

Primer registro de *Columactinastraea formosa* Goldfuss, 1829 (Scleractinia) para el Tetis occidental

First report of Columactinastraea formosa Goldfuss, 1829 (Scleractinia) from the western Tethys

Rita Gabriela León-Olvera¹, Hannes Löser², Francisco Sánchez-Beristain^{3,*}, Pedro García-Barrera⁴

¹ Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México; Av. Ciudad Universitaria 3000, 04510, Coyoacán, CDMX, México.

² Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Luis Donaldo Colosio y Madrid S/N. Hermosillo 83110, Sonora, México.

³ Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México. Campus UNAM 3001, Juriquilla 76230, Santiago de Querétaro, México.

⁴ Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior S/N, Coyoacán 04510, CDMX, México.

* Autor para correspondencia: (F. Sánchez-Beristain) sanchez@ciencias.unam.mx

Cómo citar este artículo:

León-Olvera, R.G., Löser, H., Sánchez-Beristain, F., García-Barrera, P., 2023, Primer registro de *Columactinastraea formosa* Goldfuss, 1829 (Scleractinia) para el Tetis occidental: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 75 (2), A310523. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n2a310523>

Manuscrito recibido: 5 de mayo de 2023.
Manuscrito corregido: 30 de mayo de 2023.
Manuscrito aceptado: 4 de junio de 2023.

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

RESUMEN

En este trabajo se registra por primera ocasión la presencia del coral fósil *Columactinastraea formosa* Goldfuss, 1829 (Scleractinia) para la parte más occidental del Mar de Tetis. El hallazgo proviene de la Formación Ocozocoautla (Cretácico, Maastrichtiano) del Estado de Chiapas. Los anteriores registros proceden de los territorios actuales de los Emiratos Árabes Unidos (Campaniano y Maastrichtiano) y de diversas localidades europeas (estratos del Coniaciano y Santoniano). El origen paleobiogeográfico de *C. formosa* y la dispersión de la especie durante el fin del Cretácico Tardío son discutidos.

Palabras clave: Scleractinia, Cretácico, Maastrichtiano, Formación Ocozocoautla, México, Tetis.

ABSTRACT

The fossil coral *Columactinastraea formosa* Goldfuss, 1829 (Scleractinia) is reported for the first time from the westernmost part of the Tethys Ocean. The fossil was found in the Ocozocoautla Formation (Cretaceous, Maastrichtian) in Chiapas, Mexico. There are earlier reports of the species from the United Arab Emirates (Campanian and Maastrichtian) and from some European localities (Coniacian and Santonian). The possible palaeobiogeographic origin of *C. formosa* and the dispersal of the species are discussed.

Keywords: Scleractinia, Cretaceous, Maastrichtian, Ocozocoautla Formation, Mexico, Tethys.

1. Introducción

Los corales escleractinios, que surgen durante el Triásico Medio, sobrevivieron a los cambios ambientales del Triásico Tardío, dispersándose y ganando abundancia por ser los principales constructores arrecifales en la actualidad (Barbeitos, 2011; Stanley, 2003). El registro paleontológico indica que, a fines del Mesozoico, durante el Cenomaniano inferior, los miembros del Orden Scleractinia alcanzaron su máxima riqueza genérica (Steuber *et al.*, 2023).

Desde 1866 y hasta la actualidad, se ha publicado una centena de trabajos que contienen listados o descripciones de corales del Mesozoico en México (Löser, 1994). La mayoría de ellos (79) se dedica a ejemplares del Cretácico. Entre las localidades fosilíferas de este período se encuentra la Formación Ocozocoautla, que cuenta con 12 especies de coral registradas, pertenecientes a géneros principalmente del Cretácico Superior (Löser, 2012).

Los corales del género *Columactinastraea* Alloiteau 1952 aparecen desde el Turoniano superior y se encuentran ampliamente distribuidos en estratos

del Cretácico Superior. Actualmente, el género cuenta con 16 especies (Löser, 2016), registradas en rocas cretácicas del Oriente Medio (Baron-Szabo, 2000), México (Löser, 2012), y Europa (Leloux, 2003; Löser *et al.*, 2019). Para afloramientos mexicanos se tienen tres registros de *Columactinastraea*, todos del Cretácico; dos de ellos pertenecen al Grupo Bisbee en Sonora (Baron-Szabo y González-León, 1999). Sin embargo, los ejemplares de estos reportes pertenecen en realidad a *Stelidioseris ruwida* (Prever, 1909) como se menciona en Löser (2013). El tercer reporte se refiere a la especie *C. hilli* Wells, 1934 para el Maastrichtiano, en la Formación Ocozocoautla (Löser, 2012). Hasta el momento no parece existir algún registro para otra localidad del Tetis occidental; de ahí la importancia del hallazgo que se presenta en este trabajo.

2. Localización y geología regional de la Formación Ocozocoautla

El ejemplar estudiado procede de la Localidad “Rancho La Peregrina” (16° 46’ 30.5” N, 93° 23’ 37.7” W). Este afloramiento pertenece a la Formación Ocozocoautla, que se encuentra localizada

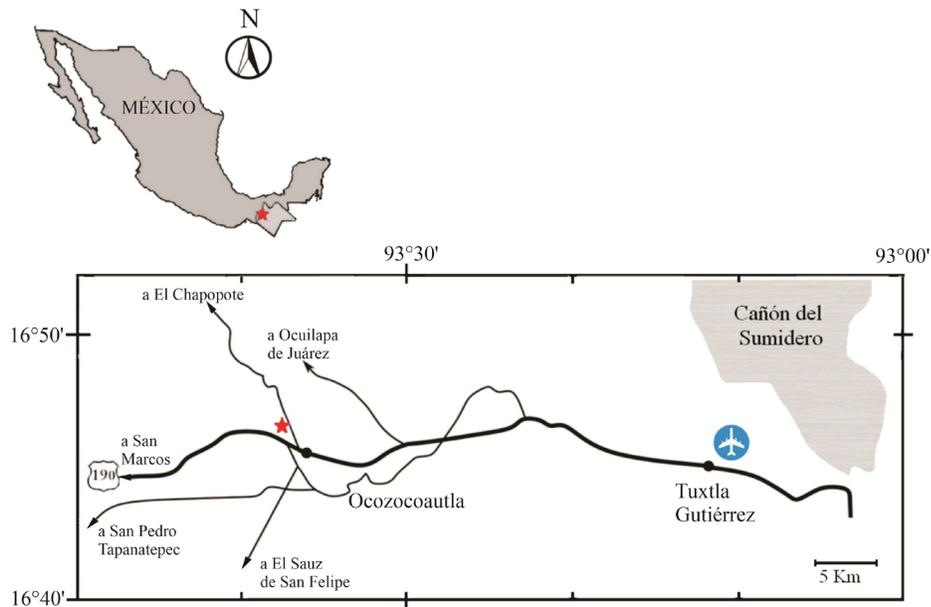


Figura 1 Localización del afloramiento cerca del poblado de Ocozocoautla, Chiapas (Modificado de Oviedo-García, 2006).

al noroeste del poblado homónimo al que se accede por la carretera federal 190 desde Tuxtla Gutiérrez con dirección a Ocozocoautla (Figura 1).

La Formación Ocozocoautla descansa de manera inconforme sobre las calizas de la Formación Sierra Madre de edad Albiano-Cenomaniano. La secuencia tipo inicia con un conglomerado de matriz arenosa fina, casi arcillosa. Sobre el conglomerado existe una secuencia de areniscas, y por encima de ellas, margas arenosas con intercalaciones de microconglomerados (PEMEX, 1988; García-Barrera *et al.*, 1998). La

parte superior presenta estratos con rudistas, en tanto que las margas muestran un contenido considerable de inocerámidos y ammonites (Pons *et al.*, 2021). Esta formación subyace a la Formación Angostura, del Maastrichtiano superior. La Formación Ocozocoautla está asignada al Maastrichtiano con base en su contenido fósil de foraminíferos, crustáceos y ammonites (PEMEX, 1988; García-Barrera *et al.*, 1998; Vega *et al.*, 2001, 2018; Omaña y Pons, 2003; Omaña, 2006; Pons *et al.*, 2016; Omaña *et al.*, 2021). El material recolectado procede de una secuencia de estratos delgados de arenisca calcárea (Figura 2).

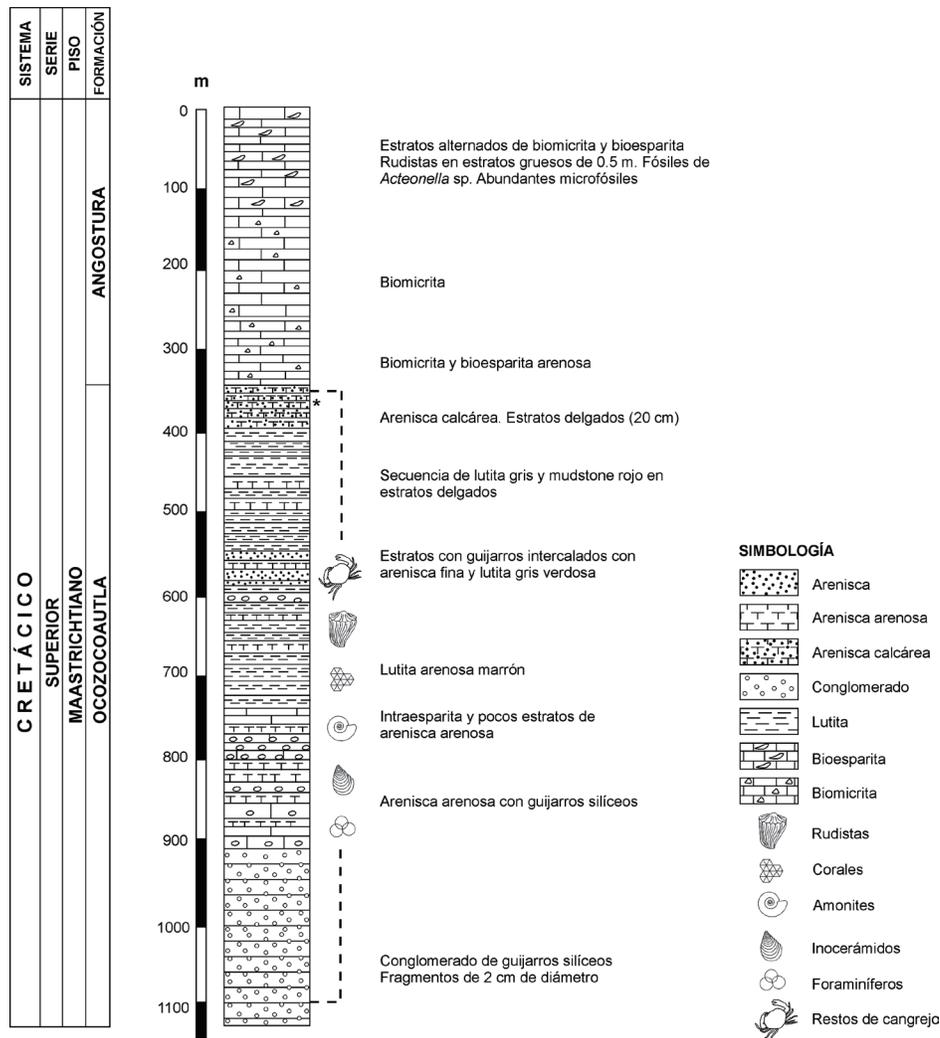


Figura 2 Columna estratigráfica simplificada de la Formación Ocozocoautla donde se indica el punto de recolecta del material con un asterisco (*), correspondiente a la localidad Rancho La Peregrina. El material fósil ilustrado tiene un carácter indicativo y representa el contenido de la Formación Ocozocoautla como unidad litoestratigráfica. Modificado de García-Barrera *et al.*, 1998; Pons *et al.*, 2016.

3. Materiales y métodos

El ejemplar procesado en el presente estudio se localizó en la parte inferior externa de la concha de un rudista de la especie *Titanosarcolites giganteus* Whitfield, 1897, catalogado bajo el número 04/127 de la Colección de Invertebrados del Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias (FCMP – UNAM; Figura 3). La colonia fue fotografiada con ayuda del sistema de cámaras de un teléfono móvil iPhone 13Pro (Apple). Posteriormente se efectuaron cortes transversales y longitudinales, mismos que fueron pulidos para obtener láminas delgadas (con un espesor de entre 40 y 50 μm).

A continuación, los cortes se examinaron al microscopio óptico (Leica® DMLSP), con el fin de identificar estructuras diagnósticas para

determinar taxonómicamente la especie de coral. Para efectuar las micrografías con escala se utilizó una cámara Flexacam® C1 adaptada para microscopio óptico.

Se examinó la microestructura de los septos con el fin de determinar su posición sistemática. Con ayuda del programa PaleoTax/Measure (©Hannes Löser), se midieron las dimensiones de los cálices. La determinación de la especie está basada en las dimensiones de los cálices y la cantidad de septos.

4. Paleontología Sistemática

Familia Actinastreae Alloiteau, 1952.

Descripción. Colonias cerioides, faceloides o plocoides. Septos compactos, la mayoría en simetría

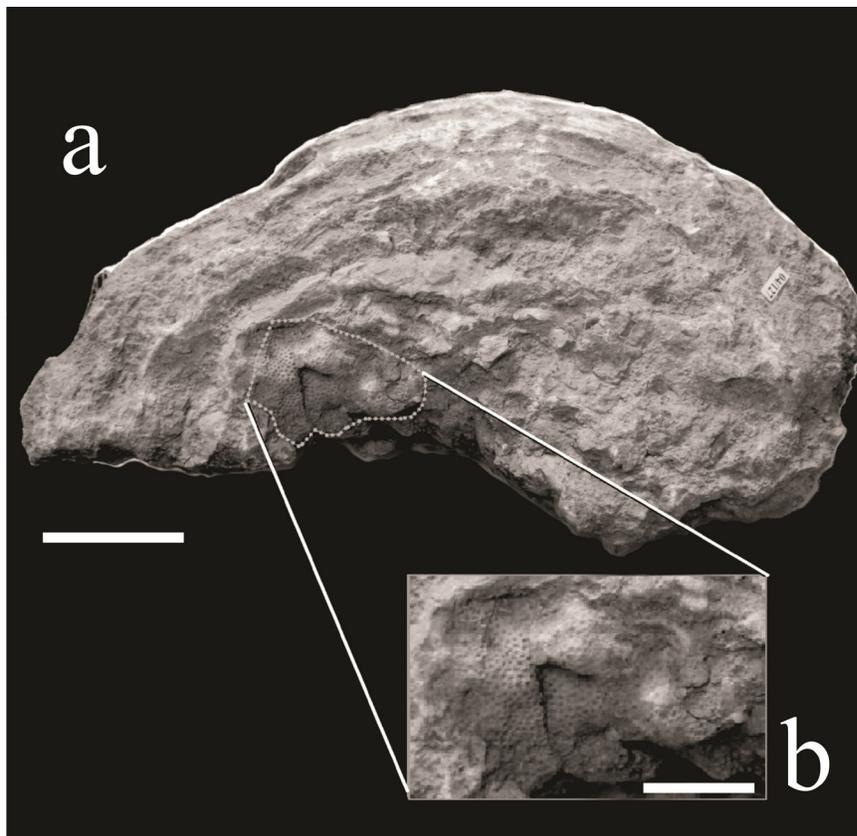


Figura 3 *Columactinastraea formosa* y *Titanosarcolites giganteus*. a) Colonia de *C. formosa* (delimitada mediante la línea punteada) sobre la valva inferior del rudista *Titanosarcolites giganteus*. Escala = 5 mm. b) Detalle de la colonia de *C. formosa*. Escala = 2 mm.

Tabla 1. Especies del género *Columactinastraea*.

Simetría	Septos	clmín	clmáx	Especie
6	12	0.7 – 0.8 mm	1.0 mm	<i>C. hilli</i>
		0.9 – 1.0 mm	1.1 – 1.2 mm	<i>C. sp. 1</i>
	24	4 mm	5.3 mm	<i>C. anthonii</i>
8	16	0.9 – 1.1 mm	1.0 – 1.2 mm	<i>C. germaini</i>
		1.1 – 1.2 mm	1.3 – 1.4 mm	<i>C. formosa</i>
		1.2 – 1.3 mm	1.5 – 1.6 mm	<i>C. reticulata</i>
		1.4 – 1.7 mm	1.8 – 2.0 mm	<i>C. octophylla</i>
		1.8 – 2.0 mm	2.2 – 2.3 mm	<i>C. rennensis</i>
		2.1 – 2.4 mm	2.6 – 2.7 mm	<i>C. sp. 2</i>

regular radial, frecuentemente conectados entre sí. Las caras laterales presentan espinas, el margen superior es granuloso. La microestructura de los septos muestra trabéculas de tamaño medio.

Septos lonsdaleoides presentes en un género, septos principales ausentes. Sinaptículos ausentes. *Pali* presente en algunos géneros, columela en la mayoría de los géneros. La endoteca varía, generalmente está formada por tábulas delgadas. Pared compacta o subcompacta, principalmente septotecal. Margen en un género. *Coenosteum* (periteca) generalmente presente, formado por trabéculas aisladas o costillas. Gemación extracalicular e intracalicular.

Comentarios. El taxón pertenece a la superfamilia Actinastraeoidea Alloiteau, 1952, que consta de una sola familia.

Género *Columactinastraea* Alloiteau, 1952

Especie tipo. *Columactinastraea renensis* Alloiteau, 1952.

Descripción. Colonia plocóide con un *coenosteum* estrecho que consiste en pocas trabéculas aisladas. Coralitos con contorno irregular, circular o poligonal. Septos en simetría hexameral u octameral, pero poco regulares. Los septos secundarios pueden estar conectados con los primarios. Columela estiliforme, pero pequeña. *Pali* en el primer ciclo de septos, frecuentemente poco visibles.

Comentarios. La literatura registra 16 especies de este género (Leloux, 2003; Löser, 2016), pero el estudio del material tipo reveló que no todas las especies pertenecen a éste. La Tabla 1 muestra las especies conocidas, sólo incluyendo taxones donde el material tipo está disponible o donde había datos morfométricos publicados del material tipo.

Columactinastraea formosa (Goldfuss, 1829)
Figuras 4, 5

Sinonimia

* 1829 *Astrea formosa* Goldfuss, p. 111, pl. 38, fig. 9

2000 *Columactinastraea pygmaea* (Felix, 1903) – Baron-Szabo, p. 98, pl. 1, fig. 4, pl. 2, fig. 4

2019 *Columactinastraea formosa* Goldfuss, 1829 – Löser *et al.*, p. 51, figs. 64a, b

(La sinonimia contiene sólo las referencias de los especímenes disponibles para el estudio; el asterisco hace referencia al protónimo de la especie).

Ocurrencia. Coniaciano a Santoniano de Austria; Campaniano Superior a Maastrichtiano de los Emiratos Árabes Unidos.

Comentarios. La asignación taxonómica del ejemplar permitió definirlo como *Columactinastraea formosa* (Goldfuss, 1829); el número de septos y las dimensiones de los mismos que se presentan en la Tabla 2 se encuentran dentro de los valores para el holotipo de *C. formosa* (Universität Bonn, Geologisch-Paläontologisches Institut, Bonn, Alemania

GF295), con material reportado por Löser *et al.* (2019) y Baron-Szabo (2000). Como se mencionó, se trata de la segunda especie de este género para la Formación Ocozocoautla, sin embargo *C. hilli* presenta una distintiva simetría hexarradial que no comparte con *C. formosa*. *Columactinastrea reticulata* (Goldfuss, 1829) es probablemente un sinónimo de *C. formosa*; su localidad tipo y su distribución en el espacio y tiempo son las mismas que la de *C. formosa*.

Las especies *C. germaini* y *C. octophylla* presentan también algunas similitudes con el material descrito en este trabajo. En ambos casos, se trata también de taxones con un arreglo octorrádial, que cuentan con 16 septos. No obstante, para el caso de *C. germaini*, el diámetro mínimo interno del coralito (clmín) oscila entre 0.9 a 1.1 mm, en tanto que los valores para el diámetro interno máximo del coralito (clmáx), van de 1.0 a 1.2 mm. Por su parte, en el caso de *C. octophylla*, los valores para clmín se encuentran entre 1.4 y 1.7 mm, mientras que el rango para clmáx, va de 1.8 a 2.0 mm. El ejemplar identificado en el presente trabajo como *C. formosa* (Goldfuss, 1829) consiste en una colonia de aproximadamente 6.4 x 4 centímetros incrustada en un rudista de la especie *Titanosarcolites giganteus* Whitfield, 1897, y presenta dimensiones de clmín entre 1.1 y 1.2 mm, y de clmáx entre 1.3 y 1.4 mm, lo que la distingue de las dos especies mencionadas al principio de este párrafo.

Alcance estratigráfico. Coniaciano - Maastrichtiano.

5. Discusión

5.1. FACIES

Se considera que la Formación Ocozocoautla representa un ambiente de plataforma externalud superior bañado por aguas cálidas, como lo indican las asociaciones de foraminíferos planctónicos y bentónicos (Omaña *et al.*, 2021). Dichas facies, en conjunto con la aceptable preservación del ejemplar, indican probablemente que los fósiles sufrieron un bajo grado de transporte.

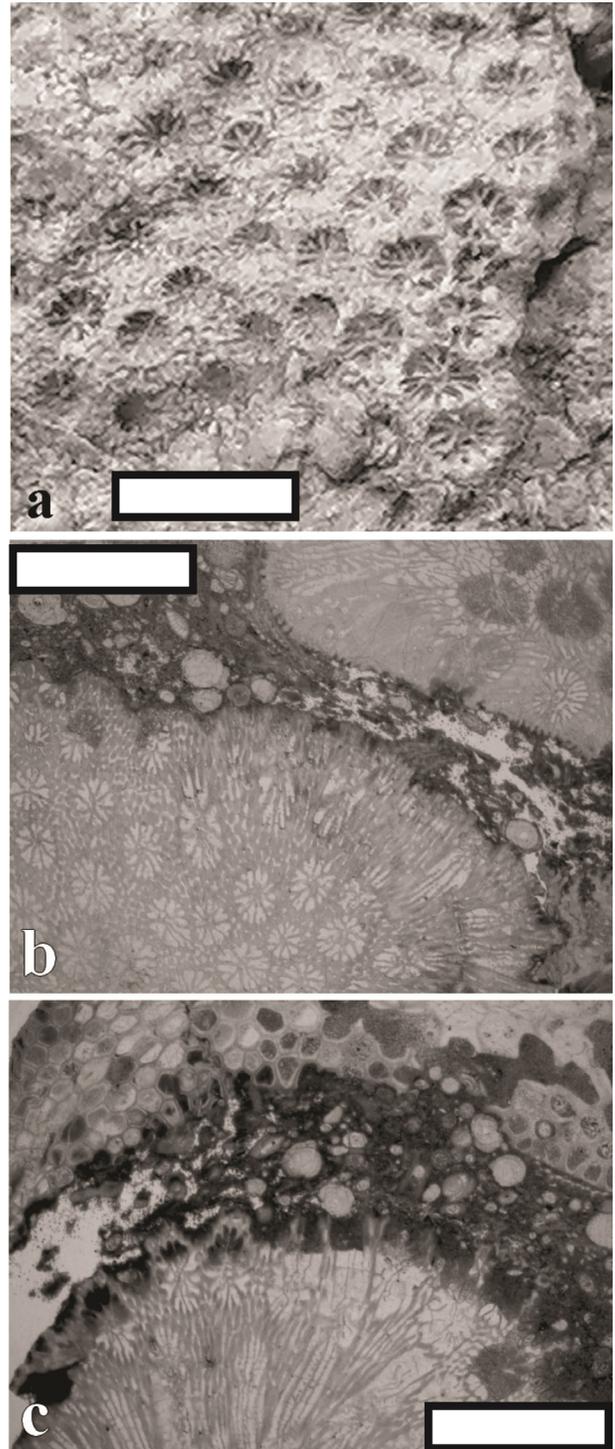


Figura 4 Aspecto de la colonia coralina. a, ejemplar sin cortar, se observa el arreglo de los coralitos, sus septos, sus paredes individuales y el coenosteum granuloso; b, corte transversal de la colonia en que se puede apreciar la distribución de los coralitos, su diámetro, los septos, vista al microscopio estereoscópico; c, corte oblicuo en que se observan las líneas de crecimiento, vista al microscopio óptico. Escala = 5 mm.

Tabla 2. Medidas de *Columactinastraea formosa*.

	n	mín-máx	μ	s	cv	$\mu \pm s$
clmín	15	1.01-1.38 mm	1.20	0.11	9.2	1.09-1.31
clmáx	15	1.44-1.68 mm	1.57	0.08	5.1	1.49-1.65
Septos	16					

5.2. LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

La colonia coralina se encontró en sedimentos maastrichtianos, lo que concuerda con el rango estratigráfico asignado para la especie en los afloramientos reportados para los Emiratos Árabes Unidos (Baron-Szabo, 2000). El resto de los registros se asignan al Coniaciano y Santoniano (Löser *et al.*, 2019). Por otra parte, la asignación estratigráfica de la Formación Ocozocoautla al Maastrichtiano inferior se ha verificado ampliamente por la presencia de la Zona de *Gansserina gansseri* (Foraminifera), que permitió corregir su previa asignación al Campaniano (Omaña *et al.*, 2021).

5.3. PALEOGEOGRAFÍA

Columactinastraea formosa muestra una presencia continua en el Cretácico Superior en facies epeíricas que se encontraban en el límite sudoriental de la cuenca del Tetis. Los registros se encuentran en zonas costeras en los bordes de la cuenca (Figura 6).

Las especies del género *Columactinastraea* han sido descritas para facies poco profundas (Baron-Szabo, 2000; Leloux, 2003; Löser, 2012; Löser *et al.*, 2019). Por esta razón, es posible que, en el caso de *C. formosa*, se haya tratado de una especie zooxantelada. Dadas las características biológicas de los escleractinios zooxantelados, como lo son su forma de vida sésil, sus requerimientos de aguas oligotróficas, cálidas y someras, su reproducción asexual y la limitada motilidad de sus larvas, es relevante observar cómo los registros indican una dispersión de la especie desde su posible zona de origen durante el Coniaciano en lo que hoy es Austria, hacia el Oeste hasta lo que hoy son rocas maastrichtianas de México (Figura 6). Así,

la presencia de *C. formosa* en estratos maastrichtianos podría indicar un evento homotaxial, (*sensu* Esquivel-Macías *et al.*, 2017) relacionado con una dispersión diferencial desde el Coniaciano en el Reino Central del Tetis; primero hacia el margen septentrional de la cuenca durante el Campaniano y posteriormente hacia el límite occidental durante el Maastrichtiano, atendiendo a las paleocorrientes marinas (Figura 6).

El descenso gradual del nivel del mar que se ha registrado para épocas posteriores al Cenomaniano superior (e.g. Haq, 2014) dificulta observar la distribución de los corales en la parte alta del Cretácico Superior. Las rocas que se sedimentan durante una fase regresiva tienen más probabilidades de ser erosionadas posteriormente, durante una fase transgresiva. Las faunas marinas tienen más probabilidad de ser conservadas si se depositan durante una fase de incremento del nivel del

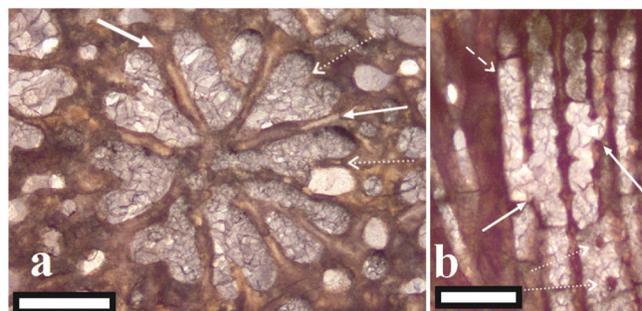


Figura 5 Lámina delgada en que puede verse el arreglo octorradiar. a Se indican dos de los septos primarios del coralito (flechas continuas), se observa además que los septos secundarios no llegan a fusionarse con los primarios (como en flechas punteadas); b corte longitudinal en que se aprecia la pared (flecha discontinua), endoteca (flechas continuas), detalle de las espinas en el margen interior del septo (flechas punteadas). Escala = 500 μ m.

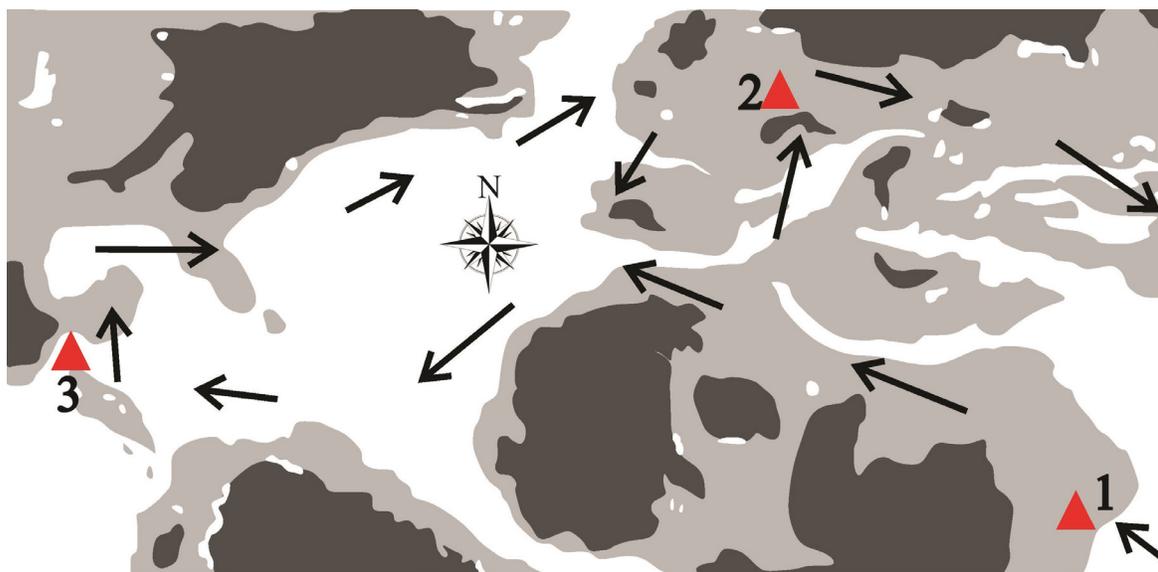


Figura 6 Mapa en que se muestran la distribución de los registros (▲) para *C. formosa*. Se observan de Este a Oeste: 1) la zona actual de los Emiratos Árabes Unidos (Baron-Szabo, 2000), 2) Austria (Löser *et al.*, 2019), y 3) México. Las zonas en color gris claro corresponden a plataformas continentales someras y las flechas representan las corrientes durante el Maastrichtiano tardío. Modificado de Scotese (2021).

mar. Así, mientras los depósitos del Hauteriviano hasta el Santoniano de aguas someras son muy abundantes a nivel global, las rocas sedimentarias del Berriasiano, Valanginiano, Campaniano y Maastrichtiano son menos abundantes y limitan el estudio de estas faunas. Asimismo, muchas descripciones de corales carecen de estudios detallados y no se utilizan láminas delgadas ni morfometría en ellas, lo que impide efectuar comparaciones entre las diferentes faunas. Adicionalmente, la disminución gradual del nivel del mar durante el Cenomaniano superior impide una observación clara de la distribución geográfica de los corales hacia el final del Cretácico.

6. Conclusión

Columactinastraea formosa Goldfuss, 1829 es una especie cuyo alcance estratigráfico se extiende desde el Coniaciano hasta el Maastrichtiano. El presente trabajo constituye el primer registro para esta especie hacia la parte más occidental del Tethys, ampliando su distribución paleogeográfica. La conservación del ejemplar permitió efectuar

las mediciones correspondientes para su correcta identificación taxonómica. No obstante, es necesario efectuar más estudios de campo, con el objeto de afinar los datos sobre su posible origen y distribución.

Contribuciones de los autores

Rita G. León-Olvera: Redacción y edición del manuscrito original, metodología, descripción paleontológica, diseño gráfico. *Hannes Löser*: Descripción paleontológica, metodología, redacción y edición del manuscrito original. *Francisco Sánchez-Beristain*: Financiamiento, redacción y edición del manuscrito original, metodología, diseño gráfico. *Pedro García-Barrera*: Financiamiento, redacción y edición del manuscrito original, recolecta de material, metodología.

Financiamiento

El presente trabajo fue posible gracias al financiamiento por parte del proyecto PAPIIT IN-118420 (DGAPA-UNAM; responsable: FSB).

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (UNAM); asimismo, al proyecto de investigación PAPIIT IN-118420 (DGAPA-UNAM; responsable: FSB, (fecha de inicio: 2020), por la financiación del presente trabajo. Por otra parte, se agradece a los integrantes del Jurado del Examen de Grado de la primera autora (Dr. Francisco Javier Vega-Vera, Instituto de Geología, UNAM; Dr. Josep Anton Moreno-Bedmar, Instituto de Geología, UNAM y Dr. Gerardo Rivas-Lechuga (Facultad de Ciencias, UNAM), así como también al Dr. Miguel Ángel Torres-Martínez (Instituto de Geología, UNAM) por su disposición a colaborar como miembro del Comité Tutor. De igual manera, se agradece al Dr. Rafael Villanueva-Olea (Facultad de Ciencias, UNAM) por el apoyo técnico para la elaboración de secciones pulidas y láminas delgadas a partir de la muestra 04/127 y por la toma de fotografías a partir de dicho material. Asimismo, agradecemos a los doctores Ricardo Garberoglio (Argentina), Jacob Leloux (Países Bajos) y Andreas May (Alemania) por sus atinados comentarios y sugerencias, los cuales contribuyeron a mejorar el presente manuscrito de manera sustancial, así como también al Dr. Francisco J. Vega-Vera (Instituto de Geología, UNAM) por su apoyo durante el proceso de edición del mismo; a la Pas. de Lic. en Ciencias de la Tierra Mariana Ramírez-Pelcastre, por la toma de las fotografías empleadas en la figura 4, y al M. en C. Edwin Aldrin Juárez-Aguilar, por el apoyo en la realización de las figuras 2 y 6.

Conflicto de intereses

No existen conflictos de interés con otros autores, instituciones o terceros sobre el contenido del presente manuscrito.

Referencias

Alloiteau, J., 1952, Madréporaires

post-paléozoïques, en Piveteau, J. (ed.), *Traité de Paléontologie(I)*: Paris, Masson et Cie, 539–684.

- Barbeitos, M., 2011, Molecules, morphology, fossils and the origination and extinction dynamics of scleractinian corals: *The Paleontological Society Papers* 17, 61–77. <http://dx.doi.org/10.1017/S1089332600002448>
- Baron-Szabo, R.C., 2000, Late Campanian-Maastrichtian corals from the United Arab Emirates-Oman border region: *Bulletin of the Natural History Museum London (Geology)*, 56 (2), 91–131.
- Baron-Szabo, R.C., González-León, C.M., 1999, Lower Cretaceous corals and stratigraphy of the Bisbee Group (Cerro de Oro and Lampazos areas), Sonora, Mexico: *Cretaceous Research* 20, 465–497. <http://dx.doi.org/10.1006/cres.1999.0159>
- Esquivel-Macías, C., León-Olvera, R.G., Flores-Castro, K., 2017, Paleoenvironment and biostratigraphy of the Upper Sinemurian (Lower Jurassic) of the Huayacocotla Formation in East-Central Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 69 (3), 739–770. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2017v69n3a12>
- Felix, J., 1903, Studien über die korallenführenden Schichten der oberen Kreideformation in den Alpen und den Mediterrangebieten. (I) Die Anthozoen der Gosauschichten in den Ostalpen: *Palaeontographica* 49, (4-5), 169–359.
- García-Barrera, P., Avendaño-Gil, J., Omaña, L., Alencáster, G., 1998, *Antillocaprina trilobata* nov. sp. and Upper Cretaceous associated fauna from Chiapas, Southeast Mexico: *Geobios* 31 (1), 125–135. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-6995\(98\)80071-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-6995(98)80071-5)
- Goldfuss, A., 1829, *Petrefacta Germaniae* (1,2): Düsseldorf, Arnz. 250 p.
- Haq, B.U., 2014, Cretaceous eustacy revisited: Global and planetary change, 113, 44–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>

- Leloux, J., 2003, *Columactinastraea anthonii* sp. nov. (Scleractinia, Astrocoeniina), a new coral species from the Maastrichtian (Upper Cretaceous) of The Netherlands: Scripta Geologica 126, 185–201.
- Löser, H., 1994, The Mesozoic corals. Bibliography 1758-1993: Coral Research Bulletin 1, 99p. Recuperado de: <https://www.cp-v.de/crb/crb1u.htm> (18 de mayo de 2023).
- Löser, H., 2012, Corals from the Maastrichtian Ocozocoautla Formation (Chiapas, Mexico) a closer look: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 29 (4), 534–550.
- Löser, H., 2013, The Cretaceous corals from the Bisbee Group (Sonora; Late Barremian–Early Albian): genus *Stelidioseris* (Actinastraeidae): Paleontología Mexicana 63, 79–89.
- Löser, H., 2016, Systematic part: Catalogue of Cretaceous Corals, 4: Dresden, CPress Verlag, 1–710.
- Löser, H., Heinrich, M., Schuster, U., 2019, Corals from Rußbach and Gosau (Conacian-Santonian; Austria) English abridged version: Dresden, CPress Verlag, 367 p.
- Omaña, L., 2006, Late Cretaceous (Maastrichtian) foraminiferal assemblage from the inoceramid beds, Ocozocoautla Formation, central Chiapas, SE Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 23, (2), 125–132.
- Omaña, L., Pons, J.M., 2003, Occurrence of *Ayalaina rutteni* (Palmer) in the Maastrichtian platform deposits, en Soto, L.A. (ed.), Agustín Ayala-Castañares: universitario, impulsor de la investigación científica: Ciudad de México, UNAM, Instituto de Ciencias de Mar y Limnología, 273–281.
- Omaña, L., Pons, J.M., Cruz, R., 2021, Biostratigraphy and paleoenvironment of Maastrichtian foraminiferal assemblages from a succession located NW of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (SE Mexico): Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 38, (1), 65–81. <http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2021.1.1598>
- Oviedo-García, A., 2006, Rudistas del cretácico superior del centro al sureste de México: recuento sistemático de rudistas americanos: Bellaterra, España, Universitat Autònoma de Barcelona, tesis doctoral, 123 p.
- PEMEX, 1988, Estratigrafía de la República Mexicana, Mesozoico: México, Coordinación Ejecutiva de Exploración. Recuperado de: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Ocozocoautla.pdf> (2 de mayo de 2023).
- Pons, J.M., Vicens, E., Martínez, R., García-Barrera, P., Nieto, I.E., Oviedo, A., Avendaño-Gil, M.J., 2016, The Campanian-Maastrichtian rudist bivalves succession in the Chiapas Central Depression, Mexico: Cretaceous Research 60, 210–220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2015.11.015>
- Pons, J.M., García-Barrera, P., Oviedo, A., Vicens, E., 2021, Mexican Upper Cretaceous rudists (Hippuritida, Bivalvia): Taxonomic, stratigraphic, and geologic data: Journal of South American Earth Sciences, 109, 103237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103237>
- Prever, P.L., 1909, Anthozoa, en Parona, C.F. (ed.), La fauna coralligena del Cretaceo dei Monti d'Ocre nell'Abbruzzo Aquilano: Memorie descrittive della carta geologica d'Italia 5(1), 51–147.
- Scotese, C.R., 2021, An Atlas of Paleogeographic Maps: The Seas Come In and the Seas Go Out: Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences 49, 669–718. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-earth-081320-064052>
- Steuber, T., Löser, H., Mutterlose, J., Parente, M., 2023, Biogeodynamics of Cretaceous marine carbonate production: Earth-Science Reviews, 104341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104341>
- Stanley, G., 2003, The evolution of modern corals and their early history: Earth-Science Reviews, 60, (3–4), 195–225. [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00104-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00104-6).
- Vega, F.J., Feldmann, R.M., García-Barrera, P., Filkorn, H., Pimentel, F., Avendaño, J.,

- 2001, Maastrichtian Crustacea (Brachyura: Decapoda) from the Ocozocuahtla Formation in Chiapas, Southeast Mexico: *Journal of Paleontology* 75, (2), 319–329. [http://dx.doi.org/10.1666/0022-3360\(2001\)0752.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1666/0022-3360(2001)0752.0.CO;2)
- Vega, F.J., Charbonnier, S., Gómez-Pérez, L.E., Coutiño, M., Carbot-Chanona, G., de Araujo-Távora, V., Serrano-Sánchez, M.L., Teóadori, D., Hernández-Monzón, O., 2018, Review and addition to the Maastrichtian (Late Cretaceous) crustacea from Chiapas, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences* 85, 325–344. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.05.017>
- Wells, J.W., 1934, Some fossil corals from West Indies: *Proceedings of the United States National Museum* 83, 71–110. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.83-2975.71>
- Whitfield, R.P., 1897, Description of species of Rudistae from the Cretaceous rocks of Jamaica collected and presented by Mr. F.C. Nicholas: *Bulletin of the American Museum of Natural History* 9, 185–196.