondaries.
- *C. satowi* Shimizu, 1931 from the Aptian of Japan has been recently regarded as a nomen dubium by Futakami (2018) since the holotype of this species “consists of an extremely small shell (D = 17 mm) which does not allow a sufficient comparison of morphological features with other species of the genus *Colombiceras*” (see holotype in Fig. 12D). Japanese colombiceratids figured by Futakami (2018) have been referred to *C. spathi*. From our point of view, the variability of the Japanese colombiceratids conform to those documented in *C.*

crassicostatum, with *gargasense* (Futakami, 2018, fig. 4 D–E, M–N, O; fig. 7C) and *crassicostatum* morphotypes (the others ones illustrated by Futakami, 2018). They similarly develop a moderate adult size (ca. 70 mm according to Futakami, 2018), sub-rectangular to sub-elliptical whorl section with a flattened venter. The affinities of this material with *C. satowi* and *C. crassicostatum* remains to be investigated.

- and doubtfully *C. attenuatum*.

Other taxa referred to as *Colombiceras* in the Fossilium Catalogus by Klein and Bogdanova (2013) belong to diverse acanthohipolitid forms which deserve further investigation:

- *C. causicum* (Luppov, 1949) and the allied taxon *C. ellissoae* Kvantaliani, 1971 develop a short juvenile stage with strong ribs giving way to a Crassicostatum-like stage lacking tubercles. The whorl section is distinctly sub-rounded and lacks a ventral furrow. The two taxa are closely related, if not similar, to juveniles (or ?microconchs) of *Egoianiceras angulatum* (Egoian, 1969), the type species of *Egoianiceras* Avram, 1974 (compare for example with Avram, 1974, pl. 1, figs. 3, 4).
- *C. causicum tyrrhenicum* Wiedmann and Dieni, 1968 is based on a small-sized acanthohipolitid fragment marked by a robust ornamentation with

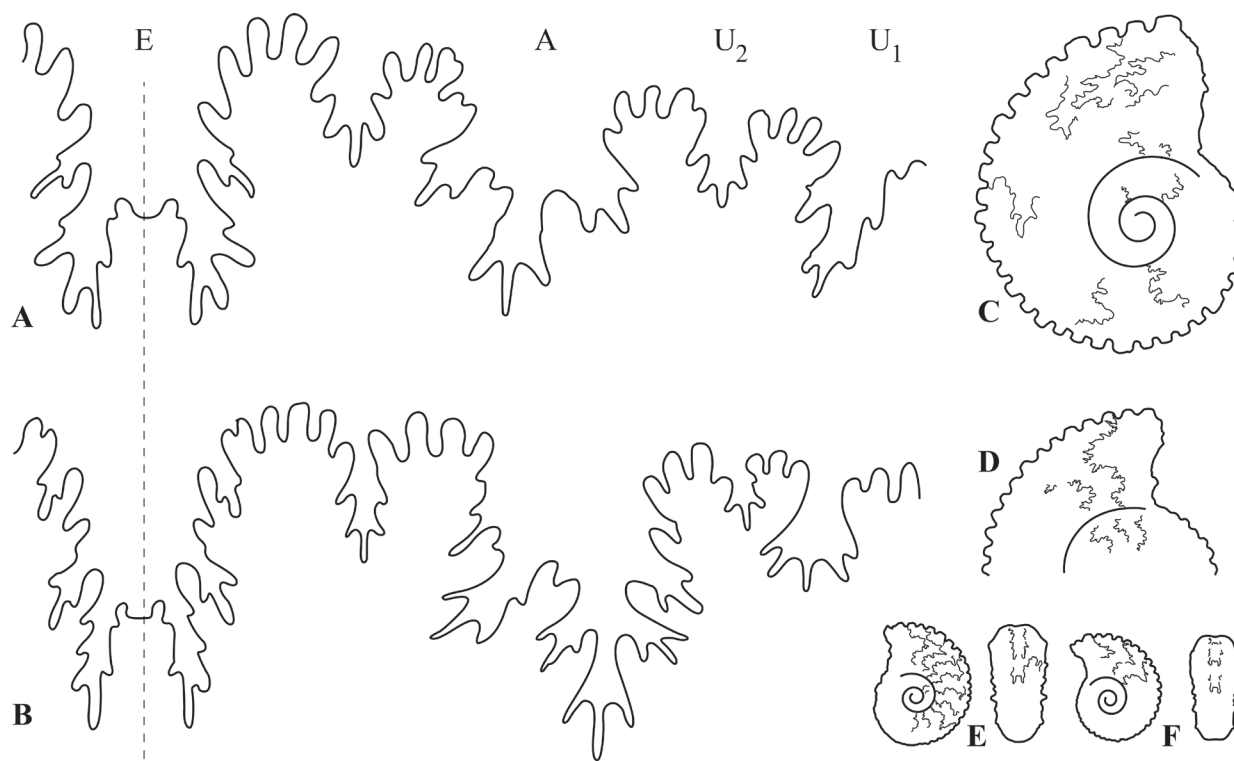


Figure 11. Comparison between the original suture lines of (A) *C. crassicostatum* and (B) *G. gargasense* hand-drawn by d'Orbigny (1841) and selected specimens from the Aptian-type area (C) CAR.12, (D) CRL.1, (E) CAR.29, (F) CAR.28. Not to scale.

flat-topped ribs and prominent tubercles at the point of furcation of the primary rib. These features differ from those observed in typical *C. caucasicum*. Considering that its complete ontogeny remains unknown, *C. caucasicum tyrrhenicum* should be considered as a nomen dubium pending new collection at its type locality (*i.e.* Orosei, Sardinia).

- *C. robustum* Scott, 1940 merely represents a juvenile and/or microconch of the Californian "*Hypacanthoplites*" *sensu* Young (1974).
- *C. brumale* Stoyanow, 1949 is closely allied to *Immunitoceras immunitum* Stoyanow, 1949 that typifies the genus *Immunitoceras* Stoyanow, 1949.
- The taxonomy of *C. riedeli* Cantú-Chapa, 1963 remains unclear since its holotype lacks inner whorls.
- *C. strangulatum* Collignon, 1962 may represent a juvenile form of the "*Acanthoplites*" *sensu* Collignon (1962).
- *C. waageni* Spath, 1930 is based on a hand-drawing illustration. The species share general features of the adult *Colombiceras* (*i.e.* Tobleri stage). However, its juvenile morphology remains unknown and prevents further discussion. Validity of the species can only be established after re-examination of the type specimen.

The species previously assigned to the genus *Gargasicerias* (see Klein and Bogdanova, 2013) can be easily distinguished from *C. crassicosatum* by their morphological and ornamental features, age and

palaeobiogeographic distribution. The following species deserve further investigations:

- *Gargasicerias pulcher* (Riedel, 1938), *G. acutecostatum* (Riedel, 1938), *G. adkinsi* (Humphrey, 1949) *G. subpulcher* Sharikadze, Kakabadze and Hoedemaeker, 2004 and probably *G. interiectum* (Riedel, 1938) form a homogenous endemic group of the Caribbean domain (see discussion in Ovando-Figueroa *et al.*, 2015). These species closely resemble *Hypacanthoplites? rursiradiatus* Humphrey, 1949 which typify the genus *Penaceras* Cantú-Chapa, 1963.
- The subspecies *Gargasicerias lautum lautum* (Glazunova, 1953) and *Gargasicerias lautum laxa* (Glazunova, 1953), originating from the *P. melchioris* Zone *sensu lato*, are based on a very limited number of specimens from the Mangyshlak (Glazunova, 1953), Bulgaria (Dimitrova, 1967) and southeastern Spain (Moreno-Bedmar *et al.*, 2008). They show close affinities with the juveniles (or ?microconchs) of the type species *Egoianiceras angulatum* but with a higher rib density (compare with Egoian, 1969, pl. XII, fig. 8 and 9).
- *Gargasicerias (?) juanwyatti* Etayo-Serna, 1979 is based on a lower Albian micromorphic acanthohoplite form. Its closest affinities are found with the inner whorls of the species *Juandurhamiceras juandurhami* Etayo-Serna, 1979 of same age and origin (Etayo-Serna, 1979, p. 108).

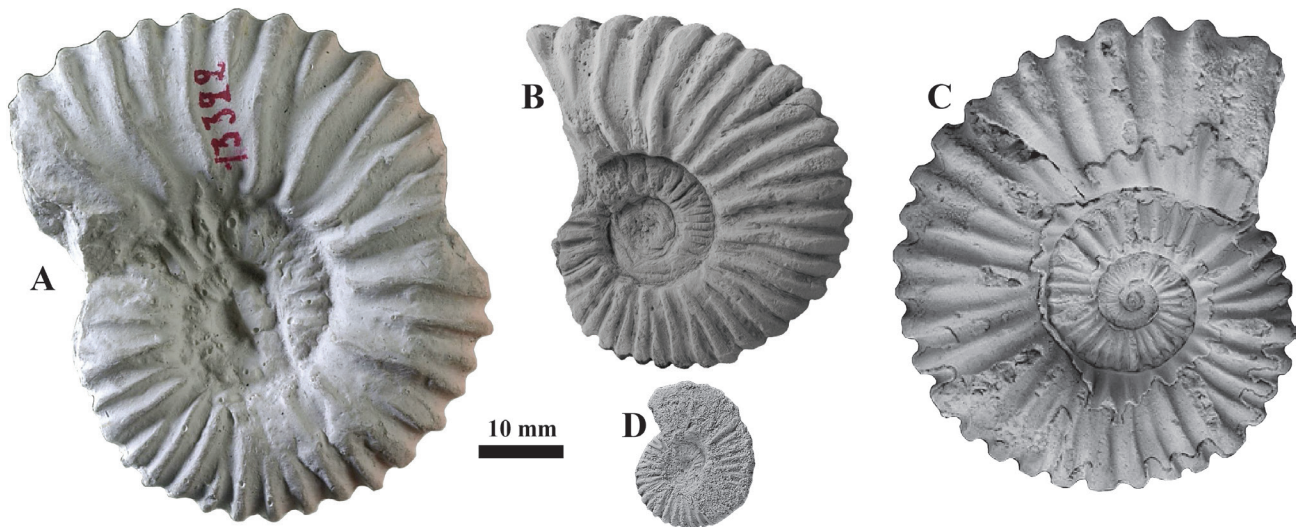


Figure 12. Re-illustration of (A) syntype of *Colombiceras tobleri* (Jacob and Tobler, 1906) (plaster cast FSL.13322 of the Faculté des Sciences de Lyon); (B) holotype UMMP.24298 (University of Michigan Museum of Paleontology) of *Colombiceras spathi* Humphrey, 1949 (modified from Barragán *et al.*, 2016); (C) holotype RGM.283011 (Nationaal Natuurhistorisch Museum, Leyde) of *C. formosum* Sharikadze, Kakabadze and Hoedemaeker, 2004 (modified from Sharikadze *et al.*, 2004), and (D) holotype IGPS.35387 (Tohoku University Museum, Sendai, Miyagi) of *Colombiceras satowi* Shimizu, 1931 (modified from Futakami, 2018). Scale bar 10 mm.

5.2.2. Subgenus

In the Fossilium Catalogus, Klein and Bogdanova (2013) identified two *Colombiceras* subgenera – i.e. *Colombiceras* and *Egoianiceras* – that have been considered as antidimorphs by Avram (1974). The subgenus *Egoianiceras* groups the species *Colombiceras* (*Egoianiceras*) *multicostatum* Avram, 1974 and *Colombiceras* (*Egoianiceras*) *angulatum* Egoian, 1969; the type species. The *Egoianiceras* relatives differ from *Colombiceras* by their rounded juvenile whorl section and the lack of ventral furrow. In those taxa, the Gargasense and Crassicostatum sub-adult stages are reduced and attenuated while a Tobleri stage extends over most of the ontogeny. As a result, these features better compare to late *Colombiceras* of the group of *C. tobleri*. However, the *Egoianiceras* relatives develop a more densely ribbed Tobleri stage ($R_v > 30$ in *C. (E.) multicostatum*). Moreover, the *Egoianiceras* relatives are known to flourish in the middle to upper part of the upper Aptian. This age is younger than that of *C. crassicostatum* and does not support the Avram's dimorphism hypothesis between the two subgenera. Pending further investigation, *Colombiceras* and *Egoianiceras* can be considered as two distinct valid genera.

5.3. Supra-generic level

In the current state of knowledge, *Procolombiceras* (including *P. antiquus* Sharikadze, 1979 and *P. aptus* Sharikadze, 1979, its type species) from the *D. furcata* Zone of Georgia corresponds to the most primitive Acanthohoplitidae. Its type species can be easily distinguished from *C. crassicostatum* by its douvilleiceratid shell morphology marked by moderately involute coiling with a deep umbilicus, depressed subrounded whorl section with rounded flanks and venter throughout ontogeny. The *P. aptus*–*antiquus* group is known by a limited number of specimens, most of them illustrated by Sharikadze (1979).

Both *Procolombiceras* and *Colombiceras* have been up to date classified in the subfamily Acanthohoplitinae and in the family Parahoplitidae (Klein and Bogdanova, 2013). According to Spath (1931), Casey (1965), Wright et al. (1996) and Dutour (2005), the Acanthohoplitinae have derived from late Deshayesitidae during the *D. furcata* Zone. However, this view has been subsequently challenged by some authors given the lack of intermediate forms and the strong discrepancy in the suture line between deshayesitid and acanthohoplitid ammonites, (e.g. Wiedmann, 1966; Tovbina, 1979; Sharikadze, 2015). Those authors favoured an evolution of the Acanthohoplitinae within the Douvilleiceratidae. This would be supported by similar juvenile ontogenetic stage (i.e. Royerianum stage) and suture line shared by *C. crassicostatum* and the *Prochelonicer*–*Chelonicer* lineage. According to Bogdanova and Mikhailova (2016), the morphogenesis of the suture of the basal *Colombiceras* relatives is similar to that observed in the Douvilleiceratidae over the first

two whorls and subsequently change as the result of the division of the *U2/U3* saddle. As further evidence, typical parahoplitid relatives (*Parahoplites*) markedly postdate the inception of both *Procolombiceras* and *Colombiceras* since they appear in the middle part of the upper Aptian (Casey, 1965; Dauphin, 2002; Bogdanova and Mikhailova, 2016). Ongoing study suggests that the genus *Parahoplites* has merely evolved from late *Epicheloniceras* of the group of *E. buxtorfi* (Jacob and Tobler, 1906) by accelerated hypermorphosis in the sense of Dommergues et al. (1986). As a result, we here considered that both acanthohoplitid and parahoplitid lineages iteratively evolved from the Douvilleiceratidae. The deep morphological and ornamental modifications, combined with deep changes in the suture line, support the separate use of the superfamilies Douvilleiceratoidea, Acanthohoplitoidea and Parahoplitoidea as suggested by Sharikadze (2015).

6. Conclusion

Based on a biometric study conducted on topotype material, we herein consider the Acanthohoplitidae *Colombiceras crassicostatum* and *Gargasicer* *gargasense* as representative of a single palaeopopulation, in which their respective type specimens characterize two extreme ornamental poles, i.e. tachy- versus bradymorph, respectively. Both species are regarded as subjective synonyms and we retain *C. crassicostatum* as the valid name following historical precedence and *Gargasicer* is, therefore, synonymised with *Colombiceras*. Revision of the specific content of both *Colombiceras* and *Gargasicer* genera suggests an overlooked biodiversity in the Acanthohoplitidae that deserves comprehensive taxonomic investigations.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge Christine Balme and Stéphane Legal for their help in obtaining the land access permit DDT/SEM.N.2012/141 from the Parc Naturel Régional du Lubéron. For providing photographs of type specimens or access to the collection in their care, we warmly thank Philippe Loubry (UPMC/MNH, Paris) and Emmanuel Robert (Université Claude Bernard Lyon I). Dr. Cyprien Lanteaume (TOTAL S.A., Pau) and Dr. Anthony J.-B. Tendil (Badley Ashton and Associates Ltd, Horncastle) are thanked for helping the first author on the field. We wish to express our warmest thanks to the Paleontología Mexicana Editor-in-chief Josep A. Moreno-Bedmar (Universidad Nacional Autónoma de México), and the reviewers Gérard Delanoy (Université Nice Sophia Antipolis) and Miguel Company (Universidad de Granada) for their constructive comments on the original manuscript.

References

- Arkell, W.J., Kummel B., Wright, C.W., 1957, Mesozoic Ammonoidea, in Moore, R.C. (Ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology. Part L, Mollusca 4, Cephalopoda, Ammonoidea: New York and Lawrence, The Geological Society of America and The University of Kansas Press, 80–437 pp.
- Avram, E., 1974, *Egoianiceras* nouveau sous-genre du genre *Colombiceras* Spath, 1923 (Ammonitina): Institutul Geologic București, Dări de Seamă ale ședințelor, 60(3), 3–10.
- Barragán, R., Moreno-Bedmar, J.A., González-Arreola, C., 2016, Aptian ammonites from Mazapil, Zacatecas State (north-central Mexico) studied by BURCKHARDT in 1906: A revision: Carnets de Geologie, 16(14), 355–367.
- Beznosov, N.V., Mitta, V.V., 1995, Polymorphism in the Jurassic ammonoids: Paleontological Journal, 29, 46–57.
- Bogdanova, T.N., Mikhailova, I., 2007, Ammonoidea of the Middle Aptian (Biodiversity and Evolution), in Pereshova, E.M. (Ed.), The Cretaceous System in Russia and neighbouring States: problems of stratigraphy and palaeogeography: Saratov, Saratov Chernyshevsky State University, 36–62.
- Bogdanova, T.N., Mikhailova, I.A., 2016, Middle Aptian biostratigraphy and ammonoids of the Northern Caucasus and Transcaspiia: Paleontological Journal, 50, 725–933.
- Bronn, H.G., 1852, Lethaea Geognostica. Zweiter Band 3. Meso-Lethaea. V. Theil. Vierte Periode. Kreide-Gebirge. Cephalopoda Tetrabranchia, 316–337.
- Bulot, L.G., 2010, Appendix: Systematic paleontology of Aptian and Albian ammonites from southwest Iran, in Vincent, B., van Buchem, F.S.P., Bulot, L.G., Immenhauser, A., Caron, M., Baghbani, D., Huc, A.Y. (Eds.), Carbon-isotope stratigraphy, biostratigraphy and organic matter distribution in the Aptian – Lower Albian successions of southwest Iran (Dariyan and Kazhdumi formations): GeoArabia Special Publication, 4, 167–197.
- Cantú-Chapa, A., 1963, Étude biostratigraphique des ammonites du centre et de l'est du Mexique (Jurassique supérieur et Crétacé): Mémoire de la Société Géologique de France. Nouvelle Série 42, 99, 102 pp.
- Casey, R., 1954, New genera and subgenera of lower Cretaceous ammonites: Journal of the Washington Academy of Science, 44, 106–115.
- Casey, R., 1965, A monograph of the Ammonoidea of the Lower Greensand, part VI: Palaeontographical Society, 399–546.
- Collignon, M., 1962, Atlas des fossiles caractéristiques de Madagascar (Ammonites). Fascicule IX. (Aptien): Service Géologique de Madagascar, Tananarive, pl. CCXV–CCXLI.
- Conte, G., 1989, Fossiles du plateau d'Albion: Les Alpes de Lumière, 99, 1–72.
- Dauphin, L., 2002, Litho-, bio-, et chronostratigraphie comparées dans le Bassin Vocontien à l'Aptien: France, Université de Lille, Ph.D. thesis, 451 pp.
- De Baets, K., Bert, D., Hoffmann, R., Monnet, C., Yacobucci, M.M., Klug, C., 2015, Ammonoid intraspecific variability, in Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. (Eds.), Ammonoid Paleobiology: From Anatomy to Ecology: Topics in Geobiology, 43, 359–426.
- Dimitrova, N., 1967, Fosilite na Bulgariya. IV. Dolna Kreda–Glavonogi (Fossils of Bulgaria. IV. Lower Cretaceous Cephalopoda (Nautiloidea and Ammonoidea): Bulgarian Academy of Sciences, 424 pp.
- Dommergues, J.-L., David, B., Marchand, D., 1986, Les relations ontogénèse-phylogénèse: applications paléontologiques: Géobios, 19, 335–356.
- Drushchits, V.V., Mikhailova, I.A., 1979, The Aptian Stage and its zonal division: Izvestiya Akademii nauk SSSR, Seriya Geologicheskaya, 4, 47–62 (in Russian).
- Drushchits, V.V., Mikhailova, I.A., Tkachuk, G.A., 1985, Stratigraphy of the Lower Cretaceous deposits of the Northern Caucasus and Ciscaucasia, in Nizhnii mel yuga SSSR (Lower Cretaceous of the Southern USSR), Nauka, 26–70 (in Russian).
- Drushchits, V.V., Mikhailova, I.A., Tkachuk, G.A., 1986, Caucasus: Lower series: Central part of the northern slope of the Caucasus, in Stratigrafiya SSSR. Melovaya sistema (Stratigraphy of the USSR: Cretaceous System): Nauka, Moscow, 152–160 (in Russian).
- Dutour, Y., 2005, Biostratigraphie, évolution et renouvellements des ammonites de l'Aptien supérieur (Gargasien) du bassin vocontien (Sud-Est de la France): France, University Claude Bernard–Lyon 1, Ph.D. thesis, 302 pp.
- Egoian, V.L., 1969, Ammonites from the Clansayan of the Western Caucasus: Trudy Krasnodarskogo Filiala Vsesojuznogo Neftgazovogo NauchnoIssledovatel'skogo Instituta, 19, 126–317 (in Russian).
- Eristavi, M.C., 1961, Aptian and Albian ammonites of the north Caucasus: Trudy Geologicheskogo Instituta Akademia Nauk Gruzinskoi SSR, 12, 41–77 (in Russian).
- Etayo-Serna, F., 1979, Zonation of the Cretaceous of central Columbia by Ammonites: Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas, 2, 1–186.
- Frau, C., Pictet, A., Spangenberg, J., Masse, J.-P., Tendil, A.J.B.T., Lanteaume, C., 2017, New insights on the age of the post-Urgonian marly cover of the Apt region (Vaucluse, SE France) and its implications on the demise of the North Provence carbonate platform: Sedimentary Geology, 359, 44–61.
- Futakami, M., 2018, Aptian ammonite fauna from the Yezo Group of the Urakawa area in Hokkaido, Japan: Cretaceous Research, 89, 224–234.
- Garcia, R., Moreno-Bedmar, J.A., Araguz, S., 2007, Noves dades dels ammonits de l'Aptià del Massís del Garraf (Barcelona): Batalleria, 13, 47–52.
- Gauthier, H., Busnardo, R., Combemorel, R., Delanoy, G., Fischer, J.-C., Guerin-Franiatte, F., Joly, B., Kennedy, W.J., Sornay, J., Tintant, H., 2006, Révision critique de la Paléontologie Française d'Alcide d'Orbigny, Volume IV, in Fischer, J.C. (Ed.), Céphalopodes Crétacés: Leiden, Backhuys Publisher, 292 pp.
- Glazunova, A.E., 1953, Ammonites of the Aptian and Albian of Kopet-Dagh, Lesser and Great Balkhan and Mangyshlak: Moscow, Gosgeolizdat, 156 pp. (in Russian).
- Hengsbach, R., 1996, Ammonoid pathology, in Landman, N.H., Tanabe, K., Davis, R.A. (Eds.), Ammonoid Paleobiology: New York, Plenum Press, 581–605.
- Humphrey, W.E., 1949, Geology of the Sierra de los Muertos area, Mexico: Bulletin of the Geological Society of America, 60, 89–176.
- Jacob, C., 1907, Études paléontologiques et stratigraphiques sur la partie moyenne des terrains crétacé dans les Alpes Françaises et les régions voisines: Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble, 8, 280–590.
- Jacob, C., Tobler, A., 1906, Étude stratigraphique et paléontologique du Gault de la vallée de la Engelberger Aa (Alpes calcaires suisses, environs du Lac des Quatre Cantons): Mémoire de la Société Paléontologique de Suisse, 33, 3–26.
- Joly, B., Delamette, M., 2008, Les Phylloceratoidea (Ammonoidea) aptiens et albiens du bassin vocontien (Sud-Est de la France): Carnets de Géologie/Notebooks on Geology, Mémoire 2008/04 (CG2008_M04), 1–60.
- Kazansky, P.A., 1914, Description d'une collection des céphalopodes des terrains Crétacés du Daghestan: Izvestiya Tomskogo Tekhnicheskogo Instituta, 32, 1–127 (In Russian).
- Keupp, H., 1976, Neue Beispiele für den Regenerationsmechanismus bei verletzten und kranken Ammoniten: Paläontologische Zeitschrift, 50, 70–77.
- Keupp, H., 1977, Paläopathologische Normen bei Amaltheiden (Ammonoidea) des Fränkischen Lias: Jahrbuch der Coburger Landesstiftung, 263–280.
- Khalilov, A.G., 1988, Nautiloids and ammonites, in Alizadeh, A. (Ed.), Melovaya fauna Azerbaidzhana (Cretaceous fauna of Azerbaijan): Azerbaijan, Elm, 330–389 pp. (In Russian).

- Kilian, W., 1887, Système Crétacé : Annuaire Géologique Universel, 3, 299–356.
- Kilian, W., 1910, Valendis–Stufe; Hauterive–Stufe; Barrême Stufe; Apt–Stufe sowie 4 Ansichtstafeln und 8 Fossilstafeln. In Frech, F. (Ed.), Handbuch der Erdgeschichte, II. Teil: Das Mesozoicum. 3. Band. Kreide. Erste Abteilung: Unterkreide (Palaeocretacicum). Zweite Lieferung: Das bathyale Palaeocretacicum im Südöstlichen Frankreich: *Letha Geognostica*, 169–287 p.
- Kilian, W., 1913, Erste Abtei lung: Unterkreide (Palaeocretacicum). Lieferung 2: Das bathyale Palaeocretacicum im stidostlichen Frankreich; Apt–Stufe; Urgonfacies im stidostlichen Frankreich, In Frech, F. (Ed.), *Das Mesozoicum*, Band 3 (Kreide) (1907–1913): Schweizerbart, Stuttgart, *Letha Geognostica*, 11, 289–398 pp.
- Kilian, W., Reboul, P., 1915, Contribution à l'étude des faunes paléocrétacées du Sud-Est de la France. I. La faune de l'Aptien inférieur des environs de Montélimar (Drôme). II. Sur quelques ammonites de l'Hauterivien de la Bégude (Basses Alpes): Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France, 288 pp.
- Klein, J., Bogdanova, T., 2013, Fossilium Catalogus I: Animalia. Lower Cretaceous Ammonites VI In Douvilleiceratoidea and Deshayesitoidea: Weikersheim, Backhuys Publishers, Margraf Publishers, 299 pp.
- Korn, D., Ebbinghausen, V., Bockwinkel, J., Klug, C., 2003, The A-mode sutural ontogeny in prolecanitid ammonites: *Palaeontology*, 46, 1123–1132.
- Kullmann, J., Wiedmann, J., 1970, Significance of sutures in phylogeny of Ammonoidea: Paleontological Contributions of the University of Kansas, 47, 1–32.
- Kullmann, J., Wiedmann, J., 1982, Bedeutung der Rekapitulationsentwicklung in der Paläontologie: Verhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg (NF), 25, 71–92.
- Kvantaliani, I.V., 1971, The Aptian ammonites of Abkhazia: Georgian Polytechnical Institute, Tbilisi. 175 pp. (In Russian).
- Latil, J.-L., 2011, Early Albian ammonites from Central Tunisia and adjacent areas of Algeria: *Revue de Paléobiologie*, 30, 321–429.
- Leenhardt, F., 1883, Étude géologique de la région du Mont-Ventoux: France, Université de Montpellier, Ph.D thesis, 273 pp.
- Lillo Beviá, J., 1975, Sobre algunos Hoplitidos del Cretácico inferior del sur de Alicante: *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Geología)*, 73, 81–101.
- Luber, T.L., Bulot, L.G., Redfern, J., Frau, C., Arantegui, A., Masrour, M., 2017, A revised ammonoid biostratigraphy for the Aptian of NW Africa: Essaouira-Agadir Basin, Morocco. *Cretaceous Research*, 79, 12–34.
- Luppov, N.P., 1949, Atlas of index forms of the fossil faunas of the USSR: *Gostgeolizdat Moskva and Leningrad*, 328 pp. (In Russian).
- Luppov, N.P., Drushchits, V.V., 1958, Mollusca-Cephalopoda II. Ammonoidea (ceratites and ammonites) and Endocochlia, in Orlov, Y.A. (Ed.), *Fundamentals of Paleontology*, vol. 6: Moskva, Gosudarstvennoe Nauchno-tehnicheskoe Izdatel'stvo Literatury po Geologii i Okhrane Nedr, 360 pp.
- Mallada, L., 1882, Sinopsis paleontológica de España. Cretaceo: *Boletín de la Comisión de la Mapa Geológico de España*, 9, 1–88.
- Martínez, R., 1977, Macrofauna de la Fm. Margas de Lluça (Apt.-Alb.) entre los Ríos Flamisell y Noguera Pallaresa (Prov. Lerida): Universidad Autónoma de Barcelona, Publicaciones de Geología (for 1976), 5, 1–82.
- Martínez, R., 1979, Cefalópodos de la Formación «Margas de Lluça» (Apt.-Alb.) al norte de Pobla de Segur (Prov. de Lérida): *Cuadernos de Geología Ibérica*, 5, 339–351.
- Martínez, R., 1982, Ammonoideos Cretácicos del Prepirineo de la Provincia de Lleida: Universidad Autónoma de Barcelona, Publicaciones de Geología, 17, 1–197.
- Matamalles-Andreu, R., Moreno-Bedmar, J.A., 2016, Revisión de los ammonoideos y nautiloideos del Aptiense del macizo del Garraf (Barcelona) de la colección del Servei del Mapa Geològic de Catalunya (1915-1924): *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 22, 101–124.
- Mikhailova, I.A., 1983, Systematics and phylogeny of Cretaceous Ammonoidea: Moscow, Akademia Nauk CCCP, 280 pp. (In Russian).
- Moreno-Bedmar, J.A., 2007, Bioestratigrafia del Aptiense del macizo del Garraf (NE de la Península Ibérica): *Geogaceta*, 41, 131–134.
- Moreno-Bedmar, J.A., Bulot, L.-G., Company, M., Sandoval, J., Tavera, J.M., 2008, Estudio bioestratigráfico de los ammonites del Aptiense medio de la sección de Aigües (Prebético alicantino, SE de España). Datos preliminares, in Ruiz-Omeñaca, J.I., Piñuela L., García-Ramos, J.C. (Eds.), *Libro de resúmenes: Colunga, XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Museo del Jurásico de Asturias (MUJA) Colunga*, 15-18 de octubre de 2008, 156–157.
- Moreno-Bedmar, J.A., Company, M., Bover-Arnal, T., Salas, R., Delanoy, G., Martínez, R., Grauges, A., 2009, Biostratigraphic characterization by means of ammonoids of the lower Aptian Oceanic Anoxic Event (OAE 1a) in the eastern Iberian Chain (Maestrat Basin, eastern Spain): *Cretaceous Research*, 30, 864–872.
- Moreno-Bedmar, J.A., Company, M., Sandoval, J., Tavera, J.-M., Bover-Arnal, T., Salas, R., Delanoy, G., Maurrasse, F.J.-M.R., Martínez, R., 2012, Lower Aptian ammonite and carbon isotope stratigraphy in the eastern Prebetic Domain (Betic Cordillera, southeastern Spain): *Geologica Acta*, 10, 333–350.
- Moullade, M., 1965, Révision des stratotypes de l'Aptien: Gargas (Vaucluse). Colloque sur le Crétacé inférieur (Lyon, septembre 1963): *Mémoire Bureau Recherches Géologiques et Minières*, 34, 201–214.
- Moullade, M., Tronchetti, G., Balme, C., Kouyoumontzakis, G., 2006, The Gargasian (Middle Aptian) of La Tuilière - St-Saturnin-lès-Apt (area of the Aptian historical stratotype, Vaucluse, SE France): geographic setting and outcrop correlation: *Carnets de Géologie*, Article 2006/01, 7 pp.
- Orbigny, d'A., 1841, Paléontologie Française. Tome premier. Terrains crétacés. Céphalopodes: Masson, Paris, Librairie Victor, 662 pp.
- Ovando-Figueroa, J.R., Moreno-Bedmar, J.A., Chávez-Cabello, G., Minor, K.P., 2015, Lower Aptian ammonites of the Sierra de Parras, Coahuila State, northern Mexico: *Carnets de Géologie*, 15, 1–11.
- Parona, C.F., Bonarelli, G., 1897, Fossili Albiani d'Escagnolles, del Nizzardo e della Liguria Occidentale: *Palaeontographia Italica* (1896), 2, 53–112.
- Peybernès, B., 1976, Le Jurassique et le Crétacé inférieur des Pyrénées Franco-Espagnoles entre la Garonne et la Méditerranée: Toulouse, Université Paul Sabatier, Ph.D. thesis, 458 pp.
- Reboullet S., Szives O., Aguirre-Urreta M. B., Barragán R., Company M., Frau C., Kakabadze M.V., Klein J., Moreno-Bedmar J.A., Lukeneder, A., Pictet, A., Ploch, I., Raisossadat S.N., Vašíček, Z., Baraboshkin, E.J., Vasily M., 2018, Report on the 6th International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the Kilian Group (Vienna, Austria, 20th August 2017): *Cretaceous Research*, 81, 100–110.
- Renngarten, V.P., 1951, Paleontological substantiation of stratigraphy of the Lower Cretaceous of the Greater Caucasus, in *Voprosy litologii i stratigrafii SSSR. Pamyati akademika A.D. Arkhangel'skogo* (Problems of the Lithology and Stratigraphy of the USSR, devoted to the Memory of Academician A.D. Arkhangel'sky): Moscow, Izdatel'stvo Akademiinauk SSSR, 35–66 (In Russian).
- Renz, O., 1982, The Cretaceous ammonites of Venezuela: Switzerland, Birkhauser, 132 pp.
- Riedel, L., 1938, Amonitas del Cretacico inferior de la Cordillera Oriental: *Estudios Geológicos y Paleontológicos sobre la Cordillera Oriental de Colombia*, parte 2, 7–78.
- Roch, E., 1927, Sur quelques Ammonites du Revest, près de Toulon: *Bulletin de la Société géologique de France, série 4* (1926), 287–296.
- Ropolo, P., Conte, G., Moullade, M., Tronchetti, G., Gonnert, R.G., 2008, The Douvilleiceratidae (Ammonoidea) of the Lower Aptian historical stratotype region at Cassis-La Bédoule (SE France): *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle de Nice*, 24, 115–181.
- Salas, R., Moreno, J.A., 2008, Revisió de la geologia i altres treballs complementaris de quatre fulls del MGC25Ma l'àrea del Massís de Garraf. Part I: Estratigrafia dels materials aptians: *Institut Geològic de Catalunya*, 1–41.

- Sarasin, C., 1897, Quelques considérations sur les genres *Hoplites*, *Sonneratia*, *Desmoceras* et *Puzosia*: Bulletin de la Société Géologique de France, Série 3, 25, 760–799.
- Schindewolf, O.H., 1966, Studien zur Stammesgeschichte der Ammoniten. Lieferung VI. Abhandlungen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse, Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz, 8, 643–730.
- Scott, G., 1940, Cephalopods from the Cretaceous Trinity Group of the south-central United States: The University of Texas Publications, 3945, 969–1106.
- Sharikadze, M.Z., 1979, A new genus, *Procolombiceras* of the family Parahoplitidae from the Lower Cretaceous deposits of Georgia: Soobscheniya Akademii nauk Gruzinskoy SSR, 94, 381–384 (In Russian).
- Sharikadze, M.Z., 2015, Aptian ammonites of the Caucasus: Georgia, Tbilisi, Publishing house Universal, 321 pp.
- Sharikadze, M.Z., Kakabadze, M.V., Hoedemacker, P.J., 2004, Aptian and Early Albian Douvilleiceratidae, Acanthohoplitidae and Parahoplitidae of Colombia; Scripta Geologica, 128, 313–514.
- Shimizu, S., 1931, The marine Lower Cretaceous deposits of Japan, with special reference to the ammonites-bearing zones: The Science Reports of the Tohoku Imperial University, Sendai, Japan, Second series (Geology), 15, 1–40.
- Sinzow, I.F., 1908, Untersuchung einiger Ammonitiden aus dem Unteren Gault Mangyschlaks und des Kaukasus: Zapiski Imperatorskogo Saint-Peterburgskogo Mineralogicheskogo Obshchestva (1907), 45, 455–519.
- Spath, L.F., 1922, On Cretaceous Ammonoidea from Angola, collected by Professor J.W. Gregory, D. Sc., F.R.S.: Transactions of the Royal Society of Edinburgh 53, part 1, 91–160.
- Spath, L.F., 1923, On the Ammonite horizons of the Gault and contiguous deposits in Great Britain Geological Survey summary of progress for 1922: Memoirs of the Geological Survey of Great Britain, 139–149.
- Spath, L.F., 1930, On some Ammonoidea from the Lower Greensand: The Annals and Magazine of Natural History, 5, 417–464.
- Spath, L.F., 1931, A monograph of the Ammonoidea of the Gault. Part VIII: Palaeontographical Society (1929), 83, 313–378.
- Stoyanow, A., 1949, Lower Cretaceous stratigraphy in southeastern Arizona: Memoir Geological Society of America, 38, 169 pp.
- Thomel, G., 1980, Ammonites: France, Serre, 227 pp.
- Tovbina, S.Z., 1979, On the systematics and phylogeny of the family Parahoplitidae, in Mesezhnikov, M.S., Kirichkova, A.I. (Eds.), Stratigraphy of the Lower Cretaceous of the oil- and gas-bearing deposits of the USSR: Leningrad, Trudy VNIGRI, 109–122 (In Russian).
- Tovbina, S.Z., 1982, New representatives of the family Parahoplitidae of the Turkmenia: Annual of the All-Union Paleontological Society, 25, 60–79 (In Russian).
- Waitzman, S., 1960, Contribution à l'étude des Ammonites du Crétacé inférieur d'Espagne: Diplôme d'études supérieur des sciences naturelles de l'Université de Paris, 109 pp.
- Westermann, G.E.G., 2000, Biochore classification and nomenclature in paleobiogeography: an attempt at order: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 158, 1–13.
- Wiedmann, J., 1966, Stammesgeschichte und System der posttriadischen Ammonoideen, ein Überblick (2. Teil): Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 127, 13–81.
- Wiedmann, J., Dieni, I., 1968, Die Kreide Sardinien und ihre Cephalopoden: Palaeontographia Italica, 64, 1–171.
- Wright, C.W., Callomon, J. H., Howarth, M.K., 1996, Treatise on Invertebrate Paleontology. Part L, Mollusca 4 (revised), Volume 4: Cretaceous Ammonoidea: Boulder and Lawrence, The Geological Society of America and the University of Kansas, 362 pp.
- Young, K., 1974, Lower Albian and Aptian (Cretaceous) ammonites of Texas: Geoscience and Man, 8, 175–228.

Manuscript received: April 18, 2020.

Corrected manuscript received: June 10, 2020.

Manuscript accepted: June 10, 2020.

Appendix 1. Revised synonymy list of *C. crassicosatum* (d'Orbigny, 1841)

- 1841 *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny, p. 197, pl. 59, fig. 1-3, 4-4'.
 1841 *Ammonites Gargasensis* d'Orbigny, p. 199, pl. 59, fig. 5, 6, 7.
 1852 *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny - Bronn, p. 322, pl. 32, fig. 12a-c (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-3).
 1882 *Ammonites crassicosatus* d'Orbigny - Mallada, p. 21, pl. 8, fig. 3-4 (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-2).
 1882 *Ammonites gargasensis* d'Orbigny - Mallada, p. 19, pl. 8, fig. 9, 10 (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 5, 6); ?pl. 10, fig. 12, 13, 14.
 1897 *Hoplites gargasensis* (d'Orbigny) - Sarasin, p. 768, text-fig. 5.
 1913 *Acanthohoplites crassicosatus* (d'Orbigny) - Kilian, p. 346, pl. 11, fig. 6a-b, text-fig. 6 (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-3).
 1913 *Acanthohoplites gargasensis* (d'Orbigny) - Kilian, p. 346, pl. 11, fig. 7a-b (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 5, 6); pl. 11, text-fig. 7 left hand (= Sarasin, 1897, text-fig. 5).
 1915 *Acanthohoplites crassicosatus* (d'Orbigny) - Kilian and Reboul, p. 46, text-fig. 7 (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 3).
 1915 *Acanthohoplites gargasensis* (d'Orbigny) - Kilian and Reboul, p. 44, text-fig. 6 (= Sarasin, 1897, text-fig. 5).
 1927 *Acanthohoplites gargasensis* var. *aptiensis* - Roch, p. 292, pl. 18, fig. 5-5a, text-fig. 4.
 1927 *Acanthohoplites gargasensis* var. *recticostata* Roch, p. 288, pl. 18, fig. 6-6a, 7-7a.
 1957 *Gargasicerias crassicosatum* (d'Orbigny) - Arkell et al., p. L387, fig. 501: 1a-b (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-2).
 1957 *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny) - Arkell et al., p. L387, fig. 501: 6a-b (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 5-6).
 ? 1958 *Gargasicerias gargasense* var. *aptiensis* (Roch) - Luppov and Drushchits, p. 103, pl. 47, fig. 6A-B.
 non 1960 *Acanthohoplites gargasensis* (d'Orbigny) - Waitzman, p. 61, pl. 3, fig. 3a-b; pl. 5, fig. 4a-b (= ? *Deshayesitidae* indet.).
 non 1961 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Eristavi, p. 66, pl. 4, fig. 5 (= *Colombiceras tobleri* juv.).
 1965 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Casey, text-fig. 153a-b, 153c-d, 153e (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-3, 4-4').
 1966 *Colombiceras* cf. *crassicosatum* (d'Orbigny) - Wiedmann, pl. 6, fig. 2a-b.
 1966 *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny) - Wiedmann, text-fig. 29.
 ? 1966 *Colombiceras* cf. *crassicosatum* (d'Orbigny) - Schindewolf, text-fig. 427a, 427b, 427c, 427d.
 non 1967 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Dimitrova, p. 192, pl. 89, fig. 3 (= ? *Colombiceras* sp. gr. *tobleri*).
 non 1967 *Gargasicerias aptiense* (Roch) - Dimitrova, p. 189, pl. 90, fig. 10 (= "*Acanthohoplites*" *lautum*).
 non 1969 *Gargasicerias* ex gr. *gargasense* (d'Orbigny) - Egoian, p. 164, pl. 12, fig. 10a-b; pl. 23, fig. 35 (= *Diadochoceras* sp. juv.).
 1970 *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny) - Kullmann and Wiedmann, text-fig. 10 (= Wiedmann, 1966, text-fig. 29).
 1971 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Kvantaliani, p. 61, text-fig. 33-1, 33-2, 33-3 (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-3).
 ? 1975 *Gargasicerias gargasensis* (d'Orbigny) - Lillo Beviá, p. 87, pl. 2, fig. 10-11; pl. 4, fig. 3.
 non 1976 *Gargasicerias gargasensis* (d'Orbigny) - Peybernès, pl. 25, fig. 10 (= *Dufrenoyia* sp. juv.).
 ? 1977 *Gargasicerias gargasensis* (d'Orbigny) - Martínez, p. 25, pl. 3, fig. 7, 8, 9; pl. 4, fig. 1, 2, fig. 3 (= Lillo Bevia, 1975, pl. 4, fig. 3), 4, 5, 6, 7, 8, 9.
 ? 1979 *Gargasicerias gargasensis* (d'Orbigny) - Martínez, p. 344, pl. 1, fig. 3a-c (= Martínez, 1977, pl. 4, fig. 7, 8, 9).
 ? 1982 *Gargasicerias gargasensis* (d'Orbigny) - Martínez, p. 155, pl. 26, fig. 5a-c (= Martínez, 1977, pl. 3, fig. 7), text-fig. 25.
 1982 *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny) - Kullmann and Wiedmann, text-fig. 71 (= Wiedmann, 1966, text-fig. 29).
 non 1982 *Gargasicerias aptiense* (Roch) - Renz, p. 28, pl. 2, fig. 6a-b, text-fig. 16d (= *Acanthohoplitidae* indet. juv.).
 ? 1982 *Gargasicerias* cf. *recticostatum* (Roch) - Renz, p. 27, pl. 2, fig. 11a-b, 12a-b, 13a-b, text-fig. 16c.
 ? 1983 *Colombiceras* ex. gr. *crassicosatum* (d'Orbigny) - Mikhailova, fig. 66a-л.
 non 1988 *Gargasicerias* cf. *aptiense* (Roch) - Khalilov, p. 354, pl. 11, fig. 5a-6 (*Colombiceras* sp. juv.).
 1989 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Conte, p. 49, fig. 9 on page 50.
 1996 *Colombiceras* (*Colombiceras*) *crassicosatum* (d'Orbigny) - Wright et al., p. 274, fig. 214.3a-b (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-2).
 1996 *Gargasicerias* (*Gargasicerias*) *gargasense* (d'Orbigny) - Wright et al., p. 275, fig. 214.2a-b (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 5-6).
 ? 2004 *Colombiceras* aff. *crassicosatum* (d'Orbigny) - Sharikadze et al., p. 388, pl. 56, fig. 2a-c.
 ? 2004 *Gargasicerias attenuatum* (Roch) - Sharikadze et al., p. 376, pl. 71, fig. 6a-c, 4a-b.
 non 2004 *Gargasicerias aptiense* (Roch) - Sharikadze et al., p. 377, pl. 72, fig. 1a-b (= "*Gargasicerias*" *pulcher* Riedel).
 ? 2004 *Gargasicerias recticostatum* (Roch) - Sharikadze et al., p. 378, pl. 72, fig. 2a-b.
 ? 2004 *Gargasicerias* aff. *recticostatum* (Roch) - Sharikadze et al., p. 381, pl. 72, fig. 3a-c, 4a-c, 5a-c.
 2005 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Dutour, p. 206, pl. 18, fig. 9a-9d, 10a-c.
 2005 *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny) - Dutour, p. 209, pl. 18, fig. 12a-d.
 2006 *Colombiceras crassicosatum* - Delanoy in Gauthier et al., p. 74, pl. 32, fig. 6a-c (= lectotype).
 2006 *Gargasicerias gargasense* (d'Orbigny) - Delanoy in Gauthier et al., p. 74, pl. 32, fig. 7a-c.
 ? 2007 *Colombiceras* ex. gr. *crassicosatum* - Bogdanova and Mikhailova, text-fig. A.
 2007 *Colombiceras crassicosatus* (d'Orbigny) - Moreno-Bedmar, p. 29, pl. 2, fig. 4, text-fig. 34 (= d'Orbigny, 1841, pl. 59, fig. 1-3, 4-4'), text-fig. 35 (= Dutour, pl. 18, fig. 9a, d).
 2007 *Colombiceras crassicosatus* (d'Orbigny) - Garcia et al., pl. 2, fig. 7.
 2008 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Salas and Moreno-Bedmar, pl. 7, fig. C (= Garcia et al., 2007, pl. 2, fig. 7); pl. 9, fig. A.
 2009 *Colombiceras crassicosatum* (d'Orbigny) - Moreno-Bedmar et al., pl. 1, fig. A (= Salas and Moreno-Bedmar, 2008, pl. 9, fig. A).
 2008 *Gargasicerias aptiense* (Roch) - Joly and Delamette, Fig. 6D.
 2012 *Colombiceras crassicosatum* - Moreno-Bedmar et al., appendix, fig. 8G (= Garcia et al., 2007, pl. 2, fig. 7).
 ? 2016 *Colombiceras crassicosatum* - Matamales-Andreu and Moreno-Bedmar, p. 112, fig. 8. A1-2.