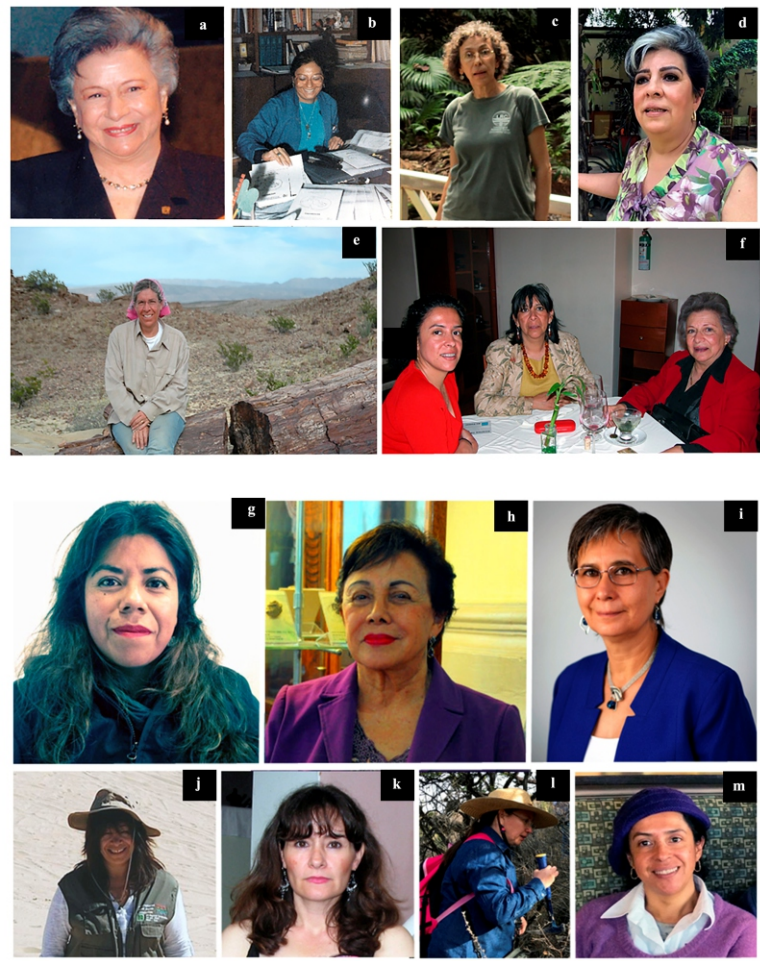


# PALEONTOLOGÍA MEXICANA

## Experiences and perspectives for the conservation of the paleontological heritage in Mexico Part 2



Paleontólogas: (a) paleontóloga pionera Dra. Gloria Alencáster; (b) micropaleontóloga Dra. Ana Luisa Carreño; (c) Palinóloga Dra. Socorro Lozano; (d) paleontóloga especialista en ammonites la Dra. Ana Bertha Villaseñor; (e) paleontóloga especialista en vertebrados Dra. Marisol Montellano; (f) la Dra. Gloria Alencáster (der.) con su estudiante la Dra. Angélica Oviedo (izq.) y su técnica académica la Dra. Lourdes Omaña (centro). Paleontólogas integrantes del Consejo de Paleontología: (g) M.C. Felisa Aguilar Arellano (INAH); (h) Dra. Blanca Buitrón Sánchez (UNAM); (i) Dra. Elena Centeno García (UNAM); (j) Dra. Elizabeth Chacón Baca (UANL); (k) Dra. Luisa García Zepeda (UMSNH); (l) Dra. Rosalía Guerrero Arenas (UMAR); (m) Dra. Angélica Oviedo (UACH).

### Volumen 9 Número 2

### Universidad Nacional Autónoma de México





# PALEONTOLOGÍA MEXICANA

ISSN-L: 0543-7652

Segunda Época (2012-actualidad)

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

**Revista incluida en:** Periódica y Biblat

EDITOR EN JEFE — EDITOR-IN-CHIEF

Josep Anton Moreno Bedmar  
*Instituto de Geología, México*

COMITÉ EDITORIAL — EDITORIAL ADVISORY BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDICIÓN TÉCNICA Y PÁGINA WEB — TECHNICAL EDITION AND WEBSITE

**Asistente editorial y Web master:** Sandra Ramos Amézquita

**Corrección de estilo:** José Roberto Ovando Figueroa, Anaid Zendejas y Sandra Ramos Amézquita

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

## ÍNDICE DE NÚMERO TEMÁTICO – *THEMATIC NUMBER INDEX*

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
iii	<b>PREFACE: Experiences and perspectives for the conservation of the paleontological heritage in Mexico – Part 2.</b> Aguilar Arellano, Felisa J.
73	<b>Women in Mexican paleontology: a pioneer's legacy.</b> Buitrón Sánchez, Blanca Estela; Oviedo García, Angélica; García Zepeda, Ma. Luisa; Suárez Noyola, Ma. Elena; García González, Emma Gema; Chacón-Baca, Elizabeth.
83	<b>How is the paleontological heritage of Mexico and other Latin American countries protected?</b> Guerrero-Arenas, Rosalía; Aguilar Arellano, Felisa Josefina; Alvarado Mendoza, Leticia, Jiménez-Hidalgo, Eduardo.
91	<b>The Council of Paleontology of INAH: Background and perspectives.</b> Aguilar Arellano, Felisa J.; Alvarado Mendoza, Leticia.

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

PÁGINA / PAGES	ARTÍCULOS – ARTICLES
103	<b>El profesor Eliseo Palacios Aguilera y su contribución a la paleontología mexicana.</b> Carbot-Chanona, Gerardo; Coutiño José, Marco Antonio; Avendaño-Gil, Manuel Javier.
111	<b>Impacto y visibilidad nacional e internacional de la producción científica de la Dra. Blanca Estela Margarita Buitrón-Sánchez.</b> Armendáriz Sánchez, Saúl; Castro Escamilla, Minerva.
121	<b>Contribución al conocimiento paleontológico, geocronológico y paleoambiental de la Formación Jackson inferior (Eoceno Superior), en la Cuenca de Burgos, Tamaulipas, México.</b> Eguiluz y de Antuñano, Samuel, Solís Pichardo, Gabriela, Vega, Francisco J.
135	<b>Revisión histórica del registro fósil de protozoos e invertebrados marinos del estado de Tamaulipas, México.</b> Becerra-Rodríguez, Angel G., Correa-Sandoval, Alfonso; Torres-Martínez, Miguel Á..
145	<b>Remains of a Diplodocid (Sauropoda: Flagellicaudata) from the Otlaltepec Formation Middle Jurassic (Bathonian-Callovian) from Puebla, Mexico.</b> Rivera-Sylva, Héctor E.; Espinosa-Arrubarrena, Luis.

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

Título: **Paleontología Mexicana**

ISSN-L: **0543-7652**

(revista electrónica): **2007-5189**

Tipo de publicación: **Periódica**

Periodicidad: **Semestral**

Número de publicación: **Volumen 9 Número 2**

Fecha de publicación: **Diciembre de 2020 (finales)**

Año de inicio de la publicación: **1954**

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

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

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

Tiraje: **No aplica**

Tipo de impresión: **No aplica**

Gramaje: **No aplica**

Tipo de papel: **No aplica**

## AGRADECIMIENTOS – *ACKNOWLEDGEMENTS*

Paleontología Mexicana agradece el trabajo editorial realizado en el volumen 9(2) por la M. en C. Sandra Ramos Amézquita y el M. en C. León Felipe Álvarez Sánchez.

## DECLARATORIAS – STATEMENTS

### Declaratoria de Acceso Abierto

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



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

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

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

#### Avisos:

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

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

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



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

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

### Open Access Statement

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



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

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

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

#### Under the following terms:

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

#### Notices:

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

### Concerning copyright and publishing rights

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



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

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



## PREFACE

# Experiences and perspectives for the conservation of the paleontological heritage in Mexico – Part 2

Aguilar Arellano, Felisa J.<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Antropología e Historia. Centro INAH Coahuila and Presidencia del Consejo de Paleontología. Moneda 16, Col. Centro, Ciudad de México, 06060, México.

\* felisa\_aguilar@inah.gob.mx

### 1. Introduction

From the middle of the 20th century the paleontological heritage is at risk. Anthropogenic activities linked to economic development such as construction, industrialization, vandalism, the continuous collection of fossils by professionals and amateurs and commercial purposes are accelerating this heritage's destruction and disappearance (Lipps, 2009; Aguilar Arellano, 2020). Different strategies for the protection and conservation of paleontological remains and their localities have been developed to solve these problems. The association of scientific research and education, recreation and tourism are part of the search for solutions to these problems. Another essential aspect to consider is the existence of laws and the institutions responsible for them, including the paleontological heritage. However, the scientific community remains concerned about an irreparable loss of this evidence for future generations if we consider that there is still much to discover, describe, and make known.

The culture of the protection and conservation of fossils is necessary. To promote it, we consider making known the history that triggered the need for its preservation and the strategies that were carried out within the framework of the needs of the time. This second part of the special issue: "Experiences and perspectives for the conservation of paleontological heritage in Mexico," has three contributions that will give an overview of the background.

The fossil record of Mexico results from studies carried out by different researchers assigned to educational and research institutions, distributed throughout the national country. The first contribution of this special issue will recognize women's role in developing paleontology in the country (Women in Mexican paleontology: a pioneer's legacy). The second contribution made a synthesis in terms

of the conventions and laws generated for the protection and conservation of fossils in Mexico and Latin America (How is the paleontological heritage of Mexico and other Latin American countries protected?). Finally, the third showed how and why the INAH created the Council of Paleontology (The Council of Paleontology of INAH: Background and perspectives).

The Council of Paleontology of INAH (ConPal) confirms its commitment to producing articles that show the research results, the discussion and exchange of experiences, and proposals to generate the regulations that allow the research, protection, conservation, and dissemination of paleontological heritage in Mexico (Aguilar Arellano, 2019).

Besides, the ConPal recognizes the inclusion of other social, cultural, and political actors related to paleontological heritage. The dialogues generated will allow us to understand the current normative and legal framework and clarify the doubts that its application produces since the preservation of paleontological heritage in Mexico will be the result of generating an acute public awareness and the establishment of reliable collaboration networks.

I thank my guest co-editor, Dr. Eduardo Corona Martínez, for his support during the articles' review process that makes up this special issue. I also thank Dr. Josep Anton Moreno Bedmar, editor-in-chief of *Paleontología Mexicana*, Sandra Ramos Amézquita M. Sci. chief of the Publications Department of Institute de Geology, editorial designer León Felipe Álvarez Sánchez M. Sci. and the technical editorial team of *Paleontología Mexicana*, for its acceptance to have a second part of the special issue: "Experiences and perspectives for the conservation of paleontological heritage in Mexico".

**References**

- Aguilar Arellano, F.J., 2019, Reactivación del Consejo de Paleontología, en 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, s/p.
- Aguilar Arellano, F.J., 2020, La protección del patrimonio paleontológico en México: Morelos, México, El Tlacuache, Suplemento Cultural del Centro INAH Morelos, 957, 1–8. *available at*: [[https://www.inah.gob.mx/images/otros/20201031\\_tlacuache\\_957.pdf](https://www.inah.gob.mx/images/otros/20201031_tlacuache_957.pdf)], consultado 11 diciembre 2020.
- Lipps, J.H., 2009, PaleoParks: our paleontological heritage protected and conserved in the field worldwide: Carnét de Géologie / Notebooks on Geology, Book 2009/03, 1–10.



## Women in Mexican paleontology: a pioneer's legacy

Buitrón Sánchez, Blanca E.<sup>a</sup>; Oviedo García, Angélica<sup>b</sup>; García Zepeda, Ma. Luisa<sup>c</sup>;  
Suárez Noyola, Ma. Elena<sup>a</sup>; García González, Emma Gema<sup>d</sup>; Chacón-Baca, Elizabeth<sup>d,\*</sup>

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

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Campus II, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., 31125, México.

<sup>c</sup> Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán de Ocampo, México.

<sup>d</sup> Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera a Cerro Prieto Km. 8, Linares, Nuevo León, 67700, México.

\* cienciafct@gmail.com

### Abstract

This work presents a gender perspective on the role of women in the development of Mexican Paleontology, in historical times, when this research area was barely considered as a scientific discipline on its own. The pioneering work of explorers and naturalists, especially A. von Humboldt, resulted in a favorable context for the incorporation of geosciences and the eventual development of paleontology as an official science. Nonetheless, the emergence of Paleontology as a new science in Mexico was preceded by a series of changes in the economy and in the sociopolitical aspects of the Mexican society. The creation of multiple scientific societies during the last decades of the 19<sup>th</sup> century, allowed a gradual change in the scientific paradigm when the new century arrived, but not large enough to encompass the participation of women in science. The professional collaboration in interdisciplinary teams of scientist working toward common goals was key to promote the establishment of Paleontology as an independent and solid research line by itself. Women contributions, generally ignored or overlooked, were fundamental for the evolution of Paleontology. In spite of the regional context in Mexico, the international context was gradually opening its doors for women scientists.

**Keywords:** Female professional career, Mexico, Paleontologists, Pioneers of Paleontology, Women scientists.

### Resumen

*Este trabajo presenta un breve análisis con perspectiva de género sobre el papel que las mujeres han desempeñado en la Paleontología de México cuando esta ciencia apenas se estaba conformando como área de especialización independiente. El trabajo pionero de A. von Humboldt generó un contexto muy adecuado para la inserción de las geociencias y eventualmente, para el desarrollo de la paleontología como ciencia oficial. El surgimiento de la Paleontología como una nueva ciencia en nuestro país, fue precedida por una serie de cambios en economía, política y aspectos socioculturales de la sociedad mexicana. La creación de múltiples sociedades científicas durante las últimas décadas del siglo XIX, permitieron un cambio gradual de paradigma científico en los albores del nuevo siglo, pero no lo suficientemente grande como para incluir la participación femenina en la actividad científica. La colaboración profesional entre equipos interdisciplinarios de científicos trabajando para un mismo objetivo, fue clave para impulsar el surgimiento de la Paleontología como una ciencia por sí misma, donde las contribuciones femeninas, generalmente ignoradas, fueron fundamentales para su desarrollo. Pese al contexto regional, a nivel internacional ya se estaba abriendo a la participación de mujeres científicas en este campo.*

**Palabras clave:** carrera profesional femenina, México, mujeres científicas, paleontólogas, pioneros de la paleontología.

## 1. Introduction

Science's history shows that bright women have been almost forgotten in most disciplines such as physics, astronomy, mathematics, chemistry, oceanography and biology. In the history of paleontology, this situation is not different. The prominent work of Mary Anning as discoverer of the first ichthyosaur skeleton (1824), stands out as the most emblematic participation of a woman in a discipline of Earth Sciences. As a daughter of an amateur fossil hunter, she not only collected numerous fossils as a non-certified paleontologist, but also made insightful descriptions on morphology, sedimentology and geology; she was a true geoscientist. Great figures of the golden age of British geology generated their new ideas and models based on her work (Creese and Creese, 1994). Also, Elizabeth Philpot (1780 – 1857), a British fossil collector that met Mary Anning, had a crucial ability for paleontological studies at that time: she could accurately draw the morphology of fossils remains (Kölbl-Ebert, 2012). Other unappreciated name corresponds to the marine biologist and paleontologist Mary Morland Buckland (1797 – 1857), and included in this unappreciated female group is the American Annie Montague Alexander (1867 – 1950), who established the Paleontological Museum of the University of California (UCMP), as well as the Museum of Vertebrate Zoology, both from the University of California, at Berkeley. It is with these contributions that the interest and love for fossils from many women and men was born in the world.

In Mexico, the professional incursion of women in paleontology had to wait some decades after the official foundation of different disciplines in Earth Sciences. The curiosity that motivated the geological mapping of the country began with the extraction of minerals and the exploration of primary resources, and consequently, many fossils were discovered. Therefore, it is correct to say that Mexican paleontology was born together with geology and mining, although, at that moment, these disciplines were considered as part of the Natural Sciences.

## 2. An historical perspective

Since pre-Hispanic times, the indigenous communities of Mexico have exploited the vast richness of non-renewable natural resources found within our territory, like minerals, carbon, petroleum, bitumen and construction materials. Due to the exploration related with such prime resources, many fossils were discovered and even when they were not given any scientific value, some of them were given religious or mythical value (Mayor, 2000, 2005; Lyons, 2009). During the Spanish conquest, a more formal study of fossils received an emerging interest. For several years, Hernán Cortés sent back to Spain some fossils of great size, among other mineralogical wealth. Around 1590, Jesuit priest and naturalist J. de Acosta even questioned the origin

of these fossil findings. His observations and works were referenced in the Natural History of the Indies (Gio-Argáez and Rodríguez-Arévalo, 2003).

The study of geology in our country began since the 18<sup>th</sup> century, when foreign naturalists were attracted by the enormous variety of geological phenomena that the national territory presented. For a long time, men were the only ones focused on data collection, field and cabinet research in all disciplines related to geology, such as paleontology, edaphology, hydrology, and peculiarly mining. In fact, mining was highly valued for the discovery and extraction of minerals that allowed the economic development. Mexico was already a mining country before the conquest (1521) and remained as such until large gold and silver mines were discovered in Oaxaca, Hidalgo, Guanajuato and Zacatecas. During the foundation of the Royal Seminar of Mining in 1792, which later became the National School of Engineers and eventually, part of the Faculty of Engineering of the UNAM, the scientific study of minerals and rocks really began in the 19<sup>th</sup> century. It can be said that mining studies gave impetus to the development of the Earth Sciences at the beginning of the 20<sup>th</sup> century; later on, petroleum geology, geology and paleontology made their appearance in a commercial way, as did geophysics, which developed in parallel with petroleum geology (López, 1988).

With the foundation of the School of Engineering within the University, an unusual event occurred in 1910: Miss Dolores Rubio Ávila applied for enrollment in that school and became a metallurgist (Alvarado, 2002). This fact distinguishes her not only as the first woman graduated from the Faculty of Engineering, but also as a brave woman who challenged the social tradition and common belief that women could not exercise a male profession. Years later, another woman repeated the story in the same school: Josefa Cuevas de Sansores, who also was the first woman geologist in Mexico; she won an honorable mention in 1950 too (Sánchez and Tagüña, 2011). These two women are recognized for having ventured into disciplines in which only men were normally accepted, since historically there have been professions typified as male domains (Suárez, 2017).

## 3. Women ought to be warriors

Ignacia Rodríguez de Velasco y Osorio Barba (better known as “*la güera Rodríguez*”), a mutual friend of A. von Humboldt and Agustín de Iturbide, was an intelligent and attractive widow that, somehow, had an influence on some of the key actors responsible for the democracy of knowledge at the beginning of the 19<sup>th</sup> century, but without any further mythical assumptions (Arrom, 2019). Nonetheless, the main virtue of *la güera Rodríguez* was to be aware of prominent women that alternated with men in power, not from an equality position, but rather as a nice and decorative company. Except for a few cases like this,



the socially accepted roles for women were those of wife or nun; anything else was considered as abnormal; therefore, most women, rich or poor, were confined to domestic chores.

Even today, some women are chosen to play a decorative role even in the Academy; even more, some women choose to play that role, but most women honestly fight to enter their academic careers on a fair basis. Indeed, during the celebration of the First and Second National Instruction Congress of 1889, the general reflection was not "why" but "how much education is convenient for women?" (Morales-Jurado, 2005). In Mexico, the professional incursion of women in paleontology had to wait some decades after the foundation of the different disciplines of Earth Sciences. Sewing, reading, piano lessons and even mathematics were part of a feminine and convenient education for women. Odd enough, writing was never taught as it was considered subversive (Morales-Jurado, 2005).

The widespread idea that women are suited only for domestic assignments was not exclusive of Mexico. In Europe, throughout the nineteenth century, women in science were difficult to find. Universities at that time were exclusively for men; moreover, in many cases, their names and contributions were signed under a man's name (professor, spouse, father, etc.). In fact, there are well-known literary texts written by women during this period of time, hidden under a male outfit, as Georges Sands, just to mention an example (Montero, 2002). Women's participation in science was biased even in England, a country in which 65% of written papers were published by British women (Creese and Creese, 1994). The examination of these historical documents reveals that British women, mostly unofficially, contributed to geological research as associates, field-assistants and secretaries in charge of the technical preparation of paleontological materials, but never represented a real or serious competition for men simply because the system ignored them.

Throughout science history, the filters used to evaluate academic performance are different for men and women: women have to work harder, achieve longer periods of academic success and prepare lots of graduate students in order to be acknowledged. It is not politically correct or welcomed for a woman to be ambitious up to the point of desiring a "man's position". This irrational status quo reflects historical inertias that even university authorities still jealously tend to maintain. With well-known exceptions, the academic promotions granted to women are more discussed, questioned and commented than those for men.

#### 4. Women in Mexican Paleontology

As far as Paleontology is concerned in Mexico, there is no female contribution recorded in the nineteenth century; men made all the contributions within this field.

Among the various factors of this delay are old common beliefs such as "it is a job considered only for men", or that "there are many dangers in the field", which supported a systematic discrimination based on sex. Likewise, the lack of infrastructure and the need for women at home were some of the factors in Mexico, and other countries, that prevented women from dedicating their work to Paleontology. Even today, some of these reasons perfectly explain why the presence of women in the Earth Sciences is scarce.

New research lines developed only until the second half of the 20<sup>th</sup> century under the umbrella of micropaleontology, a research area with a true root into the oil industry at the Instituto Mexicano del Petróleo. However, the real female paleontological contributions began with Dr. Gloria Alencáster Ybarra (1927-2018). This step was preceded by the ability and vision of Maldonado-Koerdell, who managed to open paleontological laboratories and official positions for women (Zamudio-Varela, 2012). Gloria Alencáster (Figs. 1a and f) began her paleontological research at the Instituto de Geología, UNAM, after obtaining her PhD in 1956. Soon after, Dr. Alicia Silva Pineda, a specialist in fossil plant impressions, and Dr. María Del Carmen Perrilliat Montoya, dedicated to Cretaceous mollusks, joined her team. Subsequently, more women integrated in this fascinating area: paleontologist Dr. Celestina González Arreola, a specialist in ammonites, and Dr. Blanca Estela Buitrón Sánchez, whose pioneer work in invertebrates and Paleozoic paleoenvironments continues to these days. The work and attitude of these influential scientists are considered as the steppingstone of Mexican Paleontology and were a breakthrough for other women interested in this discipline.

The creation of the Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) in 1965, also represented an enormous opportunity for geologists, biologists and paleontologists to be incorporated within the field of Earth Sciences. Since the early days, they studied micro and macrofossils from different regions of Mexico on the occasion of oil exploration, when paleontology was seen only as a complementary research line. Of course, as any other basic science, paleontology has many practical applications, but its theoretical implications go beyond the economic aspects.

At the Instituto de Geología, UNAM, Professors Ana Luisa Carreño, Marisol Montellano Ballesteros, Socorro Lozano García and Ana Bertha Villaseñor Martínez, were part of the first generation of the Mexican pioneers that opened new research lines at the university (Figs. 1b-e). Other professors also started as graduate students at the Instituto de Geología at UNAM, and eventually became full-time researchers that incremented the specialization and diversification of Mexican paleontology; in some cases, at the same institute, but in most cases, the new paleontologists started to work as professionals in other UNAM campus and other higher educational institutions of Mexico.

Since the early days, an academic trajectory in paleontology has been actively promoted by UNAM professors, who always have included students in their research projects. The development of paleontology heavily relies on field work in constant interaction with theoretical research, activities that during the last three decades, have shown the increasing participation of women (Fig. 2).

Others former UNAM students derived from pioneer groups at the Instituto de Geología, are now full-time professors from state universities and other prestigious higher educational schools. Their sound preparation and scholastic level provide an excellent background for independent research and education. This academic seed has continuously produced new professionals and presently, many paleontologists prepared at UNAM form part of the academic staff of diverse institutions in Mexico. In turn, new generations of women work as full-time professionals of paleontology for the first time at the institutional level, and cultivate novel research areas. For example, a third generation of paleontologists have devoted her time to teaching and research, and more importantly, to the creation of research groups in paleobotany at the Faculty of Higher Studies (FES, UNAM) (Figs. 3a-b).

A special word must be dedicated to Dra. María Fernanda Campa Uranga, the first and for so many years

the only women geologist in the exploration brigades of Petróleos Mexicanos (PEMEX). María Fernanda Campa was an exceptional professional whose geological contributions in tectonostratigraphy and geochronology of the Mesozoic volcanic sequences in central Mexico and Guerrero are widely known. Not only she used to work very closely with other paleontologists in field campaigns and scientific publications (Campa *et al.*, 2017), but she also discovered new fossiliferous localities (Campa *et al.*, 1974). An early Cretaceous ammonite, *Falciferella campae*, has been dedicated to Dra. María Fernanda Campa; this fossil ammonite constrained the reconstruction of the margin of the Guerrero-Morelos carbonate platform and the end of volcanic activity in the Teloloapan arc before the Albian (Monod *et al.*, 2000). Perhaps her more pervasive influence was the description of suspect terranes in the south of Mexico, as evidenced by her classical and highly quoted paper (Campa and Conney, 1983). She was also the first geoscience woman at the Autonomous University of Guerrero too; currently, a paleontologist woman is teaching at this University (Figs. 3c-d).

The life of Dra. María Fernanda Campa, better known as Chata Campa, was honorable in many ways: as an excellent field geologist that maintained a healthy collaboration between paleontology and geology; as an innovative



Figure 1. Mexican paleontologists. (a) Pioneer paleontologist Gloria Alencáster (b) Microplaoentologist Ana Luisa Carreño at her office in her classical blue coat. (c) Palynologist Socorro Lozano. (d) Ammonite specialist Ana Bertha Villaseñor. (e) Marisol Montellano during a field campaign. (f) Gloria Alencáster with her students Angélica Oviedo and Lourdes Omaña.

scientist that dared to argue and think outside the box, and as a brave scientist who dedicated herself to debate and instruct, in addition to teaching and research, about the 2013 Energy Reform at the Deputies Congress (<http://www.hcnl.gob.mx/glmorena/2019/02/>). Her academic and social trajectory was graciously complemented with her citizen conscience (15diarioTV, 2015). Such a lifetime commitment to science and citizenship clearly makes her an unforgettable scientist.

As time goes by, the participation of women in paleontology increases. The best example is the actual Paleontological Council (ConPal) from the Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), formed by twelve members, seven of which are women (Fig. 4). Some of them also are the first women paleontologist at their state institutions.

Finally, the inclusion of paleontological topics in popular magazines, in which the authors are women, is escalating, and so is their outstanding contribution in academic events organized by the Sociedad Geológica Mexicana and the Sociedad Mexicana de Paleontología (SOMEXPAL), as well

as the increment in the graduation rate of paleontologists. Today, new generations of paleontologists are in demand in higher education and government institutions around Mexico.

## 5. The academic life for women

Fortunately for women, times are changing, and today, there is a notable trend where we see a healthy balance of men and women in most university careers. Most importantly, women have finally the option to enroll at any university career they choose to, or to do whatever they want, at least by law and by universities policies in most countries. Of course, there are specific situations that obey more to family traditions or family prejudices than to a restricted access to higher education.

Naturally, there are some fields in science where women prevail over men, for instance, botany, palynology and micropaleontology. Concordantly, other research lines as vertebrate paleontology is frequently more populated by



Figure 2. (a) A field campaign in Santa Fe del Río in Michoacán, under the leadership of Vertebrate paleontologist María Luisa García Zepeda (UMSNH). (b) Paleontologist Elizabeth Chacón during a graduate field-trip to Viesca dunes under the leadership of Prof. Francisco González Medrano, better known as “Maestro Pancho Medrano” (UNAM, 2002). (c) Micropaleontologist Ana Luisa Carreño with her students at the Geology Institute, UNAM.

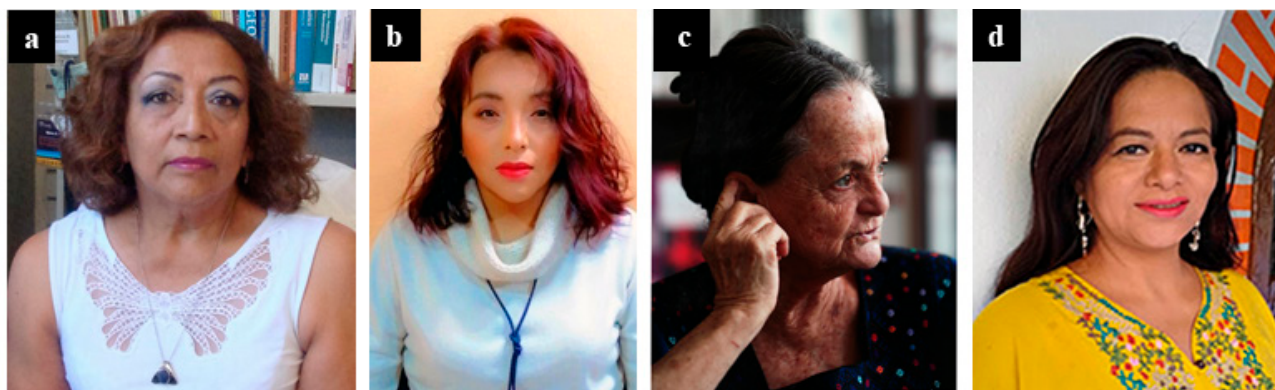


Figure 3. A feminine touch in geosciences. (a–b) Paleobotanists María Patricia Velasco de León and Erika Torres (FES, UNAM). (c) Geologist Dra. María Fernanda Campa, first chair of the University of Guerrero in Taxco, Mexico (picture taken by Alfredo Dominguez in 2019, and kindly provided by Santiago Alvarez) (d) Dra. Catalina Gómez, first paleontologist at the University of Guerrero, campus Taxco, Mexico.



Figure 4. Women at the Paleontology Council, by alphabetical order: a) M.C. Felisa Aguilar Arellano (INAH), b) Dra. Blanca Buitrón Sánchez (UNAM), c) Elena Centeno García (UNAM), d) Elizabeth Chacón Baca (UANL), e) Luisa García Zepeda (UMSNH), f) Rosalía Guerrero Arenas (UMAR), g) Angélica Oviedo (UACH).

men than women, at least within the Mexican Association of Paleontologists or SOMEXPAL (Chacón *et al.*, 2020). But it is clear that there are multiple determining factors and circumstances that come into play when young students face the life decision of pursuing a career in paleontology.

The number of enrolled students at UNAM during 2019 in the undergraduate and graduate programs in Geosciences is shown in Table 1, in which the number of women is lower than that of men in most cases.

Actually, the student statistics shown in Table 1 contrast with those for women in the academy, notably at higher academic positions. In Mexico and around the world, there are still multiple aspects of the social, political and academic life where women need to demonstrate more results and provide higher standards than men. But particularly in the academy, the inequality between men and women may be more difficult to perceive. The following samples illustrate a rather generalized situation in most universities of Mexico,

but they may be the case in other advanced or less developed countries as well (Table 2).

The national distinction of the Sistema Nacional de Investigadores (SNI) and promotions among Mexican universities uncovers a clear pattern of the academic distance between men and women (Figs. 5–8).

The above figures are representative of the inequality in higher education institutions as part of the academic staff, without considering other academic promotions. Other similar difficulties pave the female route to accomplish higher levels in the academic hierarchy. Men are expected to ask for promotions, but women instead, must be prepared for a personal and administrative battle under official male standards. Even today, it seems that a legitimate ambition is a personal male attribute, which may be not “appropriate” in women.

The former statistics from small or large organizations in Mexico and around the world, are just but a few examples of a long historical inequality. This disproportion is most evident in higher scholar categories, especially in decision-making positions (Pérez Sedeño *et al.*, 2018). Although the academic disparity between men and women is not as scandalous and palpable as the physical violence, women

must transit their professional path in silence, and fight on a personal level for a fair university position. Carmen Albroch (1998) already dwelled into this inequality in the social perception. For instance, the personal life of unmarried woman is suspicious and judged, but it is graciously accepted in men; the scrutiny that society applies on women is not different in the academic life. As women, we all share stories about differences between men and women that are translated into social behaviors considered as “normal”. After all, the university statistics confirm this type of academic tradition. A personal or technical mistake is judged with more severity in women than men; the same applies to social and civil conditions, or personal preferences.

Women in science continue to be underrepresented, underpaid and underemployed. This situation is clearly supported by the cold numbers of the scientific prestigious institutions of the 21<sup>st</sup> century. The National Researchers System of CONACyT (Sistema Nacional de Investigadores or SNI) indicates that women average approximately only the 36% of total SNIs beneficiaries. The National Academy (Academia Mexicana de Ciencias) and the National College (Conal) provide further cases. The struggle for a fair representation continues in order to achieve the insertion

Table 1. Academic staff in state universities. Number of students by genre at the in the Area of Earth Sciences Undergraduate and Graduate levels - UNAM during 2019–2020.

Faculties/ Degree's	Men	Women
Faculty of Sciences	1,204	919
Engineering Faculty	1,898	642
Faculty of Chemistry	657	808
<b>Postgraduate</b>		
Astrophysics	34	15
Engineering	385	146
<b>Earth Sciences</b>	38	25
Physical Sciences	74	15
Chemical Sciences	68	33
Biological Sciences	113	137
Marine Sciences and Limnology	34	41
Geography	17	21

Source: Statistical Agenda UNAM, 2020.

Table 2. Academic staff in the Autonomous University of Chihuahua Academic staff divided according to Faculty disciplines.

Discipline	Career	Women	Man
Earth Sciences	Engineering Geology	7	11
	Paleontology*	1	0
	Engineering in Mines and Metallurgy	3	7
	Engineering in Topography	4	8

\*Paleontology is not a career at the UACH, but a subdiscipline. Source: Statistical Agenda UACH, 2020.

UANL SNI ACADEMIC STAFF IN 2019

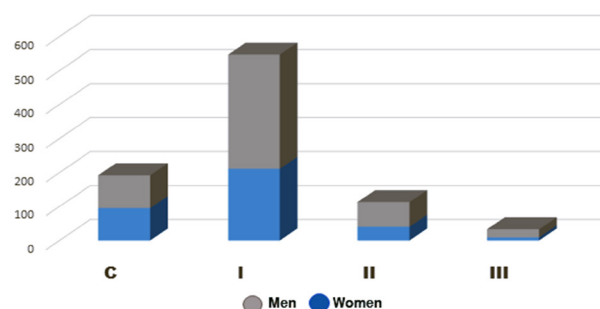


Figure 5. Women: Men ratio of the academic staff with the distinction from the Sistema Nacional de Investigadores (SNI) at the Autonomous University of Nuevo León (UANL). Source (www.uanl.mx); (hierarchy level in the SNI: C < I < II < III).

UMSNH SNI ACADEMIC STAFF IN 2019

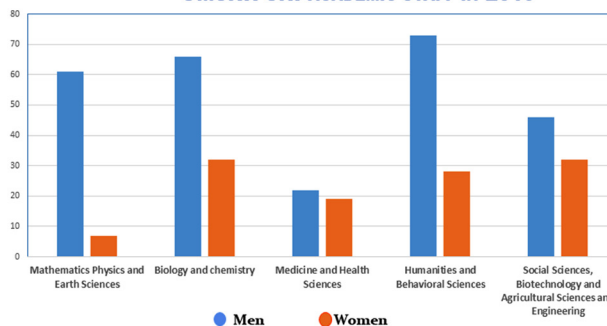


Figure 6. Women: men ratio of the academic staff distributed by area with the distinction from the Sistema Nacional de Investigadores (SNI) at the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

of specialist women into a system developed under men's rules and one-sided perspective (Lagarde, 1996).

## 6. A gender perspective, finally

The old black and white photographs illustrating the early days of geoscience in general, and paleontology in particular, still astonish us by the total absence of women, for so many years and in some many countries. We are not talking about any political movement or any other sociological given term, we are referring to the basic right to be treated and seen under the same light than men. The assumed antagonism between women and men is another misconception when women bring to the table an open talk of fairness and gender perspective; but there are social constructions that for centuries permeated the mentality of the whole society, including the academic world.

The historical development of paleontology in Mexico shows that an integral and multidisciplinary perspective among different areas of research is more fruitful than isolated, or individual approaches and shortsighted premises. As many areas of culture and society, there is an urgent need to support and promote a genre perspective. The institutional respect and appreciation for women involved in paleontology should comprise, not only their inclusion as students, but their advancement as well-paid professionals. The genre equality agenda has moved forward in this direction, but it is clear that our society is still behind, and that the "glass ceiling effect" in science is real and deeply affects collegiate life, even among the best-ranked universities.

Beyond the old-fashioned biological determinism in science that for centuries prevented the free access for women (Schiebinger, 1993), and apart from the legitimate right to be treated as equals in the academic world, the scientific evidence needs the feminine interpretation,

not only a male-biased perspective. In fact, many of the scientific theories in paleontology are at risk because of this one-sided analysis (Abejez and Corona, 2020). Other scientific disciplines lack this neutrality as well, and therefore limit the production of a richer science (Schiebinger, 1993).

## 7. Conclusions

The current contribution shows a clear disproportion between men and women at the local, regional and national scholastic level. Science should be based on scientific results made by real persons and not based on traditional gender roles. Likewise, the profession should be based on academic achievements, where the recognition of intellectual merits and scientific creativity is independent of genre. It is not enough to obtain a balanced women representation in scientific or administrative positions, it is mandatory that any position in science is on competence and performance, where the same rules are equally applied for women and men, including benefits and rights.

The scientific endeavor that we call science, requires the participation of passionate women and men as equal partners with different and many times complementary perspectives. The female academic merits are not higher or lower than men, but they need to be analyzed under individual basis, using the same academic criteria and giving the same opportunities. One superb example of such a need has been eloquently expressed by the recently honored, Donna Strickland as she received the Nobel Prize for 55 years in Physics: "*I am not a science woman, I am a scientist*". Science is a collective activity that needs a concerted work of men and women working toward a better future, and a greater science.

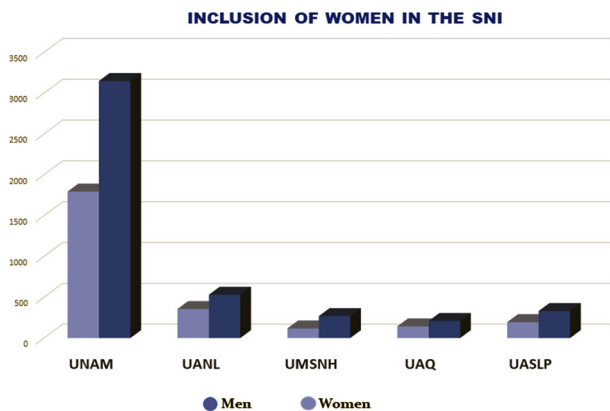


Figure 7. Comparison between men and women ascribed to the Sistema Nacional de Investigadores (SNI) from some higher Education Institutions in Mexico (source: [www.conacyt.gob.mx](http://www.conacyt.gob.mx)).

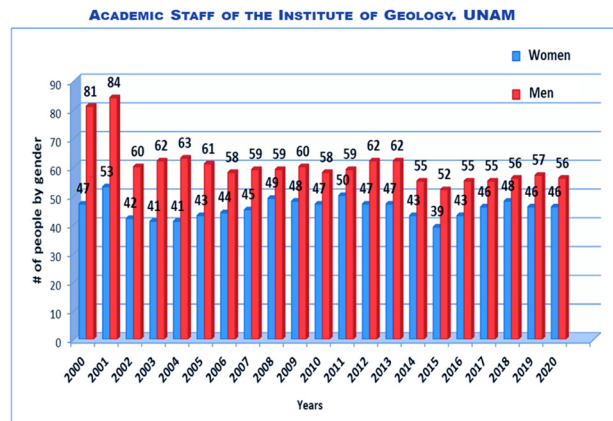


Figure 8. Academic Staff of the Institute of Geology, UNAM during the period 2000-2020. Source: Statistical Agenda UNAM, 2000-2020.

## Acknowledgments

The authors thank M.C. Luis Espinosa Arrubarrena for his careful revision and valuable suggestions, and an anonymous reviewer for helpful comments. We also thank the technical, gracious and diligent support from the editorial team of *Paleontología Mexicana*.

## References

- Abejz, L.J., Corona, C., 2020, Feminismo y perspectiva de género en la Paleontología. [Feminism and gender perspective in Palaeontology]: *Spanish Journal of Paleontology*, 35(1), 29–46. DOI: <https://ojs.uv.es/index.php/sjpalaeontology/article/view/17178>
- Academia Mexicana de Ciencias (AMC), in <https://amc.edu.mx>, consulted: November 20 of 2020.
- Alborch, C., 1999, *Solas*: Barcelona, Planeta, 247 pp.
- Alvarado, M.L., Becerril Guzmán, E., 2002, Mujeres y educación superior en el México del siglo XIX. Arranque de un proceso. *Diccionario de Historia de la Educación en México. Proyecto CONACYT* (in line) in [http://biblioweb.tic.unam.mx/diccionario/htm/articulos/sec\\_10.htm](http://biblioweb.tic.unam.mx/diccionario/htm/articulos/sec_10.htm), consulted: August 19 of 2020.
- Arrom, S.M., 2019, La Güera Rodríguez: la construcción de una leyenda: *Historia Mexicana*, 69(2), 471–510. DOI: <https://doi.org/10.24201/hm.v69i2.3972>.
- Campa, M.F., Campos, M., Flores, R., Oviedo, R., 1974, La secuencia Mesozoica vulcano-sedimentaria metamorfozada de Ixtapan de la Sal (Mex)-Teloloapan, Guerrero: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 35, 7–28. DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1974v35n1a2>
- Campa, M.F., Ramírez, J., 1979, La Evolución Geológica y la Metalogénesis del Noroccidente de Guerrero: Universidad Autónoma de Guerrero, *Serie Técnico-Científica* 1, 84 pp.
- Campa-Uranga, M.F., Coney, P.J., 1983, Tectono-Stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(6), 1040–1051. DOI: <https://doi.org/10.1139/e83-094>.
- Campa-Uranga, M.F., García Hernández, C.U., Buitrón-Sánchez, B., Torres de León, R., 2017, Formación Chapolapa: El triásico que no era: *Paleontología Mexicana*, 6(1), 35–42. DOI: <http://www.ojs-igl.unam.mx/index.php/Paleontologia/index>.
- Chacón-Baca, E., Velasco-de León, M.P., Castañeda-Posadas, C., Cuen-Romero, F.J., 2020, La Sociedad Mexicana de Paleontología: Una Retrospectiva Pertinente: *Paleontología Mexicana*, 9(1), 41–51. DOI: <http://www.ojs-igl.unam.mx/index.php/Paleontologia/article/view/633/535>
- El Colegio Nacional (in line) in <https://colnal.mx/>, consulted: November 20 of 2020.
- Creese, M.R.S., Creese, T., 1994, British Women Who Contributed to Research in the Geological Sciences in the Nineteenth Century: *The British Journal for the History of Science*, 27(1), 23–54. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007087400031654>
- Gío-Argáez, F.R., Rodríguez-Arévalo, H.E., 2003, Panorama General de la Paleontología Mexicana: *Ciencia Ergo Sum*, 10(1), 85–95.
- Gobierno de México, 2020, Datos abiertos: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Sistema Nacional de Investigadores (in line) in <https://datos.gob.mx/busca/dataset/sistema-nacional-de-investigadores/> consulted: July 5 of 2020.
- Kölbl-Ebert, M., 2012, Sketching rocks and landscape: Drawing as a female accomplishment in the service of geology: *Earth Sciences History*, 31(2), 270–286. DOI: [www.jstor.org/stable/24138973](http://www.jstor.org/stable/24138973).
- Lagarde, M., 1996, Género y feminismo: desarrollo humano y democracia: Madrid, Horas y Horas, 248 pp.
- López Ramos, E., 1988, Contribución a la Historia de la Geología en México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 49(1–2), 3–18.
- Lyons, S.L., 2009, Species, serpents, spirits, and skulls: Science at the margins in the Victorian age: Albany, State University of New York, 245 pp.
- Mayor, A., 2000, The first fossil hunters: Dinosaurs, mammoths, and myth in Greek and Roman times: Princeton, N.J., Princeton University Press, 392 pp.
- Mayor, A., 2005, Fossil legends of the first Americans: Princeton, N.J., Princeton University Press, 488 pp.
- Monod, O., Busnardo, R., Guerrero-Suastegui, M., 2000, Late Albian ammonites from the carbonate cover of the Teloloapan arc volcanic rocks (Guerrero State, Mexico): *Journal of South American Earth Sciences*, 13(4–5), 377–388. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00030-4)
- Morales-Jurado, M.E., 2005, Las mujeres en la historia de México: de la independencia a la revolución: Ciudad de México, Universidad Pedagógica Nacional, Degree Thesis, 47 pp.
- Montero, R., 1995, *Historias de Mujeres: México*, Alfaguara, 132 pp.
- Pérez Sedeño, E., Kiczkowski, A., Márquez Pérez, I., 2018, A sociological study of gender and astronomy in Spain: *Nature Astronomy*, 2, 628–633. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0509-x>.
- Sánchez, A.M., Tagüeña, J., 2011, La primera geóloga mexicana: *Revista Digital Universitaria*, 12(10), 1067–6079. DOI: <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num10/art91/art91.pdf>
- Schiebinger, L., 1993, Women in Science: Historical Perspectives in Urry, C.M., Danly, L., Sherbert L.E., Gonzaga S. (eds), *Women at Work: A Meeting on the Status of Women in Astronomy: Proceedings of a workshop held at the Space Telescope Science Institute, Baltimore, Maryland, September 8–9, 1992*, Baltimore: Space Telescope Science Institute (STScI), USA.
- Séptimo Foro Reforma Energética. 3 junio 2008. 1ª parte cjj (in line) in [www3.diputados.gob.mx](http://www3.diputados.gob.mx), consulted November 20 of 2020.
- Suárez Noyola, M.E., 2017, La Mujer universitaria y su aporte a la investigación científica en el Instituto de Geología, durante el periodo 2000–2013: Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Master Thesis, 218 pp.
- Universidad Autónoma de Chihuahua, 2019, *Estadística Básica: Administración 2016–2022*: Chihuahua, UACH. 109 pp.
- Universidad Autónoma de Nuevo León, 2020, *Información Estadística UANL: Nuevo León*, UANL, 26 pp.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Planeación, 2020, *Agenda Estadística UNAM 2020* (in line) in <https://www.planeacion.unam.mx/Agenda/2020/disco/> consulted: November 20, of 2020.
- Zamudio-Varela, G., 2012, De fósiles, nombres y hombres: Un acercamiento al linaje de la paleontología mexicana: *Paleontología Mexicana*, 62, 4–10.
- 15 diario TV, 2015, Entrevista con María Fernanda Campa (video in line) in <https://www.youtube.com/watch?v=fLqQGdU5Xg0>, consulted: October of 2020.

Manuscript received: May 5, 2020.

Corrected manuscript received: November 15, 2020.

Manuscript accepted: November 22, 2020.



## How is the paleontological heritage of Mexico and other Latin American countries protected?

Guerrero-Arenas, Rosalía<sup>a,\*</sup>; Aguilar Arellano, Felisa Josefina<sup>b</sup>; Alvarado Mendoza, Leticia<sup>b</sup>, Jiménez-Hidalgo, Eduardo<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Paleobiología, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido. San Pedro Mixtepec, Oaxaca, C.P. 71985.

<sup>b</sup> Consejo de Paleontología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda #16, col. Centro, alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06060, Ciudad de México, México.

\* rosaliaga@zicatel.umar.mx

### Abstract

The paleontological heritage of Mexico consists of the fossil specimens housed in scientific collections (movable heritage), as well as those found in fossiliferous localities throughout the country's territory (immovable heritage). Since 1986, as stated in the Federal Law on Monuments and Archaeological, Artistic and Historical Zones, the National Institute of Anthropology and History is in charge of protecting fossils discovered in Mexico. Fossils are considered cultural heritage by law in several Latin American countries, such as Argentina, Chile, El Salvador, Peru, and Mexico. However, this classification is not the most adequate because it does not guarantee its comprehensive protection. In other countries, such as Spain, discussions have emerged as to whether paleontological heritage could be considered natural heritage, with all its legal implications. There is no law in Mexico defining the criteria for considering fossil sites as objects of protection; however, there are various instruments that allow their registration and therefore, a proposal for their long-term management and protection. Nonetheless, paleontologists working on Mexican territory must be committed to comply with the requirements already established by the law for the registration of paleontological movable and immovable property. With this, it is possible to improve and adapt the instruments and legal processes that allow the safeguarding of Mexico's paleontological heritage.

**Keywords:** INAH, fossil protection, fossil record, legislation, Mexico.

### Resumen

*El patrimonio paleontológico de México consta de los ejemplares de fósiles resguardados en colecciones (bienes muebles), así como las localidades fosilíferas que existen en el territorio nacional (bienes inmuebles). Desde 1986, tal y como se declara en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológico, Artístico e Histórico, el Instituto Nacional de Antropología e Historia es el encargado de la protección de los fósiles descubiertos en México. Legalmente, los fósiles se consideran como patrimonio cultural en varios países de América Latina, como Argentina, Chile, El Salvador, Perú y México. Esta clasificación no es la más satisfactoria ya que no garantiza su protección integral. En otros países, como España, se ha discutido si se considera como patrimonio natural, con sus implicaciones legales. Por otro lado, en México no hay una ley que defina los criterios para considerar a los sitios fosilíferos como sujetos de protección, empero, existen diversos instrumentos que permiten su registro y con ello, proponer su manejo y protección a largo plazo. Sin embargo, es necesario el compromiso de los paleontólogos que trabajan en territorio mexicano para cumplir con los requisitos ya establecidos en la ley para el registro de bienes muebles e inmuebles paleontológicos. Con ello, se podrán mejorar y adecuar los instrumentos y procesos legales que permitan salvaguardar el patrimonio paleontológico mexicano.*

**Palabras clave:** INAH, legislación, México, protección de fósiles, registro fósil.



## 1. Introduction

The importance of paleontological record is undeniable; fossils can be appreciated for their scientific, social, aesthetic, or educational values. Some countries have focused their efforts to guarantee the long-term preservation of their paleontological resources. However, these procedures are frequently ambiguous and unclear, hindering the primary objective of granting protection to fossil resources for the long term.

In Mexico, the legal framework around fossil specimens and fossiliferous localities protection is set by the National Institute of Anthropology and History (INAH, Instituto Nacional de Antropología e Historia, in Spanish), a bureau created in 1939. The institute is the national agency in charge of research, conservation and promotion of Mexico's archaeological, anthropological, historical, and paleontological heritage. Despite the vast fossil diversity across the Mexican territory, it seems that legal protection of this paleontological heritage is not enough to guarantee the safety of these resources.

In an effort to initiate an academic and fruitful discussion of the strengths and weakness of the legal situation of Mexican fossils resources, the objectives of this text are: 1) to review the background related to worldwide protection of paleontological resources as a cultural or natural heritage, 2) to review the paleontological heritage legislation in some Latin American countries (whose eligibility was established by the availability of information and personal interviews), and 3) to discuss the advances and setbacks in legislation regarding the protection and preservation of Mexican fossil resources.

## 2. The dichotomy of paleontological heritage as cultural and natural heritage

The concept of "heritage" has its origins in Roman law; heritage implies "a set of heritable goods from parents, in a wide sense. It must be preserved for present and future persons, which impose loads and duties, and restricts its availability" (García Pimienta, 2018). Recognition of heritage implies that values and relevant meaning for the development of society are imputed to these goods (Giles Pacheco and Mata Almonte, 2018). Under this consideration, paleontological heritage involves long-term preservation, involving future generations as stewards in its management, use and achievement.

Paleontological heritage is composed of two elements: a set of fossiliferous outcrops (immovable heritage) and a set of collections of specimens, museums and exhibitions with paleontological material used for research, educational, or social popularization purposes (movable heritage) (Prado, 2008) (Figure 1).

"Cultural heritage" and "Natural heritage" represent two basic definitions for understanding the legal status of

fossil resource protections worldwide. A historical review of how the concept of "heritage" came about can be found in Endere (2008). According to UNESCO (2017), the term cultural heritage encompasses several main categories of heritage: tangible cultural heritage (movable and immovable cultural heritage) and intangible cultural heritage. Fossil specimens are considered cultural heritage and natural heritage. Morales (2019) discussed this topic extensively; however, we highlight the main issues of this dichotomy.

The first article of the UNESCO Convention of the Means of Prohibiting the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property -from 1970- states that "cultural heritage" includes "rare collections and specimens of fauna, flora, minerals, and anatomy, and objects of "palaeontological interest". The concept "paleontological interest" is mentioned in this text, without a proper definition. However, it is defined in other texts as the "capacity of a fossil or a fossil set to provide scientific information" (Ministerio de Cultura de Perú, 2014).

On the other hand, the term "natural heritage" includes "natural sites with cultural aspects such as cultural landscapes, physical, biological or geological formations" (UNESCO, 2017). Since the fossil record is inseparable from the geological environment, it can be argued that the protection of fossil resources could be framed as part of the natural heritage because fossils are natural objects, not created by humans (Prado, 2008).

Stemming from statements within UNESCO's Convention of the Means of Prohibiting the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property, the existing legislation in many countries considers that paleontological heritage is included in "cultural heritage". For this reason, in legal terms, paleontological resources are equated to objects with non-similar origin and nature, like archaeological and historical artifacts.

The omission of the paleontological heritage in several definitions and procedures is a significant gap in subsequent documents produced by UNESCO after 1970. The concept is not mentioned in key documents, such as the "Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage" (UNESCO, 1972) or the manuals "Managing Cultural World Heritage" (UNESCO, 2014a) and "Managing Natural World Heritage" (UNESCO, 2014b). In this text, fossils are only mentioned when they are part of a geological formation or site.

As mentioned, legal protection of fossil records is similar in many countries, like Argentina, Chile, and Mexico. In other countries, like Spain, an academic debate has begun, namely whether paleontological heritage must be included either as part of a cultural or of natural heritage (e.g. Martín-González, 2014; Aranda Quirós, 2018; Fernández Martínez and García-Ortiz de Landaluce, 2018; Leñero Bohórquez, 2018), and the administrative and legal implications of this designation.

In the last few years, alternative concepts have emerged with the objective of creating a comprehensive vision of

fossil resources in nature. For example, “Earth Heritage” encompasses geological and geomorphological heritage of the Earth (Glasser, 2001). A more popular concept is “Geoheritage”, referred to as the diversity of minerals, rocks and fossils, and petrogenetic features that indicate the origin and/or alteration of minerals, rocks and fossils. It also includes landforms and other geomorphological features that illustrate the effects of present and past effects of climate and Earth forces (Brocx and Semeniuk, 2007). Although these concepts are frequently mentioned in academic texts worldwide, they do not transcend to the legal domain. As we will discuss below, the predominant criteria for legislation in many countries is to consider paleontological heritage as “cultural heritage”.

### 3. Paleontological legislation in Argentina

Paleontology has a long tradition in Argentina, mainly vertebrate paleontology (Endere and Prado, 2014; Fernández *et al.*, 2014). Efforts for legal safeguards of the paleontological and archaeological heritage of Argentina’s legal system date back to the mid-nineteenth century. They include specific laws as well as regulations in the Argentinean Constitution and Civil Code (Fernández *et al.*, 2014).

Fernández *et al.* (2014), and the references therein, present a concise and complete synthesis of the legislative framework in Argentina and its historical development. Argentinean heritage legislation not only jointly regulates archaeological and paleontological heritage (Law 25.743/2003) but also considers them as part of the public domain of the state (Civil Code from 1968, Article 2339 inc. 9 and Article 2340). This means that any fossil of scientific interest is eligible for protection, no matter its size, abundance, completeness, or any other criteria. In practice, all fossils are considered public property, because even if some specimens might be regarded as irrelevant –under the current scientific perspective- nowadays, they may become significant in the future.

In Argentina, the site-based conservation approach has traditionally been adopted by legislation. Under National Law 25.743 and the Civil Code (Articles 2339 and 2340), the federal government conferred legal protection to paleontological sites of scientific interest. Fossil sites may also be protected in national parks and natural reserves under the jurisdiction of the National Park Administration created by Law 22.351/1980.

Electronic archives regarding legislation and administrative processes related to the protection of fossil resources are available in the electronic page of Bernardino Rivadavia Argentinian Museum of Natural Sciences (Museo

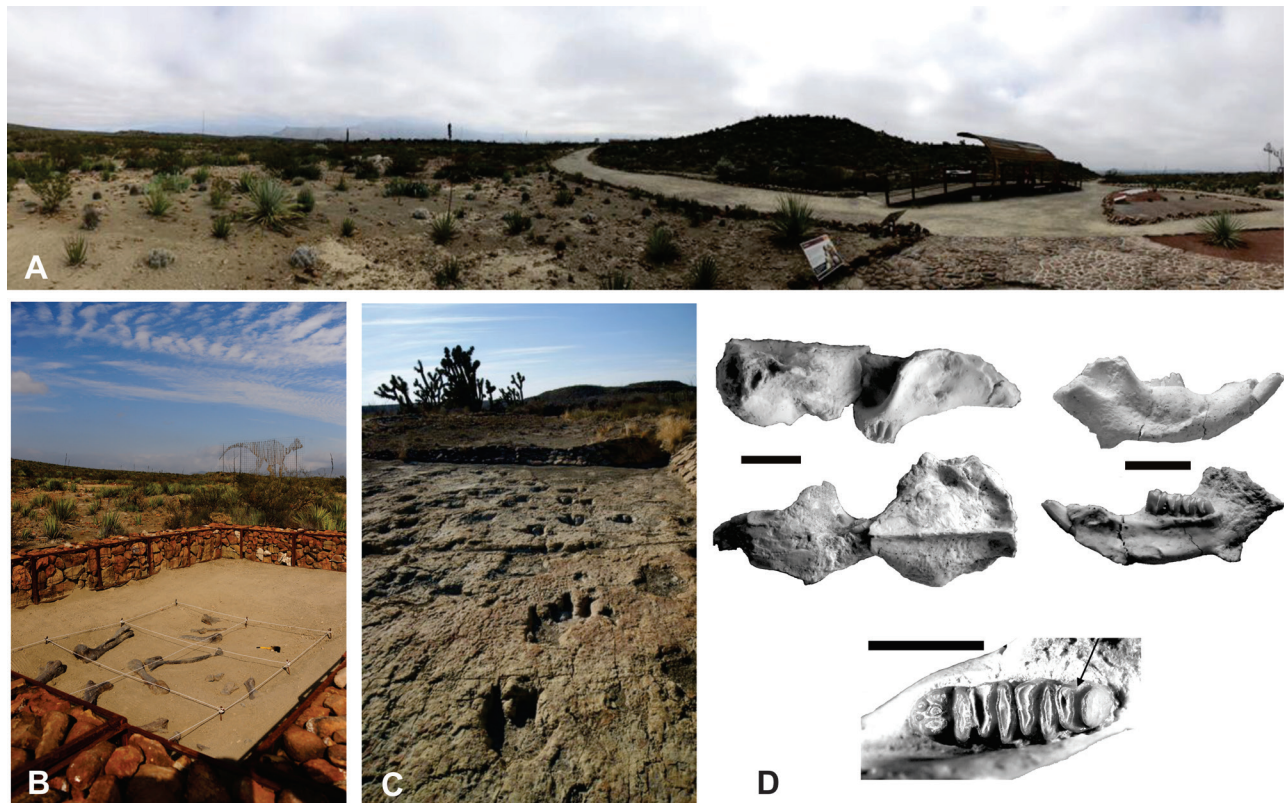


Figure 1. Examples of movable and immovable heritage. A) Panoramic view of Rincón Colorado, Coahuila (immovable heritage); B) Paleontological excavation in the protected site of Rincón Colorado, Coahuila; C) Panoramic view of Las Águilas, Coahuila (immovable heritage); D) Holotype of *Gregorymys veloxikua*, housed at Universidad del Mar (movable heritage). Figures 1B and 1C, authorship of Mauricio Marat.

Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, or MACN) (<http://www.macnconicet.gob.ar/el-museo/autoridad-de-aplicacion-nacional-aan-de-la-ley-25-743-en-materia-paleontologica/>). This branch of government is the National Application Authority regarding the protection of paleontological and archeological heritage. According to Argentinian law, no fossil specimen from Argentina can be transported outside the territory without a permit from MACN. Moreover, non-Argentinian fossils can be introduced into this country but not without a permit. Administrative processes are detailed in the same electronic page of the MACN.

The 200-year old main repository of fossil specimens in Argentina belongs to MACN. Nowadays, every province has its own paleontological collections. It is mandatory for any person who extracts a fossil from any province to deposit the specimen in a collection of the same province. Laws regarding the preservation, protection and conservation in every province are available online in the electronic page of MACN (<http://www.macnconicet.gob.ar/el-museo/autoridad-de-aplicacion-nacional-aan-de-la-ley-25-743-en-materia-paleontologica/>).

These laws have protected not only the fossiliferous heritage within Argentina territory. Antarctic fossiliferous specimens are deposited in several collections around the world (Reguero, 2019), including museums and institutes in Argentina and Chile. The Repositorio Antártico de Colecciones Paleontológicas y Geológicas (Antarctic Repository of Paleontological and Geological Collections) was created in 2015, for the purpose of meeting legal requirements of National Legislation 25.743. This repository is the responsibility of the Instituto Antártico Argentino (Argentinian Antarctic Institute; IAA, for its acronym in Spanish) through disposition DNA N° 9" T"/15 from October 1<sup>st</sup>, 2015 (Dirección Nacional del Antártico, 2019). Argentina's legislation protects Antarctic fossil specimens housed in collections within its territory.

#### 4. Paleontological legislation in Chile

Several pieces of legislation regulate the protection and conservation of paleontological heritage in Chile. There are three main instruments regarding fossil record legal protection: Law 17.288 from National Monuments, Supreme Decree 484 of 1990, Regulation about Archaeological, Anthropological, and Paleontological Excavations and/or Prospections, and Pascua Las 16.441 of 1996. Laws archives, electronic documents and formats of administrative processes are available on the electronic page of National Monuments of Chile Council (Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, or CMN) (<https://www.monumentos.gob.cl/servicios/tramites/tramites-patrimonio-paleontologico>).

Archaeological and paleontological items are covered under the same legislation, with no distinction between

them. Paleontological artifacts are considered national monuments, as it is mandated in Law 17.288. Regulations on excavations and/or archaeological, anthropological and paleontological surveys are contained in the Supreme Decree No. 484 of 1990 of the Ministry of Education, published in the Official Gazette April 2<sup>nd</sup>, 1991.

As far as international agreements under UNESCO's convention related to the import and export of Cultural Items of 1970, Chile did not ratify the convention until recently (April 14<sup>th</sup>, 2014).

As an additional measure, Chile has tasked the National Monuments Council (Consejo de Monumentos Nacionales, in Spanish) with the "effective" protection of fossil and archaeological records. Recently, this agency presented a project focused on the development of cartography to be used in the protection of prehistoric heritage from industrial and urban spread (González Isla, 2016).

#### 5. Paleontological protection in Peru

As is the case in other countries in Latin America, paleontological resources in Peru have been recognized since the intervention of foreign naturalists (mainly Europeans) during the XIX century (Chacaltana, 2019). In spite of this historical development, paleontological heritage legislation is limited. Vildoso Morales (2012) mentions the lack of an effective law for the protection of fossils as a major problem; theoretically, Peru has had a law giving formal protection to fossils and fossil sites starting in 2002.

As in many other countries, paleontological heritage in Peru is considered cultural heritage. It is mentioned in the first article of Law 26576: "General Law of Cultural Heritage of the Nation" (Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación, in Spanish) stating that paleontological goods belong to this category. This law forbids the sale of fossils (specially vertebrates) (Ministerio de Cultura de Perú, 2014).

Law 28296 adds fossils to the cultural heritage of the nation as a good with "importance, value and paleontological significance", without further explanation of the term. The Culture Ministry (Ministerio de Cultura) is the entity responsible for the cultural heritage of Peru (Ministerio de Cultura de Perú, 2014).

Even when there are many institutions with scientific groups focused on the study of fossils, like the Universidad Nacional Mayor de San Marcos and the Museo de Historia Natural of the same university, Peru lacks a major institution in charge of paleontological heritage management and legislation (Chacaltana, 2019).

A great weakness in the Peruvian legal system was the lack of a database of institutions holding paleontological collections (Alleman and Benavente, 2006). Regarding immovable heritage, paleontological sites are identified, registered and declared as a Cultural Heritage of the Nation. Nowadays, there are 239 paleontological sites in all of

the Peruvian territory: five have been declared as cultural heritage of the Nation, eleven sites are registered, 85 sites are in the identification phase, and 138 sites are in the initial phase of identification (Ministerio de Cultura de Perú, 2020).

At this time, there is a proposal for a General Law of Paleontological Heritage of the Nation and the Paleontological Outcrops (*Ley General del Patrimonio Paleontológico de la Nación y de los Yacimientos Paleontológicos*, in Spanish) (Available at: [https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016\\_2021/Proyectos\\_de\\_Ley\\_y\\_de\\_Resoluciones\\_Legislativas/Proyectos\\_Firmas\\_digitales/PL05994.pdf](https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/Proyectos_Firmas_digitales/PL05994.pdf)). There is no more information available about the advances of this initiative.

## 6. Paleontological protection in El Salvador

The Special Law of the Cultural Heritage of El Salvador (*Ley Especial al Patrimonio Cultural de El Salvador*, in Spanish) mentions in its second and third articles that paleontological goods are considered part of its cultural heritage.

The Museo de Historia Natural de El Salvador is the main repository of national collections of Paleontology, Zoology and Botany. The institution has the faculty for administration, rescue, research, recognition, identification, conservation, promotion, development, outreach and evaluation of movable and immovable goods as Cultural Heritage of Natural Origin of El Salvador (Ministerio de Cultura de El Salvador, 2020).

In this country, a figure known as “monitor” is the person responsible for monitoring the conservation and protection states of paleontological sites declared cultural heritage (Ministerio de Cultura de El Salvador, 2020). Through the processes of Cultural Valuation application, the registration of paleontological sites has been increased from nine to 48, throughout El Salvador’s territory (Molina Leddy, 2019). Two sites are declared Cultural Heritage of El Salvador (Alvarenga Láinez, 2019).

## 7. Paleontological protection in Mexico

Paleontological heritage legislation in Mexico is regulated by the National Institute of Anthropology and History (INAH, in Spanish; Aguilar-Arellano and Alvarado-Mendoza, 2020).

Regarding paleontological movable heritage, the article 28 Bis of the Federal Law of Archaeological, Artistic, and Historical Monuments and Zones (*Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas*) states that fossil remains within the Mexican territory are under the legal care and custody of INAH. Specifically, the article’s language states that “For the effects of this Law and their Regulation, the provisions regarding archaeological monuments and zones will be applicable to

fossil vestiges or remains of organic beings (“meaning fossil specimens”) that inhabited our national territory in the past, and their research, conservation, restauration, recovery or utilization are of paleontological interest...”

Mexican legislation about immovable paleontological heritage is precarious. Rincón Colorado (located in Coahuila de Zaragoza, northern Mexico) is the only protected fossiliferous site in Mexico (Figures 1A and 1B). However, its official recognition has been long and difficult. Since the figure of “fossiliferous site” is not included in the present legislation, its registration was made through a card for archaeological sites. One of the requirements is to have a delimited area, which is not always easy to establish in fossiliferous sites. Considering all the technical aspects involved in the polygonal delimitation of archaeological zones: 1) locality choice, 2) definition of the paleontological area within the polygonal contours, 3) the technical file compilation, and 4) the elaboration of the declaratory proposal (Escartín Adam, 2009; Aguilar-Arellano, 2015), Rincón Colorado was decreed to be a Natural Protected Area with character of paleontological zone by the state government of Coahuila (Estado de Coahuila, 2013). Other fossiliferous sites are registered in the Single System of Public Registry of Archaeological and Historical Monuments and Zones, a database described below. These sites have not been given protected status, unlike Rincón Colorado.

An essential tool to regulate the management of the cultural heritage of Mexico is the database Single System of Public Registry of Archaeological and Historical Monuments and Zones (*Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas*, in Spanish). This database contains information related to the Mexican movable and immovable heritage, including paleontological heritage. The Department of Public Registry of Archaeological and Historical Monuments and Zones (DRPMZAH, Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, in Spanish) is responsible for hosting and keeping this database. Moveable heritage must be identified, described and recorded with an official number to be included in the database. Geological and physical characteristics of the fossiliferous outcrops or localities (immovable heritage) are also registered in the database (Figure 1C). Registry of the paleontological heritage allows their legal protection in several circumstances, including robbery, involuntary or voluntary destruction.

In order to reinforce the criteria and procedures for the protection of the Mexican fossil record, the Council of Paleontology (*Consejo de Paleontología*, in Spanish) was created in 1994. This council coordinated several efforts to organize the actions and procedures to regulate the protection of Mexican fossil resources (Aguilar-Arellano and Alvarado-Mendoza, 2020). The council was dissolved in 2000, but it was recently reactivated, in 2017. At this time, the regulations and documents proposed by the members

of the council are under review by the Internal Regulatory Improvement Committee (Comité de Mejora Regulatoria Interna, in Spanish) of INAH. This Committee is in charge of reviewing the current provisions regarding regulatory documents for their future approval and application, before their official publication. Once the documents are published by the Council of Paleontology, the regulation can be put into practice.

## 8. A reflection about the ongoing protection of paleontological heritage in Mexico

Few attempts have been made to establish binding international agreements in an effort to control or manage paleontological heritage (Page, 2018). For example, to take international cooperation, the International Institute for the Unification of Private Law (UNIDROIT) -an independent intergovernmental organization- was asked by UNESCO to develop the Convention on Stolen or Illegally Exported Cultural Objects (1995), as a complementary instrument to the 1970 Convention. In the UNIDROIT Convention, States commit to a uniform treatment for restitution of stolen or illegally exported cultural objects and allow restitution claims to be processed directly through the national courts (<http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/illicit-trafficking-of-cultural-property/1995-unidroit-convention/>). Unfortunately, Mexico is not part of this convention.

After the Convention of the Means of Prohibiting the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property adoption at world level in 1972, a World Heritage List was proposed (natural, cultural, or mixed sites) (Available in <https://whc.unesco.org/>). Several sites with fossiliferous outcrops were declared as a part of this compendium, like Joggins Fossil Cliffs in Canada, and Chengjian Fossil Site in China. Sites included in this list have a degree of protection that allows their long-term conservation. Unfortunately, no Mexican site by its fossiliferous richness has been included in this list, despite the great potential of paleontological localities in Mexico.

Paleontological heritage protection in Mexico is restricted to the Federal Law of Archaeological, Artistic, and Historical Monuments and Zones. Also, fossils are considered national heritage into the General Law of National Goods (Ley General de Bienes Nacionales, in Spanish). It would be highly appropriate for individual Mexican states to also protect their fossils, similar to the efforts contained in Argentinean legislation.

Despite efforts by DRPMZAH, the registry of many fossil specimens and fossiliferous sites are scanty. There are only three scientific collections in Mexican educative institutions with paleontological movable heritage registered in the Single System of Public Registry of Archaeological and Historical Monuments and Zones: the National Paleontological Collection (housed at the Geology Institute, UNAM), an ichnofossil specimens collection

(housed at the Engineering Faculty, UNAM), and the Paleontological Collection (housed at the Paleobiology Laboratory, Universidad del Mar) (Cano, 2020; personal communication) (Figure 1D). Despite the interest and enthusiasm of many paleontologists, administrative issues or indifference of the collections managers delay the registry of other scientific collections housed in Mexican universities.

Another couple of non-academic collections, like the Paleontological Collection at the Paleontology Museum of Guadalajara, and some Chiapas museums, have registered their fossil specimens as movable heritage. Some amber collections managed by private individuals, are also registered. This meager inventory impedes the scientific evaluation and the protection of the universe of paleontological fossils across the Mexican territory.

Regarding fossiliferous sites, besides Rincón Colorado, there are approximately 113 registered localities with paleontological specimens. It is reasonable to consider that these sites are not representative of the vast Mexican territory with fossiliferous outcrops. The registry depends on researches support: a co-responsibility is established by the DRPMZAH and the paleontologists, who are responsible for registering their study areas. It is important to encourage Mexican researchers to register their localities in order to obtain a database. This database will be useful in future studies, as in archaeological localities.

The diverse and significant geological heritage in many states of Mexico has been examined in academic journals (*e.g.* Gaitán Morán and Álvarez Arellano, 2009; Palacio-Prieto, 2014; Silva-García *et al.*, 2019). These studies demonstrate the richness and abundance of the geological and geomorphological features of the Mexican lithology. However, the natural correlation of geological and paleontological resources has not permeated to administrative levels, guarantying the whole preservation of both heritages.

Laws to Mexican paleontological heritage are insufficient to protect this resource; the little that exists does not allow its adequate execution. An academic discussion about the management and long-term preservation of the Mexican paleontological heritage is urgently needed, both at practitioner and at a legislation level. Moreover, Mexico needs legislative authorities with capacity, knowledge, and sensibility to face paleontological heritage protection's complex scene. As many other countries, like Chile or El Salvador, the academic initiatives for the protection of paleontological heritage in Mexico have been paused when they have been presented to federal authorities for their approval.

A small number of efforts and the good will of Mexican paleontologists may be not enough to guarantee the safeguarding of fossils. Nowadays, several bureaucratic actions of the current federal government include considerable funding reductions to INAH's operating budget and economic resources for scientific research in Mexico. This surely will have a devastating influence in the short-

or even, mid- term in meeting adequate protection needs of Mexico's paleontological heritage.

## Acknowledgments

We thank Sara Parma, Jorge Genise and Maria Victoria Sánchez for providing information regarding Argentinean legislation, and to Ulises Cano for communication about the Single System of Public Registry of Archaeological and Historical Monuments and Zones. We thank G. Ruelas-Inzunza for providing proofreading assistance.

## References

- Aguilar Arellano, F.J., 2015, Conservation of Palaeontological Sites in Mexico: Legal, Research and Communication Measures for Integrated Approaches, in UNESCO (ed.) World Heritage Human Origin Sites and the World Heritage Convention in the Americas: Heads 5, 1, 126–133.
- Aguilar Arellano, F.J., Alvarado Mendoza, L., 2020, The Council of Paleontology of INAH: Background and Perspectives: *Paleontología Mexicana*, 91–101.
- Alleman, V., Benavente, S., 2006, Estado actual del patrimonio paleontológico del Perú: *Biotempo*, 6, 62–67.
- Alvarenga Láinez, D.I., 2019, Sitio paleontológico “Cerro El Dragón” de Concepción Quezaltepeque, Chalatenango, El Salvador, in *Memorias del X Congreso Latinoamericano de Paleontología, El Salvador: Paleontología Mexicana, Número Especial 4*, 58 p.
- Aranda Quirós, A.L., 2018, La dualidad del patrimonio paleontológico y su divulgación: *PH*, 94, 319–320, <https://doi.org/10.33349/2018.0.4184>.
- Brocx, M., Semeniuk, V., 2007, Geoheritage and geoconservation-history, definition, scope and scale: *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90, 53–87, [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4\\_310](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_310).
- Chacaltana, C., 2019, Paleontología peruana: determinación histórica, regulaciones jurídicas y propuesta de gestión, in *Memorias del II Simposio Internacional de Paleontología del Perú, Lima, 27–30 de noviembre de 2018: Lima, Tejeda Medina, Luz and Chalcatana Budiel, César (eds.)*, 168–171.
- Dirección Nacional del Antártico, 2019, Instituto Antártico Argentino (online): Argentina, Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, *available at* <https://cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/instituto-antartico-argentino/repositorio-de-fosiles>, *consulted on* August 6, 2020.
- Endere, K. L., 2008, Algunas reflexiones acerca del patrimonio in Endere, M.L. y Prado, J.L. (eds.), *Patrimonio, ciencia y comunidad. Un abordaje preliminar en los partidos de Azul, Olavarría y Tandil: Argentina, INCUAPA/Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*, 17–46.
- Endere, M.L., Prado, J.L., 2014, Characterization and valuation of paleontological heritage: a perspective from Argentina: *Geoheritage*, 7, 137–145. DOI 10.1007/s12371-014-0124-x.
- Escartin Adam, R., 2009, Aspectos técnicos involucrados en la elaboración de poligonales de las zonas arqueológicas, in *Memoria del registro arqueológico en México: Treinta años (Colección científica no. 548): México, Dávila Mesa, S., Castillo Mangas, M.T., Sánchez Nava, P.F., y Medina Jaén, M. (eds.)*, 373–387.
- Estado de Coahuila, 2013, Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Coahuila (online): Saltillo Coahuila, Tomo CXX, 35, 30 de abril de 2013, *available at* <http://periodico.sfpcoahuila.gob.mx/ArchivosPO/35-ORD-30-ABR-2013.PDF>, *consulted on* December 8, 2020.
- Fernández, D.E., Luci, L., Cataldo, C.S., Pérez, D.E., 2014, Paleontology in Argentina: History, heritage, funding, and education from a southern perspective: *Palaeontologia Electronica*, 17.3.6E, 1–18, <https://doi.org/10.26879/146>.
- Fernández Martínez, E., García-Ortiz de Landaluce, E., 2018, Algunas consideraciones sobre la gestión del patrimonio paleontológico: *PH*, 94, 273–275, <https://doi.org/10.33349/2018.0.4154>.
- Gaitán Morán, J., Álvarez Arellano, A., 2009, The protection and use of the geological and paleontological heritage in Baja California Sur, Mexico, in Lipps, J.H. and Granier, B.R.C. (eds.), *Paleoparks: The protection and conservation of fossil sites worldwide: Carnets de Géologie/notebooks on Geology, Brest, Book 2009/03*, 35–48.
- García Pimienta, J.C., 2018, Reflexión sobre la consideración del patrimonio paleontológico: *PH*, 94, 265–266, <https://doi.org/10.33349/2018.94>.
- Giles Pacheco, F., Mata Almonte, E., 2018, Una mirada a la Tierra. Valoración del patrimonio paleontológico: *PH*, 94, 296–298, <https://doi.org/10.33349/2018.94>.
- Glasser, N.F., 2001, Conservation and management of the Earth heritage resource in Great Britain: *Journal of Environmental Planning and Emergence*, 44(6), 889–906, <https://doi.org/10.1080/09640560120087624>.
- González Isla, C., 2016, Crean primer mapa del país para proteger fósiles (online): Chile, La Tercera, November 16, 2011, *available at* <https://www.latercera.com/noticia/crean-primer-mapa-del-pais-protoger-fosiles/>, *consulted on* August 6, 2020.
- Leñero Bohórquez, R., 2018, Sobre el sentido de la protección jurídica del patrimonio paleontológico y su inserción sectorial en la legislación del patrimonio cultural: *PH*, 94, 333–334, <https://doi.org/10.33349/2018.94>.
- Martín-González, E., 2014, El patrimonio paleontológico como recurso socio-económico en Lanzarote in *Memorias del XVII Simposio de Centros Históricos y Patrimonio Cultural de Canarias: Lanzarote, 5 al 7 de septiembre de 2014. Fundación CICOP*, 1–8.
- Ministerio de Cultura de El Salvador, 2020, Norma de Seguimiento a Declaratorias de Bienes Culturales de Origen Natural: El Salvador, Ministerio de Cultura de El Salvador, 17 pp.
- Ministerio de Cultura de Perú, 2014, Guía para el reconocimiento de bienes paleontológicos. El Perú contra el tráfico ilícito de bienes culturales: Perú, Ministro de Cultura, 48 pp.
- Ministerio de Cultura de Perú, 2020, Política Nacional de Cultura al 2030 (online): Perú, Ministerio de cultura de Perú, June 21, 2020, *available at* <https://www.gob.pe/institucion/cultura/informes-publicaciones/841303-politica-nacional-de-cultura-al-2030>, *consulted on* December 8, 2020.
- Molina Leddy, M.A., 2019, Los procesos de valoración cultural en El Salvador in *Memorias del X Congreso Latinoamericano de Paleontología, El Salvador: Paleontología Mexicana, Número Especial 4*, 58 p.
- Morales, J., 2019, La Paleontología: el convidado de piedra de la Ley de Patrimonio Histórico de 1985: *Spanish Journal of Palaeontology*, 34(1), 3–16.
- Page, K.N., 2018, Fossils, heritage and conservation: Managing demands on a precious resource, in Reynard, E., y Brilha, J. (eds.), *Geoheritage. Assesment, Protection, and Management: Netherlands, Elsevier*, 107–128.
- Palacio-Prieto, J.L., 2014, Geoheritage within cities: urban geosites in Mexico City: *Geoheritage*, 7(4), DOI 10.1007/s12371-014-0136-6.
- Prado, J.L., 2008., *Patrimonio paleontológico in Endere, M.L. y Prado, J.L. (eds.)*, *Patrimonio, ciencia y comunidad. Un abordaje preliminar en los partidos de Azul, Olavarría y Tandil: Argentina, INCUAPA/ Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*, 111–141.
- Reguero, M.A., 2019, Antarctic Paleontological Heritage: Late Cretaceous–Paleogene vertebrates from Seymour (Marambio) Island, Antarctic Peninsula: *Advances in Polar Science*, 30(3), 328–355, DOI: 10.13679/j.advps.2019.0015.
- Silva-García, J.T., Cruz-Cárdenas, G., Ávila-Meléndez, L.A., Nava-Velázquez, J., Villalpando-Barragán, F., Estrada-Godoy, F., Ochoa-

- Estrada, S., 2019, Geological Heritage of the State of Michoacan, Mexico: *Geoheritage*, 11, 1057–1065.
- UNESCO, 1972, Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (online): World Heritage Convention, December 2020, *available at* <https://whc.unesco.org/en/conventiontext/>, *consulted on* August 12, 2020.
- UNESCO, 2014a, Manual de Referencia. Gestión del Patrimonio Mundial Cultural: París, UNESCO/ICCROM/ ICOMOSN/UICN, 158 pp.
- UNESCO, 2014b, Manual de Referencia. Gestión del Patrimonio Mundial Natural: París, UNESCO/ICCROM/ ICOMOSN/UICN, 105 pp.
- UNESCO, 2017, What is meant by “cultural heritage”? (online): UNESCO, 2017, *available at* <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/illegal-trafficking-of-cultural-property/unesco-database-of-national-cultural-heritage-laws/frequently-asked-questions/definition-of-the-cultural-heritage/>, *consulted on* August 29, 2020.
- Vildoso Morales, C.A., 2012, Paleontology in Peru: just beginning: *Palaeontologia Electronica*, 15(2), 3E, 1–7, <https://doi.org/10.26879/123>.
- Manuscrito recibido: Octubre 15, 2020.  
Manuscrito corregido recibido: Noviembre 30, 2020.  
Manuscrito aceptado: Diciembre 6, 2020.



# Impacto y visibilidad nacional e internacional de la producción científica de la Dra. Blanca Estela Margarita Buitrón-Sánchez

Armendáriz Sánchez, Saúl<sup>a,\*</sup>; Castro Escamilla, Minerva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>UNAM, Instituto de Geofísica, Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra, Circuito Exterior s/n Área de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, CDMX, México.

\* asaul@atmosfera.unam.mx

## Resumen

Se realizó un estudio métrico de la producción científica generada a lo largo de la vida académica de la Dra. Blanca Estela Margarita Buitrón-Sánchez, que busca mostrar su impacto, cooperación, citación y presencia a nivel nacional e internacional en beneficio de la paleontología mexicana y de los estudios regionales de la especialidad, utilizando diversas fuentes de información como el Web of Science, Scopus, SciVal, PURE, Altmetrics, Dimensions, Google Scholar, GeoRef, Geobase, T-Tesis y Geomex. Con base en estas herramientas se logró compilar todas las posibles variantes de la forma en que fue asentado su nombre, así como todos los trabajos indizados, ofreciendo un panorama amplio de su trayectoria en la paleontología mexicana y su aportación directa a las nuevas generaciones de científicos. El análisis métrico se enfoca a la visibilidad, presencia y cooperación que la investigadora ha tenido a lo largo de los años, por medio del análisis de sus publicaciones indizadas en los diferentes tipos de bases de datos y sistemas que se utilizaron para el estudio. Este trabajo no busca ofrecer un análisis de la vida académica de la investigadora, sino presentar un panorama bibliométrico de sus obras publicadas, pero sobre todo resaltar la aportación científica que ha realizado a la geología y en particular a la paleontología durante su actividad como investigadora.

**Palabras clave:** Buitrón-Sánchez, Paleontología, Bibliometría, producción científica, Geología, México.

## Abstract

*This work aims to do a metric study of the scientific production generated throughout the academic life of Dr. Blanca Estela Margarita Buitrón-Sánchez. Therefore, we will show the impact, cooperation, citation and presence at the national and international level of Buitrón-Sánchez's work. For these purposes we will be using various sources of information such as the Web of Science, Scopus, SciVal, PURE, Altmetrics, Dimensions, Google Scholar, GeoRef, Geobase, T-Thesis and Geomex, which allowed the compilation of all the possible variants that their publications could offer to the new generations of scientists. The metric analysis focuses on the visibility, presence and cooperation that the researcher has had over the years, through the analysis of her publications indexed in the different types of databases and systems that were used for the study. The work does not seek to offer an analysis of the academic life of the researcher rather to present a bibliometric overview of her published works. Above all, this work will like to highlight the scientific contribution she has made to geology and in particular to paleontology during her activity as a researcher.*

**Keywords:** Buitrón-Sánchez, Paleontology, Bibliometry, scientific production, Geology, Mexico.



## 1. Introducción

Los análisis métricos de la ciencia representan una fuente importante de información para conocer el impacto, visibilidad, presencia, cooperación y citación que un investigador, entidad, institución o país tienen basándose en la especialidad que se desea conocer, actividad que se realiza por medio del estudio de la producción científica que se genera a lo largo de un periodo de tiempo. Para auxiliar esta labor existen distintas herramientas con base en lo que se busca recuperar como son: Web of Science, Scopus, Altmetrics, Google Académico, Dimensions, PURE, SciVal, SciMago, etc.

Es importante señalar que para un estudio como el presente debemos entender que el medir y el evaluar son temas distintos, por ello nosotros no nos enfocamos a medir sino a evaluar la visibilidad y presencia académica de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez a lo largo de medio siglo. En ese sentido la evaluación que hacemos se enfoca a los temas relacionados con la investigación, obteniendo criterios de evaluación bajo evidencia que es la producción académica impresa de la Dra. Buitrón-Sánchez.

Durante los estudios bibliométricos se deben establecer criterios muy claros de evaluación utilizando distintos tipos de métricas dependiendo de los resultados que se desean obtener, en el entendido que durante la evaluación nunca se recupera el 100% de los datos deseados, sino que hablamos de aproximaciones, ya que depende de las bases de datos utilizadas, de la forma en que está asentado el investigador, de la división temática que hacen los sistemas, etc.

La proyección que se hace en este estudio sobre la citación, visibilidad, presencia académica, cooperación nacional e internacional y aportación de la Dra. Buitrón-Sánchez a la paleontología se realizó desde dos dimensiones (micro y macro), en el entendido que el análisis de su producción a nivel local aporta parte de los datos de análisis y el uso de fuentes internacionales de información como las bases de datos y los sistemas de administración del conocimiento, y revisando por otra parte la citación que representa un impacto internacional entre la comunidad científica de su especialidad.

En ese sentido, los análisis métricos del personal académico que lleva varios años en el campo de la investigación son un tema clave para entender el desarrollo de una disciplina y/o institución y más si se enfocaron a desarrollar una especialidad ya sea regional, local o nacional, como es el caso de la Dra. Blanca Estela Margarita Buitrón-Sánchez, especializada en los estudios de la paleontología mexicana en el Instituto de Geología (IGL) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

La propuesta del artículo no es presentar una investigación bio-bibliográfica de la Dra. Buitrón-Sánchez, sino desarrollar un análisis métrico de su producción científica, cuyo objetivo es mostrar el impacto y presencia nacional

e internacional de la misma, que ha logrado a lo largo del medio siglo de actividad académica, analizando la citación que ha recibido, la cooperación en coautorías, su visibilidad académica y sobre todo la aportación científica realizada.

Los datos de la producción científica de la Dra. Buitrón son tomados de cuatro fuentes importantes para tener un panorama general de su visibilidad nacional: GeoRef, Periodica, Web of Science y Altmetrics, utilizando otras herramientas como Scopus, Journal Citation Reports, Dimensions, Tesiunam y Geobase como apoyo para el análisis de los datos.

Con el objetivo de elaborar las estrategias de búsqueda de la información tanto en los catálogos como en las bases de datos utilizados para los análisis métricos se determinó establecer un índice de términos ponderados que nuestra investigadora utiliza de forma individual y regular, que nos permiten conocer sus principales líneas de estudio a lo largo del tiempo, las cuales dividimos en dos áreas:

1. Ciencias ambientales y de la tierra: *Permian, Limestone, Pennsylvanian, Wolfcampian, Microfossil, Fossil, Gastropod, Terrane, Biostratigraphy, Lopingian, Guadalupian, Biofacies, Microfacies, Kimmeridgian, Bivalve, Foraminifera, Paleogeography, Depositional environment, Shale, Ordovician, Outcrop, Sponge, Stratigraphy, Paleozoic, Jurassic, Sandstone, Shell, Carbonate, Calcareous alga, Fish, Pangaea, Tithonian, Oxfordian, Alga, Marl, Laurentia, Benthic foraminifera, Trilobite, Fauna, Sclerite, Cyanobacterium, Nomenclature, Spicule, Brachiopod, Sedimentary sequence, Warm water, Avalonia, Rock, Tectonics, Benthos.*
2. Física y astronomía: *México, Guatemala, Fossils, Deposits, Aerospace Sciences, Limestone, SAS, Life Sciences, Fishes.*

Como podemos observar, los cinco principales términos utilizados de manera recurrente por la Dra. Buitrón-Sánchez, en las dos áreas temáticas, resumen su especialidad y muestra una idea de su interés temático en las publicaciones que realiza.

## 2. Los datos de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez

Para contar con una visión de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez se presentan los datos a nivel nacional sobre la producción científica que en paleontología y temas afines (micropaleontología, paleoecología, paleobiogeografía, paleoignología, paleobotánica, paleozoología, etc.) se ha realizado en México. Basándonos para ello en dos de las fuentes con mayor cantidad de información especializada en temas de ciencias de la tierra como son las bases de datos GeoRef y Geobase, (de enero de 1961 a junio de 2020

incluyen 301,225 publicaciones sobre paleontología, de las cuales 250,068 son artículos de revistas, 15,703 son libros, el resto son conferencias, reportes, disertaciones, etc.).

Del total recuperado, 1578 publicaciones son producidas en México e indizadas en estas dos bases de datos y 667 son publicados por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), de los cuales 643 son artículos en revistas. Un dato importante a tomar en cuenta es que en el 90% de esos documentos el personal del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México tiene una participación, sobre todo por medio de los investigadores del Departamento de Paleontología.

Un problema para la unificación y detección de los registros indizados en GeoRef y GeoBase es la forma en que se encuentra asentado el Instituto de Geología ya que este aparece como:

- Universidad Nacional Autónoma de México (240).
- Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología (239).
- Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Paleontología (35).
- Univ. Nac. Auton. Mex., Inst. Geol. (32).
- Universidad Nacional Autónoma de México, Museo de Paleontología (16).
- Unam, Instituto de Geología (13).
- Univ. Nac. Auton. Mex. (11).
- UNAM (8).
- Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias Biológicas (6).

Así mismo, los académicos del Departamento de Paleontología del IGL han publicado con otras entidades de la UNAM, como son:

- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias (24).
- Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias Nucleares (14).
- Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica (6).

Diversos organismos gubernamentales o privados y otras universidades de México también publican trabajos sobre los temas de la paleontología y en algunos momentos en colaboración con los académicos del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM:

- Instituto Nacional de Antropología e Historia (45).
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (24).
- Universidad Autónoma de Baja California Sur (24).
- Museo del Desierto (22).
- Universidad Autónoma de Baja California (22).
- Instituto Mexicano del Petróleo (19).
- Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas (18).
- Universidad del Mar (17).
- Universidad Autónoma de Nuevo León (14).
- Universidad Autónoma de Guerrero (11).
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí (9).
- Petróleos Mexicanos (8).

- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (8).
- Instituto Politécnico Nacional (8).
- Benemérita Escuela Normal de Coahuila (7).

Tomando como base estos elementos y considerando que la Dra. Buitrón-Sánchez es una de las decanas en el Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM, analizaremos ahora los datos de su producción científica, tema central del presente documento. El caso de la Dra. Buitrón-Sánchez tiene características especiales debido a que fue una de las pioneras de esta disciplina en México, contando con publicaciones nacionales, locales e internacionales, lo que nos permite entender el porqué de su impacto en el área.

Para conocer las líneas de investigación y publicación de la Dra. Buitrón-Sánchez es importante visualizar sus tres principales líneas de investigación obtenidas de Scopus, el Web of Science y de su perfil de ORCID, siendo estas:

1. **Título:** Evolución de los ecosistemas paleozoicos de México.  
**Responsable:** Buitrón, B.E.  
**Fecha de Inicio:** 1/01/12 – 1/01/19
2. **Título:** Columna bioestratigráfica de referencia de la secuencia del Pensilvánico del noreste del estado de Sonora, México.  
**Responsable:** Buitrón, B.E.  
**Fecha de Inicio:** 1/01/09
3. **Título:** Sonora y las facies carbonatadas de plataforma de la margen austral del cratón norteamericano.  
**Responsable:** Buitrón, B.E.  
**Fecha de Inicio:** 1/01/07

Basándonos en el sistema PURE (UNAM, 2020c) para conocer la cooperación nacional e internacional que ha tenido la Dra. Buitrón-Sánchez, podemos percibir que solo trece artículos de nuestra investigadora estudiada son indizados en esta fuente, contando con una mayor visibilidad los publicados en los años 2000 al 2018, esto debido a las revistas donde publicó los materiales las cuales cuentan con indización en diversos sistemas. Así mismo, el número de citas recuperadas suman 142, las cuales brindan un promedio de 10.92 citas por trabajo, logrando establecer con ello un Índice-H de 6.

Dependiendo de la indización que realiza cada base de datos o sistema de administración del conocimiento consultados los datos varían ya sea de un investigador, entidad, centro, universidad, etc., pero también mucho tienen que ver el impulso y la promoción que haga el investigador de sus trabajos por medio de las fuentes de enlace académico y registros internacionales como ORCID, ResearchGate, Academia.edu, Mendeley, Google Scholar, etc.

Ahora bien, si revisamos los datos de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez en el sistema SciVal (ELSEVIER, 2020b) que alimenta a Scopus de la editorial Elsevier, el cual se actualiza diariamente cubriendo el

periodo de enero de 1997 a diciembre de 2019, podemos observar que los años 2005 y 2017 son los de mayor productividad de la investigadora con seis y siete trabajos indizados respectivamente. En total son 49 los trabajos indizados en SciVal de nuestra investigadora evaluada.

Por otra parte y buscando obtener una mayor cantidad de datos para establecer la productividad, visibilidad y cooperación nacional e internacional de la Dra. Buitrón-Sánchez se trabajó el Google Scholar (Google, 2020) y aún que la autora de análisis no cuenta con un perfil establecido se recuperaron distintos datos como que su impacto nacional e internacional se puede medir por las métricas que genera Google para cada investigador, en ese sentido contemplamos que la investigadora cuenta con una producción de más de 40 años de vida (43 años de acuerdo al análisis) siendo una de las pioneras del siglo pasado en materia de paleontología del Estado de Sonora, así mismo se detectó que cuenta con 92 trabajos indizados en Google, siendo publicada e indizada su primera obra en 1977 en esta fuente y la última en el año 2020.

El trabajo más antiguo publicado e indizado en Google Académico es “Invertebrados (Crinoidea y Bivalvia) del Pensilvánico de Chiapas”, el cual cuenta con nueve citas, esto debido a que es altamente especializado, siendo útil a un grupo pequeño de investigadores. El trabajo de mayor citación es “Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano” publicado en el año 2013 y que cuenta con 43 citas, ambos en idioma español y publicados en revistas nacionales.

Dos fuentes más que nos permiten conocer el estado del arte que guarda la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez para establecer su impacto y visibilidad son Altmetrics (Altmetric, 2019) y Dimensions (Dimensions, 2019) en donde en esta última la Dra. Buitrón cuenta con 27 trabajos indizados, divididos de la siguiente manera: 24 artículos y 3 capítulos de libros.

Las revistas donde publicó sus trabajos la Dra. Buitrón-Sánchez y se indizaron en Dimensions, son:

Título de revista	No. de trabajos
Revista de Biología Tropical	7
Geobios	3
Revista Mexicana de Biodiversidad	3
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana	3
Facies	2
Geological Society London Special Publications	1
Comptes Rendus Palevol	1
Biodiversity Data Journal	1
PalZ	1
Revista Geológica de América Central	1

En ese sentido entendemos que de los 27 trabajos, 14 de ellos son de acceso limitado por políticas de las editoriales que los publican ya que se debe pagar para su consulta y 13 de los mismos se encuentran en Open Access bajo la Golden Line.

Tanto Dimensions como Almetrics tienen poco tiempo en el mercado pero han tenido una gran aceptación por parte de los investigadores debido a que ofrecen una visibilidad

más amplia y una indización mayor en comparación con otras fuentes similares.

De los índices más representativos donde aparece incluida la producción científica de los investigadores tenemos a Scopus (ELSEVIER, 2020c) de la editorial Elsevier, en donde su presencia se da a nivel internacional. En ese sentido podemos ver que existe un total de 53 trabajos indizados de la Dra. Buitrón-Sánchez en el sistema y su rúbrica aparece de cuatro diferentes maneras, complicando en cierta medida la recuperación de la información, siendo estas:

- Buitrón-Sánchez, Blanca Estela.
- Buitrón, Dra Blanca Estela.
- Buitrón Sánchez, Blanca Estela.
- Buitrón-Sánchez, B.

Quince de los trabajos se encuentran publicados en Open Access y el resto (38) en otras fuentes con costo para la descarga y consulta del documento.

En Scopus su primer documento indizado es el generado en el año 1984 en la publicación Geological Association of Canada Special Paper, seguido de un artículo que apreció en el mismo año en la revista Lethaia, y a partir de ese año se enfocó sobre todo a publicar de manera nacional y en Latinoamérica en revistas no indizadas hasta el año 1997, en donde publicó un nuevo artículo en la revista Geobios, a partir de este año su producción aparte de ser nacional también pasa a ser internacional en revistas indizadas y de impacto. Dejando de publicar en revistas internacionales durante los años 2001–2004.

Una de las bases de datos comerciales de mayor impacto internacional es el Web of Science (WoS, 2020) de la empresa Clarivate Analytics, la cual indiza en su contenido trabajos publicados en revistas y libros que cuentan con Factor de Impacto (FI) y visibilidad entre las comunidades académicas a nivel mundial. La indización de sus contenidos es analizada por especialistas y representa un punto clave en la presencia que un investigador puede tener entre la comunidad científica de su especialidad.

En el caso de la Dra. Buitrón-Sánchez, esta cuenta con presencia en el sistema WoS con la indización de 44 documentos divididos en dos capítulos de libros, cuatro memorias de congresos y 38 artículos, que en suma (a junio del año 2020) tienen 251 citas (de las cuales 94 son autocitas y cocitas) y un H-index de 10, lo que la hace competitiva con otros investigadores de su especialidad en América Latina. Con un promedio de 5.7 citas por trabajo publicado. Siendo los tres años con el mayor número de citación el 2017 (con 28 citas), 2018 (con 24 citas) y 2019 (con 40 citas).

Los tres trabajos más citados de la Dra. Buitrón en el WoS son:

1. **Vachard, D., De Dios, A.F., Buitron, B.E., Grajales, M.**, 2000, Biostratigraphy with Fusulinids of the Carboniferous and Permian Limestones from San Salvador Patlanoaya: Geobios, 33(1), 5–33.
2. **Vachard, D., de Dios, A.F., Pantoja, J., Buitron, B.E., Arellano, J., Grajales, M.**, 2000,

Fusulinids from Mexico, a Biostratigraphical and Paleogeographical Review: *Geobios*, 33(6), 655–679.

3. **Vachard, D., de Dios, A.F., Buitron, B.E.**, 2004, Guadalupian and Lopingian (Middle and Late Permian) Deposits from Mexico and Guatemala, a Review with New Data: *Geobios*, 37(1), 99–115.

Los tres en coautoría con el investigador Vachard, de los años 2000 (2) y 2004 (1), siendo los de mayor visibilidad en el medio académico y científico internacional.

Por otro lado, dentro en GeoRef y Geobase (ELSEVIER, 2020; bases de datos referenciales) la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez está representada con 69 trabajos indizados en ambas bases donde una constante de coautoría es con la Dra. Gloria Alencáster (que era miembro del personal académico del Instituto de Geología de la UNAM) quienes en conjunto han publicado veintidós trabajos, indizados en estas dos fuentes.

Un punto clave en ambas bases de datos es que incluyen un número importante de trabajos publicados en memorias de congreso, siendo 17, encabezando la lista los artículos con 65 publicaciones y 3 libros. Siendo 59 trabajos indizados en GeoRef, 8 en Geobase y 2 en Compendex (base de datos de apoyo).

Por otra parte, los datos que se lograron obtener de la base de datos Geomex (UNAM, 2020), la cual incluye más de 27 mil registros de documentos generados en el país y el extranjero que hablan sobre las ciencias de la tierra en México, principalmente la geología, son: 94 trabajos que han sido publicados por la Dra. Buitrón-Sánchez a partir del año 1965, siendo su primer trabajo detectado, con más de 50 años de vida académica, el siguiente:

- Alencáster, G., Buitrón, B.E. (1965). Fauna del Jurásico Superior de la región de Petlalcingo, Estado de Puebla. *Paleontología Mexicana*, 21(2), 53 pp.

De estos 94 trabajos incluidos en Geomex (UNAM, 2020), su mayoría son artículos y memorias de congresos, aunque en menor grado existen los capítulos de libros y otros documentos, y por ser una base de datos especializada en ciencias de la tierra de México permite incluir una gran variedad de documentos.

Como podemos ver, cada sistema o base de datos maneja cantidades distintas en la indización de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez, lo que provoca que no exista una unificación de número de registros, siendo las bases de datos las que mayor número incluyen por ser su producción publicada en revistas de habla hispana y no indizadas en los grandes sistemas como Scopus y el Web of Science.

### 3. Interpretación y discusión de los datos

Una vez expuesto los datos recuperados en las bases de datos y sistemas que nos permitan conocer el impacto,

citación y visibilidad de la producción científica de la Dra. Blanca Estela Buitrón-Sánchez, pasaremos a su análisis e interpretación para mostrar con ello el impacto que su trabajo científico ha tenido a nivel mundial.

#### 3.1. SciVal

Para ello, si hacemos una interpretación métrica de las áreas temáticas que maneja la investigadora Buitrón de acuerdo a la estructura establecida por SciVal, podemos observar que las líneas de Agricultura y Ciencias Biológicas son las que abarcan la mayor cantidad de documentos publicados e indizados con 13 trabajos publicados en ellas, con 56 citas hasta diciembre de 2019 y con un promedio de 4.3 citas por publicación, seguida por el área temática de ciencias de la tierra y planetarias con 9 trabajos, 18 citas y un promedio de 2 citas por trabajo; y finalmente los trabajos de la Dra. Buitrón-Sánchez según SciVal también recaen en las ciencias medioambientales con 3 publicaciones, 45 citas con un promedio de 15 citas por trabajo.

La colaboración es un tema fundamental en los estudios métricos para entender el impacto y visibilidad de un investigador en el área de su especialidad, en ese sentido esta colaboración se brinda principalmente por la especialidad de las investigaciones que realizan y el interés de otros académicos por la misma información. En SciVal este índice de colaboración por coautoría de acuerdo con las publicaciones indizadas de la Dra. Buitrón-Sánchez, se divide en: 41% institucional (solo con académicos del IGL), 32% a nivel nacional, 27% con investigadores de otros países y solo 0.5% como autora única de los trabajos que no tienen colaboración. Como podemos ver la Dra. Buitrón-Sánchez es una persona que ha compartido su trabajo intelectual con investigadores cuya línea temática es compatible, mostrando con ello una cooperación amplia en la publicación de documentos.

La citación a los trabajos publicados en colaboración de la Dra. Buitrón-Sánchez está encabezada por los trabajos publicados con otros investigadores a nivel nacional llegando al 54% del total de citas recibidas, seguido por los trabajos publicados con académicos en colaboración internacional con un 32% y los trabajos publicados con los investigadores del propio Instituto de Geología de la UNAM cubren el 14% de la citación. Ello nos demuestra que la producción de la Dra. Buitrón-Sánchez es reconocida y leída en mayor medida por los investigadores de México, esto debido en gran parte por el idioma en que están publicados y la especialización de las investigaciones donde trabaja la investigadora.

El país de origen de los investigadores que colaboran en las publicaciones de la Dra. Buitrón-Sánchez y nos interesa conocer son, en orden de número de trabajos publicados, los siguientes: Argentina, Brasil, Francia, España, Estados Unidos, Venezuela, Perú, Panamá, República Dominicana, Cuba, Uruguay, Puerto Rico, Ecuador, Colombia, Chile y Costa Rica. El análisis de estos datos demuestra que la

participación colaborativa internacional está enfocada a América Latina por el idioma de las publicaciones y por las áreas temáticas que maneja la Dra. Buitrón-Sánchez, pasando en cierta forma a ser la mayoría de su producción de corte regional. Un punto importante es que debemos recordar que un trabajo puede contar con coautores de distintos países y que a su vez pueden existir otros trabajos publicados por los coautores de manera conjunta, entendiéndose en un momento dado la tendencia de co-citación internacional.

De estos países señalados las instituciones a las que pertenecen los coautores con los que publica la Dra. Buitrón-Sánchez son variadas, principalmente universidades públicas, siendo de Argentina 4 distintas, Brasil 6, España, Estados Unidos y Francia tres para cada país, mostrando así la diversidad de colaboración internacional.

Con relación a la coautoría con autores de instituciones nacionales, su número es menor en instituciones pero mayor en trabajos que los que se realizan con las instituciones internacionales, esto expone una fuerte tendencia en la publicación con la Universidad Nacional Autónoma de México y en particular con los académicos del Instituto de Geología donde presta sus servicios la autora y con la Universidad de Sonora. Así mismo también cuenta con alguna publicación en coautoría con el Instituto Politécnico Nacional, el CINVESTAV y el Instituto de Ecología, A.C.

De los 22 trabajos publicados e indizados en los años 2013 al 2019 en SciVal por la Dra. Buitrón-Sánchez en coautoría con los investigadores de las instituciones señaladas arriba, podemos observar que en total son 116 coautores distintos que trabajan con la doctora, es decir un promedio de cinco autores por trabajo y que en la mayoría de los casos participaron solo en una publicación como coautores. El coautor con el que mayor número de trabajos ha publicado es el Dr. Francisco Alonso Solís-Marín, seguido del Dr. Juan José Palafox-Reyes y el Dr. Alfredo Laguarda-Figueroa.

La coautoría por años es un punto clave para entender la colaboración de la autora con otros investigadores y colaboración en proyectos de investigación, en ese sentido y con base a SciVal de Elsevier podemos determinar que la mayor participación de coautores en los trabajos publicados por la Dra. Buitrón-Sánchez se dio en el año 2013 con 78 investigadores, seguido de 2017 con 21 y 2018 con 16 académicos.

En SciVal se encuentran 49 trabajos indizados de la Dra. Buitrón-Sánchez y de los años 2013 al 2019 suman 22 (el 45% del total), los cuales se publican en nueve revistas de circulación internacional, pertenecientes a los cuartiles dos, tres y cuatro, siendo estas:

- Revista de Biología Tropical (Q4).
- Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Q4).
- Revista Mexicana de Biodiversidad (Q4).
- Echinoderm Research and Diversity in Latin America (Q4).

- Journal of South American Earth Sciences (Q2).
- Biodiversity Data Journal (Q3).
- Facies (Q2).
- Micropaleontology (Q3).
- Palaontologische Zeitschrift (Q4).

Tres de las revistas donde publica la Dra. Buitrón-Sánchez son de corte nacional y el resto de edición en otros países.

El mayor número de trabajos publicados en el periodo de análisis métrico se otorga en la Revista de Biología Tropical (7 artículos) con una coautoría de 12 participantes y con 21 vistas a nivel internacional dentro de SciVal (una vista significa que es la consulta que efectúa una persona al artículo o su descarga o revisión dentro del sitio web, etc.), así mismo contaron con 6 citas nada más, dando un promedio de menos de una cita por trabajo. Aunque en la revista *Echinoderm Research and Diversity in Latin America* se publicaron solo dos artículos, pero son los que mayor número de citas tienen (45 citas), así como la mayor coautoría con 71 participantes, pero lo más importante es que estos datos van relacionados con las vistas que se hacen al trabajo que suman 123, aunque la publicación no cuente con Factor de Impacto.

### 3.2. Google Scholar

Una de las principales fuentes de consulta académica en la ciencia es *Google Scholar* (Google, 2020), el cual genera perfiles de los investigadores y enlaza toda su productividad indizada en esta fuente, aunque en muchos casos existe duplicidad de registros, variación de idiomas y datos incorrectos debido a las formas en que es incluida la información de los autores en las bases de datos y en los textos que indiza Google, siendo responsabilidad de cada investigador el tener al día su perfil y la revisión constante de sus trabajos y citas.

En el caso de la Dra. Buitrón-Sánchez no cuenta con perfil en Google, por lo tanto la búsqueda y revisión de sus documentos para conocer el impacto nacional e internacional que tienen debió realizarse para este estudio bajo estrategia de búsqueda que ofreciera de la forma más exacta posible la información requerida, en ese sentido logramos detectar que su producción académica ha tenido importante presencia a nivel regional (América Latina), así como en la parte fronteriza norte de México con los Estados Unidos, debido a sus líneas de investigación y a las áreas geográficas que abarca.

Su impacto nacional e internacional lo podemos medir por las métricas que genera Google para cada investigador, en ese sentido contemplamos que la investigadora de nuestro estudio cuenta con una producción de más de 42 años de vida haciéndola una de las pioneras del siglo pasado en materia de paleontología del Estado de Sonora, así mismo se detectó que la investigadora cuenta con 90 trabajos indizados en

Google, siendo publicada e indizada su primera obra en 1977 en esta fuente y la última en el año 2019 (año en que se cortó la búsqueda).

El trabajo más antiguo publicado e indizado en Google Académico es “Invertebrados (Crinoidea y Bivalvia) del Pensilvánico de Chiapas”, el cual tiene nueve citas, esto debido a que es altamente especializado, siendo útil a un grupo pequeño de investigadores. El trabajo de mayor citación es “Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano” publicado en el año 2013 y que ha recibido 41 citas, como podemos ver ambos en idioma español y publicados en revistas nacionales indizadas e incluidas en un cuarto cuartil del área de las ciencias de la tierra.

El total de citas recibidas a los trabajos de la Dra. Buitrón-Sánchez en el Google Scholar es de 373 hasta junio de 2020, que en promedio brinda un total de 8.67 citas por año y 4.14 citas por trabajo publicado, contando con citas solo 43 trabajos publicados (el 48% de su producción indizada), teniendo hasta el momento un H-Index de 11 y un Google Index (g-Index) de 16 por las métricas que utiliza este sistema.

Uno de los puntos importantes que podemos ver en la producción científica indizada en Google Scholar de la Dra. Buitrón-Sánchez es que su presencia llega a diferentes partes del mundo y la mayoría de citaciones que recibe son de investigadores de América Latina y Estados Unidos, teniendo en este sistema un bajo impacto entre investigadores de otras regiones del mundo, principalmente por la temática especializada que la investigadora maneja y por el volumen importante de información que maneja Google Scholar.

Un elemento que debemos considerar en este análisis métrico utilizando Google Académico es que muchas de las citas que se pueden obtener son de libros y conferencias ya que es más amplia su cobertura que el Web of Science o Scopus, por lo tanto las investigaciones de la Dra. Buitrón-Sánchez son con tendencia documental histórica importante bajo estudio de especies específicas.

### 3.3. Dimensions y Altmetrics

Dos fuentes de acceso libre a nivel mundial que miden la ciencia y la producción científica desde otra perspectiva actualizadas al día son Altmetrics y Dimensions, la primera fuente desarrollada por los organismos y empresas Taylor & Francis, Wiley, LSE y el Smithsonian, y la segunda desarrollada por la empresa Digital Science & Research Solutions Inc.

Dentro de Dimensions la Dra. Buitrón-Sánchez cuenta con 27 trabajos indizados, divididos de la siguiente manera: 0403 Geology (11), 0602 Ecology (3), 0502 Environmental Science and Management (2), 2103 Historical Studies (2), 0405 Oceanography (1), 0603 Evolutionary Biology (1),

1608 Sociology (1) y 2102 Curatorial and Related Studies (1).

Los trabajos publicados de los tres principales años de publicación que son indizados en Dimensions son: 2017 con 7 publicaciones, 2007 con 4 y 2016 con tres, el resto de los años incorporan una o dos publicaciones.

Ahora bien, los índices y servicios de resúmenes donde

Norwegian register level 1	23
ERA 2015	16
DOAJ	14
SciELO	11
PubMed	3

se incluye la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez son principalmente:

Todos ellos de libre acceso, por lo tanto la contribución a la ciencia de la Dra. Buitrón-Sánchez es abierta, en el entendido que la mayor cantidad de revistas donde publica cumplen con esas características, aportando con ello su grano de arena en la ciencia abierta mundial.

El impacto social que los artículos de la Dra. Buitrón-Sánchez han tenido a lo largo de los años utilizando los manejadores de referencias bibliográficas, las redes sociales y la Wikipedia, que es un tema muy importante en nuestros días por el valor que la sociedad ofrece a los documentos de investigación y más si son académicos pagados con recursos públicos, son de los 3 principales artículos indizados en Altmetrics, los siguientes:

1. “An occurrence records database of Irregular Echinoids (Echinodermata: Echinoidea) in Mexico” “Tweeteado” por tres personas (los tres fueron realizados en Estados Unidos, dos en Alaska por miembros de la sociedad) En dos “Facebook pages” (las dos referencias son de Anne Isabelley Gondim a los autores). Mencionado en un post en “Google+ posts” (dirigido a una base de datos).

Cuatro lectores en Mendeley (un estudiante de maestría, un estudiante de doctorado y dos estudiantes de Post doctorado) Este documento se encuentra en el 25% superior de todos los productos de investigación puntuados por Altmetric, es decir está en el segundo cuartil de la producción mundial indizada en Altmetrics por la visibilidad social que ha tenido.

2. “Permian brachiopods from Chiapas, Mexico: new stratigraphical and paleobiogeographical insights” Referenciado en una página de Wikipedia (artículo “2019 in Paleontology”).

Tres lectores en Mendeley (1 estudiantes de maestría, un estudiante de Post Doctorado y un estudiante de licenciatura) Puntuación de atención superior a la media en comparación con los resultados de la misma edad (percentil 59). Con ello muestra que la publicación está en un cuarto cuartil porque no ha alcanzado un nivel importante de visibilidad social.

3. “First report of *Gogia* (Eocrinoidea, Echinodermata) from the Early-Middle Cambrian

of Sonora (Mexico), with biostratigraphical and palaeoecological comments”

Referenciado en una página de Wikipedia (referenciado en el artículo Eocrinidae de Wikipedia)

Nueve lectores en Mendeley (un estudiante de licenciatura, un investigador, dos estudiantes de maestría, dos estudiantes de Post Doctorado y dos investigadores)

Buena puntuación de atención en comparación con los resultados de la misma edad (percentil 66), quedando de igual manera en un cuarto cuartil de la producción total Indizada en Altmetrics.

En cuanto a Dimensions la visibilidad es distinta a la de Google Académico o la de SciVal, debido a que la inclusión de documentos es menor, pero el valor que brinda este sistema se basa en la aportación social que hace el investigador con base a sus trabajos publicados. Es decir, podemos ver que tanto los tuits, como las referencias en Mendeley y las citaciones en las Wikis son académicas, y nos muestran una línea muy concreta en el uso de los trabajos de la Dra. Buitrón-Sánchez, debemos recordar que la citación no depende de las redes sociales, las cuales permiten que la población en general tenga un mayor acceso a este tipo de trabajos científicos publicados.

### 3.4. Scopus

De los 53 trabajos publicados por la Dra. Buitrón-Sánchez e indizados en Scopus (ELSEVIER, 2020c), el mayor número de su indización se da en las últimas dos décadas, siendo los publicados en años 2018, 2007, 2013 y 2005 los de mayor indización.

De acuerdo con Scopus, la Dra. Buitrón-Sánchez ha publicado trabajos con 159 personas distintas, lo que la convierte en una académica colaborativa con otros autores e instituciones. Siendo los académicos más representativos de la lista o con los que ha publicado el mayor número de artículos los siguientes:

Vachard, D.	14 trabajos
Laguarda-Figueras, A.	8 trabajos
Solís-Marín, F.A.	7 trabajos
Almazán-Vázquez, E.	5 trabajos
Palafox, J.J.	5 trabajos
Sour-Tovar, F.	5 trabajos

En el caso de Scopus y a diferencia de los demás sistemas y bases de datos analizadas, la colaboración nacional e internacional se enfoca en tres principales instituciones a las que pertenecen los coautores, siendo en primer lugar la Universidad de Sonora con quien se ha publicado 18 trabajos, la *Université des Sciences et Technologies* de Lille, Francia con 14 trabajos en colaboración y la Universidad Autónoma de Guerrero con 8 publicaciones en coautoría.

De los 53 trabajos indizados en Scopus, 47 de ellos son artículos en revistas científicas y 2 capítulos de libros, mostrando así el impacto que la producción tiene entre

los académicos del mundo. La cooperación internacional de la Dra. Buitrón-Sánchez hasta la fecha ha sido clave para mostrar su impacto y presencia académica de las áreas temáticas que maneja entre los científicos, centrando su producción indizada en Scopus en 15 revistas, tres publicaciones seriadas y una memoria de congreso, donde se puede ver que de los 47 artículos indizados en el sistema se cuenta con un promedio medio de 3 artículos por revista.

### 3.5. Web of Science (WoS)

Las principales líneas temáticas de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez con base en la estructura establecida por el WoS, son: Paleontología con 16 trabajos, Biología con 12, Geología con 9, Geociencias con 8 y Biodiversidad y su conservación con 4 publicaciones, en el entendido que un trabajo puede estar incluido en una o más líneas temáticas.

Por otro lado, los tres años con más trabajos indizados de la autora evaluada, son: 2017 (9 trabajos), 2016 (4 trabajos) y 2015 (4 trabajos). De igual forma las instituciones de los coautores con los que la autora ha publicado el mayor número de trabajos y que coinciden de alguna manera con lo expuesto en Scopus, son: Universidad de Sonora con 20 publicaciones, *Université des Sciences et Technologies* de Lille, Francia con 16 trabajos y el CNRS con 12 publicaciones.

Las cinco principales revistas indizadas donde ha publicado sus trabajos la Dra. Buitrón-Sánchez y que muestran el impacto de los mismos entre la comunidad científica nacional e internacional, son:

Título de revista	No. de trabajos
Revista de Biología Tropical	11
Geobios	6
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana	5
Revista Mexicana de Ciencias Geológicas	5
Revista Mexicana de Biodiversidad	3

La cooperación nacional e internacional es un punto clave que la Dra. Buitrón-Sánchez cuidó desde siempre, pero por ser temas tan especializados ésta se restringió sólo a un grupo de académicos los cuales trabajaban la misma línea académica, pertenecientes a países como: Francia, México, Argentina, Estados Unidos y Alemania. Por ello, los tres principales idiomas en que ha publicado la autora evaluada, con base en los artículos indizados en el WoS, son: inglés (26), español (14) y francés (4), debido también a que el idioma de las revistas donde han publicado la mayoría de los documentos indizados aquí se manejan en inglés.

La presencia e impacto de los trabajos publicados e indizados de la Dra. Buitrón-Sánchez es importante por el hecho de que la especialidad es muy específica, permitiendo conocer avances particulares en ella y aportando un número relevante de publicaciones indizadas a la ciencia, poniendo en alto su especialidad y los hallazgos en México.

### 3.6 GeoRef y Geobase

Los principales términos utilizados en los trabajos de la Dra. Buitrón-Sánchez en GeoRef y Geobase, son: *Invertebrata* (44), *Mexico* (40), *Mesozoic* (37), *Cretaceous* (32), *Mollusca* (29), *Biostratigraphy* (24), *Bivalvia* (23), *Heterodonta* (20), *Taxonomy* (20), *Sedimentary Rocks* (17), *Rudistae* (16), *Lower Cretaceous* (16), *Paleoenvironment* (15), *Paleozoic* (15), *Assemblages* (15), *Biogeography* (14), *Morphology* (13), *Carbonate Rocks* (12), *Echinodermata* (12), *Limestone* (12), *Description* (11), *Upper Cretaceous* (11); los números entre paréntesis después de cada término representan el número de documentos en donde aparece la palabra.

De los 69 trabajos publicados e incluidos en estas bases de datos 21 fueron escritos en español y 48 en inglés, lo que muestra una constante de la Dra. Buitrón-Sánchez en la publicación de sus documentos, es decir, aquellos que se publican a nivel nacional se trabajaron en el idioma de origen de la autora y los demás en inglés.

El primer trabajo indizado en GeoRef de la Dra. Buitrón-Sánchez data de hace cuatro décadas (1979) y no es hasta el año de 1991 que se vuelve a incluir un trabajo de la investigadora en la base de datos.

Con base en ello el impacto y visibilidad de la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez incorporada en estas dos bases de datos se enfoca sobre todo a la difusión entre los especialistas del mundo los contenidos de los trabajos y con ello una posible consulta de los mismos y en algunos casos la citación, por el hecho de que estos sistemas son especializados en las ciencias de la tierra y llega a diversas comunidades tanto por la cantidad de registros que incorporan, así como por los diferentes idiomas que maneja de la información incorporada. En ese sentido el buscar estar indizado en estas dos fuentes es un tema clave que todos los investigadores de la especialidad, logrando que la producción impresa de la Dra. Buitrón-Sánchez sea cubierta en más del 50% en las bases de datos y con ello su visibilidad aumenta.

### 3.7. Geomex

El analizar a nuestra investigadora en una base de datos nacional especializada en ciencias de la tierra, permite entender la tendencia en la publicación de sus trabajos sobre todo en la coautoría y su presencia como autor principal. En ese sentido la académica estudiada en este documento ha sido constante a partir de la década de los noventa de publicar la mayoría de sus trabajos con otros investigadores, siendo sólo 20 (21%) de los 94 detectados publicados de manera individual y el resto (79%) de cooperación.

Del total de documentos incluidos en Geomex, 51 de ellos la Dra. Buitrón-Sánchez aparece como primer autor y en 43 como coautor. Su cooperación con otros

investigadores se inclina hacia la publicación con dos o tres coautores, siendo la minoría de sus trabajos editados con cuatro o más coautorías. Solamente son cinco trabajos los que tiene publicados con más de cuatro coautores y tres de los que en su conjunto suman más de cinco coautores. Por ello la visibilidad de la autora en México y América Latina es buena si consideramos su línea de especialización y sus áreas de investigación

Los primeros años de publicación de la Dra. Buitrón-Sánchez fueron de manera individual, pero conforme pasaban los años su coautoría se incrementó con base en la especialización de sus investigaciones.

### 3.8. La formación de recursos humanos por la Dra. Buitrón-Sánchez

Uno de los puntos importantes por parte del personal académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, es la formación de recursos humanos a nivel licenciatura, maestría o doctorado, lo que permite que el conocimiento se transmita y la ciencia se difunda a nivel nacional e internacional con base en la aportación que realicen los alumnos en nuevos descubrimientos y estudios de impacto. En ese sentido y tomando en cuenta las tesis asesoradas por nuestra investigadora y las citas recibidas a sus trabajos publicados en este tipo de documentos de acuerdo a los datos tomados de la base T-Tesis (tesis de ciencias de la tierra de la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra de la UNAM; UNAM, 2020b), se observa que del año 1979 donde aparece la investigadora como asesora de una tesis de licenciatura, hasta diciembre de 2019 se encuentra activa dirigiendo a alumnos para realizar sus actividades escolares tanto a nivel licenciatura, maestría y doctorado. Las tesis asesoradas por la Dra. Buitrón-Sánchez y detectadas en distintos sistemas son en total 46, divididas en: 34 de licenciatura, 7 de maestría y 5 de doctorado. Así mismo la Dra. Buitrón-Sánchez aparece como parte del comité tutorial de cinco tesis de maestría.

El trabajo de formación de recursos humanos es una tarea realmente útil en la universidad y más bajo el asesoramiento de personal altamente calificado y especialista en una disciplina, en ese sentido los trabajos de grado asesorados por la Dra. Buitrón-Sánchez se enfocan a temas relacionados a: gasterópodos, microfósiles, braquiópodos, moluscos, fusulínidos, algas calcáreas, trilobites, equinoideos, icnofósiles, crinoides, invertebrados cretácicos, holoturoideos, cassiopidos y nerineidos.

Con relación a las citas que los estudiantes han realizado a la producción científica de la Dra. Buitrón-Sánchez dentro de sus trabajos recepcionales, logramos detectar que son en total 51 citas las cuales se encuentran principalmente incluidas en 28 trabajos de tesis de las últimas dos décadas. Con ello podemos notar la visibilidad de las publicaciones de la Dra. Buitrón-Sánchez entre los jóvenes académicos que dirige.



#### 4. Conclusiones

Los estudios métricos de la ciencia tienen entre sus objetivos realizar una comparativa entre personas, instituciones, naciones, etc., pero en el caso del presente estudio lo que se buscó es mostrar la aportación que la Dra. Buitrón-Sánchez ha realizado a la paleontología mexicana y del mundo por medio de sus investigaciones publicadas tanto en revistas nacionales como internacionales, libros, capítulos de libros y memorias de congresos.

Con base al análisis observamos algunas líneas claras de trabajo y de visibilidad nacional e internacional de la Dra. Buitrón-Sánchez ante la comunidad científica mundial, lo que permite establecer que la aportación de las publicaciones de la investigadora hacia su disciplina es altamente especializada, logrando mostrar una parte de su actividad profesional por medio de su obra impresa, las cuales cuentan con un buen promedio de citación considerando su alta especialización y regionalidad. Sus tres principales líneas temáticas detectadas sobre la evolución de los ecosistemas paleozoicos de México, al análisis bioestratigráfico de referencia de la secuencia del Pensilvánico del noreste del estado de Sonora en México.

De todas las bases de datos y sistemas trabajados, tanto en el Web of Science como en Scopus su visibilidad e impacto de acuerdo con la especialidad es fecunda. En Google Scholar su presencia a nivel referencia y citación es mayor que en los dos sistemas anteriores por el hecho de que este último llega a un público de distintos niveles académicos, e indiza fuentes de todo tipo. Así mismo en las bases especializadas en ciencias de la tierra como Geomex, T-Tierra, GeoRef y Geobase su contenido de tipo referencial ofrece una posibilidad mayor de consulta.

En las nuevas alternativas de análisis e impacto de la información científica como Dimensions y Altmetrics podemos notar una presencia mayor de los trabajos publicados por la Dra. Buitrón-Sánchez, en donde la colaboración nacional e internacional, así como su presencia en redes sociales (Twitter, Facebook, Wikipedia, Mendeley, etc.) se ha incrementado y sus trabajos cuentan con más comentarios, referencias y citas, logrando así llegar a un público mayor entre la comunidad científica mundial. Sistemas más locales como PURE trabajado entre la UNAM y Elsevier nos brindan un panorama de mayor visibilidad interna y regional de su producción científica, la cual podemos detectar con ello que su impacto y visibilidad llega a diversos países de América Latina.

En la década de los 60's cuando inició a publicar la Dra. Buitrón-Sánchez no se contaba con las herramientas tecnológicas que hoy en día tenemos, lo que hace más valiosa su investigación debido a que al realizar trabajo tan especializado era más complejo darlo a conocer y que llegara a un público internacional que le interesara sus campos de

estudio. Ahora, gracias a la innovación tecnológica y a los grandes sistemas de información científica y las bases de datos sus obras pueden llegar a lectores potenciales interesados en el conocimiento generado, esto es lo que ha pasado con la Dra. Buitrón-Sánchez, quien se ha sabido posicionar por medio de su producción científica entre los científicos especializados del mundo.

Finalmente podemos señalar que el estudio métrico de la producción científica publicada de la Dra. Buitrón-Sánchez, nos ha mostrado el gran trabajo que por más de 50 años ha realizado, tratando de publicar de forma regular, pero sobre todo dando a conocer la ciencia mexicana entre las comunidades de especialistas a nivel mundial. Su aportación a la formación de recursos humanos por medio de asesorías y tutorías de tesis de grado permitió hasta el momento que más de cuatro decenas de estudiantes hayan obtenido un nivel académico dentro de la UNAM, cubriendo así uno de sus objetivos como docente.

#### Referencias

- Clarivate Analytics, Web of Science, 2020, En: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332314>, Consultado el 05-09-2020.
- Digital Science & Research Solutions, Inc., Almetric, 2019, En: <https://www.altmetric.com/>, Consultado el 15-08-2019.
- Digital Science & Research Solutions, Inc., Dimensions, 2019, En: <https://app.dimensions.ai/discover/publication>, Consultado el 22-08-2019.
- Elsevier B.V., Engineering Village, 2020 En: <https://www.engineeringvillage.com/search/quick.url>, Consultado el 07-09-2020.
- Elsevier B.V., SciVal, 2020b, En: <https://www.scival.com/home>, Consultado el 01-09-2019.
- Elsevier B.V., Scopus, 2020c, En: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>, Consultado el 02-09-2020.
- Google, Google Académico, 2020, En: <https://scholar.google.es/>, Consultado el 13-08-2020.
- Martínez-Melo, A., Dolís-Marín, F.A., Buitrón-Sánchez, B.E., Laguarda-Figueras, A., 2016, An occurrence records database of Irregular Echinoids (Echinodermata: Echinoidea) in Mexico: Biodiversity Data Journal, 4, e7729. [doi: 10.3897/BDJ.4.e7729]
- Torres-Martínez, M.A., Heredia-Jiménez, D.P., Sour-Tovar, F., Buitrón-Sánchez, B.E., Barragán, R., 2019, Permian brachiopods from Chiapas, Mexico: new stratigraphical and paleobiogeographical insights: Paläontologische Zeitschrift, 93, 607–624.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra, 2020, Base de Datos Geomex, En: [http://132.248.182.16:8991/F/-/?func=find-b-0&local\\_base=gme01](http://132.248.182.16:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=gme01), Consultado el 07-09-2020.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra, 2020b, Base de Datos T-Tesis. En: [http://132.248.182.16:8991/F/-/?func=find-b-0&local\\_base=tbc01](http://132.248.182.16:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=tbc01), Consultado el 09-09-2019.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Pure, Scopus & Elsevier Fingerprint Engine, 2020c, En: <https://metrica.dgb.unam.mx/admin/login.xhtml>, Consultado el 20-08-2019.

Manuscrito recibido: Noviembre 2, 2019.

Manuscrito corregido recibido: Octubre 15, 2020.

Manuscrito aceptado: Octubre 20, 2020.



# Contribución al conocimiento paleontológico, geocronológico y paleoambiental de la Formación Jackson inferior (Eoceno Superior), en la Cuenca de Burgos, Tamaulipas, México

Eguiluz y de Antuñano, Samuel<sup>a\*</sup>, Solís Pichardo, Gabriela<sup>b</sup>, Vega, Francisco J.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Geólogo consultor, Rinconada Precolombina, Bonampak 103, Coyoacán, CP 4700,

<sup>b</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, CDMX, CP 04510, México.

\* seguiluz662@gmail.com

## Resumen

La Cuenca de Burgos en el noreste de México tiene escasa información geológica publicada. Datos de superficie se conocen por publicaciones diversas esporádicas y cartas geológico-mineras a escalas 1:250,000 y 50,000 elaboradas por el Servicio Geológico Mexicano, los afloramientos en esta región son dispersos y su dimensión es limitada. La información de subsuelo es restringida y se conoce por aportes que Petróleos Mexicanos ha permitido divulgar. La estratigrafía, modelos sedimentarios y estructurales de esta cuenca, son extrapolados de Texas, o bien, son pocos los estudios estratigráficos y sedimentológicos que sirven como referencia análoga para inferir modelos de sedimentación aplicables a la exploración de carbón, uranio, acuíferos y yacimientos de gas en el subsuelo o con fines académicos. Por primera vez en la Cuenca de Burgos se utilizan isótopos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para obtener una edad geocronológica de 36.75 (+2.65/-2.05) Ma, para la Formación Jackson inferior. Este intervalo estratigráfico tiene el ostréido *Crassostrea* cf. *alabamiensis* reportado por primera vez en esta cuenca; a partir de la concha bien preservada de este molusco, se obtuvo la muestra para los análisis de Sr. Los datos estratigráficos y paleontológicos de la sección estudiada sugieren interpretar una sucesión de subambientes de barra, laguna y planicie fluvio-lacustre para una costa litoral, dominada por olas y mareas, en un episodio transgresivo (*transgressive system tract*), cuya edad se incluye en el piso Priaboniano (Eoceno Superior).

**Palabras clave:** *Crassostrea* cf. *alabamiensis*, Eoceno, Priaboniano, ambiente litoral, México.

## Abstract

*The Burgos Basin in northeast Mexico has few published geological information. Surface data are known from various sporadic publications and geological-mining maps at scales 1:250,000 and 1:50,000 prepared by the Mexican Geological Service, the outcrops in this region are scattered and the size is small. The subsurface is restricted and it is known for contributions that Petróleos Mexicanos allowed to be divulged. The stratigraphy, sedimentary and structural models of this basin have been extrapolated from Texas, or there are few stratigraphic and sedimentological studies that serve as analogue references to know sedimentary models for prospection of coal, uranium, water underground, gas reservoirs or for academic purposes. For the first time in the Burgos Basin,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopes are used to obtain a chronological age for the lower Jackson Formation. This stratigraphic interval includes the ostréid *Crassostrea* cf. *alabamiensis* reported for first time in this basin; from the well-preserved shell of this mollusk a sample was obtained for the Sr analysis. The stratigraphic and paleontological data in the studied section suggest interpreting a succession of bar, lagoon and fluvio-lacustrine sub-environments for a coastline, dominated by waves and tides, in a transgressive system tract, which the age is included in the Priabonian (Upper Eocene) stage.*

**Keywords:** *Crassostrea* cf. *alabamiensis*, Eocene, Priabonian, shoreline environment, Mexico.

## 1. Introducción

El control cronoestratigráfico de las unidades litológicas que circundan el Golfo de México se apoya en la bioestratigrafía de alta resolución (abundancia, acmé, variedad, aparición y extinción de conjuntos de microfósiles) de foraminíferos bentónicos, planctónicos (Meneses, 1950; Rodríguez-Lozano, 1976; Segura *et al.*, 2006) y de nanoplacton calcáreo (Sánchez y Salmerón, 1995). El registro de moluscos del Paleógeno en la planicie costera del Golfo de México en los Estados Unidos de América y México es escaso, no obstante, su gran abundancia. En el noreste de México pocos trabajos describen la taxonomía de moluscos para dar la edad en las unidades litoestratigráficas que afloran en la Cuenca La Popa (Vega y Perrilliat, 1989; Perrilliat y Vega, 2003; Vega *et al.*, 2007; Perrilliat *et al.*, 2008) y en la Cuenca de Burgos (Kane y Gierhart, 1935; Gardner, 1945; Izaguirre, 1956; Perrilliat, 1963; Hernández-Ocaña *et al.*, 2018; Guajardo-Cantú *et al.*, 2019).

Los afloramientos de rocas del Eoceno Tardío en la Cuenca de Burgos son escasos, el estudio de ambientes de depósito para la Formación Yegua ha sido publicado por Eguiluz (2009, 2011), pero para la Formación Jackson se restringe a bosquejos generales (Izaguirre, 1956; Echanove, 1986). Petróleos Mexicanos ha obtenido datos de numerosos pozos para interpretar con gran detalle ambientes de depósito en la Formación Jackson de esta cuenca (Reyes-Hernández, 2014; Garza-Vela y Aguirre-Castañeda, 2016), pero desafortunadamente la difusión de esta información es limitada y poco descriptiva en el contexto de análisis de secuencias estratigráficas, comparada con modelos de depósito publicados para el Eoceno Tardío de Texas, Luisiana y Alabama (Galloway *et al.*, 1991).

La presencia de *Crassostrea cf. alabamiensis* reconocida en la sección estratigráfica que se describe en este trabajo es un aporte que adiciona nuevos datos a la escasa información existente de moluscos para el Eoceno Tardío de México, de la concha de este fósil se tomó una muestra para el análisis isotópico. Para establecer un estándar en considerar la edad absoluta del Eoceno se admite el consenso de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, 2020) que define el dato cronológico del límite inferior del piso Priaboniano, con la edad de  $37.8 \pm 0.2$  Ma, mientras que el límite superior de este piso corresponde a 33.9 Ma. En la Cuenca de Burgos no hay datos de isotopía para el control cronoestratigráfico de las sucesiones sedimentarias, este trabajo aporta por primera vez datos de Sr para el control de edad en una sección estratigráfica. La descripción estratigráfica que se realiza en este trabajo contribuye a una interpretación del ambiente de depósito para el miembro inferior de la Formación Jackson.

## 2. Antecedentes

La Formación Jackson tiene una evolución de nomenclatura compleja y el uso de este apelativo en la Cuenca de Burgos es tema de controversia. Como antecedentes cabe señalar que Conrad (1856) introdujo este nombre para referir estratos del Eoceno Superior expuestos en Luisiana, Misisipi y Alabama. Hilgard (1873) publicó una síntesis sobre la historia geológica del Golfo de México en la que describió numerosos afloramientos de la costa oriente de Norteamérica (Texas, Luisiana, Misisipi, Alabama y Arkansas), en los que agrupó como Serie Gran Golfo (*Grand Gulf Series*). En su trabajo empleó el nombre Jackson para identificar un grupo litológico particular y simultáneamente designar un periodo de depósito distinguible por su contenido fosilífero (*Zeuglodon cetoides* Owen, 1839; *Venericardia planicosta* Lamarck, 1801, etc.), equivalente al Eoceno Tardío de Europa, ambos conceptos (litología y edad) como sinónimos y de aplicación ambigua. Estudios estratigráficos y paleontológicos posteriores (Penrose, 1890; Dumble, 1892, 1924; Veatch, 1906; Harris, 1919; Deussen, 1924; Ellisor, 1931, entre otros) evolucionaron en el conocimiento estratigráfico en dos corrientes paralelas; unos registraron transgresiones y regresiones mayores, agrupadas como sucesiones litoestratigráficas, mientras que otros reconocieron conjuntos taxonómicos que designaron como series o pisos cronoestratigráficos, vinculados de forma natural con la estratigrafía del Cenozoico en Norteamérica, equiparables a pisos de Europa. En el caso particular, para designar a una unidad litológica como formación o grupo (Jackson) y al conjunto de fósiles que definen el lapso cronológico específico como piso (Jacksoniano). Esto ha originado una larga historia de uso impreciso, que sigue causando confusión en la actualidad (Murray y Wilbert, 1950; Eargle, 1959, 1972; Siesser, 1984; Westgate, 2012).

En Alabama, Luisiana, Arkansas y noreste de Texas, el Grupo Claiborne originalmente incluyó diversas unidades litológicas, desde la Formación Carrizo (en la base), hasta la Formación Cook Mountain y Crockett (en la cima). Su contenido fósil dio origen para establecer el piso Claiborniano en el Eoceno Medio. El nombre Jackson es reconocido en Alabama, Luisiana y noreste de Texas como un grupo que integra varias formaciones (Moody Branch, Cocoa Sand, Yazoo y Fayette), mientras que en Arkansas designa sólo a una unidad litológica (White Bluff tripartita o Formación Jackson indiferenciada en otras unidades). En el suroeste de Texas, sobre la Formación Yegua, varias unidades litológicas (formaciones Caddell, McElroy y Whitsett) integran el Grupo Jackson (Figura 1).

El intervalo cronoestratigráfico Jacksoniano se ubicó sobre el piso Claiborniano, en este piso se excluyó a las formaciones Yegua, Coockfield, Gosport y al Grupo Jackson. Estas litologías de edad jacksoniana corresponden

		Hilgard 1873	Penrose 1890	Dumble 1892	Veatch 1906	Deussen 1924	Dumble 1924	USGS 1932	Ellisor 1931	Pemex 1948	Eargle 1972		
GRAND GULF	Fayette												VICKSBURGIANO EOCENO
											JACKSONIANO		
											EOCENO		
											CLAI BORNIANO		

Figura 1. Evolución de la nomenclatura estratigráfica para el Eoceno Tardío en Luisiana, Alabama, Texas y Cuenca de Burgos. Tomado de Sellards *et al.*, 1932, modificado en este trabajo. Ver explicación en el texto.

al Bartoniano Tardío y Priaboniano de los pisos de Europa. La discusión de este tema no es trivial cuando se vincula el alcance estratigráfico de un fósil particular con la formación que lo contiene y crea incertidumbre para ubicar la edad del estrato. Mayor profundidad de este tema sale de los alcances de este trabajo y se remite al lector a fuentes apropiadas (Sellards *et al.*, 1932; Murray y Wilbert, 1950; Eargle, 1959, 1972; Siesser, 1984).

En la Cuenca de Burgos (noreste de México) se emplea la mayor parte de la nomenclatura litoestratigráfica extrapolada de Texas y el nombre Jackson se admitió, pese a las dificultades que presenta la evolución nomenclatural que se ha descrito, aunado a los cambios litológicos y a su difícil correlación con respecto a su lejana ubicación con las secciones tipo. Las compañías petroleras que iniciaron la exploración de la Cuenca de Burgos usaron los nombres Yegua y Jackson, de manera convencional y práctica, para ubicar por posición estratigráfica a las unidades litoestratigráficas más jóvenes del Eoceno. Cervera del Castillo (1950) adoptó los nombres Yegua y Jackson como formaciones, pero esta última, con las subdivisiones informales inferior, medio y superior, propuesta que han seguido de forma tácita publicaciones diversas (Perrilliat, 1963; Servicio Geológico Mexicano, 2004; Ortiz-Urbilla y Tolson, 2004; Eguiluz, 2009, 2011, etc.). La subdivisión tripartita de la Formación Jackson en la Cuenca de Burgos se basa en cambios litológicos y contenido micropaleontológico, que identifica ciclos de transgresión y regresión de alta frecuencia (en intervalos de corto tiempo relativo), que pueden estar o no separados por discordancias como secuencias estratigráficas.

La presencia de *Globigerinatheka semiinvoluta* (Keijzer, 1945), *Eponides yeguaensis* (Weinzierl y Applin, 1929), *Nonionella cockfieldensis* (Cushman y Ellisor, 1933), *Truncorotaloides rohri* (Brönniman y Bermudez, 1953), *Globigerinatheka barri* (Brönnimann, 1952), distinguen bioeventos vinculados a foraminíferos bentónicos y planctónicos en las formaciones Yegua, Cockfield y Gosport (Ellisor, 1931; Rosen *et al.*, 1994; Segura *et al.*, 2006). La extinción de los foraminíferos anteriores y aparición de

*Textularia dibollensis* (Cushman y Applin, 1926), así como el cambio litológico, identifica el bioevento en las formaciones Jackson inferior (Caddell, Fayette, Moody Branch y White Bluff); *Textularia hockleyensis* (Cushman y Applin, 1926) y *Massilina humblei* (Cushman y Ellisor, 1932), se reconocen en el bioevento de las formaciones Jackson medio (McElroy, Fayette, Moody Branch y Yazoo); *Hantkenina alabamensis* (Cushman, 1924), *Turborotalia cerroazulensis cerroazulensis* (Cole, 1928), *Marginulina cocoaensis* (Cushman, 1925), *Bulimina jacksonensis* (Cushman, 1925), *Nonionina witsettensis* (Cushman y Applin, 1926), distinguen el bioevento en las formaciones Jackson superior (Witsett y Fayette). La extinción de estas últimas especies y la aparición de *Pseudohastigerina micra* (Cole, 1927) y *Cibisidoides pippeni* (Cushman y Garrett, 1938), entre otros foraminíferos, aunado al cambio litológico, definen el bioevento en la base de la Formación Vicksburg (Bernabé-Martínez *et al.*, 2003). *Discoaster lodoensis* (Bramlette y Riedel, 1954), *D. saipanensis* (Bramlette y Riedel, 1954) y *D. barbadiensis* (Tan, 1927) y *Nanotetrina fulgens* (Martini y Stradner, 1960), como nanoplacton, caracterizan al Eoceno en la planicie costera del Golfo de México (Sánchez y Salmerón, 1995). De acuerdo con Berggren y Pearson (2005) *Truncorotaloides rohri* (Brönniman y Bermudez, 1953), *Morozovella spinulosa* (Cushman, 1927) y *Morozovella crassata* (Cushman, 1925b) definen la biozona de foraminíferos plactónicos E 13 (40.0 – 38.0 Ma). *Eponides yeguaensis* (Weinzierl y Applin, 1929), *Nonionella cockfieldensis* (Cushman y Ellisor, 1933) se incluyen en la cima de la biozona *Globigerinatheka semiinvoluta* (Keijzer, 1945) E 14 (38.0 – 35.8 Ma), en esta biozona se ubica el límite Bartoniano–Priaboniano (37.8 ± 0.2 Ma). *Textularia hockleyensis* (Cushman y Applin, 1926) y *Massilina humblei* (Cushman y Ellisor, 1932) se incluyen en la biozona *Globigerinatheka index* (Finlay, 1939) E 15 (35.8 a 34.3 Ma), mientras que *Bulimina jacksonensis* (Cushman, 1925a), *Marginulina cocoaensis* (Cushman, 1925) y *Turborotalia cerroazulensis cerroazulensis* (Cole, 1928), en la biozona *Hantkenina alabamensis* (Cushman, 1924) E 16 (34.3 – 33.9 Ma), en la cima del piso Priaboniano.

Varios moluscos colectados en la Cuenca de Burgos por Gardner (1945) fueron descritos por Perrilliat (1963), como *Ostrea compressirostra* (Say, 1824); *O. contracta* (Conrad, 1855) y *O. contracta amichael* (Gardner, 1945), los dos últimos fósiles obtenidos en la Formación Jackson (Perrilliat, 1963). Según Gardner (1945), *O. contracta* Conrad, s.s., es probablemente un descendiente de la subespecie *amichael* y *O. contracta amichael* fue referida impropriamente como *Ostrea (Crassostrea) alabamiensis*. Los ensambles paleontológicos pueden tener variaciones en distribución, alcance estratigráfico y concurrencia ocasionadas por diferentes causas (paleolatitud, paleoecología y otras razones, amén del criterio adoptado por el autor, Berggren y Pearson, 2005), o pueden ser subjetivas y dificultar asignar la edad a una litología particular.

### 3. Método de estudio

El trabajo que aquí se presenta consistió en la observación, descripción e interpretación de un afloramiento que pertenece a la base de la Formación Jackson. La sección litoestratigráfica se localiza a 12 km al suroeste de Ciudad Camargo, Estado de Tamaulipas. Con un posicionador satelital Garmin e-Trex, serie uno (datum WGS84), el punto de partida de la sección se ubicó al pie de la cortina del vertedero de la presa Marte R. Gómez, con coordenadas Universal Transversa Mercator (UTM) 509,096 m Este y 2 900,385 m Norte, siguiendo 1,500 m aguas abajo sobre el cauce del río San Juan (Figura 2). La medición con báculo permitió llevar el control para la toma de datos y muestras con las que se elaboró una sección estratigráfica. La descripción de textura y mineralogía de los componentes se realizó en muestra de mano con lupa (X 12), la estimación porcentual de su composición mineralógica se realizó mediante un patrón de comparación visual. Mediante el diagrama ternario de McBride (1963), que integra la suma de cuarzo, pedernal y cuarcita en un extremo y segrega al contenido de feldespato y fragmentos de líticos en extremos opuestos, se clasificó el tipo de arenisca en la sección. Las imágenes Google Earth y Google Maps, combinadas con la carta geológico-minera G14-5 del Servicio Geológico Mexicano (2004), facilitaron el control estructural y posición estratigráfica apropiada. Con cámara digital se obtuvieron en el campo imágenes que permitieron en gabinete identificar fósiles y trazas.

Un fragmento del molusco *Crassostrea* cf. *alabamiensis* colectado en la sección se empleó para los análisis isotópicos de Sr. Estos se realizaron con un espectrómetro de masas

con fuente iónica térmica marca THERMO SCIENTIFIC MODELO TRITON PLUS, instalado en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el Instituto de Geofísica, UNAM. El espectrómetro TRITON cuenta con nueve colectores Faraday ajustables y cinco contadores iónicos. Todas las mediciones se hicieron de manera estática. Las muestras de Sr se cargaron como cloruros sobre filamento doble de renio y se midieron como iones metálicos. En cada corrida se analizaron 60 relaciones isotópicas para Sr. El software integrado arroja *outliers* dependiendo de la estabilidad de la señal durante la adquisición de datos. Los valores ( $1sd = \pm 1\sigma_{abs}$ ) se refieren a los errores durante la medición, en los últimos dos dígitos  $1 SE (M) = 1\sigma_{abs} / \text{raíz } n$ . Todas las relaciones isotópicas de Sr se corrigieron por fraccionamiento de masas vía normalización a  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ . Valores del LUGIS para el estándar NBS 987 (Sr):  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710253 \pm 12 (\pm 1\sigma_{abs}, n = 82)$ . El blanco analítico obtenido en el tiempo de los análisis de las muestras de este trabajo resultó: 0.23 ng Sr (blanco de química).

### 4. Litoestratigrafía

La sección estratigráfica objeto de estudio está constituida aproximadamente por 30 metros de espesor (Figura 2). En la base hay 15 metros de arcosa lítica (FR 55%, Q+P 25%, F 20%) de grano medio, subredondeado a bien redondeado. Los constituyentes principales observados con lupa y estimación porcentual son cuarzo (Q=20%), pedernal (P=5%), líticos (FR) de caliza (30%), roca ígnea (10%), arenisca (15%) y feldespato (F=20%), con accesorios de muscovita y minerales pesados, cementados por

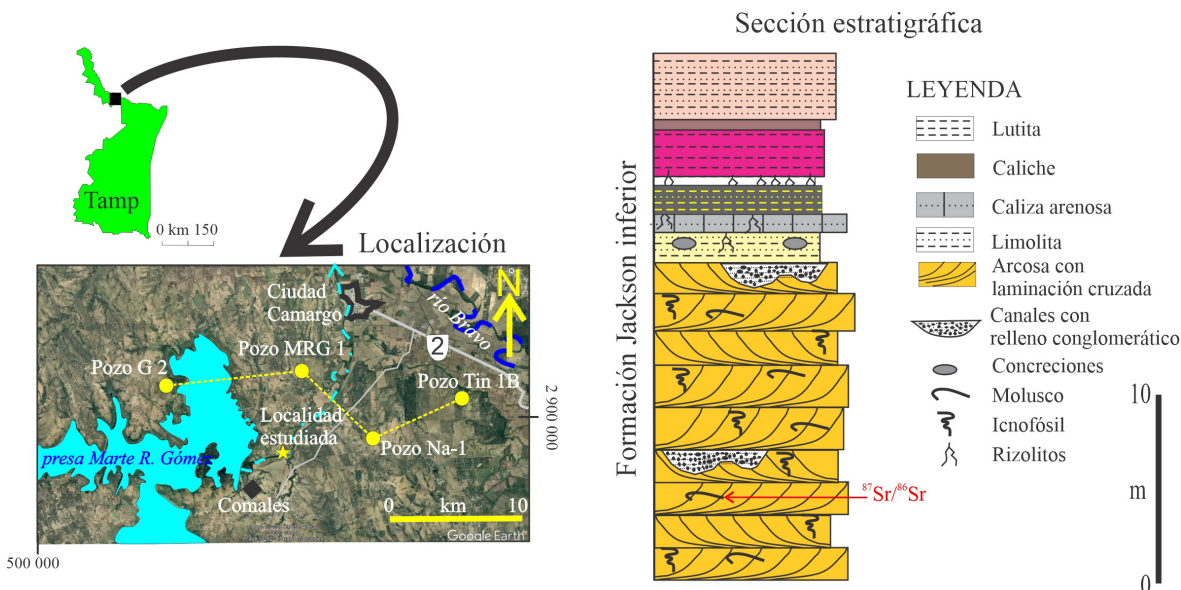


Figura 2. Localización del área y sección estratigráfica de la Formación Jackson inferior medida en el río San Juan, Tamaulipas. Imagen tomada de Google Earth. Referencias en el texto.

carbonato de calcio, todo el conjunto en color crema claro. Su estratificación es en capas de 60 a 80 cm de espesor, su ordenamiento interno tiene laminación cruzada de ángulo alto, bidireccional con estratificación *flaser* simple, hay ondulitas, rizaduras de corriente y conjuntos individuales de capas que tienen truncamiento (Figura 3a). Esta litología se amalgama en conjuntos y simula ser masiva, contiene pistas de *Thalassinoides* isp. y *Ophiomorpha* isp. (Figura 3b) y en ella están inmersas conchas bien conservadas de ostras que se identificaron como *Crassostrea* cf. *alabamiensis* y fragmentos de éstas (Figura 4). Esta sucesión tiene porosidad intergranular y laminación que son características

favorables para la permeabilidad. Intercalada en esta unidad hay cuerpos lenticulares de arenisca de grano muy grueso y conglomerado bien cementados (Figura 5), de 0.50 a 1 metro de espesor, su base corta a capas inferiores de estratos de arenisca conglomerática y los clastos flotan en soporte de arena que decrece el tamaño de grano a la cima, varias concreciones de caliza arenosa están presentes. La litología anterior subyace a un cuerpo de 1.5 a 2.0 metros de espesor de caliza arenosa de grano fino, con laminación paralela (Figura 6a) y sobre ésta, destaca un intervalo con predominio de limolita con lentes discontinuos de arenisca con laminación cruzada (estratificación *flaser*),

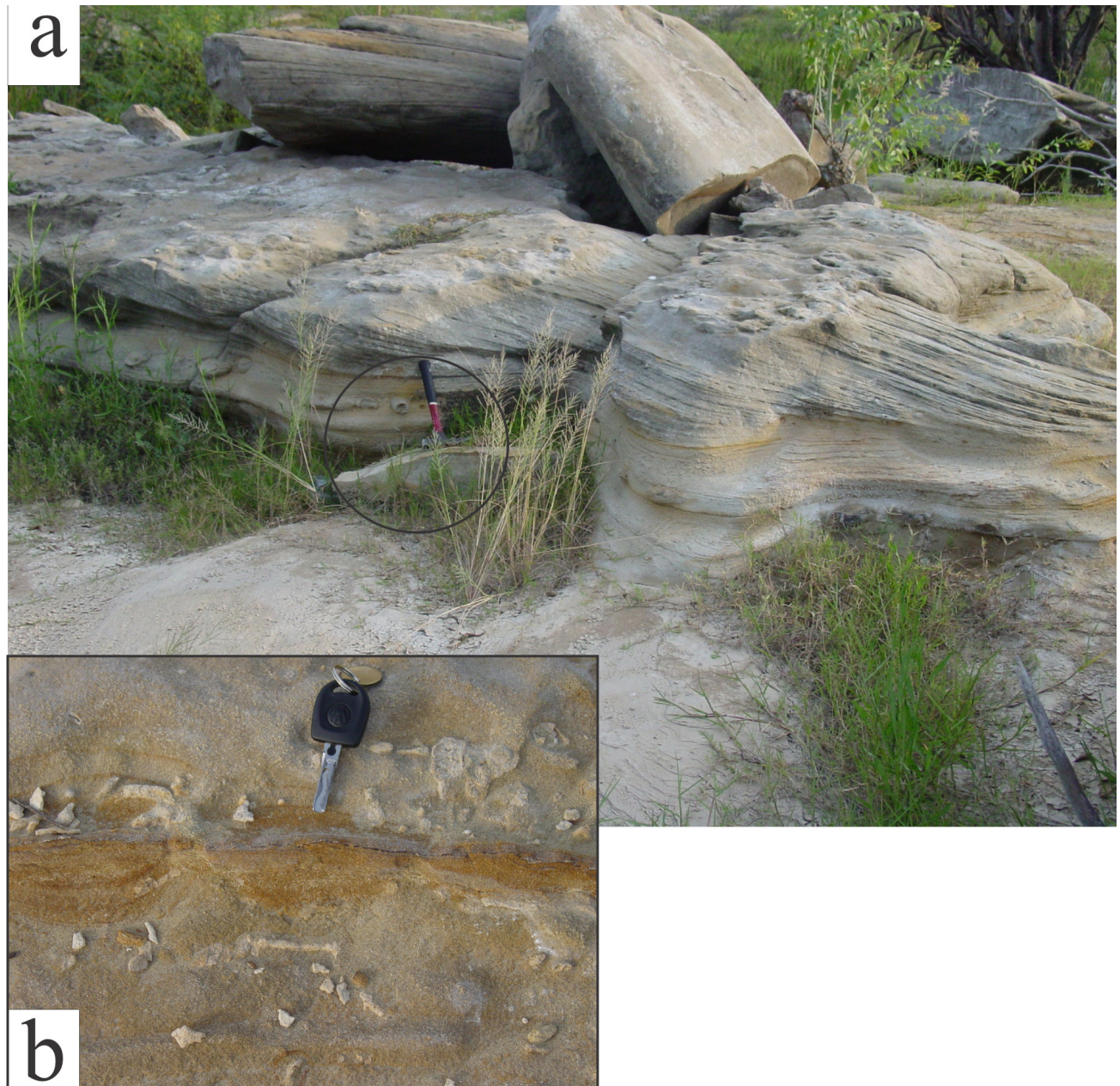


Figura 3. Capas con estratificación laminar cruzada de ángulo alto (a), con abundantes trazas de *Ophiomorpha* isp. y *Thalassinoides* isp. (b). Escalas: martillo 30 cm, llave 8 cm.

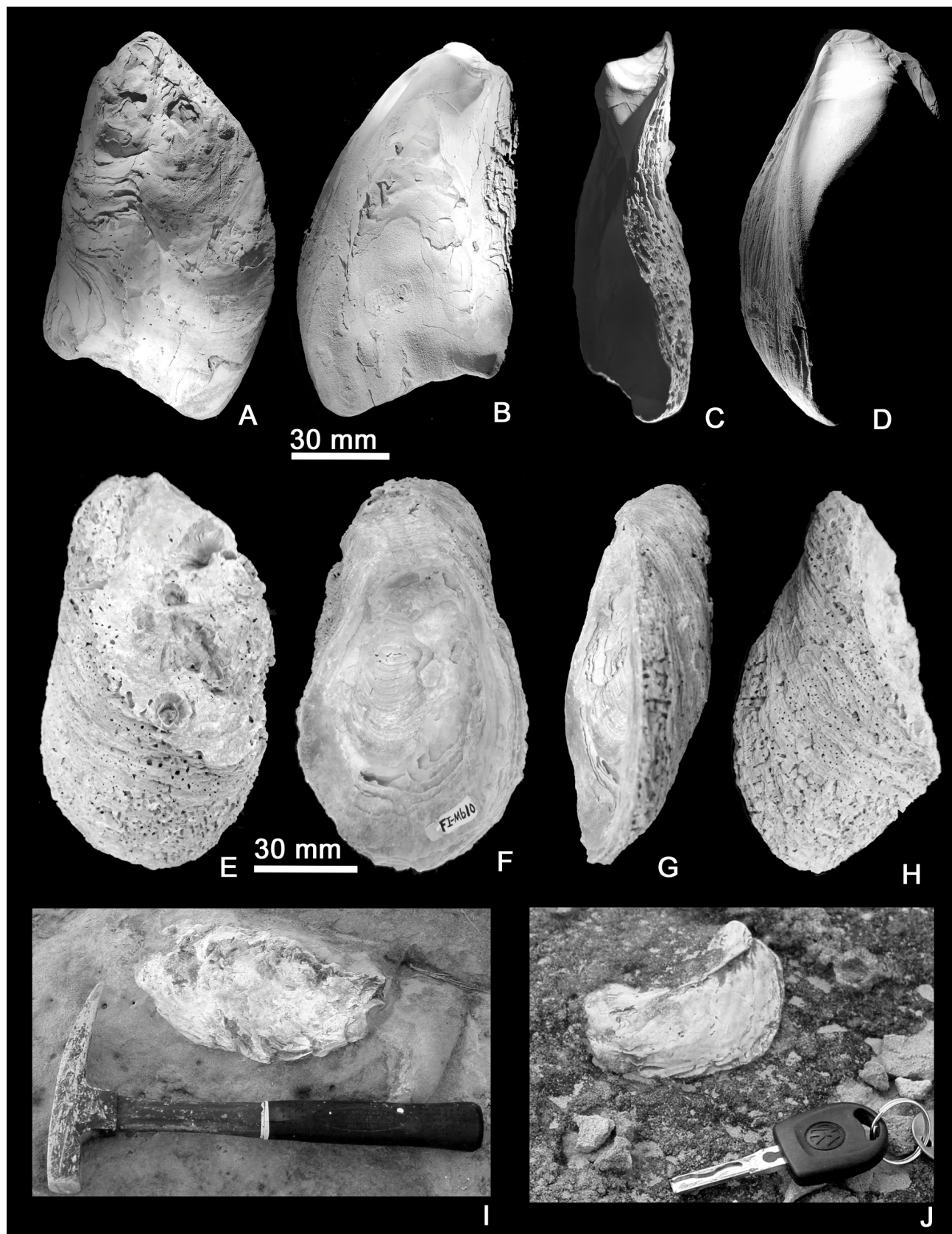


Figura 4. *Crassostrea cf. alabamiensis* (Lea, 1833), A-D: Valva izquierda en vista ventral, interior, izquierda y derecha, respectivamente (localidad UTM 509,476 m E; 2 900,351 m N). E-H: Valva izquierda en vista ventral, interior, izquierda y derecha, respectivamente; Colección Paleontológica de la Facultad de Ingeniería, UNAM, ejemplar FI-M610. I, J: Ejemplares de *Crassostrea cf. alabamiensis* *in situ* (misma localidad indicada). Martillo (30 cm) y llave (8 cm) como escala de referencia.



Figura 5. Cuerpos canalizados segmentados de conglomerado arenoso, su base corta a arenisca con estratificación cruzada (martillo como referencia de escala). Al fondo de la imagen capas de lutita roja y verde en la cima de la sección.

de color gris oscuro, con 2.0 metros de espesor. Este intervalo subyace a un cuerpo de rizolitos (Figura 6b) con estructuras reticuladas, de 1 a 1.5 cm, con un metro de espesor, que tiene *Stromatopora parvipora*. En ascenso estratigráfico hay un intervalo decimétrico de caliche que subyace a una superficie irregular, sobre la que hay estratos de limolita, yeso y arenisca de grano fino a grano medio, con ordenamiento interno de laminación paralela de ángulo bajo, en capas delgadas, intercalada con posibles tobos. Todo el conjunto sobresale por su coloración rojo marrón, guinda y verde, con 8 metros o poco más espesor (Figura 5), esta coloración, litología y moluscos originó que esta unidad fuera referida como Formación Yegua, de edad Bartoniano (Kane y Gierhart, 1935), pero en este trabajo se analiza tal aseveración. La cima de la sección subyace a una superficie irregular, formada por gravas de arenisca y caliza poco consolidada, con fragmentos de madera fósil, que posiblemente pertenece a la Formación Norma del Oligoceno.

## 5. Discusión

### 5.1 Paleontología y cronoestratigrafía

*Ostrea (Crassostrea) alabamiensis* (Lea, 1833) no es un fósil reconocido en el piso Claiborniano (Lea, 1833; Westgate, 2008, 2012), es un molusco poco común colectado en estratos de las formaciones Gosport y Moody Branch, en Alabama (Palmer y Brann, 1965; Toulmin, 1977), Colombia (Anderson, 1920) y en Arkansas (Westgate, 2008, 2012), colectado en estratos de edad Jacksoniano. El único ejemplar mexicano de esta especie que tenemos noticia se restringe a una localidad imprecisa de la Formación Bateque (Eoceno Temprano a Tardío), en Baja California (ejemplar FI-M 610 depositado en la colección de la Facultad de Ingeniería, UNAM). El estudio morfológico comparativo de las ostras es complejo al presentar una misma especie diferencias significativas de acuerdo con

el medio en donde se desarrollan. Lea (1833) definió brevemente la especie *Ostrea alabamiensis* s.s., a partir de una valva de concha subelíptica, crenulada en ambos lados, con una cúspide curvada hacia atrás y puntiaguda, de 52 mm (2.1”) de longitud y 32 mm (1.5”) de amplitud, con su cara externa rugosa, esta valva fue colectada en arenisca de la Formación Gosport (Bartoniano Tardío–Priaboniano Temprano). La morfología del ejemplar de *Crassostrea* cf. *alabamiensis* colectado en este trabajo corresponde a la valva izquierda de una ostra, que conserva su composición de carbonato de calcio, color gris claro a pardo, la concha es grande y gruesa, con 118 mm de alto, 65 mm de ancho y 28 mm de grosor, con forma subtriangular a espatulada y convexidad poco desarrollada. La cara externa muestra ornamentación formada por sutiles láminas de crecimiento transversal, subrectilíneas o ligeramente onduladas, con costillas ausentes (Figura 4A–D) y el umbón bien definido. El ejemplar colectado (localidad UTM 509,476 m Este; 2,900,351 m Norte) se encuentra depositado en la Universidad Nacional Autónoma de México, colección paleontológica de la Facultad de Ingeniería, con la ficha de identidad UNAM-FI-4231. Imágenes de campo obtenidas en la sección estudiada muestran valvas de ostra (Figura 4I y J) que preliminarmente presentan una gran similitud al compararse con la valva de *Crassostrea alabamiensis* colectada en Baja California (Figura 4 E–H). Las características morfológicas del molusco referido en este trabajo presentan ligera discrepancia con la descripción del holotipo *alabamiensis* referido por Lea (1833), aquí el tamaño es mayor y la forma subtriangular a espatulada de la concha sugieren considerar con razonable duda confirmar esta especie, para lo que se sugiere un trabajo taxonómico.

En estratos de las formaciones White Bluff, en Arkansas (Westgate, 2008, 2012), Gosport y Moody Branch, en Alabama (Palmer y Brann, 1965; Toulmin, 1977), se cita la presencia de *Crassostrea alabamiensis* vinculada



Figura 6. En la base capas de arenisca gruesa con estratificación laminar cruzada de ángulo alto cubiertas por limolita y una capa gruesa de caliza arenosa (a), que pasan en contacto nítido a limolita gris oscuro con abundantes estructuras lenticulares (*flaser*) y termina en la cima con un cuerpo de rizolitos (b). Escala indicada en la figura.



al molusco *Venericardia planicostata* Lamarck, 1801 y vertebrados *Basilosaurus cetoides* Harlan (1834); *Zygorhiza kochii* (Carus, 1847) y *Pterosphenus schucherti* (Lucas, 1898), fósiles distintivos del Jacksoniano (Bartoniano Tardío–Priaboniano), pero hay incertidumbre en cuanto al rango estratigráfico que alcanza la ostra. La litología de la sección estratigráfica estudiada en este trabajo carece de foraminíferos, por lo que no es posible por este medio conocer su edad. La presencia de *Crassostrea* cf. *alabamiensis* en la sección aquí estudiada, identificada como la base de la Formación Jackson inferior, se propone en una posición estratigráfica en el Eoceno Tardío (Priaboniano) mediante la edad que el análisis de Sr aporta. Este fósil es propio de ambiente salobre o hipersalino, alojado en estuarios y lagunas protegidas del oleaje, por lo que es un buen indicador del ambiente en el que vivió.

A continuación, se compara el ejemplar aquí estudiado con otras especies de ostreidos reportadas por Gardner (1945) en la Formación Jackson del noreste de México y Norteamérica.

*Ostrea contracta amichael* Gardner, 1945. Tiene una concha más gruesa y pesada, su valva externa está laminada, el área de charnela más larga se fortalece con el crecimiento de la concha (Figura 7 A, B) y ha sido frecuentemente confundida con *Crassostrea alabamiensis* Lea, 1833 (Figura 7 C).

*Ostrea contracta* Conrad, 1855. La forma alargada y angosta, con su valva izquierda caracterizada con marcada convexidad hace que sea fácilmente diferenciable de *Crassostrea alabamiensis*.

*Ostrea compressirostra* Say, 1824. Perrillat (1963) describe esta especie en unidades estratigráficas más viejas a la Formación Jackson y presenta una clara diferencia en su concha por su forma orbicular y costillas concéntricas con respecto a *Crassostrea alabamiensis*.

*Ostrea georgiana* Dall, 1898. El enorme tamaño de su concha es similar a *Ostrea virginica*, los ejemplares jóvenes retienen la fina estructura radial epidérmica que es distintiva y característica constante en *Crassostrea alabamiensis*. *Ostrea georgiana* es un conspicuo y prominente fósil encontrado en el Eoceno Tardío de Texas y descrito en la Formación Jackson de la Cuenca de Burgos (Kane y Gierhart, 1935).

*Ostrea trigonalis* Conrad, 1855. Ha sido reconocida en la cima del Grupo Jackson del estado de Misisipi. La distinción de esta especie se encuentra en la estructura vermicular robusta en las márgenes frente al área de charnela, particularmente en la valva derecha y tamaño superior a *Crassostrea alabamiensis*.

En la Cuenca de Burgos no existen estudios publicados sobre isotopía de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , carbón-oxígeno ( $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ ), fechamientos con zircones (U-Pb), huellas de fisión (*fission track*), u otras técnicas similares para el control cronológico, ambiental, o evolución de la subsidencia de las diferentes unidades litológicas depositadas durante del

Cenozoico. El control para ubicar la posición estratigráfica y edad de las diferentes formaciones que afloran en esta cuenca se basa en los principios de la ley de sobreposición, relaciones de contacto estratigráfico y con los limitados estudios macropaleontológicos publicados citados en la introducción. En el subsuelo el control de edad se apoya en biozonas mediante la aparición, extinción y abundancia de conjuntos de foraminíferos y nanoplancton calcáreo. Con

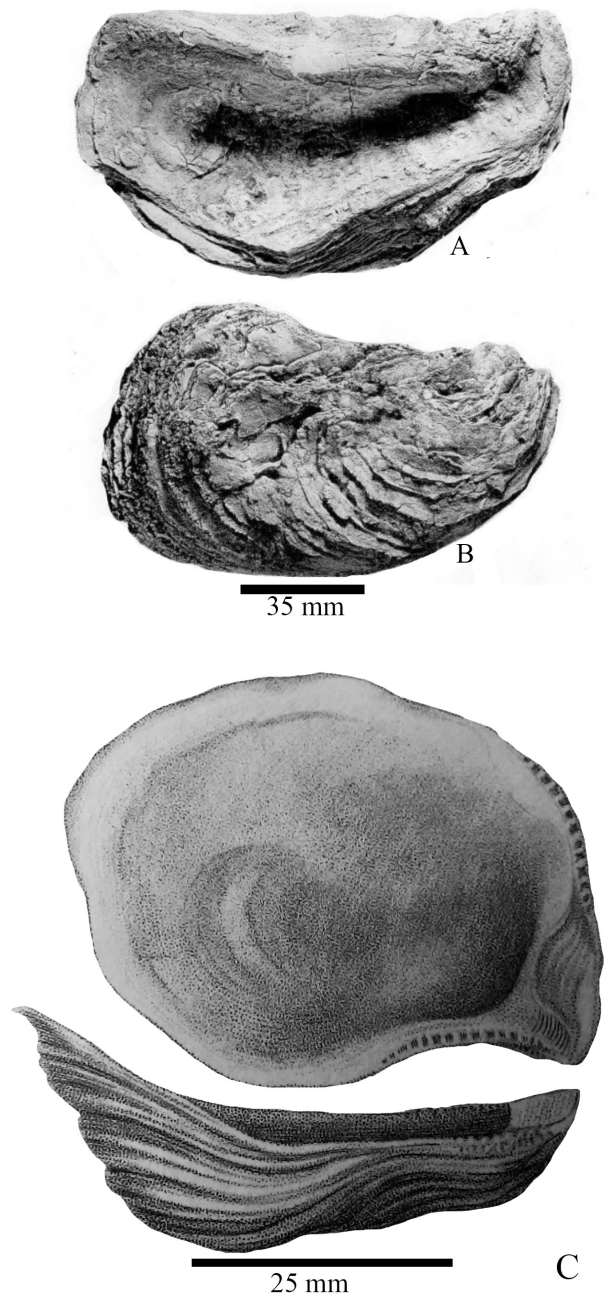


Figura 7. *Ostrea* (*Crassostrea*) *contracta amichael* (Gardner, 1945). Holotipo A, B: Valva interior izquierda y exterior derecha respectivamente (ambas de diferentes individuos). *Crassostrea alabamiensis* (Lea 1833), Holotipo C: Vista interior y lateral.

bioestratigrafía de alta resolución, registros geofísicos de pozos y sísmica 2D y 3D, Petróleos Mexicanos ha elaborado para esta cuenca numerosos y excelentes modelos de depósito y análisis de secuencias estratigráficas (Bernabé-Martínez *et al.*, 2003; Eguiluz, 2009, 2011, etc.), pero hay ausencia de datos de isotopía que puede emplearse para un control cronológico adicional para registrar hiatus, discordancias, condensación de secciones, evolución volcánica y otros eventos geológicos.

La composición  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  del agua marina en el registro geológico retenida en el carbonato en la concha fósil (baja en Mg), es un método que permite obtener una aproximación adecuada para establecer la edad del depósito sedimentario. Las variaciones de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  reflejan cambios en el registro de la salinidad de agua marina, originada por sistemas hidrotermales submarinos que fluyen del manto terrestre y el agua que proviene por ingreso fluvial o glacial. Estas variaciones han sido registradas durante el Eón Fanerozoico y representadas mediante curvas gráficas que sirven de patrón de comparación, obtenidas por instrumentos cada vez más sofisticados (Veizer *et al.*, 1999; McArthur *et al.*, 2012). Esta técnica resulta muy apropiada en el registro cronológico del Cenozoico debido al aumento pronunciado y bien definido de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , por ser la sedimentación de una edad más joven que otras sucesiones sedimentarias en donde la muestra de análisis (concha fósil) ha sido afectada por diagénesis. La relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtenida de la concha de *Crassostrea cf. alabamiensis* (en este trabajo) intercepta varias posibles edades: 36.75 (+2.65/-2.05), 42.60 (+1.10/-1.70), 46.35 (+1.80/-1.20) y 54.90 (+3.45/-2.05) Ma (Tabla 1, Figuras 8 y 9). De acuerdo con la posición estratigráfica de la sección estudiada y su contenido paleontológico, la edad viable seleccionada es de 36.75 (+2.65/-2.05) Ma, con un margen aceptable de -2.05 Ma, para ubicar a *Crassostrea cf. alabamiensis* en la base de la Formación Jackson (Figura 8). No es posible seleccionar para la muestra que aquí se analiza una edad más vieja para litologías tan diferentes como las formaciones Cook Mountain, Weches o Wilcox, aunado a la edad del molusco colectado en este trabajo.

## 5.2. Ambiente de depósito

Se interpreta que las litologías descritas en este trabajo corresponden a varios subambientes sedimentarios. En la base de la sección hay una sucesión de arenisca de grano bien redondeado y grano medio homogéneo, que posiblemente indica madurez avanzada y selectiva en el transporte de sus componentes. Tiene estratificación laminar cruzada de ángulo alto, bidireccional, con estratos truncados en la cima (Figura 3a) y estratificación *flaser* simple, que es propia de flujo hidrodinámico de energía moderada a alta, que suele ser generado por oleaje y corriente de intermarea (Reineck y Wunderlich, 1968), entre la desembocadura de canales y barras de costa (Price, 1951). Los cuerpos de arenisca de grano grueso que soportan clastos de conglomerado, con

Tabla 1. Resultados del análisis  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Edades calculadas con LOWESS 5 Fit 26 03 13 (McArthur *et al.*, 2012).

Muestra	Código Lab.	peso (g)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1 sd*	1 SE(M)*	n	Ma	+/- Ma
<i>Crassostrea alabamiensis</i>	6266 FV CR	0.066	0.708	26	3	57	36.75	-1.293
							42.6	-0.647
							46.35	-1.5
							54.9	-1.683

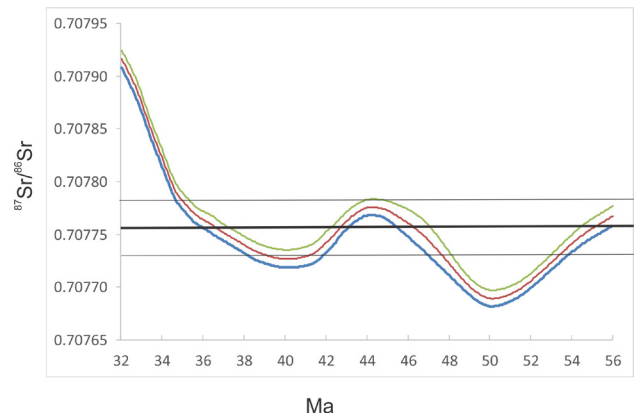


Figura 8. Curva de variación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  del agua de mar para el Eoceno. En rojo es el valor promedio y en verde y azul las desviaciones estándar. La línea negra horizontal obscura representa el valor  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  medido y las dos líneas horizontales paralelas, en gris, su desviación estándar. De acuerdo con las observaciones estratigráfico-paleontológicas la edad probable está comprendida entre 36.75 y 54.90 Ma.

geometría lenticular y lateralmente discontinuos (Figura 5), sugieren un flujo en suspensión y tracción en cauce de canales fluviales anastomosados en la desembocadura de lagunas costeras (Plint, 2010). Las trazas de *Ophiomorpha* isp., *Thalassinoides* isp., fragmentos y ejemplares completos de conchas gruesas de *Crassostrea cf. alabamiensis* (Figuras 3b y 4) son comúnmente asociados a subambiente lagunar o de estuario y se vinculan con un medio salobre o hipersalino (Dalrymple y Choi, 2007; Dalrymple, 2010). La litología anterior está cubierta por limolita, arenisca calcárea, caliza arenosa con rizolitos de ambiente lagunar, que subyace a un cuerpo con predominio de limolita y rizaduras de lentes de arena (estructura *flaser*, Figura 6a), que se asocia a un ambiente con corriente intermitente que se genera por cambio hidrodinámico del flujo en planicies de intermarea. El cuerpo superior con rizolitos y posibles formas de *Stromatopora parvipora* corresponden a un medio de manglar (Figura 6b). La cima de esta sucesión pasa a capas de limolita y lutita con laminación paralela y cruzada de ángulo bajo e intervalos de caliche y yeso, con posible bentonita, de colores rojo, verde y gris. Se interpreta que estas litologías se asocian a un flujo hidrodinámico laminar de baja energía y a un ambiente fluvioacustre, formación intermitente de suelo y acumulación de material volcánico, en una planicie de inundación subaérea con posible intemperismo de arcillas y oxidación (Mial, 1985). La toba que generalmente es reportada en esta formación es

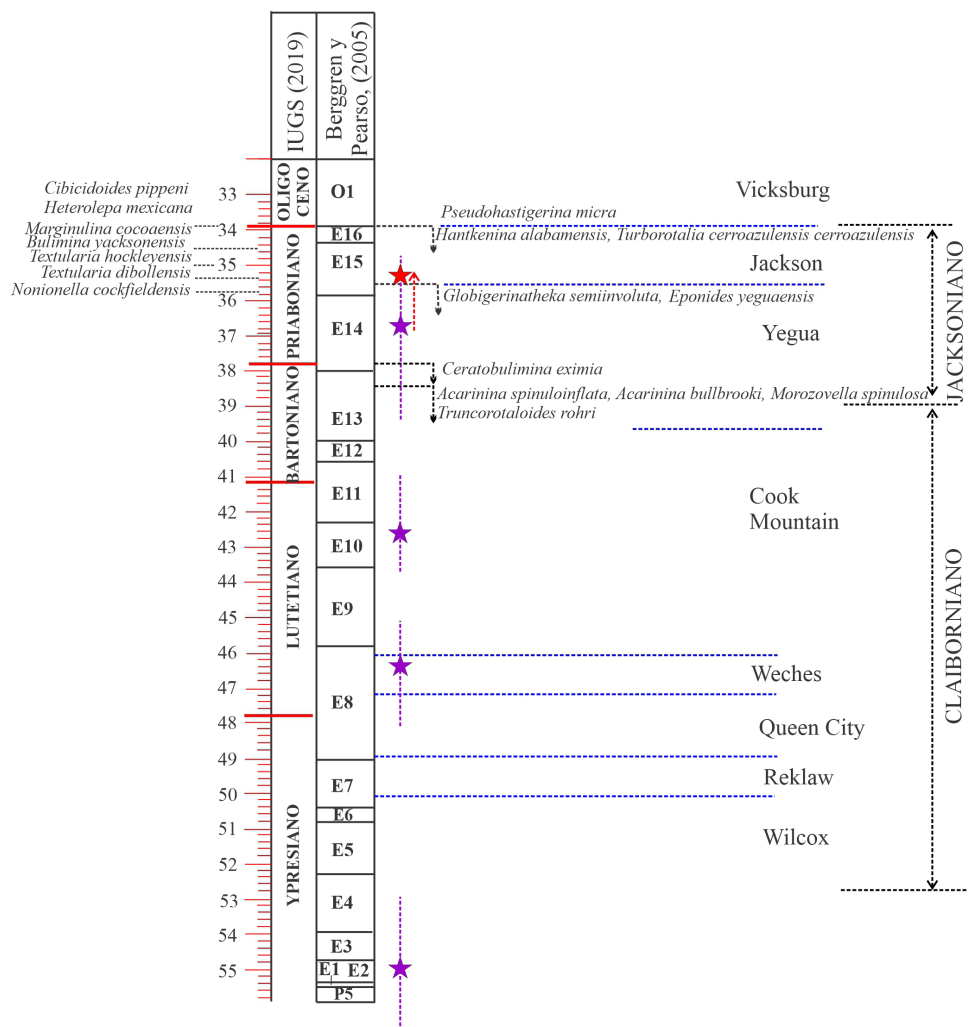


Figura 9. Ubicación de la posible variación de edad  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y alcance estratigráfico de foraminíferos bentónicos (derecha) y planctónicos (izquierda) en las formaciones de la Cuenca de Burgos. Estrellas son opciones de edad y su variación con línea cortada vertical. Línea cortada horizontal negra extinción del fósil. Estrella roja posición seleccionada para el fósil colectado. Explicación adicional en el texto.

producto de vulcanismo piroclástico externo a esta cuenca.

Price (1951) denominó “costas dominadas por las olas” (*wave-dominated coasts*), a una morfología litoral en donde la energía de las olas predomina para controlar la dispersión y depósito de sedimento. La dinámica de la corriente asociada al oleaje construye una orilla sensiblemente llana, formada por arena de playa que forma islas de barrera alargadas y paralelas a la costa, generalmente con ausencia de lagunas en un extremo de su clasificación (*strand plain*), o bien, morfologías variantes de esta facies que tienen lagunas y hábitats intermareales dominantes (Boyd *et al.*, 1992). Este tipo de costas dominadas por olas generalmente las asocian a un entorno geodinámico transgresivo (Boyle, 2010), sin embargo, Price (1951) y McCubbin (1982) no excluyen a este tipo de facies de ambientes regresivos (Figura 10). Registros geofísicos de los pozos G 2 y Tin 1B (Figuras 1 y 11) muestran que la Formación Jackson inferior tiene predominio arcilloso y en general se interpreta este intervalo como un evento transgresivo (Echanove, 1986 y Eguiluz,

2011), pero en estos registros la curva de rayos gama muestra intervalos que incrementa el contenido de arenisca a la cima y disminuye la arcilla (pozos MRG 1 y Na 1), la sucesión de facies que tiene la sección estudiada tiene similar apariencia con el registro del pozo MRG 1, con un cuerpo de arenisca parcialmente limpia en la base, cubierto por arcilla en la cima (Figura 11). Las características litológicas descritas para la sección estratigráfica de la Formación Jackson inferior y su interpretación de subambientes evoluciona como un estuario hacia un delta (Figura 9) y regionalmente es congruente con un medio sedimentario costero, dominado por combinación de marea y oleaje, sin predominio fluvial, con presencia de laguna y barras como ha sido descrito por Price (1951) y McCubbin (1982), pero incluido durante un episodio de transgresión mayor, similar con el ambiente propuesto para esta formación en Texas (Galloway *et al.*, 1991).

La litología descrita en esta sección, que incluye estratos de coloración rojiza, originalmente fue referida por Kane

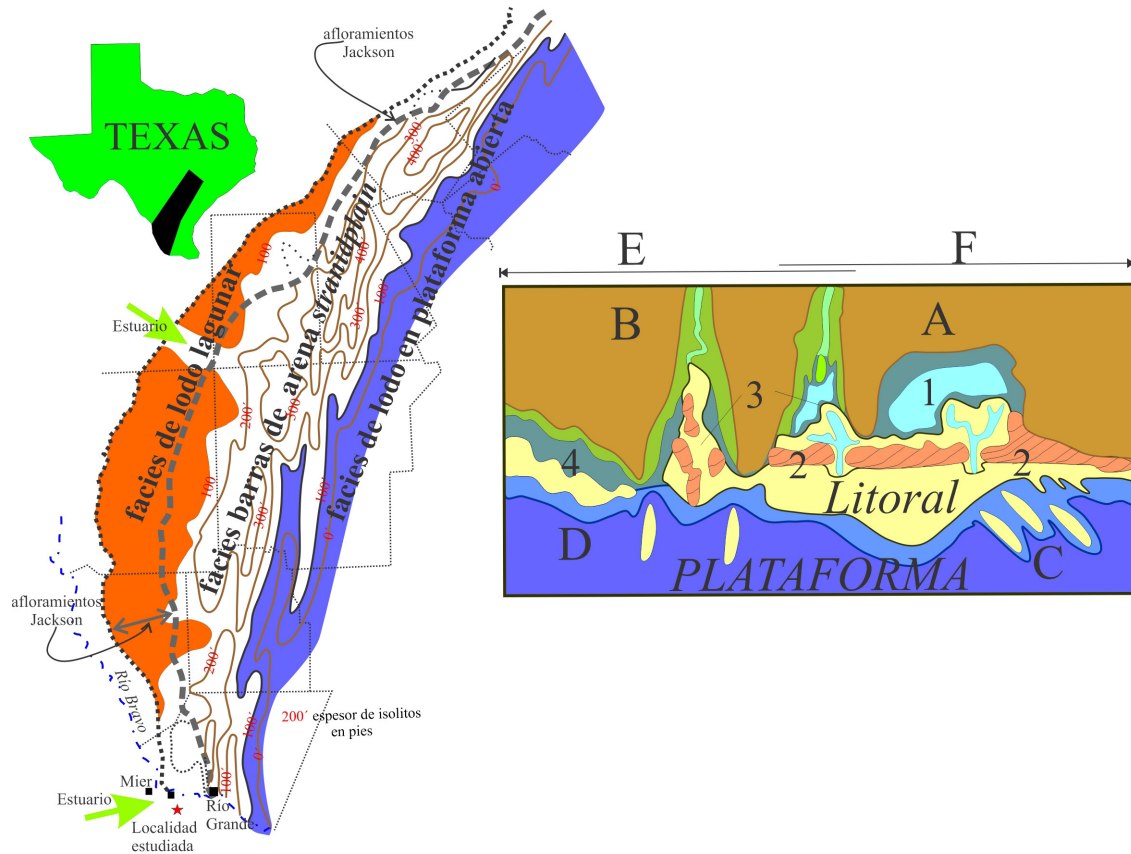


Figura 10. Modelo de depósito en el sur de Texas (Galloway *et al.*, 1991) y ambiente de costa dominada por olas y mareas (tomado de Heward, 1981 y Boyd *et al.*, 1992). Costa dominada por oleaje (A), costa dominada por mareas (B), plataforma dominadas por olas y tormentas (C), plataforma dominada por mareas (D), incremento de energía por mareas (E), incremento de energía por oleaje (F). Ambientes: Laguna (1), cinturón arenoso litoral o strandplain (2), estuario (3), planicie de marea (4). Espesor de cuerpos de arena (isolitos) cada 100 pies.

y Gierhart (1935) como un afloramiento asignado a la Formación Yegua, que en Texas tiene esta coloración, es de ambiente continental y de edad Bartoniano, pero debido a la presencia *Crassostrea cf. alabamensis* abajo de las capas de coloración rojo marrón y la edad más probable seleccionada por isótopos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , son consistentes con una edad más joven (Priaboniano).

La Formación Jackson inferior en el subsuelo tiene foraminíferos que ubican su ambiente de depósito en un medio nerítico interno a nerítico medio; sin embargo, el ambiente de la sección estudiada es más somero. Al oriente de la franja de afloramiento de la Formación Jackson los tres miembros adquieren un espesor mayor y ambiente de mayor profundidad, posiblemente generado por el espacio de acomodo que crearon las fallas de crecimiento, características de este tipo de cuencas (Figura 11).

Por lo expuesto en párrafos anteriores se concluye, que por la diversidad litológica de la sección estratigráfica que aflora en la boquilla de la presa Marte R. Gómez y con base en su contenido fósil e isotopía, esta unidad litoestratigráfica es propia del miembro inferior de la Formación Jackson, de edad Priaboniano, lo que contribuye a tener una cartografía geológica más apropiada y la posibilidad de tener un

afloramiento adecuado y accesible para identificar un modelo de depósito como análogo de roca almacén y su sello para los yacimientos de gas de esta cuenca.

## 6. Conclusiones

El alcance estratigráfico que se obtiene para registrar la edad de hiatus, condensación o discordancias a partir de la aparición y extinción de foraminíferos que son usados en la Cuenca de Burgos, combinados con sísmica 3D, 2D y registros, puede ser enriquecido con el empleo de datos de isotopía para dar complemento al control de secuencias estratigráficas, y este trabajo aporta el primer dato isotópico obtenido en esta cuenca para asignar una edad cronológica en la base de la Formación Jackson. No obstante que con la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de la concha de *Crassostrea cf. alabamensis* se obtuvieron valores en un rango de edades comprendido entre 36.75 (+2.65/-2.05), 42.60 (+1.10/-1.70), 46.35 (+1.80/-1.20) y 54.90 (+3.45/-2.05) Ma, tanto el alcance estratigráfico del fósil, como la posición de la sucesión estratigráfica, sugieren que el primer valor referido por isotopía es el más apropiado para la Formación Jackson

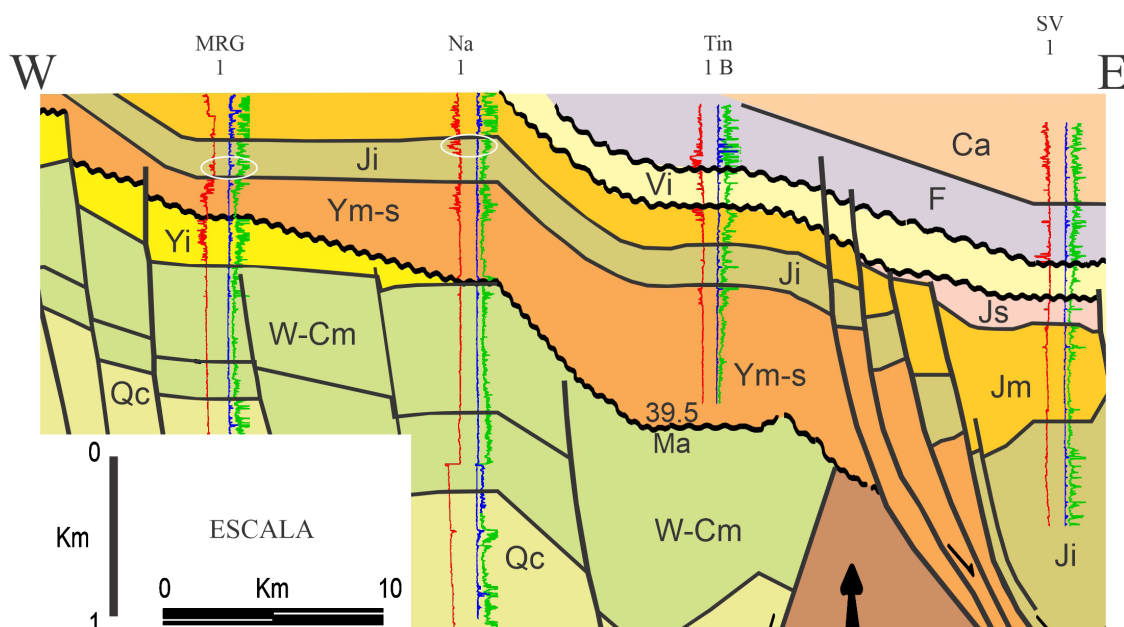


Figura 11. Sección estratigráfica y estructural entre los pozos MRG 1 y Tin 1 B. Formaciones Queen City (Qc), Weches y Cook Mountain (W-Cm), Yegua inferior (Yi), Yegua medio y superior (Ym-s), Jackson inferior (Ji), Jackson medio (Jm), Jackson superior (Js), Vicksburg (Vi), Frio (F), Catahoula (Ca). Registros de pozos: resistividad (curva azul y verde, potencial espontáneo o rayos gama (curva roja). Explicación en el texto. Tomado de Eguiluz, 2009, modificado en este trabajo.

inferior de la en la sección estudiada y se sitúa en el piso Priaboniano. La presencia de *Crassostrea cf. alabamiensis* en estratos de la Formación Jackson inferior contribuye al conocimiento de macrofauna asignada al Eoceno Tardío en el noreste de México. Las características litológicas aunadas a datos paleontológicos sugieren que la sección estudiada corresponde a un ambiente sedimentario costero, modelado por marea y olas, con morfología de barras y lagunas litorales, que pasan a un ambiente fluvial en la cima y el conjunto de la sección define un ambiente de estuario, para ese intervalo particular del miembro inferior de la Formación Jackson.

## Agradecimientos

Este trabajo se dedica a la memoria del geólogo Juan Antonio Cuevas Leree, por su meritoria labor en la exploración petrolera de México, fallecido el 27 de octubre, 2020, que en paz descanse. Se agradece a los revisores anónimos de este trabajo por las sugerencias dadas para enriquecer lo aquí expuesto. Se agradece al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por el financiamiento total de los análisis y al personal que intervino en la obtención de datos: Ing. Teodoro Hernández Treviño, por la ayuda en la preparación mecánica de las muestras; M.C. Gerardo Arrieta García, por las mediciones isotópicas. A la Dra. María Isabel Hernández Ocaña, por su colaboración en determinar

los icnogéneros. Nuestro agradecimiento al Dr. Josep A. Moreno Bedmar, editor de esta revista, por las observaciones excepcionales dadas para mejorar el manuscrito. Al M. en C. Juan Antonio Cuevas Leree (QEPD), Dr. Alberto Segura y Biol. Graciela Ramírez, de Petróleos Mexicanos, por los valiosos comentarios al manuscrito preliminar, así como al Dr. José Jorge Aranda Gómez y al Biol. Nelson Vargas, por la revisión preliminar de este trabajo. A Natalia Amezcua por el soporte bibliográfico y comentarios expresados para mejorar lo aquí expuesto. Expresamos nuestra gratitud al trabajo de la Maestra Sandra Ramos, por su colaboración en la edición final de este trabajo

## Referencias

- Anderson, F.M., 1920, Notes on Lower Tertiary deposits of Colombia and their molluscan and foraminiferal fauna: Proceedings of the California Academy of Sciences, 17(1), 1–29.
- Berggren, A.W., Pearson, N.P., 2005, A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation: Journal of Foraminiferal Research, 35(4), 279–298.
- Bernabé-Martínez, M.A., Eguiluz y de A.S., Mendoza, R.M.I., 2003, Estudio de playas del Vicksburg Sur en la Cuenca de Burgos: Revista Ingeniería Petrolera, 43(3), 48–57.
- Boyd, R.L., Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., 1992, Classification of clastic coastal depositional environments: Sedimentary Geology, 80, 139–150.
- Boyle, R.L., 2010, Transgressive wave dominated coasts, En James, N.P., Dalrymple, R.W. (Eds.), Facies Models 4, Geological Association of Canada: St. John's, Canada, Geotext 6, 265–294.
- Bramlette, M.N., Riedel, W.R., 1954, Stratigraphic value of *discoasters* and some other microfossils related to Recent coccolithophores: Journal of Paleontology, 28, 385–403.

- Brönnimann, P., 1952, *Globigerinoita* and *Globigerinatheka*, new genera from Tertiary of Trinidad, B.W.I: Contributions from Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 3(1), 25–28.
- Brönnimann, P., Bermudez, P.J., 1953, *Truncorotaloides*, a new foraminiferal genus from the Eocene of Trinidad: Journal of Paleontology, 27, 817–820.
- Carus, C.G., 1847, Resultate geologischer, anatomischer und zoologischer untersuchungen über das unter den Namen Hydrarchos von Dr. A. C. Koch zuerst nach Europa gebrachte und in Dresden aufgestellte große fossile Skelett, 1–15.
- Cervera del Castillo, E., 1950, Información obtenida durante la perforación de los pozos exploratorios en el noreste de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1, 261–268.
- Cole, W.S., 1927, A foraminiferal fauna from the Guayabal formation in Mexico: Bulletins of American Paleontology, 14(51), 1–47.
- Cole, W.S., 1928, A foraminiferal fauna from the Chapopote Formation in Mexico: Bulletins of American Paleontology, 14(53), 1–33.
- Conrad, T.A., 1855, Descriptions of one Tertiary and eight new Cretaceous fossils from Texas, in the collection of Mayor Emory: Academy of Natural Sciences, Philadelphia Proceedings, 7, 268–269.
- Conrad, T.A., 1856, Observations on the Eocene deposits of Jackson, Mississippi, with descriptions of four new species of shells and corals, Academy of Natural Sciences, Philadelphia Proceedings, En Sellards, W.S., W.S. Adkins, F.B. Plummer (eds.), The Geology of Texas, Vol. I, Stratigraphy: The University of Texas Bulletin, Bureau of Economic Geology, Texas, part 3, 520–809.
- Cushman, J.A., 1924, A new genus of Eocene foraminifera: Proceedings of the United States National Museum 66(30), 1–4.
- Cushman, J.A., 1925, Eocene Foraminifera from the Cocoa Sand of Alabama: Contribution Cushman Laboratories Foraminifera Research, 1, 65–70.
- Cushman, J.A., 1925a, New Foraminifera from the Upper Eocene of Mexico: Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, 1, 4–9.
- Cushman, J.A., 1925b, An Eocene fauna from the Moctezuma River, Mexico: Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 9, 298–303.
- Cushman, J.A., Applin, E.R., 1926, Texas Jackson Foraminifera: Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 10, 154–189.
- Cushman, J.A., 1927, New and interesting Foraminifera from Mexico and Texas: Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research, 3(2), 111–119.
- Cushman, J.A., Ellisor, A.C., 1932, Additional new Eocene Foraminifera: Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research, 8, 40–43.
- Cushman, J.A., Ellisor, A.C., 1933, Two new Texas Foraminifera: Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research, 9(4), 95–96
- Cushman, J.A., Garrett Jr., J.B., 1938, Three new *rotaliform* Foraminifera from the Lower Oligocene and Upper Eocene of Alabama: Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research, 14(3), 62–66.
- Dall, W.H., 1898, Tertiary faunal of Florida: Transactions of the Wagner Free Institute of Science of Philadelphia, 3–4, 571–94.
- Dalrymple, R.W., 2010, Tidal depositional systems, Facies Models 4, En Noel P. James Robert W. Dalrymple (eds.), Geotext 6: Canada, Canadian Sedimentology, 201–231.
- Dalrymple, R.W., Choi, K.S., 2007, Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide dominated depositional systems: A systematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation: Earth-Science Review, 81, 135–174.
- Deusen, A., 1924, Geology of the Coastal Plain of Texas west of Brazos River: United States Geological Survey, 126:145, 38 pp.
- Dumble, E.T., 1892, Report on the brown coal and lignite of Texas; character, formation, occurrence, and fuel uses: Texas Geological Survey, 243 pp.
- Dumble, E.T., 1924, A revision of the Texas Tertiary section with special reference to the oil-well geology of the coast region: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 8, 424–444.
- Echanove, E.O., 1986, Geología petrolera de la Cuenca de Burgos: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 38, 1–74.
- Eargle, H.D., 1959, Stratigraphy of Jackson Group (Eocene), south-central Texas: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 43(11), 2623–2635.
- Eargle, H.D., 1972, Revised Classification and Nomenclature of the Jackson Group (Eocene), South-Central Texas: The American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 66 (2), 561–566.
- Eguiluz y de Antuñano, S., 2009, The Yegua Formation: Gas play in the Burgos Basin, Mexico, en Bartolini C., Román Ramos J.R. (eds.), Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico: United States Of America, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 90, 49–77.
- Eguiluz y de Antuñano, S., 2011, Sinopsis geológica de la Cuenca de Burgos, noreste de México: producción y recursos petroleros: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63(2), 323–332.
- Ellisor, A.C., 1931, Jackson Formation in Texas, en Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Meeting, Abstract.
- Finlay, H.J., 1939, New Zealand foraminifera: Key species in stratigraphy, 2: Transactions of the Royal Society of New Zealand, 69, 89–128.
- Galloway, W.E., Bebout, D.G., Fisher, W.L., Dunlap, J.B., Jr., Cabrera-Castro, R., Lugo-Rivera, J.E., Scott, T.M., 1991, Cenozoic, Chapter 11, en Salvador, A. (ed.), The Gulf of Mexico Basin: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. J., 245–324.
- Gardner, J.A., 1945, Mollusca of the Tertiary formations of northeastern Mexico: Geological Society of America Memoir 11, 332 p.
- Garza-Vela, L.A., Aguirre-Castañeda, E.A., 2016, Inversión genética aplicada en el desarrollo de campos, Cuenca de Burgos, “caso de estudio campo Comitas”: Revista Ingeniería Petrolera, 56(8), 420–428.
- Guajardo-Cantú, E., Torres de la Cruz, F., Hernández-Ocaña, M.I., Chacón-Baca, E., Jiménez López, J.C., 2019, Gasterópodos (Mollusca, Gastropoda) del Eoceno en el municipio General Bravo de la Cuenca de Burgos, Nuevo León, México: Paleontología Mexicana, 8(2), 109–120.
- Harlan, R., 1834, Notice of fossil bones found in the Tertiary formation of the State of Louisiana: Transactions of the American Philosophical Society 4, 397–403.
- Harris, G.D., 1919, Pelecypoda of the Saint Maurice and Claiborne Stage: Bulletin of America Paleontology, 31(6), 1–268.
- Hernández-Ocaña, M.I., Chacón-Baca, E., Quiroz-Barroso, S.A., Eguiluz de Antuñano, S., Torres de la Cruz, F., Chávez-Cabello, G., 2018, A Paleogene ichnological record from the Wilcox Formation: *Ophiomorpha* and *Venericardia (Venicor) zapatai* in the Burgos Basin, northern Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 90, 107–117.
- Heward, A.P., 1981, A review of wave-dominated clastic shoreline deposits: Earth-Science Review, 17, 223–276.
- Hilgard, E.W., 1873, Supplementary and final report of a geological reconnaissance of the State of Louisiana, En Sellards, W.S., Adkins, W.S., Plummer, F.B. (Eds.), The Geology of Texas, Vol. I, Stratigraphy: Texas, The University of Texas Bulletin, Bureau of Economic Geology, part 3, 520–809.
- International Union of Geological Sciences (IUGS), 2020, International Chronostratigraphic chart, International commission on Stratigraphy, v2019/05, <https://stratigraphy.org/icschart/ChronostratChart2020-03.pdf>
- Izaguirre, L., 1956, Estratigrafía del Cenozoico y del Mesozoico a lo largo de la Carretera Reynosa, Tamaulipas y México, D.F. Tectónica de la Sierra Madre Oriental. Vulcanismo en el Valle de México, en Congreso Geológico Internacional, excursiones A-14 y C-6, 323 pp.

- Kane, W.G., Gierhart, G.B., 1935, Areal geology of Eocene in northeastern Mexico: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 19(9), 1357–1388.
- Keijzer, F.G., 1945, Outline of the geology of the eastern part of the Province of Oriente, Cuba (E of 76° W.L.), with notes on the geology of other parts of the island. Publicaties uit het Geographisch en uit het Mineralogisch-Geologisch Instituut der Rijksuniversiteit Utrecht, Physiographisch-Geologische Reeks, ser. II (6), 1–239.
- Lamarck, J.B., 1801, Systemé des animaux sans vertébrés, Publique par Lamarck et Deterville, Libraire, Paris viii, 432 p. (<https://www.biodiversitylibrary.org/page/14117719#page/7/mode/1up>).
- Lea, I., 1833, Contributions to Geology: Philadelphia, Carey, Lea & Blanchard, 1st edition, Octavo, 1–227.
- Lucas, F.A., 1898, A new snake from the Eocene of Alabama, United States National Museum Proceedings 21(1164), 637–638.
- Martini, E., Stradner, H., 1960, *Nannotetraster*, eine stratigraphisch bedeutsame neue Discoasteridengattung: Erdoel-Zeitschrift, 76(8), 266–270.
- McArthur, J.M., Howarth, R.J., Shields, G.A., 2012, Strontium Isotope Stratigraphy, en Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M., (Eds.), The Geologic Time Scale 2012, 1 and 2, 127–144.
- McBride, E.F., 1963, Classification of common sandstones: Journal of Sedimentary Research, 33, 664–669.
- McCubbin, D.G., 1982, Barrier-Island and Strand-Plain facies, en Scholle, P.A., Spearing, D. (eds), Sandstone Depositional Environments: Unites States of America, American Association of Petroleum Geologists Memoir 31, 247–280.
- Meneses-de Gyves, 1950, Zonas micropaleontológicas del Oligoceno en el noreste de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, II (1), 71–81.
- Mial, A.D., 1985, Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits: Earth-Science Review, 22, 261–308.
- Murray, G.E., Wilbert, L.J., 1950, Jacksonian Stage: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 34 (10), 1990–1997.
- Ortiz-Ubilla, A., Tolson, G., 2004, Interpretación estructural de una sección sísmica en la región Arcabuz-Culebra de la Cuenca de Burgos, Noreste de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21(2), 226–235.
- Owen, R., 1839, Observations on the *Basilosaurus* of Dr. Harlan (*Zeuglodon cetoides*): Transactions of the Geological Society of London, 6, 69–79.
- Palmer, K.V., Brann, D.C., 1965, Catalogue of the Paleocene and Eocene mollusca of the southern and eastern United States. Part 1, Pelecypoda, Amphineura, Peteropoda, Scaphopoda and Cephalopoda: Bulletins of American Paleontology, 48, 1–471.
- Penrose, R.A., 1890, A preliminary report on the geology of the Gulf Tertiary of Texas from Red River to the Rio Grande, Texas Geological Survey, En Sellards, W.S., W.S. Adkins, F.B. Plummer (Eds.) 1932, The Geology of Texas, Vol. I, Stratigraphy: Texas, The University of Texas Bulletin, Bureau of Economic Geology, part 3, 520–809.
- Perrilliat, M.C., 1963, Moluscos del Terciario Inferior del noreste de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología: Paleontología Mexicana, 19, 1–26.
- Perrilliat, M.C., Vega, F.J., 2003, Lower Eocene large oysters from the Viento Formation; Stratigraphic and paleoecologic implications for the La Popa Basin, Nuevo León, Mexico: American Association of Petroleum Geologists Memoir 79, 419–426.
- Perrilliat, M.C., Vega, F.J., Espinosa, B., Naranjo-Navarro, E., 2008, Late Cretaceous and Paleogene freshwater gastropods from northeastern Mexico: Journal of Paleontology, 82(2), 255–266.
- Plint, G.A., 2010, Wave and storm-dominated shoreline and shallow-marine systems, Facies Models 4, En James, N.P., Dalrymple, R.W. (eds.), GEOText 6: Canada, Canadian Sedimentology, 167–200.
- Price, W.A., 1951, Barrier island, not “offshore bar”: Science, 113, 487–488.
- Reineck, H.F., Wunderlich, F., 1968, Classification and origin of flaser and lenticular bedding: Sedimentology, 11, 99–104.
- Rodríguez-Lozano, E., 1976, Bioestratigrafía de la franja Paleoceno Eoceno de la Cuenca de Burgos: Petróleos Mexicanos, Tercer simposio de geología de subsuelo zona noreste, 241–253.
- Rosen, R.N., Bowen, B.E., Thies, K.J., 1994, Subsurface planktonic zonation of the Paleogene of Texas and Louisiana Gulf Coast and its relationship to relative changes of coastal onlap, en 44<sup>th</sup> annual convention of the Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions: Austin, Texas, 631–639.
- Reyes Hernández, E.O., 2014, Modelo de Facies 3D Aplicado en el Desarrollo de Campos, Cuenca de Burgos “Campo Comitas”, en Congreso Mexicano del Petróleo, Acapulco, Gro., 4–7.
- Say, T., 1824, An account of some of the fossil shells in Maryland: Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 4, 124–155, lám. 7–13.
- Sánchez Ríos, M.A., Salmerón Ureña, P., 1995, El Paleógeno en México: Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial 3 Paleógeno de América del Sur, 119 pp.
- Segura Treviño, A., Fuentes, J.N., Ramírez Villaseñor, G., González García, A.V., Guerra Pérez, S., Quintanilla Pérez, M., 2006, Carta bioestratigráfica de la Cuenca de Burgos (cartel), en Simposio de Paleontología: Reynosa, Tamaulipas, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Sellards, W.S., Adkins, W.S., Plummer, F.B., 1932, The Geology of Texas, Vol. I, Stratigraphy: The University of Texas Bulletin, Bureau of Economic Geology, part 3, 520–809.
- Servicio Geológico Mexicano, 2004, Carta geológico-minera Reynosa, G14-5, escala 1:250,000.
- Siesser, W.G., 1984, Paleogene sea level and climates USA eastern Gulf coastal plain: Paleogeography, Paleoclimate and Paleoecology, 47, 261–275.
- Tan, S.H., 1927, Over de samenstelling en het ontstaan van krijt en mergelgesteenten van de Molukken: Jaarboek van het Mijnwezen in Nederlandsch-Indie, 55, 111–122.
- Toulmin, L.D., 1977, Stratigraphic distribution of Paleocene and Eocene fossils in the Eastern Gulf Coast Region: Geological Survey of Alabama, Monograph 13(1), 1–602.
- Veatch, A.C., 1906, Geology and underground water resources of northern Louisiana and southern Arkansas: Unites States Geological Survey 46, 422 pp.
- Vega, F.J., Perrilliat, M.C., 1989, La presencia del Eoceno Marino en la Cuenca de La Popa (Grupo Difunta), Nuevo León; Orogenia postpresiana: Revista del Instituto de Geología UNAM, 8(1), 67-70.
- Vega, J.F., Perrilliat, M.C., Duarte-Torres, L., Durán-Herrera, G., Rivas-García, R., Aguilar-Piña, M., Ventura, J.F., 2007, Eocene strata from the Sabinas Basin and their bearing in sedimentary basin correlation in NE Mexico: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59(1), 115–123.
- Veizer J., Ala, D., Azmy, K., Bruckschen, P., Buhl, D., Bruhn, F., Carden, G.A.F., Diener, A., Ebner, S., Godderis, Y., Jasper, T., Korte, C., Pawellek, F., Podlaha, O.G., Strauss, H., 1999, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, <sup>d13</sup>C and <sup>d18</sup>O evolution of Phanerozoic seawater: Chemical Geology, 161, 59–88.
- Westgate, W.J., 2008, Eocene (Jacksonian) Estuarine vertebrate faunas from Crowley's ridge, Arkansas: Geological Society of America, South-Central Section, 42<sup>nd</sup> Annual Meeting, paper 1–2.
- Westgate, W.J., 2012, Palaeoecology of a primate-friendly, middle Eocene community from Laredo, Texas and a review of stratigraphic occurrences of Paleogene land mammals across the Gulf Coastal Plain, USA: Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 92(4), 497–505.
- Weinzierl, L.L., Applin, E.R., 1929, The Claiborne Formation on the Coastal Domes: Journal of Paleontology, 3(4), 384–410.

Manuscrito recibido: Agosto 28, 2020.

Manuscrito corregido recibido: Noviembre 17, 2020.

Manuscrito aceptado: Noviembre 22, 2020.



## Revisión histórica del registro fósil de protozoos e invertebrados marinos del estado de Tamaulipas, México

Becerra-Rodríguez, Angel G.<sup>a</sup>, Correa-Sandoval, Alfonso<sup>a,\*</sup>, Torres-Martínez, Miguel Á.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Malacología, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil, #1301, Pte. A.P. 175, 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

<sup>b</sup> Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Av. Universidad 3000. Colonia Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

\* alf\_correas@hotmail.com

### Resumen

El estudio hace una revisión histórica de los aportes al conocimiento de los protozoos e invertebrados marinos fósiles que se han realizado hasta la fecha para el estado de Tamaulipas, México. Esto, con el objetivo de resaltar el contexto histórico de la paleontología en la entidad. Los resultados permitieron distinguir diferentes etapas de tiempo en las cuales se ha desarrollado el estudio de estas faunas, sin embargo, en particular destacan dos, la primera que se ubica entre los años 1920 a 1940, y la segunda que corresponde a la década de los noventa. Se indican también los autores y las instituciones con mayor número de aportaciones, observándose que el número de trabajos de investigadores extranjeros es mayor que los estudios desarrollados por investigadores mexicanos. A pesar del crecimiento de la paleontología en el país en los últimos años, son los paleontólogos foráneos quienes han seguido contribuyendo de manera importante al conocimiento de las faunas fósiles de Tamaulipas. Se considera que los foraminíferos, braquiópodos, crinoideos y ammonites representan los grupos biológicos más estudiados en la región.

**Palabras clave:** invertebrados marinos, protozoos, revisión histórica, Tamaulipas.

### Abstract

*This study provides a historical review of the contributions related to the knowledge of fossil protozoans and marine invertebrates that have been developed to this date for the state of Tamaulipas, Mexico. This is done with the objective of highlighting the historical context of paleontology in the region. The results allowed us to distinguish different temporal stages in which the study of the faunas has been developed, two in particular stand out, the first one dating from 1920 to 1940, while the second one corresponds to the nineties. The authors and institutions with the highest number of contributions are also indicated, observing that the works of foreign researchers are more numerous than those made by Mexican researchers. In spite of the growth of paleontology in the country in the last years, foreign paleontologists have continued contributing in a significant way to the knowledge of the fossil fauna from Tamaulipas. Foraminifera, brachiopods, crinoids and ammonites have been the most studied biological groups in the region.*

**Keywords:** historical review, marine invertebrates, protozoans, Tamaulipas.



## 1. Introducción

El estado de Tamaulipas posee diversas localidades fosilíferas que cuentan con registros de plantas (Silva-Pineda, 1979), protozoos (Alegret y Thomas, 2001; Alegret *et al.*, 2002), invertebrados (Sour-Tovar *et al.*, 2005; Cantú-Chapa, 2012; Ifrim y Stinnesbeck, 2013) y vertebrados (Reynoso, 2005; Montellano-Ballesteros *et al.*, 2008; Ramírez-Cruz y Montellano-Ballesteros, 2014; Hernández-Jasso y Hernández, 2015; Hernández-Jasso y Piñón-Blanco, 2020; Becerra-Rodríguez, 2018).

El primer estudio que reportó material fósil para esta región del noreste del territorio mexicano fue publicado por Stimpson en 1862. Posteriormente investigadores extranjeros comenzaron a trabajar en distintas localidades del estado durante la primera parte del siglo XX, reportando algunos grupos de invertebrados, entre ellos corales (Vaughan, 1919), ammonites (Imlay, 1937), bivalvos (Stephenson, 1922; Adkins, 1930; Gardner, 1945), decápodos (Rathbun, 1930, 1935) y equinoideos (Israelsky, 1924, 1933). Durante la segunda mitad del siglo XX algunos investigadores mexicanos iniciaron estudios en la entidad y en conjunto con investigadores extranjeros realizaron aportes al conocimiento de algunos grupos de protozoos, como foraminíferos (Longoria y Gamper, 1974; Keller *et al.*, 1994) y calpionélidos (Gamper, 1977), mientras que, en lo que concierne a invertebrados, señalaron la presencia de gasterópodos, bivalvos, equinoideos y cefalópodos (Murray *et al.*, 1960; Palmer y Brann, 1965; Allmon, 1996; Valdéz, 1996) y crinoideos (Buitrón-Sánchez *et al.*, 1998, 2008; Esquivel-Macías *et al.*, 2004). Iniciando el presente siglo, las investigaciones sobre las faunas fósiles de Tamaulipas realizadas por parte de investigadores nacionales se han centrado en algunos grupos como los braquiópodos (Sour-Tovar y Martínez-Chacón, 2004; Sour-Tovar *et al.*, 2005), crinoideos (Esquivel-Macías *et al.*, 2004) y ammonites (Cantú-Chapa, 2009, 2012), mientras que las aportaciones por parte de investigadores extranjeros han sido sobre foraminíferos (Alegret y Thomas, 2001; Alegret *et al.*, 2002, 2004) y ammonites (Ifrim y Stinnesbeck, 2013; Zell y Stinnesbeck, 2016), siendo éstos últimos trabajos los más recientes para la entidad.

## 2. Metodología

Se realizó una exhaustiva revisión de literatura incluyendo publicaciones en revistas periódicas arbitradas, libros, capítulos de libros y tesis disponibles en diversos buscadores académicos electrónicos y de forma impresa. Del mismo modo se consultó la base de datos de la Dirección General de Bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el fin de agotar la búsqueda de literatura sobre el registro de protozoos e invertebrados fósiles del Fanerozoico de Tamaulipas. A su vez, la búsqueda se apoyó también en la base de datos The

Paleobiology Database. La información recolectada fue organizada y analizada posteriormente.

## 3. Resultados

Stimpson (1862) del Instituto Smithsonian realizó el primer registro paleontológico (crustáceos) para el estado de Tamaulipas. Posteriormente algunos autores contribuyeron al conocimiento de otras faunas de invertebrados fósiles del estado, entre ellos Dickerson y Kew (1917) que describieron algunos equinoideos, así como posteriormente Vaughan (1919) que registró varios corales. La Figura 1 representa la producción científica desde el siglo XIX hasta el presente, relacionada al conocimiento de protozoos e invertebrados fósiles de Tamaulipas. Se aprecia un aumento en el número de estudios iniciando el siglo XX (1900–1920), y posteriormente en el período entre 1920 y 1940 la producción científica ascendió considerablemente, alcanzando una de las mayores etapas de actividad (9 estudios). En las décadas siguientes, las investigaciones realizadas en Tamaulipas se redujeron considerablemente hasta entrada la década de 1990, que corresponde a la segunda etapa con mayor producción, solamente con un trabajo más que la anterior (1920–1940). En el presente siglo, la tendencia de estudios decayó gradualmente del 2000 al 2010, contando con 7 estudios y 5 estudios más realizados en 2011 hasta el año en que concluyó la presente investigación (2019).

La actual revisión también permitió conocer los municipios del estado que cuentan con registros paleontológicos de los grupos aquí abordados (Figura 2). Hasta el momento 20 de los 43 municipios del estado de Tamaulipas poseen algún registro, lo cual representa el 46% del total; siendo los municipios de Ciudad Victoria, Soto La Marina y San Fernando los que poseen mayor cantidad de registros. En la tabla 1 se recopilan las investigaciones (41) que aportan registros de los diversos grupos en cuestión



Figura 1. Estudios de protozoos e invertebrados fósiles realizados en Tamaulipas de 1862 al 2019.

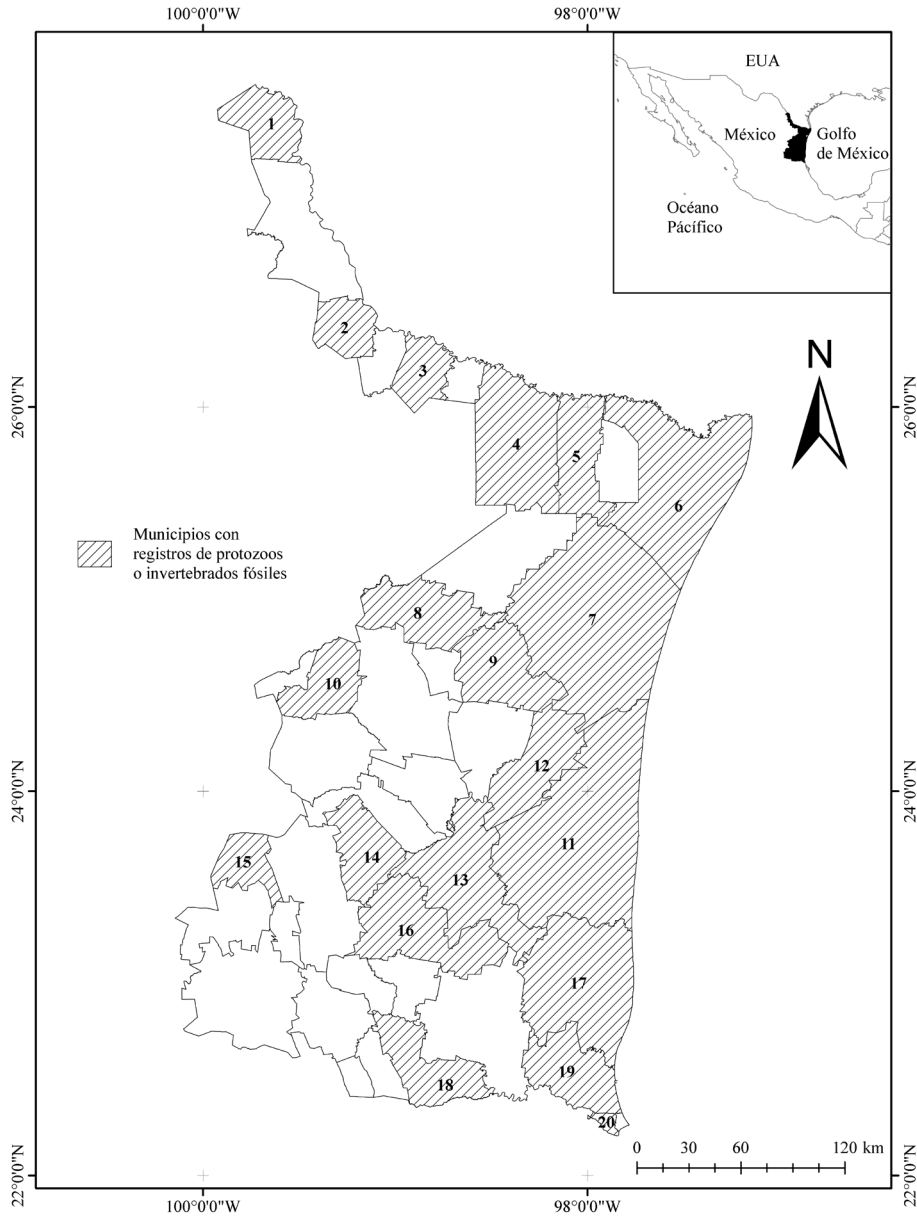


Figura 2. Mapa de Tamaulipas con los municipios de los que se tiene registros de protozoos e invertebrados fósiles hasta el momento. Simbología de municipios: 1- Nuevo Laredo; 2- Mier; 3- Camargo; 4-Reynosa; 5- Río Bravo; 6- Matamoros; 7- San Fernando; 8- Burgos; 9-Cruillas; 10- Villagrán; 11- Soto La Marina; 12- Abasolo; 13- Casas; 14- Victoria; 15- Miquihua; 16- Llera; 17- Aldama; 18- El Mante; 19- Altamira; 20- Tampico.

para el estado de Tamaulipas, organizadas cronológicamente incluyendo los siguientes datos: autor, institución de adscripción, municipio, grupo y era. Analizando lo anterior es posible resaltar distintos aspectos interesantes desde una perspectiva histórica. En lo que concierne a los autores con mayor cantidad de investigaciones de los grupos abordados para la entidad, se encuentran Francisco Sour-Tovar de la Universidad Nacional Autónoma de México, Wolfgang Stinnesbeck de la Universidad de Heidelberg (Alemania), así como Luis Alegret de la Universidad de Zaragoza (España), quienes han aportado tres estudios cada uno (Sour-Tovar, 1999, 2004, 2005; Stinnesbeck, 1994, 2013, 2016; y Alegret, 2001, 2002, 2004).

Por otro lado, en cuanto a las instituciones con mayores aportes (Figura 3), sobresale en primer lugar la Universidad Nacional Autónoma de México con 11 estudios, de los cuales dos trabajos corresponden a tesis doctorales (Valdéz, 1996; Sour-Tovar, 1999), y uno más corresponde a una tesis de licenciatura (González-Terrazas, 2006). Varias instituciones aportan un total de tres estudios cada una, entre ellas el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, con tres estudios que corresponden a tesis profesionales (Medina-Reyes y Maldonado-Hernández, 1996; Reyes-Hernández, 1991; Turrubiates-Hernández y Valladares Hernández, 1997). Otras instituciones que aportan la misma cantidad de trabajos son el Instituto Smithsonian (EE.UU.), la

Universidad de Heidelberg y la Universidad de Zaragoza. Resulta importante destacar los grupos más estudiados para la entidad, entre los que se encuentran los foraminíferos del límite Cretácico/Paleógeno, analizados principalmente por investigadores de la Universidad de Zaragoza, España, así como las faunas paleozoicas de braquiópodos y crinoideos tratadas por paleontólogos de la UNAM, y finalmente los ammonites estudiados principalmente por paleontólogos del Instituto Politécnico Nacional y de la Universidad de Heidelberg, Alemania. En lo que respecta a las aportaciones realizadas por investigadores nacionales frente a los aportes de investigadores extranjeros, estos últimos cuentan con 27 trabajos, mientras que los paleontólogos mexicanos cuentan con 18 estudios.

**4. Discusión**

Analizando las tendencias de estudio de las faunas fósiles de protozoos e invertebrados de Tamaulipas (Figura 4), y de igual manera observando quienes han sido los autores involucrados, es posible notar que durante la primera etapa del siglo XX, incluyendo la primera tendencia alta de 1920 a 1940, el 100% de las aportaciones realizadas corresponden a investigadores extranjeros. Dicho resultado coincide parcialmente con lo expuesto por Gío-Argáez y Rodríguez-Arévalo (2003), cuyo análisis menciona que las aportaciones de paleontólogos nacionales y extranjeros en la primera parte del siglo XX en México es dominado

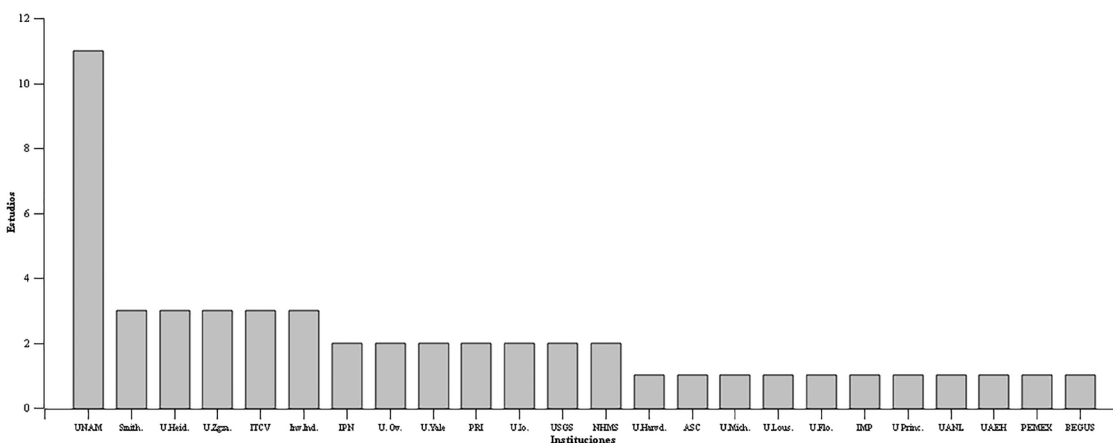


Figura 3. Gráfica de las instituciones que han aportado mayor cantidad de estudios sobre protozoos e invertebrados fósiles de Tamaulipas. UNAM= Universidad Nacional Autónoma de México; Smith.= Instituto Smithsonian; U. Heid.= Universidad de Heidelberg; U. Zgza.= Universidad de Zaragoza; ITCV=Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria; Inv. Ind.= Investigadores independientes; IPN= Instituto Politécnico Nacional; U. Ov.=Universidad de Oviedo; U. Yale= Universidad de Yale; PRI= Paleontological Research Institute; U. Io.= Universidad Estatal de Iowa; USGS=United States Geological Survey; ASC= Academy of Science of California; NHMUS= Natural History Museum of United States; U. Harvd.= Universidad Harvard; U. Mich.= Universidad de Michigan; U. Lous.= Universidad de Louisiana; U. Flo.= Universidad Estatal de Florida; IMP= Instituto Mexicano del Petróleo; U. Princ.= Universidad Princeton; UANL= Universidad Autónoma de Nuevo León; U.AEH= Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; PEMEX= Petróleos Mexicanos; BEGUS= Bureau of Economy Geology of United States.

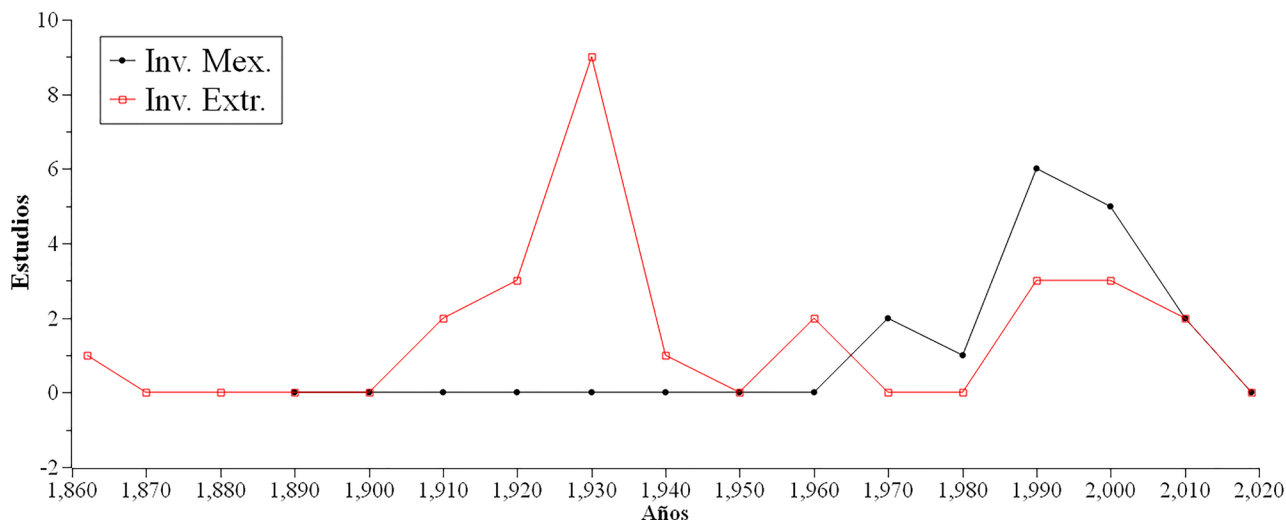


Figura 4. Producción científica entre investigadores extranjeros y mexicanos sobre protozoos e invertebrados de Tamaulipas.

Tabla 1. Revisión histórica de los autores de estudios sobre protozoos e invertebrados fósiles realizadas en Tamaulipas.

Año	Autor	Institución	Municipio	Grupo	Era
1862	W. Stimpson	Instituto Smithsonian	Matamoros	Decápodos	Cenozoico
1917	R.E. Dickerson	Academia de Ciencias de California	Soto La Marina	Equinoideos	Cenozoico
1917	W.S. Kew	Investigador independiente	Soto La Marina	Equinoideos	Cenozoico
1919	T.W. Vaughan	Servicio Geológico de los Estados Unidos	Soto La Marina y San Fernando	Corales	Cenozoico
1922	L.W. Stephenson	Servicio Geológico de los Estados Unidos	Tampico	Bivalvos	Mesozoico
1922	F. Springer	Museo Nacional de Historia Natural de los Estados Unidos	Tampico	Crinoideo	Mesozoico
1924	M.C. Israelsky	Compañía productora de Houston	Tampico	Equinoideos	Cenozoico
1927	E. Böse	Compañía Richmond	San Fernando	Cefalópodos y bivalvos	Mesozoico
1927	O.A. Cavins	Compañía Richmond	San Fernando	Cefalópodos y Bivalvos	Mesozoico
1930	W.S. Adkins	Buró de Geología económica de los Estados Unidos	Aldama y Tampico	Bivalvos	Mesozoico
1930	M.J. Rathbun	Instituto Smithsonian	Villagran	Decápodo	Mesozoico
1931	F.K.G. Müllerried	Universidad Nacional Autónoma de México	Mante	Bivalvos	Mesozoico
1933	M.C. Israelsky	Compañía productora de Houston	Abasolo	Equinoideos	Cenozoico
1935	M.J. Rathbun	Instituto Smithsonian	San Fernando	Decápodos	Cenozoico
1937	R.T. Jackson	Universidad de Harvard	Tampico y Soto La Marina	Equinoideos	Cenozoico
1937	R. Inlay	Universidad de Michigan	Miquihuana	Cefalópodos	Mesozoico
1938	A.K. Miller	Universidad Estatal de Iowa	Cruillas	Cefalópodos	Cenozoico
1938	W.M. Furnish	Universidad Estatal de Iowa	Cruillas	Cefalópodos	Cenozoico
1945	J. Gardner	Museo Nacional de Historia Natural	Mier, San Fernando	Bivalvos, Gasterópodos, Escafópodos	Cenozoico
1960	G.E. Murray	Universidad Estatal de Louisiana	Victoria	Cefalópodos	Paleozoico
1960	W.M. Furnish	Universidad Estatal de Iowa	Victoria	Cefalópodos	Paleozoico
1965	K.V. Palmer	Instituto de Investigaciones Paleontológicas, Estados Unidos	Altamira, Río Bravo y Nuevo Laredo	Gasterópodos, Bivalvos y Cefalópodos	Cenozoico
1974	J.F. Longoria	Universidad Estatal de Florida	Aldama	Foraminíferos	Mesozoico
1974	M. Gamper	Universidad Nacional Autónoma de México	Aldama	Foraminíferos	Mesozoico
1977	M. Gamper	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Calpionélidos y foraminíferos	Mesozoico
1983	M. Trejo	Instituto Mexicano del Petróleo	Victoria y Cruillas	Foraminíferos y ostrácodos	Mesozoico
1991	F. Reyes-Hernández	Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria*	San Fernando y Soto La Marina	Foraminíferos	Cenozoico
1994	G. Keller	Universidad de Princeton	Victoria	Foraminíferos	Mesozoico
1994	W. Stinnesbeck	Universidad de Heidelberg	Victoria	Foraminíferos	Mesozoico
1994	J.G. López-Oliva	Universidad Autónoma de Nuevo León	Victoria	Foraminíferos	Mesozoico
1996	F. Medina-Reyes	Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria *	Llera	Foraminíferos	Mesozoico
1996	J.A. Maldonado-Hernández	Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria*	Llera	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
1996	W.D. Allmon	Instituto de Investigaciones Paleontológicas, Estados Unidos	Mier	Gasterópodos	Cenozoico
1996	M.R. Valdéz	Universidad Nacional Autónoma de México	Tampico	Equinoideos	Cenozoico
1997	A.J. Boucot	Universidad Estatal de Oregon	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
1997	R.B. Blodgett	Universidad Estatal de Oregon	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
1997	J.H. Stewart	Servicio Geológico de los Estados Unidos	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico

Tabla 1 (Continuación). Revisión histórica de los autores de estudios sobre protozoos e invertebrados fósiles realizadas en Tamaulipas.

Año	Autor	Institución	Municipio	Grupo	Era
1997	J.F. Turribiates-Hernández	Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria *	Victoria	Calpionélidos	Mesozoico
1997	L.I. Valladares-Hernández	Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria *	Victoria	Calpionélidos	Mesozoico
1998	B.E. Buitrón-Sánchez	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Crinoideos	Paleozoico
1999	F. Sour-Tovar	Universidad Nacional Autónoma de México*	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
2001	L. Alegret	Universidad de Zaragoza	Aldama, Casas y Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2001	E. Thomas	Universidad de Yale	Aldama, Casas y Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	L. Alegret	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Cenozoico
2002	E. Thomas	Universidad de Yale	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	I. Arenillas	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	J. A. Arz	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	C. Liesa	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	A. Meléndez	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	E. Molina	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2002	A.R. Soria	Universidad de Zaragoza	Burgos	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2004	L. Alegret	Universidad de Zaragoza	Aldama	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2004	I. Arenillas	Universidad de Zaragoza	Aldama	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2004	J. A. Arz	Universidad de Zaragoza	Aldama	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2004	E. Molina	Universidad de Zaragoza	Aldama	Foraminíferos	Mesozoico y Cenozoico
2004	F. Sour-Tovar	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
2004	M.L. Martínez-Chacón	Universidad de Oviedo	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
2004	C. Esquivel-Macías	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	Victoria	Crinoideos	Paleozoico
2004	F.A. Solís-Marín	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Crinoideos	Paleozoico
2004	B.E. Buitrón-Sánchez	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Crinoideos	Paleozoico
2005	F. Sour-Tovar	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
2005	M.L. Martínez-Chacón	Universidad de Oviedo	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
2005	F. Álvarez	Universidad de Oviedo	Victoria	Braquiópodos	Paleozoico
2006	D.I. González-Terrazas	Universidad Nacional Autónoma de México*	Abasolo	Equinoideos y foraminíferos	Cenozoico
2009	A. Cantú-Chapa	Instituto Politécnico Nacional	Miquihuana y Tampico	Cefalópodos	Mesozoico
2012	A. Cantú-Chapa	Instituto Politécnico Nacional	Victoria	Cefalópodos	Mesozoico
2012	S. Eguiluz-de Antuñano	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Calpionélidos	Mesozoico
2012	D. Olivares-Ramos	Petróleos Mexicanos	Victoria	Calpionélidos	Mesozoico
2012	R. López-Martínez	Universidad Nacional Autónoma de México	Victoria	Calpionélidos	Mesozoico
2013	C. Ifrim	Universidad de Heidelberg	Nuevo Laredo	Cefalópodos	Mesozoico
2013	W. Stinnesbeck	Universidad de Heidelberg	Nuevo Laredo	Cefalópodos	Mesozoico
2016	P. Zell	Universidad de Heidelberg	Victoria	Cefalópodos	Mesozoico
2016	W. Stinnesbeck	Universidad de Heidelberg	Victoria	Cefalópodos	Mesozoico

ampliamente por los últimos. Posteriormente, en la segunda mitad del siglo XX, algunos investigadores mexicanos iniciaron investigaciones en Tamaulipas teniéndose una baja producción en las décadas de 1950 a 1970, pero que incrementó gradual y considerablemente de 1980 al 2000, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Gío-Argaez y Rodríguez-Arévalo (2003) para la segunda mitad del siglo XX en México, período en el que se da el *boom* de la paleontología mexicana. La tendencia esperada por éstos últimos autores para el presente siglo, es el incremento de las aportaciones de paleontólogos mexicanos al conocimiento del registro fósil del país. En Tamaulipas dicha tendencia se ve reflejada a inicios del año 2000 y va decayendo hacia el 2010, hallándose a la par entre mexicanos y extranjeros. Si bien, los aportes por parte de investigadores nacionales incrementaron considerablemente a inicios del siglo, los dos estudios más recientes sobre las faunas fósiles de la entidad corresponden a aportaciones realizadas por investigadores extranjeros (Ifrim y Stinnesbeck, 2013; Zell y Stinnesbeck, 2016).

Es importante señalar que a pesar de que desde finales del siglo XX y hasta la actualidad el número de paleontólogos mexicanos se ha incrementado y con ello sus aportaciones al estudio del registro fósil de México (Gío-Argaez y Rodríguez-Arévalo, 2003), en Tamaulipas, el impacto de tal situación no se ha visto reflejado, sobre todo en los años más recientes. Ante esto debe señalarse la falta de paleontólogos en el estado, así como el muy escaso número de instituciones locales o estatales, públicas o privadas, que apoyen o se preocupen por esta disciplina. Dada la proporción de trabajo de campo a realizar en estudios paleontológicos, es necesario mencionar también que probablemente son los factores sociales, entre ellos la situación actual de inseguridad en el noreste del país, los que han alejado la posibilidad de que investigadores mexicanos realicen un mayor número de contribuciones en la entidad. Esto ha repercutido en el estudio de las biotas fósiles de México, ya que a la fecha hay material que sigue sin describirse e incluso algunos grupos taxonómicos son totalmente desconocidos para la entidad, los cuales pertenecen a todas las eras geológicas del Fanerozoico. Siendo así, existe la posibilidad de desarrollar aún más la paleontología dentro de este estado, ya que muchos trabajos son muy antiguos, e impera la necesidad de actualizar la taxonomía y edades estratigráficas de los ejemplares previamente reportados.

## 5. Conclusiones

Entre 1920 y 1940, así como en la década de 1990 se realizaron el mayor número de investigaciones sobre protozoos e invertebrados en Tamaulipas, teniéndose el 46 % de los municipios de la entidad con algún estudio realizado, siendo la Universidad Nacional Autónoma de México la institución que ha llevado a cabo más aportaciones. Los

foraminíferos, braquiópodos, crinoideos y ammonites son los grupos biológicos más frecuentemente estudiados. Es notorio que las principales contribuciones al conocimiento de las faunas fósiles de Tamaulipas se deben a investigadores extranjeros.

A pesar de que se han realizado diferentes trabajos relacionados con la paleontología de la fauna marina de Tamaulipas, aún existen diversos grupos de protozoos e invertebrados marinos que no han sido estudiados. Además, muchos están descritos mediante clasificaciones y términos antiguos, por lo que es necesario actualizar esta información.

## Agradecimientos

El primer autor agradece los apoyos brindados por el Gobierno del Estado de Tamaulipas, el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología y el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, así como al Programa XXIX Verano de la Investigación Científica de la Academia Mexicana de Ciencias, para la culminación del proyecto "Protozoos e invertebrados fósiles de Tamaulipas, México". De igual manera se agradecen las correcciones y observaciones al trabajo de dos revisores anónimos y la elaboración del mapa de localidades fósiles de Tamaulipas por el M. C. Fabricio Maldonado-Sánchez (ITCV).

Agradecemos a la M.C. Sandra Ramos su apoyo y modificaciones editoriales en diversas partes del manuscrito, al Dr. Josep Anton Moreno Bedmar sus atenciones y ayuda en el proceso de revisión, y a dos revisores anónimos cuyas observaciones mejoraron el trabajo.

## Referencias

- Adkins, W.S., 1930, New rudistids from the Texas and Mexican Cretaceous: The University of Texas Bulletin, Contributions to Geology, 3001, 77–100.
- Alegret, L., Thomas, E., 2001, Upper Cretaceous and lower Paleogene benthic foraminifera from northeastern Mexico: Micropaleontology, 47(4), 269–316. <https://doi.org/10.2113/47.4.269>
- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Liesa, C., Meléndez, A., Molina, E., Thomas, E., 2002, The Cretaceous/Tertiary boundary: sedimentology and micropalaeontology at El Mulato section, NE Mexico: Terra Nova, 14(5), 330–336. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2002.00425.x>
- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Molina, E., 2004, Bioestratigrafía y reconstrucción paleoambiental del tránsito Cretácico-Paleógeno en El Mimbrel (México): Geo-Temas, 6(4), 357–360. <http://wzar.unizar.es/perso/emolina/pdf/Alegret2004GeoTemas.pdf>
- Allmon, W.D., 1996, Systematics and evolution of Cenozoic American Turritellidae (Mollusca: Gastropoda) I: Paleocene and Eocene coastal plain species related to "Turritella mortoni Conrad" and "Turritella humerosa Conrad". Paleontological Research Institution: Paleontographica Americana, 59, 1–134.
- Becerra-Rodríguez, A.G., 2018, Registro actual de dinosaurios no avianos de México: Tecnolntelecto, 15(1), 10–25.
- Böse, E., Cavins, O.A., 1927, The Cretaceous and Tertiary of southern Texas and northern Mexico: University of Texas bulletin, 2748, 1–142.

- Boucot, A.J., Blodgett, R., Stewart, J.H., 1997, European province late Silurian brachiopods from the Ciudad Victoria area, Tamaulipas, northeastern Mexico: Special Papers-Geological Society of America, 273–294.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Arellano-Gil, J., Flores de Dios, L.A., 1998, Crinoides del Pensilvánico del Cañón de la Peregrina, Estado de Tamaulipas, México en Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra: México D.F., México, Unión Geofísica Mexicana, Resúmenes, 55 pp.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Gómez-Espinosa, C., Almazán-Vázquez E., Vachard, D., Laguarda-Figueras A., Solís Marín, F.A., 2008. A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboníferos of Mexico: Revista de Biología Tropical, 56, 1–12.
- Cantú-Chapa, A., 2009, Ammonites of the Cretaceous Taraisés and lower Tamaulipas formations in eastern Mexico, *en* Bartolini, C., Román Ramos, J.R. (eds.), Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico: AAPG Memoir 90, 191–216.
- Cantú-Chapa, A., 2012, Présence d'*Hegaratella* Nikolov & Sapunov 1977, ammonite du Berriasien (Crétacé inférieur) à Victoria, au nord-est du Mexique: Revue de Paléobiologie, 31, 53–61.
- Dickerson, R.E., Kew, W.S., 1917, The fauna of a Medial Tertiary formation and the associated horizons of northeastern Mexico: Proceedings California Academy Science, 4(7), 125–156.
- Eguiluz de Antuñano, S., Olivares-Ramos, D., López-Martínez, R., 2012, Discordancia entre el Jurásico y Cretácico en Huizachal, Tamaulipas, México: su posible correlación con un límite de secuencia global: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(1), 87–102.
- Esquivel-Macias, C., Solís-Marín, F., Buitrón-Sánchez, B.E., 2004, Nuevos registros de placas columnares de crinoideos (Echinodermata, Crinoidea) del Paleozoico Superior de México, algunas implicaciones paleobiogeográficas y paleoambientales: Coloquios de Paleontología, 54, 15–23.
- Gamper, M.A., 1977, Estratigrafía y microfácies cretácicas en el Anticlinorio de Huizachal-Peregrina (Sierra Madre Oriental): Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 38, 1–17. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1977v38n1a1>
- Gardner, J., 1945, Mollusca of the Tertiary formations of northeastern Mexico: Baltimore, Waverly Pres Inc., 332 pp.
- Gío-Argáez, F.R., Rodríguez-Arévalo, H.E.Y., 2003, Panorama general de la paleontología mexicana: Ciencia Ergo-Sum, 10(1), 85–95.
- González-Terrazas, D.I., 2006, Estudio paleontológico de algunos equinoides terciarios de la localidad Guadalupe Victoria, municipio de Abasolo, Tamaulipas, México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 61 pp.
- Hernández-Jasso, R.E., Hernández, A.I., 2015, El primer registro de *Pogonias cromis* (Sciaenidae, perciformes) en el Pleistoceno tardío de México: Revista Geológica de América Central, (53), 69–74. <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v53i0.21142>.
- Hernández-Jasso, R. E., Blanco-Piñon, A., 2020, Late Pleistocene toxodont remains of Tamaulipas, Mexico. Confirmation of the occurrence of *Mixotoxodon larensis* (Van Frank, 1957) and an analysis of sexual dimorphism: Journal of South American Earth Sciences, 104, 102849. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102849>.
- Ifrim, C., Stinnesbeck, W., 2013, Ammonoids from the Maastrichtian (Late Cretaceous) at El Zancudo, Nuevo Laredo, Tamaulipas, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65(1), 189–200. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2013v65n1a14>.
- Imlay, R.W., 1937, Lower Neocomian Fossils from the Miquihuana Region, México: Journal of Paleontology, 11(7), 552–574.
- Israelsky, M.C., 1924, Notes on some echinoids from the San Rafael and Tuxpan beds of the Tampico Region, Mexico: California Academy Science Proceedings, 4(12), 137–145.
- Israelsky, M.C., 1933, A new species of echinoids from Tamaulipas, México: San Diego Society Natural History Transactions, 8(22), 275–276.
- Jackson, R., 1937, Mexican fossil Echini: Proceedings United States Natural Museum, 84, 227–237.
- Keller, G., Stinnesbeck, W., Lopez-Oliva, J.G., 1994, Age, deposition and biotic effects of the Cretaceous/Tertiary boundary event at Mimbral, NE Mexico: Palaios, 9(2), 144–157. <https://doi.org/10.2307/3515102>
- Longoria, J.F., Gamper, M.A., 1974, Two new species of Upper Cretaceous planktonic Foraminiferida from the *Abathomphalus mayaroensis* Zone of Mexico: Micropaleontology, 20(4), 473–477. <https://doi.org/10.2307/1485133>.
- Medina-Reyes, F., Maldonado-Hernández, J.A., 1996, Estudio bioestratigráfico sobre el límite Cretácico-Terciario en el Mimbral: México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tesis de Licenciatura, 60 pp.
- Miller, A.K., Furnish, W.M., 1938, Aturias from the Tertiary of Mexico: Journal of Paleontology, 12(2), 149–155.
- Montellano-Ballesteros, M., Hopson, J.A., Clark, J.M., 2008, Late Early Jurassic mammaliaforms from Huizachal Canyon, Tamaulipas, México: Journal of Vertebrate Paleontology, 28(4), 1130–1143. <https://doi.org/10.1671/0272-4634-28.4.1130>.
- Müllerried, F.K.G., 1931, Un reptil y algunos invertebrados fósiles de Rayón, Estado de Tamaulipas: Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2, 171–178.
- Murray, G.E., Furnish, W.M., Carrillo B.J., 1960, Carboniferous goniatites from Caballeros Canyon, State of Tamaulipas: Journal of Paleontology, 34, 731–737.
- Palmer, K.V., Brann, D.C., 1965, Catalogue of the Paleocene and Eocene mollusca of the southern and eastern United States. Part 1. Pelecypoda, Amphineura, Peteropoda, Scaphopoda and Cephalopoda: Bulletins of American Paleontology, 48, 1–471.
- Ramírez-Cruz, G.A., Montellano-Ballesteros, M., 2014, Two new glyptodont records (Mammalia: Cingulata) from the late Pleistocene of Tamaulipas and Tlaxcala, Mexico: Implications for the taxonomy of the genus *Glyptotherium*: The Southwestern naturalist, 59(4), 522–530. <https://doi.org/10.1894/JKF-45.1>.
- Rathbun, M., 1930, Fossil decapod crustaceans from Mexico: Proceedings of the United States National Museum, 78, 1–10.
- Rathbun, M.J., 1935, Fossil Crustacea of the Atlantic and Gulf Coastal Plain: Geological Society of America, Special Paper, 1, 1–160.
- Reyes-Hernández, F., 1991, Estudio bioestratigráfico de tres pozos localizados en la provincia fisiográfica San José de las Rusias, Tamaulipas: México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tesis de Licenciatura, 78 pp.
- Reynoso, V.H., 2005, Possible evidence of a venom apparatus in a Middle Jurassic sphenodontian from the Huizachal red beds of Tamaulipas, Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 25(3), 646–654. [https://doi.org/10.1671/0272-4634\(2005\)025\[0646:PEOAVA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2005)025[0646:PEOAVA]2.0.CO;2).
- Silva-Pineda, A., 1979, La flora triásica de México: Instituto de Geología, 3(2), 138–145.
- Sour-Tovar, F., 1999, Braquiópodos del Misisípico Inferior (Osageano) de la Formación Vicente Guerrero en el anticlinorio Huizachal-Peregrina, Norte de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis doctoral, 69 pp.
- Sour-Tovar, F., Álvarez, F., Chacón, M.L.M., 2005, Lower Mississippian (Osagean) spire-bearing brachiopods from Canon de la Peregrina, north of Ciudad Victoria, Tamaulipas, northeastern Mexico: Journal of Paleontology, 79(3), 469–485. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2005\)079%3C0469:LMOSBF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2005)079%3C0469:LMOSBF%3E2.0.CO;2).
- Sour-Tovar, F., Martínez-Chacón, M.L., 2004, Braquiópodos chonetoideos del Carbonífero de México. [Chonetoidea (Brachiopoda) from the Carboniferous of Mexico.]: Revista Española de Paleontología, 19 (2), 125–138.
- Springer, F., 1922, Crinoids from the Upper Cretaceous of Tamaulipas, México: Proceedings of the United States National Museum, 61.
- Stimpson, W., 1862, Notes on North American Crustacea: Annals of the Lyceum of Natural History of New York, 7(1), 49–93.
- Stephenson, L.W., 1922, Some Upper Cretaceous shells of the rudistid group from Tamaulipas, Mexico: US Nat. Mus. In Proc, 61, 4–9.
- Trejo, H.M., 1983, Paleobiología y taxonomía de algunos fósiles mesozoicos de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 44, 1–82. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1983v44n2a1>.

- Turrubiates-Hernández, J., Valladares-Hernández, L.I., 1997, Estudio bioestratigráfico sobre calpionélidos (Protozoa, Ciliata) en el Rancho El Huizachal municipio de Ciudad Victoria, Tamaulipas: México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tesis de Licenciatura, 63 pp.
- Valdéz M.R., 1996. Equinoides exocíclicos (Echinodermata-Echinoidea) del Terciario de la Cuenca Tampico-Misantla, Tamaulipas-Veracruz, y sus implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Doctoral, 156 pp.
- Vaughan, T.W., 1919, Fossil corals from central America, Cuba, and Porto Rico, with an account of the American Tertiary, Pleistocene, and Recent coral reefs: Smithsonian Institution Bulletin, 103, 189-524.
- Zell, P., Stinnesbeck, W., 2016, *Salinites grossicostatium* (Imlay, 1939) and *S. finicostatium* sp. nov. from the latest Tithonian (Late Jurassic) of northeastern Mexico: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68(2), 305–311. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2016v68n2a8>.

Manuscrito recibido: Agosto 28, 2020.

Manuscrito corregido recibido: Noviembre 17, 2020.

Manuscrito aceptado: Noviembre 22, 2020.



# Remains of a Diplodocid (Sauropoda: Flagellicaudata) from the Otlaltepec Formation Middle Jurassic (Bathonian-Callovian) from Puebla, Mexico

Rivera-Sylva, Héctor E.<sup>a,\*</sup>, Espinosa-Arrubarrena, Luis<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Paleontología, Museo del Desierto, Blvd. Carlos Abedrop Dávila 3745, 25022, Saltillo, Coahuila, Mexico.

<sup>b</sup> Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Mexico City, Mexico.

\* hrivera@museodeldesierto.org

## Abstract

Fieldwork in the late 1980s in the Otlaltepec Formation Middle Jurassic (Bathonian-Callovian) of southern Puebla resulted in the recovery of the first osteological record of a Flagellicaudata dinosaur from Mexico and the southern-most for North America. The material is represented by metatarsal fragments of the right pes, showing autapomorphies in metatarsal II for Flagellicaudata. The available material is incomplete and the sample remains small, but it suggests the possible presence of a new taxon. This specimen provides data on the distribution and diversity of sauropod dinosaurs of southern North America during the Middle Jurassic.

**Key words:** Jurassic, Sauropod, Flagellicaudata, Mexico.

## Resumen

*Trabajo de campo realizado a fines de la década de 1980 en la Formación Otlaltepec (Jurásico Medio; Bathoniano-Calloviano) del sur de Puebla dio como resultado la recuperación del primer registro osteológico de un dinosaurio Flagellicaudata de México y el más austral para América del Norte. El material está representado por fragmentos metatarsianos del pie derecho, mostrando autapomorfias en el metatarso II para Flagellicaudata. El material disponible está incompleto y la muestra sigue siendo pequeña, pero sugiere la posible presencia de un nuevo taxón. Este espécimen proporciona datos sobre la distribución y diversidad de los dinosaurios saurópodos del sur de América del Norte durante el Jurásico Medio.*

**Palabras clave:** Jurásico, Saurópodo, Flagellicaudata, México.

## 1. Introduction

Sauropoda is phylogenetically defined as sauropodomorphs that are more closely related to *Saltasaurus* than to *Plateosaurus* (Wilson and Sereno, 1998). Sauropods are united by a set of derived postcranial features, including modifications in the vertebral column and hind limbs (Upchurch *et al.*, 2004).

Sauropods are among the best known dinosaurs which ranged in adult length from about 7 to 40 meters. Numerous specimens have been reported from the Late Triassic to Late Cretaceous of North and South America, Europe, Asia, Australia, and Africa. The highest diversity is known from the Upper Jurassic Morrison Formation of

the western United States (Tschopp and Mateus, 2017). Among sauropods, Flagellicaudata is the clade that is known best with two families, the Dicraeosauridae and the Diplodocidae. This group has a characteristic whip-like tail, bifid neural spines, palate-like chevrons, pencil-like teeth and the loss of the calcaneus, among other features (Harris and Dodson, 2004).

The fossil record of sauropods from Mexico are only known from footprints (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1993, 1996, 2007; Jiménez-Hidalgo *et al.*, 2004; Rodríguez de la Rosa, 2007, Rodríguez de la Rosa *et al.*, 2012), and some opisthocoelicaudians osteological remains from Late Cretaceous deposits (Rivera-Sylva *et al.*, 2006; Rivera-Sylva and Carpenter, 2014), also there is mention of possible

Sauropodomorph material from the Early Jurassic La Boca Formation in Tamaulipas based only on the size of the bone fragments (Fastovsky *et al.*, 1995). Montellano-Ballesteros (2003) described some vertebrae from titanosaurid but later were ascribed to hadrosauria based on the morphology and geologic horizon where they were found (D'Emic *et al.*, 2010).

All the material here described was found by Shelton P. Applegate in 1987 near the town of San Felipe Otlaltepec, Puebla, about 150 km southeast of Mexico City (Fig. 1), and briefly mentioned in literature (Hernández and Espinosa-Arrubarrena, 1990; Rivera-Sylva and Carpenter, 2014). This material deserves a more accurate description as it is the first known remains of a Diplodocid from Mexico and the southernmost record for North America. Applegate gave us permission to work on this material shortly before he passed away.

## 2. Geology

During the Jurassic, large portions of the Western Interior of North America were inundated by a shallow epicontinental seaway bonded on the west by a subduction generated volcanic arc that extended northward from Mexico along the western margin of the United States into southwestern Canada (Kvale *et al.*, 2001). As global eustatic sea levels fluctuated in response to tectonic controls, this shallow seaway spread southward from the Arctic to inundate the Western Interior in a series of at least four major pulses, consisting of transgressions in the Early Jurassic (Pliensbachian-Toarcian), twice in the Middle Jurassic

(Bajocian-Callovian), and again during the Late Jurassic in early Oxfordian (Pipiringos and O'Sullivan, 1978).

The Otlaltepec Formation is composed of rhythmically alternating conglomerate to fine grained sandstone deposits, which are locally overlain by fine-grained sandstone beds with ripple cross lamination and drapes of horizontally laminated siltstone and mudstone (Martini *et al.*, 2016; Martini *et al.*, 2017). Based on this assemblage of lithofacies, the Otlaltepec Formation has been interpreted as an overbank environment within a floodplain with anastomosed rivers that was intermittently flooded during high-water stages and with subaerial exposition during low-water periods, favoring pedogenesis and the development of paleosols (Martini *et al.*, 2016).

The age of the Otlaltepec Formation has long been debated as between Middle Jurassic and Early Cretaceous (Ortega-Guerrero, 1989; Morán-Zenteno *et al.*, 1993). More recent work has reported a U-Pb zircon geochronologic age for the Otlaltepec Formation between  $163.5 \pm 1$  and  $167.5 \pm 4$  Ma (Martini *et al.*, 2016). Sedimentary rocks of the Otlaltepec Formation contain abundant fossil of gymnosperms (*e.g.* *Otozamites*, *Williamsonia*, *Brachyphyllum*, *Pelourdea*, *Neoggeratiopsis*, *Mexiglossa*, and *Cycadolepis*), and trunk molds (Velasco-de León *et al.*, 2013). The palynological assemblages also indicates a dominance of gymnosperms (*Inaperturopollenites*, *Spheripollenites*, and *Araucariacites*), and small proportion of pteridophytes (*Cicatricosisporites*, *Cyathidites*, *Deltoidospora*, *Klukisporites*, *Leptolepidites*, *Manumia* and *Nodosisporites*), as well as spores of freshwater zygnetacean green algae (*Ovoidites* and *Chomotriletes*) (Gerwert-Navarro *et al.*, 2018).

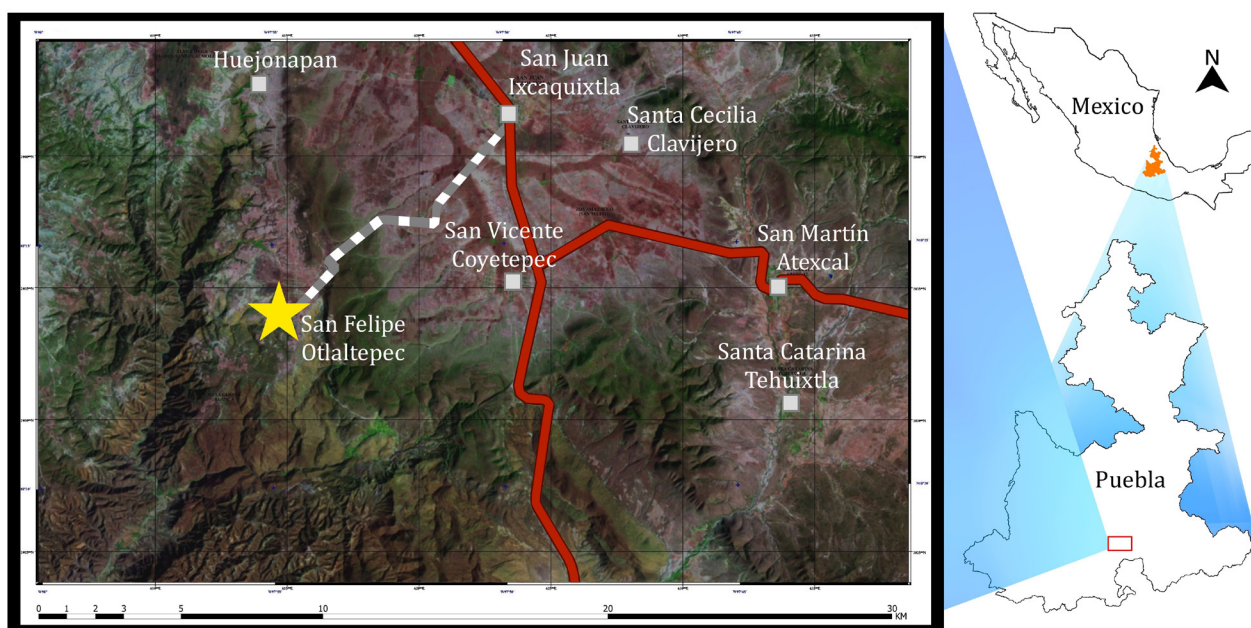


Figure 1. Locality map of the fossil site (yellow star).

The flora indicates the dominances of a sub-warm, sub-humid climate. The integration of sandstone petrologic and paleontologic data suggest that deposition of Jurassic clastic successions in the Otlaltepec Basin was accompanied by major changes in climatic conditions, as an evolution from dry or seasonal to humid conditions is supported by sandstone whole-rock composition and fossil flora (Martini *et al.*, 2017).

### 3. Material and Methods

The 81 fossil fragments were collected at “Boca del Agua Chica” during extensive surface survey by Shelton P. Applegate, of all those fragments only three could be identify satisfactory. All fossils are stored in the Museo de Paleontología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Locality information is on file at that institution. The specimens were photographed using a Canon EOS Rebel XS with a Canon EF 35-80 mm 1:4-5.6 III lens.

*Institutional Abbreviations:* IGM- Museo de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM, Mexico City, Mexico.

### 4. Systematic paleontology

Sauropoda Marsh, 1878  
Diplodocoidea Marsh, 1884  
Flagellicaudata Harris and Dodson, 2004

Flagellicaudata indet.

**Referred specimens:** IGM 11514, proximal end of right metatarsal II (Fig. 2 a–d), distal end of right metatarsal II (Fig. 2 e–f), and the proximal end of right metatarsal III (Fig. 2 g–h).

**Horizon and Locality:** Otlaltepec Formation, from the lower layers of the gorge in the locality known as “Boca del Agua Chica”, 1 km southwest of the town of San Felipe Otlaltepec.

**Age:** Middle Jurassic (Bathonian-Callovian).

#### Description:

*Metatarsal:* The proximal end of the metatarsal II has a trapezoidal articular surface and shortens to the shaft. The distal end of metatarsal II has a convex articular surface, with rugose ridges on the dorsolateral margin and rectangular outline with rounded corners, with an undivided articular surface, with concave lateral margin in proximal view. In the lateral condyle can be seen the laterodistal process. It broadens distally, slightly concave transversely.

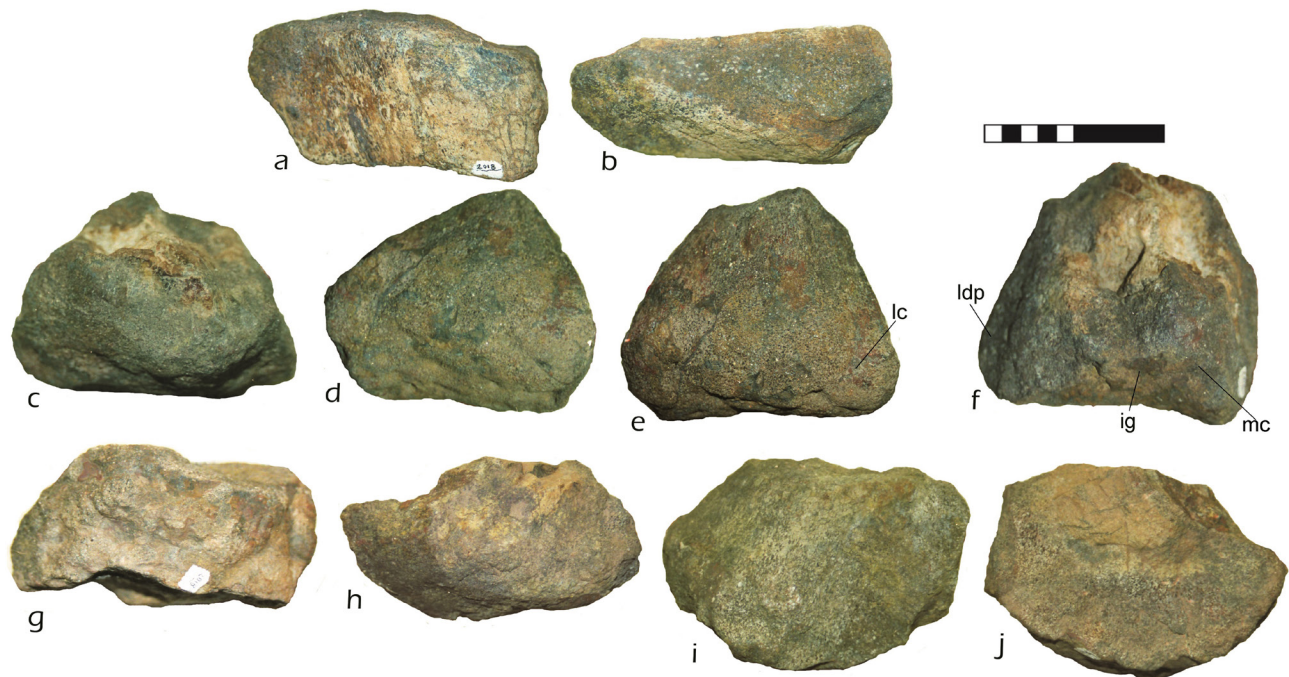


Figure 2. IGM 11514, Proximal end of metatarsal II in: a) medial, and b) caudal view. Distal end of metatarsal II in: c) cranial, d) caudal, e) dorsal, and f) ventral view. Proximal end of metatarsal III in: g) cranial, h) caudal, i) lateral, and j) medial view. Abbreviations: ig, intercondylar groove; lc, lateral condyle; ldp, laterodistal process; mc, medial condyle. Scale bar = 10 cm.

The proximal end of metatarsal III is rugose, pitted, and have a slightly concave proximal articular surface with a subrectangular outline, with a boot-shape outline sagittally. For measurements see Table 1.

Comments: The diagnostic aspects of the sauropod include autapomorphic characters of the pes on a high taxonomic level in all known North American sauropods (Wilhite, 2005; Bonnan, 2005; Páramo *et al.*, 2020). The articular surface of the metatarsal II is convex as seen in other sauropods (Gilmore, 1936; Ostrom and McIntosh, 1966; Bonnan, 2005; D'Emic *et al.*, 2011; Maltese *et al.*, 2018), with distinct rugose ridges as those described for the distal articular surfaces of metatarsal II as well as for the laterodistal process as seen in other Flagellicaudatans (Ostrom and McIntosh, 1966; McIntosh *et al.*, 1992; Harris, 2007; Remes, 2009; Whitlock, 2011; Tschopp *et al.*, 2015). The presence in metatarsal II of rugosities on dorsolateral margin near the distal end, the intermediate robustness, and the concave lateral margin in proximal view are autapomorphic characters for Flagellicaudata according to Tschopp *et al.* (2015). The metatarsal III, although broken sagittally, can be seen a boot-shape characteristic of the metatarsals III in other sauropods (Gilmore, 1936; Ostrom and McIntosh, 1966; D'Emic *et al.*, 2011; Maltese *et al.*, 2018) (Fig. 3).

## 5. Discussion

The Middle Jurassic dinosaur record is considered sparse worldwide with relatively little known about dinosaurs from this period (Lockley and Hunt, 1995; Kvale *et al.*, 2001). The United States Middle Jurassic has produced few bones and tracks of dinosaurs and by comparison the geographically closest region to Mexico during the Middle Jurassic. However that the major branches of dinosaurs were established worldwide during this time and Neornithischia, the Thyreophora, the Heterodontosauridae, the Sauropodomorpha and the Neotheropoda. Only theropods and sauropods had been reported from the western United States (Lockley *et al.*, 2007; Kvale *et al.*, 2001; Adams *et al.*, 2014) and theropod, sauropod, ornithopod, and nodosaurid tracks from Mexico (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2007; Rodríguez-de la Rosa *et al.*, 2018).

These material from the Otlaltepec Formation, demonstrate conclusively that Flagellicaudatans occupied this region of North America throughout the Bathonian-Callovian. Though incomplete, the material from the Otlaltepec Formation of Puebla is the first unequivocal material of this clade. Unfortunately, the preserved bones can only be identified at a high taxonomic level, and they can be determined as coming from a single individual because they were found in the field very close to each other, and all come from an individual with the same size range.

The presence of a diplodocid in the Middle Jurassic of Mexico is indicative of a rapid evolutionary radiation and

Table 1. Measurements (mm) of the Flagellicaudata metatarsals (IGM 11514).

	Length	Width	Height
MT II prox	180	80	97
MT II dist	118	165	134
MT III prox	175	100	134

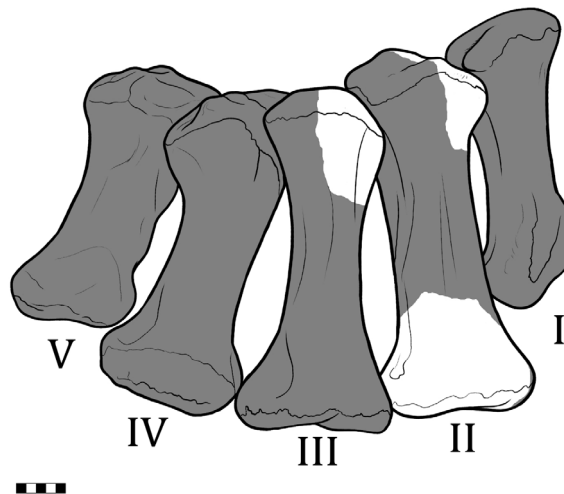


Figure 3. IGM 11514, Flagellicaudata indet.: reconstruction of right pes in cranial aspect. Scale bar = 5 cm (After Ostrom and McIntosh, 1966).

dispersal of the group after the separation of the continents of the Southern and Northern hemispheres during the Middle Jurassic (Rauth *et al.*, 2005), suggesting the possible presence of a new taxon.

## 6. Conclusion

This study illustrates for the first time definitive postcranial diplodocid material from the Otlaltepec Formation. Taphonomic and facies factors may influence the currently known fossil record of sauropods in Mexico (Rivera-Sylva and Carpenter, 2014). Regardless, this new record of Diplodocoids from Puebla are a very important addition to the Middle Jurassic sauropod record, and also of interest in light of purported differences between the Middle Jurassic faunas of the northern and southern hemispheres (Rauth *et al.*, 2005).

Although the available material is currently limited, continuing field efforts in the Mixteca Region of Puebla will surely result in more complete, diagnostic sauropod materials that will be invaluable in making definitive taxonomic assignments, as well as biogeographic comparisons between taxa inhabiting northern and southern regions of Laurasia in the late Middle Jurassic.

The paucity of Middle Jurassic dinosaur faunas worldwide makes the sauropod material being uncovered

in Mexico of great importance to our understanding of the development of the Sauropoda. As these specimens as the osteological southern-most record of Sauropoda for North America. The material already discovered on Puebla provides tantalizing glimpses of the potential of future collecting and study in the Mixteca Region of Mexico, and added much data for interpreting the biogeography, diversity, and evolutionary patterns of the group.

The diplodocid remains from Puebla reveals a faunal exchange in southern North America during the Middle Jurassic. Additional work, particularly the description and interpretation of new or poorly known taxa, will undoubtedly, clarify both the detail and broader aspects of the sauropod radiation during the Middle Jurassic which was more important than previously thought, promoted by the feeding mechanisms which allowed niche partitioning, and therefore their diversification (Upchurch and Barret, 2005; Barret and Upchurch, 2005).

## Acknowledgments

We would like to dedicate this paper to Shelton P. Applegate, who died unexpectedly on the 20<sup>th</sup> of August 2005. “Shelly” was an outstanding vertebrate paleontologist, and whose effort is the basis of this paper.

We would like to thank Maria del Carmen Perilliat and Jesus Alvarado for getting access to the Museo de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM. Kenneth Carpenter is thank for review an early version of the paper. Natalia Amezcua-Torres (SGM) for provided geologic information, and special thanks to Rubén Guzmán-Gutiérrez for providing hard to find bibliography. Thanks to Daniel Barrera-Guevara for producing the reconstruction and the map. Also we would like to thank two unknown reviewers that contribute to the improvement of this paper. HRS want to thank in a very special manner to Lourdes Sylva, Lucia Alfaro and Angela Rivera for their support while producing this paper.

## References

- Adams, T.L., Breithaupt, B.H., Matthews, N.A., 2014, Paleocology and Paleoenvironment of Middle Jurassic dinosaurs (Yellow brick road dinosaur tracksite, Bighorn Basin, Northern Wyoming): in Lockley, M.G., Lucas, S.G. (eds.), Fossil footprints of western North America, NMMNHS Bulletin, 62, 225–233.
- Barret, P.M., Upchurch, P., 2005, Phylogenetic and taxic perspectives on sauropod diversity, in Curry Rogers, C., Wilson, J. (eds.) The sauropods: Evolution and Paleobiology, California University Press, Berkeley, 104–124.
- Bonnan, M., 2005, Pes anatomy in sauropod dinosaurs: implications for functional morphology, evolution, and phylogeny, in Tidwell, V., Carpenter, K. (eds.), Thunder-Lizards, Indiana University Press, Bloomington, 346–380.
- D’Emic, M., Wilson, J., Thompson, R., 2010, The end of the sauropod dinosaur hiatus in North America: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 297, 486–490.
- D’Emic, M., Wilson, J., Williamson, T., 2011, A Sauropod Dinosaur Pes from the Latest Cretaceous of North America and the Validity of *Alamosaurus sanjuanensis* (Sauropoda, Titanosauria): Journal of Vertebrate Paleontology, 31, 1072–1079.
- Fastovsky, D.E., Clark, J.M., Strater, N.H., Montellano, M., Hernandez, R., Hopson, J.A., 1995, Depositional environments of a Middle Jurassic Terrestrial Vertebrate Assemblage, Huizachal Canyon, Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 15(3), 561–575.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Tilton, T.L., Lang, H.R., Pittman, J.G., Lockley, M.G., 1993, Dinosauricintas tardicretácicas en Puebla suroccidental y su significación geológico-paleontológica, Memorias del IV Congreso Nacional de Paleontología, Sociedad Mexicana de Paleontología, 33–34.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Jiménez-Hidalgo, E., Bravo-Cuevas, V.M., 1996, Footprints of small sauropods from the Middle Jurassic of Oaxaca, southeastern Mexico, in Morales, M. (ed.), The Continental Jurassic, Museum of Northern Arizona Bulletin, 60, 119–126.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Bravo-Cuevas, V.M., Jiménez-Hidalgo, E., 2007, The Xochitlapilco dinosaur ichnofauna, Middle Jurassic of Oaxaca, Southeastern Mexico description and paleontologic significance: Natural History Museum of Los Angeles County, Contributions in Science, 515, 1–40.
- Gerwert-Navarro, M., Villanueva-Amadoz, U., Michelangelo, M., 2018, Paleoenvironmental reconstruction of the Middle Jurassic Otlaltepec Formation of Oaxaca, Mexico, in: Book of Abstracts 1st Palaeontological Virtual Congress, 163 p.
- Gilmore, C.W., 1936, Osteology of *Apatosaurus*, with special reference to specimens in the Carnegie Museum: Memoirs of the Carnegie Museum, 11(4), 175–301.
- Harris, J.D., 2007, The appendicular skeleton of *Suurwassea emilieae* (Sauropoda: Flagellicaudata) from the Upper Jurassic Morrison Formation of Montana (USA): GeoBios, 40, 501–522.
- Harris, J.D., Dodson, D., 2004, A new diplodocoid sauropod dinosaur from the Upper Jurassic Morrison Formation of Montana, USA: Acta Palaeontologica Polonica, 49(2), 197–210.
- Hernández, R., Espinosa-Arrubarrera, L., 1990, Dinosaurs localities from Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 9 (Supplement 3), 27A.
- Jiménez-Hidalgo, E., Hernández, R., Ortega-Palacios, L., 2004, New Late Cretaceous vertebrate tracks from the Sabinas basin, northeastern Coahuila, northeastern Mexico, Journal of Vertebrate Paleontology, 24 (supplement 3), 76A.
- Kvale, E.P., Johnson, G.D., Mickelson, D.L., Keller, K., Furer, L.C., Archer, A.W., 2001, Middle Jurassic (Bajocian and Bathonian) Dinosaurs Megatracksites, Bighorn Basin, Wyoming, U.S.A.: Palaios, 16(3), 233–254.
- Lockley, M.G., Hunt, A.P., 1995, Dinosaurs tracks and other fossil footprints of the western United States: Columbia University Press, New York, 338 pp.
- Lockley, M.G., Mitchell, L., Odier, G.P., 2007, Small theropod track assemblages from Middle Jurassic eolianites of eastern Utah: paleontological insights from dune ichnofacies in a transgressive sequence: Ichnos, 14, 131–142.
- Maltese, A., Tschopp, E., Holwerda, F., Burnham, D., 2018, The real Bigfoot: a pes from Wyoming, USA is the largest sauropod pes ever reported and the northern-most occurrence of brachiosaurids in the Upper Jurassic Morrison Formation: PeerJ 6:e5250. <https://doi.org/10.7717/peerj.5250>.
- Marsh, O.C., 1878, Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part I: American Journal of Science, Series 3, 16, 411–416.
- Marsh, O.C., 1884, Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part VII, On the Diplodocidae, a new family of the Sauropoda: American Journal of Science, Series 3, 27, 161–167.
- Martini, M., Ramírez-Calderon, M., Solari, L., Villanueva-Amadoz, U., Zepeda-Martínez, M., Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., 2016, Provenance analysis of Jurassic sandstones from the Otlaltepec Basin, southern Mexico: Implications for the reconstruction of Pangea break-up: Geosphere, 12(6), 1842–1864.
- Martini, M., Velasco-de León, P., Zepeda-Martínez, M., Lozano-Carmona, D.E., Ramírez-Calderon, M., 2017, Field guide to the Jurassic

- Otlaltepec and Tezoatlán Basins, southern Mexico: sedimentological and paleontological records of Puebla and Oaxaca: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(3), 691–709.
- McIntosh, J.S., Walter, P.C. Jr., Russell, D.A., 1992, A new diplodocid sauropod (Dinosauria) from Wyoming, U.S.A.: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 12(2), 158–167.
- Montellano-Ballesteros, M., 2003, A titanosaurid sauropod from the Upper Cretaceous of Chihuahua, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20, 160–164.
- Morán-Zenteno, D.J., Caballero-Miranda, C.I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., González-Torres, E., 1993, Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico: *Geofísica Internacional*, 32(3), 453–470.
- Ortega-Guerrero, B., 1989, Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas mesozoicas del área Totoltepec-Ixcaquixtla, Estados de Puebla y Oaxaca (Ms. thesis), Universidad Nacional Autónoma de México, 155 pp.
- Ostrom, J.H., McIntosh, J.S., 1966, *Marsh's Dinosaurs: The Collections of Como Bluff*, Yale University Press, New Haven, 388 pp.
- Páramo, A., Mocho, P., Ortega, F., 2020, Three-dimensional analysis of the titanosaurian limb skeleton: implications for systematic analysis: *Journal of Iberian Geology*. <https://doi.org/10.1007/s41513-020-00139-8>
- Pipiringos, G.N., O'Sullivan, R.B., 1978, Principal unconformities in Triassic and Jurassic rocks, Western Interior United States—a preliminary survey: U.S. Geological Survey Professional Paper, 1035-A, 29 pp.
- Rauhut O.W.M., Remes K., Fechner R., Cladera G., Puerta P., 2005, Discovery of a short-necked sauropod dinosaur from the Late Jurassic period of Patagonia: *Nature*, 435(7042), 670–672.
- Remes, K., 2009, Taxonomy of Late Jurassic diplodocid sauropods from Tendaguru (Tanzania): *Fossil Record*, 12(1), 23–46.
- Rivera-Sylva, H.E., Guzmán-Gutiérrez, J.R., Palomino-Sánchez, F.R., 2006, Preliminary report on a vertebrate fossil assemblage from the Late Cretaceous of Chihuahua, Mexico: *Hantkeniana*, 5, 66–68.
- Rivera Sylva, H.E., Carpenter, K., 2014, Saurischian dinosaurs from Mexico, in Rivera Sylva, H.E., Carpenter, K., Frey, E., (eds), *Dinosaurs and other reptiles from the Mesozoic from Mexico*, Indiana University Press, Bloomington, 156–180.
- Rodríguez de la Rosa, R.A., 2007, Hadrosaurian footprints from the late Cretaceous Cerro del Pueblo Formation of Coahuila, Mexico, in Díaz-Martínez, E., Rábano, I. (eds.), *Fourth European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America*. *Cuadernos del Museo Geominero B*, 339–343.
- Rodríguez de la Rosa, R.A., Bravo-Cuevas, V.M., Carrillo-Montiel, E., Ortiz-Ubilla, A., 2012, Lower Cretaceous dinosaur tracks from Puebla, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23 (supplement 3), 90A.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Velasco-de León, P., Arellano-Gil, J., Lozano-Carmona, D.E., 2018, Middle Jurassic ankylosaur tracks from Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(2), 379–395.
- Tschopp, E., Mateus, O., Benson, R.B.J., 2015, A specimen-level phylogenetic analysis and taxonomic revision of Diplodocidae (Dinosauria: Sauropoda): *PeerJ*, 3:e857. <https://doi.org/10.7717/peerj.857>.
- Tschopp, E., Mateus, O., 2017, Osteology of *Galeamopus pabsti* sp. nov. (Sauropoda: Diplodocidae), with implications for neurocentral closure timing, and the cervico-dorsal transition in diplodocids: *PeerJ* 5: e3179. <https://doi.org/10.7717/peerj.3179>.
- Upchurch, P., Barrett, P.M., Dodson, P., 2004, Sauropoda, in Weishampel, D.B., Dodson, P., Osmólska, H. (eds.), *The Dinosauria*, 2nd Edition, University of California Press, Berkeley, 259–322.
- Upchurch and Barret, 2005, Sauropodomorph diversity through time: Macroevolutionary and paleoecological implications, in Curry Rogers, C., Wilson, J. (eds.) *The sauropods: Evolution and Paleobiology*, California University Press, Berkeley, 125–156.
- Velasco-de León, M.P., Ortiz-Martínez, E., Silva-Pineda, A., Lozano-Carmona, D.E., 2013, Distribución y ambiente de las gimnospermas fósiles del terreno Mixteco: *Paleontología Mexicana*, 63, 122–143.
- Whitlock, J.A., 2011, A phylogenetic analysis of Diplodocoidea (Saurischia: Sauropoda): *Zoological Journal of the Linnean Society*, 161(4), 872–915.
- Wilhite, D.R., 2005, Variation in the appendicular skeleton of North American sauropod dinosaurs: Taxonomic implications, in Tidwell, V., Carpenter, K. (eds.), *Thunder-Lizards*, Indiana University Press, Bloomington, 268–301.
- Wilson, J.A., Sereno, P.C., 1998, Early evolution and higher-level phylogeny of sauropod dinosaurs: *Society of Vertebrate Paleontology Memoir*, 5, 1–68.

Manuscript received: June 25, 2020.

Corrected manuscript received: November 17, 2020.

Manuscript accepted: November 25, 2020.