



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

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

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

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

* luis.silva.paleo@gmail.com

Resumen

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

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

Abstract

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

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

Manuscrito recibido: Septiembre 9, 2021.

Manuscrito corregido: Diciembre 6, 2021.

Manuscrito aceptado: Diciembre 8, 2021.

1. Introducción

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

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

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

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

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

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

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

2. Descripción del área de estudio

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

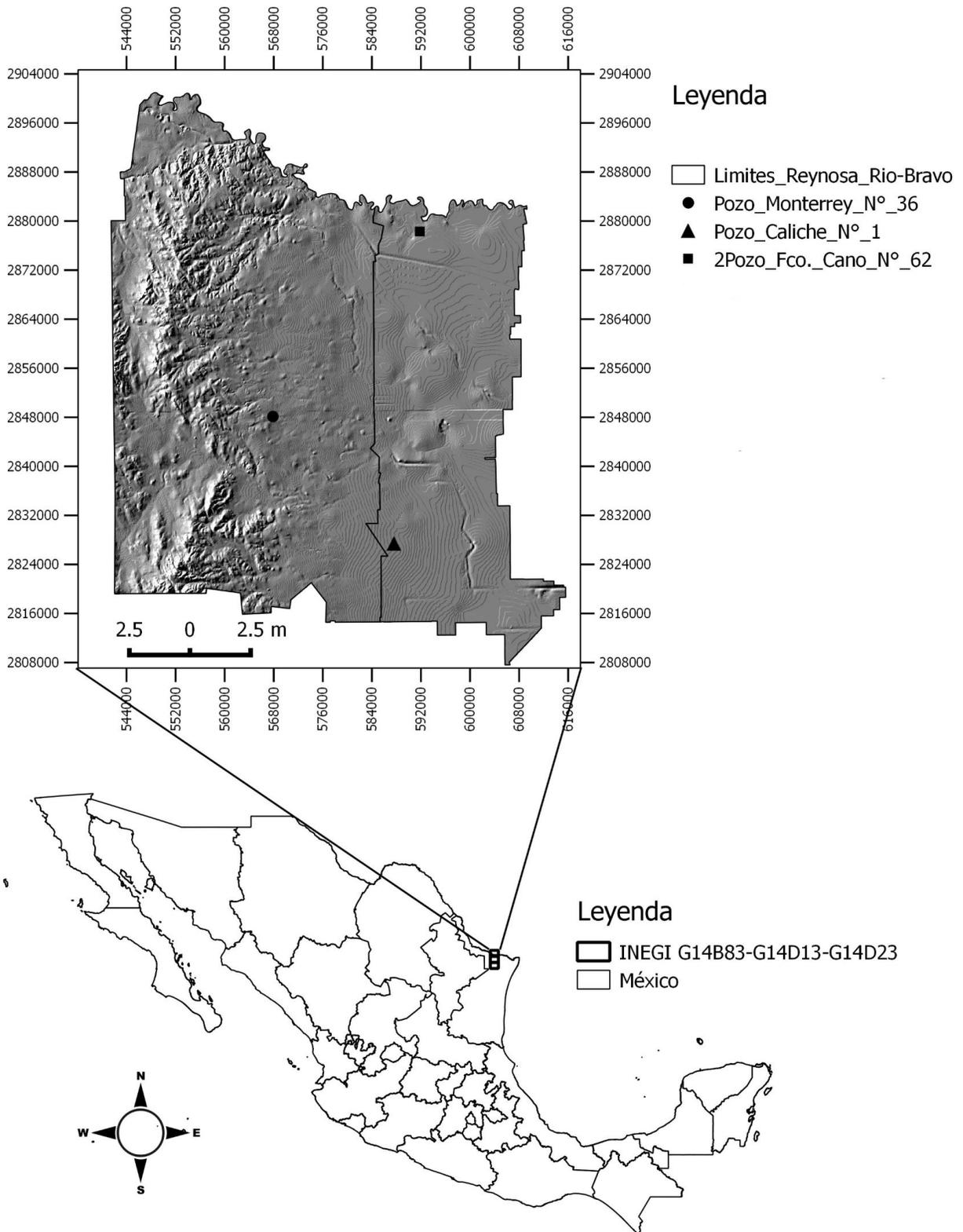


Figura 1. Mapa del área de estudio, con la ubicación de cada uno de los pozos.

3. Material y métodos

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

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

4. Marco geológico

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

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

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

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

5. Resultados

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

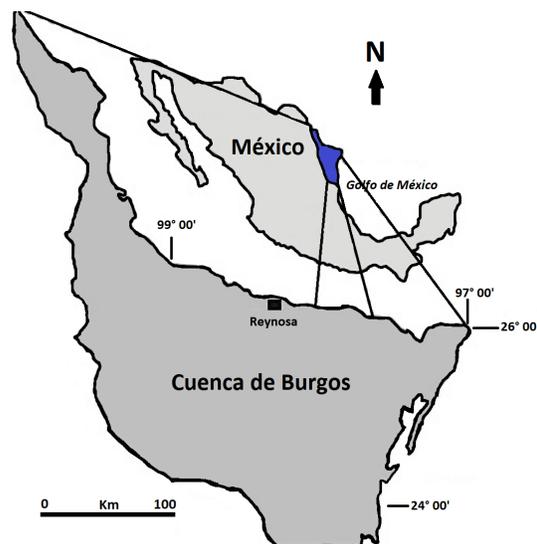


Figura 2. Ubicación de la Cuenca de Burgos en el territorio mexicano. (Modificado de Eguiluz de Antuñano, 2011).

Tabla 1. Diferencias morfométricas de los morfotipos.

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

Paleontología sistemática

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

División Charophyta Migula, 1897

Clase Charophyceae Smith, 1938

Orden Charales Lindley, 1836

Familia Characeae (Richard ex. C. Agardh, 1824)

emend. Martín-Closas et Schudack, 1991

Subfamilia Charoideae Braun, 1897

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

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

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

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

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

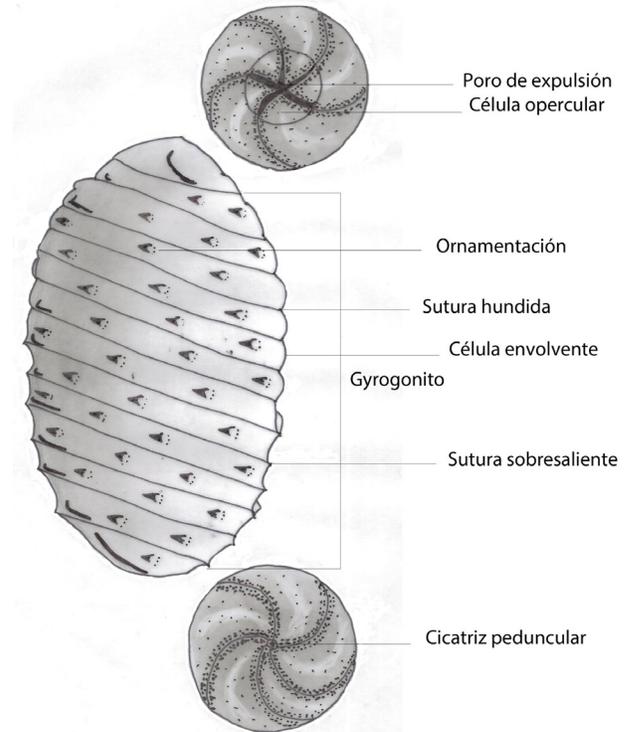


Figura 3. Esquema de la morfología de un girogonito..

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

6. Discusión

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

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

7. Conclusiones

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

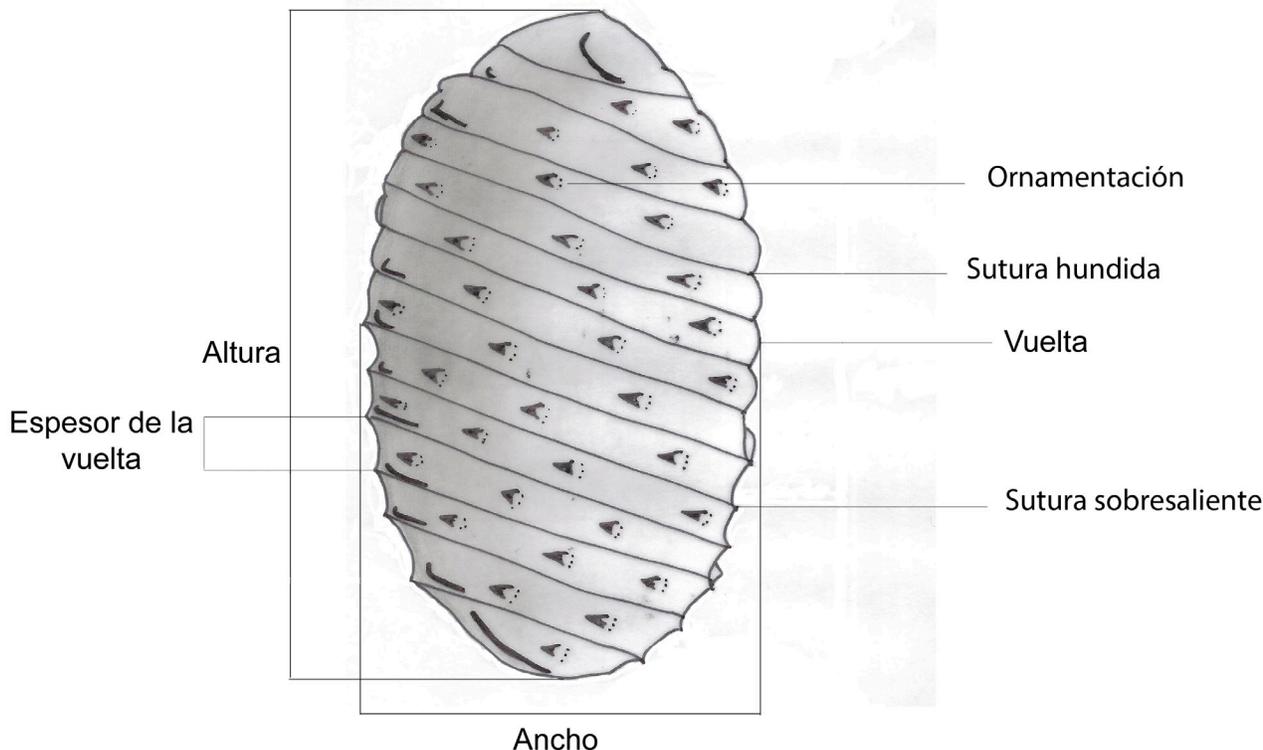


Figura 4. Esquema de la morfología de un girogonito que muestra la mirística usada en este trabajo.

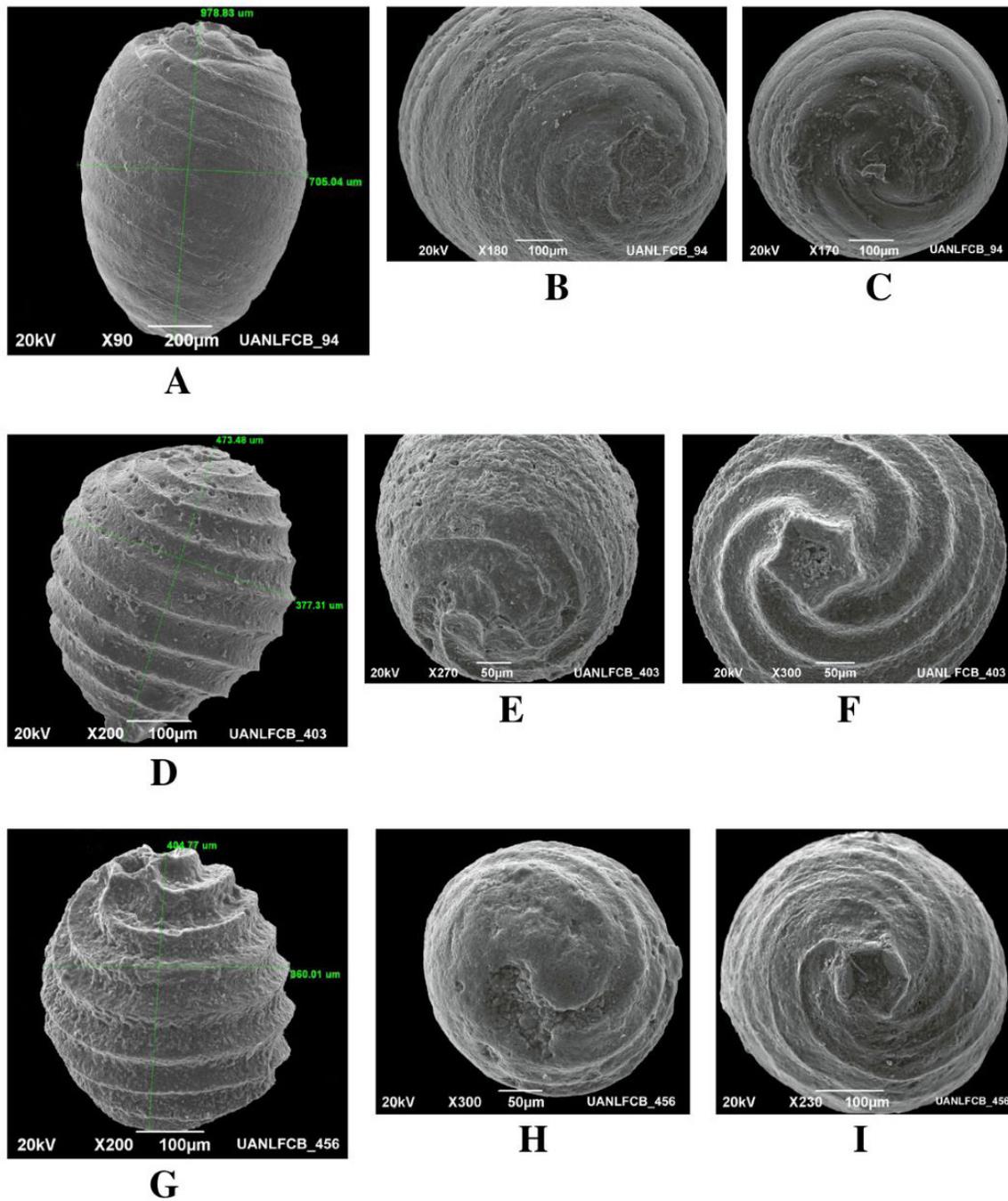


Figura 5. A) Vista lateral del morfotipo I; B) Modificación periapical y nódulos apicales; C) Poro basal; D) Vista lateral del morfotipo II; E) Vista apical (subapical); F) Vista basal con poro pentagonal, apuntado y formando un embudo; G) Vista lateral (orientada al revés); H) Vista apical extremadamente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

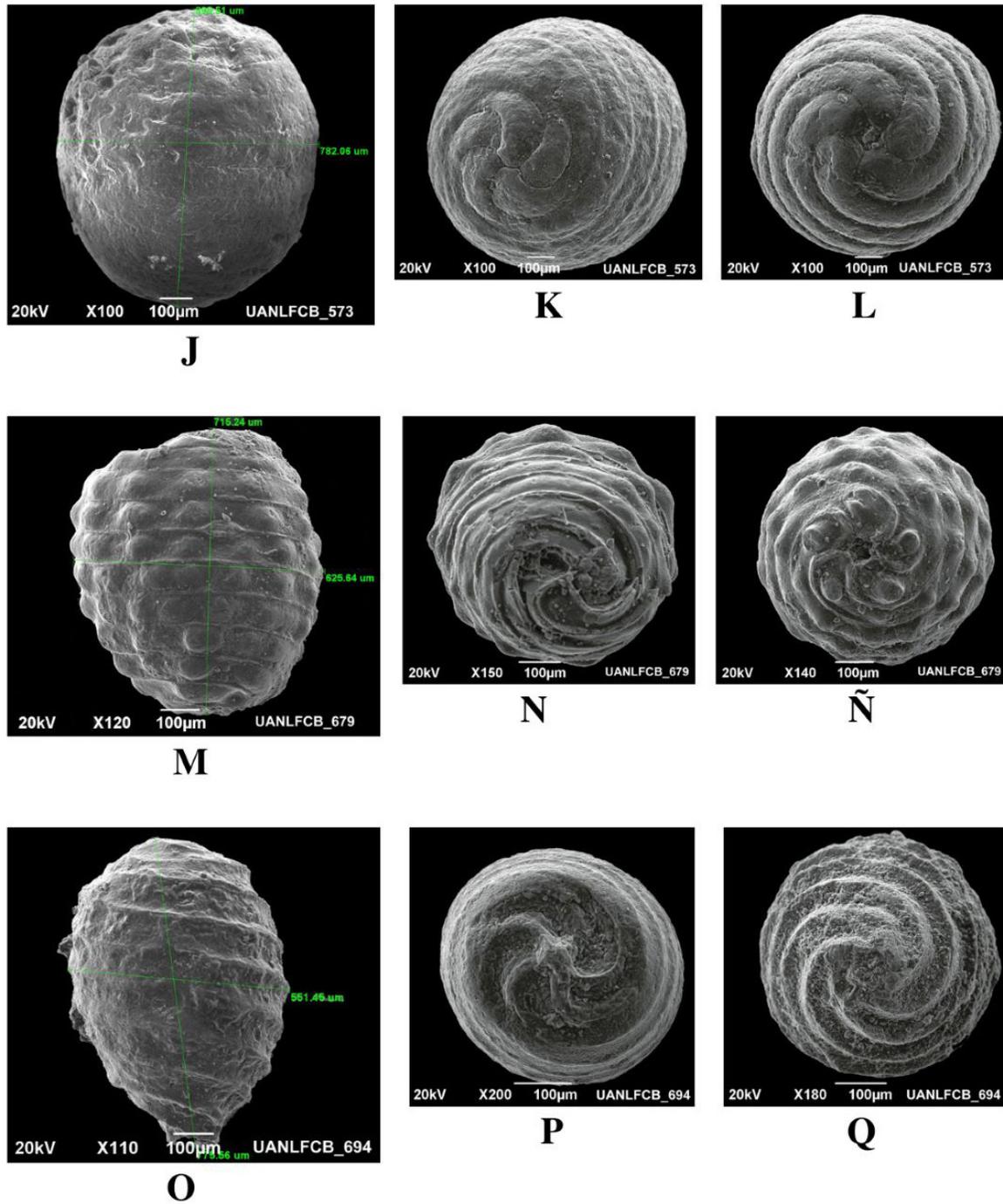


Figura 6. J) Vista lateral del morfotipo III extremadamente erosionada; K) Vista subapical donde se observa el poro de expulsión; L) Vista basal con su poro; M) Vista lateral del morfotipo IV; N) Vista apical; Ñ) Vista basal con su poro en forma pentagonal; O) Vista lateral del morfotipo V; P) Ápice;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

Agradecimientos

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

References

- Agardh, C.A. 1824. *Systema Algarum. Literis Berlingianis*. Lund. 312 pp.
- Anadon, P., Cabrera, L., Choi, S.J., Colombo, F., Feist, M. y Saez, A., 1992, Biozonación del Paleógeno continental de la zona oriental de la Cuenca del Ebro mediante carófitas: implicaciones en la biozonación general de carófitas de Europa occidental: *Acta Geológica Hispanica*, 27 (1–2), 69–94, URI: <http://hdl.handle.net/2445/33714>
- Dumble, E.T., 1894, The Cenozoic deposits of Texas: *Journal of Geology*, 2(6), 549–567, doi: <http://dx.doi.org/10.1086/607017>
- Echanove-Echanove, O., 1986, Geología petrolera de la Cuenca de Burgos (parte I) Consideraciones geológico-petroleras: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 38(1), 5.
- Eguiluz de Antuñano, S., 2011, Estratigrafía, análisis de secuencias y control estructural en la Formación Yegua, Cuenca de Burgos, noreste de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63 (2), 171–181, doi: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2011v63n2a3>
- Feist, M., Grambast-Fessard, N., Guerlesquin, M., Karol, K., Lu, H.N., Mc-Court, R.M., Wang, Q.F. y Zhang S.Z., 2005, *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part B, Protoctista 1. Charophyta*, volume 1: Lawrence, Kansas, The Geological Society of America, 170 pp.
- Grambast, L., 1956, La plaque basale des Characées: *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris (series D)*, 242, 2585–2587.
- Groves, J. y Bullock-Webster, G.R., 1920, *The British Charophyta, Volume 1 Nitellae*: Londres, The Ray Society, 53–946, doi: <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.54154>
- Hernández-Ocaña, M.I., Chacón-Baca, E., Quiroz-Barroso, S.A., Eguiluz de Antuñano, S., Torres-de la Cruz, F. y Chávez-Cabello, G., 2019, A Paleogene Ichneological Record from the Wilcox Formation: *Ophiomorpha* and *Venericardia (Venicor) zapatai* in the Burgos Basin, northern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 90, 107–117, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2018.11.024>
- Lindley, J., 1836, *A Natural System of Botany*, 2da ed. Longman, Rees, Orme, Brown, Green, and Longman. London. 526 pp.
- López-Ramos, E., 1980, *Geología de México: Tomo II*, 2da edición: México, Edición Escolar, 451 pp.
- Martin-Closas, C. y Schudack M.E., 1991, Phylogenetic analysis and systematization of post-Paleozoic charophytes. *Bulletin de la Société botanique de France, Actualités botaniques* 138(1), 53–71.
- Martín-Closas, C. y Serra-Kiel, J., 2007, Biogeografía histórica de las clavatoráceas (carófitas fósiles). Estado actual del conocimiento: *Geogaceta*, 41, 119–122, URI: <http://hdl.handle.net/10272/8449>
- Martín-Closas, C. y Wang, Q., 2008, Historical biogeography of the lineage *Atopochara trivolvris* Peck 1941 (Cretaceous Charophyta): *Palaeo*, 260(3–4), 435–451, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.11.011>
- Meneses-Gyves, J., 1950, Zonas micropaleontológicas del Oligoceno del Noreste de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 2(1), 71–81.
- Migula, W., 1897, Die Characeen. In G. L. Rabenhorst, ed., 1890–1897, *Kryptogamen-flora von Deutschland, Oesterreichs und der Schweiz*, Bd. 5. Edward Kummer. Leipzig. 765 pp.
- Omaña, L., Ferrusquia-Villafranca, I., Ruiz-González, J.E., 2018, New findings of Late Jurassic charophyte gyrogonites and gastropods from the San Juan Formation, NW Oaxaca, Mexico: *Paleontología Mexicana*, 7(2), 93–99.
- Palacios-Fest, M.R., 2010, Late Holocene Paleoenvironmental History of the Upper West Amarillo Creek Valley at Archaeological Site 41PT185/C, Texas, USA, 62(3), 399–436, doi: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2010v62n3a7>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988, *Estratigrafía de la República Mexicana, Cenozoico: México*, Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, 136 pp.
- Rodrigo, M.A., Alonso-Guillén, J.L., Cirujano, S. y Soulié-Märsche, I., 2009, Aproximación a las comunidades de carófitos que existieron en la Albufera de Valencia a partir del estudio de las oósporas del sedimento: *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66 (2), 195–208, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ajbm.2214>
- Rodríguez-Cantú, J.R., 1986, Las carófitas del Oligoceno en tres pozos de la Cuenca de Burgos, Noreste de México: Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 59 pp.
- Rodríguez-Santana, E., 1969, Sedimentos del Oligoceno de la Cuenca de Burgos; aspecto regional, en *Memoria del Seminario sobre Exploración Petrolera, Mesa Redonda No. 1, Problemas de Exploración de la Cuenca de Burgos: México, D.F.*, Instituto Mexicano del Petróleo, MR 1(2), 205–226.
- Sanjuan, J. y Martín-Closas, C., 2014, Taxonomy and palaeobiogeography of charophytes from the Upper Eocene-Lower Oligocene of the eastern Ebro basin (Catalonia, NE Spain): *Geodiversitas*, 36(3), 385–420, doi: <http://dx.doi.org/10.5252/g2014n3a3>
- Sanjuan, J., Vicente, A. y Eaton, J.G., 2020, New charophyte flora from the Pine Hollow and Claron formations (southwestern Utah). Taxonomic, biostratigraphic, and paleobiogeographic implications: *Review of Palaeobotany and Palynology*, 282, 1–17, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104289>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2010, *Formación Frio, Léxico Estratigráfico de México: México*, Servicio Geológico Mexicano, 1–6.
- Smith, G.M., 1938, *Algae and Fungi*, vol. 1. In *Cryptogamic Botany*. McGraw-Hill. New York. 545 pp.
- Soulié-Märsche, I., 2008, Charophytes, indicators for low salinity phases in North African sebkhet: *Journal of African Earth Sciences*, 51(2), 69–76, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.12.002>
- Soulié-Märsche, I. y García A., 2014, Gyrogonites and oospores, complementary viewpoints to improve the study of the charophytes (Charales): *Aquatic Botany*, 120(A) 7–17, doi: 10.1016/j.aquabot.2014.06.003
- Vicente, A., Sanjuan J., Eaton, J.G. y Villanueva-Amadoz, U., 2020, The oldest record of North American *Lychnothamnus* (northeastern Sonora, Mexico): Implications for the evolution, ecology, and paleogeographic distribution of the genus: *Aquatic Botany* 167, 1–10, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103271>
- Vizcarra-Martínez, H.H., 2005, Análisis secuencial del Paleoceno-Eoceno, y su potencial económico-petrolero, al norte del Campo Velero, en la Cuenca de Burgos, NE de México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría en Ingeniería.
- Wood, R.D., 1951, The Characeae: *The Botanical Review*, 18(5), 317–353, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02957549>