

Taxonomía y sistemática

Crinoideos (Echinodermata: Crinoidea) del Misisípico-Pensilvánico de la sierra Santa Teresa, región central del estado de Sonora, México

Crinoids (Echinodermata: Crinoidea) of the Mississippian-Pennsylvanian from Sierra Santa Teresa, Central region of State of Sonora, Mexico

Blanca Estela Buitrón-Sánchez ^{a, *}, Iván Manuel Cuadros-Mendoza ^b,
Francisco Javier Cuen-Romero ^c y Miguel Ángel Torres-Martínez ^a

^a Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Departamento de Paleontología, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México

^b Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México

^c Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Blvd. Luis Encinas y Rosales, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México

*Autor para correspondencia: blancab@unam.mx (B.E. Buitrón-Sánchez)

Recibido: 28 septiembre 2022; aceptado: 9 marzo 2023

Resumen

Se describen crinoideos de las morfoespecies *Baryschyr anosus* Moore y Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, *Floricyclus angustimargo* Moore y Jeffords, *Cyclocion distictus* Moore y Jeffords, *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords y *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords que proceden de estratos del Misisípico Superior (Chesteriano) y del Pensilvánico Inferior-Medio (Morrowano-Desmoinesiano) de la sierra Santa Teresa, Sonora. La distribución de estas morfoespecies permitió establecer correlaciones paleobiogeográficas con otros crinoideos reportados para el Carbonífero del norte de México en los cerros El Tule, sierra Las Mesteñas, sierra Agua Verde en Sonora. También son correlacionables con regiones de EUA como en Texas, Colorado, Illinois, Oklahoma y Kansas pertenecientes a la provincia del Cratón Norteamericano. Asociado a los crinoideos existe una abundante y diversa biota representada por algas, foraminíferos-fusulinidos, esponjas-quetétidas, corales, briozoarios-fenestélidos, braquiópodos-productidos y conodontos que se desarrollaron en los bordes continentales de plataforma calcárea en mares tropicales del océano Rheico durante el Paleozoico Tardío.

Palabras clave: Morfoespecies; Carbonífero; Océano Rheico

Abstract

Crinoids of the morphospecies *Baryschr anosus* Moore and Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore and Jeffords, *Floricyclus angustimargo* Moore and Jeffords, *Cyclocion distinctus* Moore and Jeffords, *Lamprosterigma erathense* Moore and Jeffords, and *Preptopremnum rugosum* Moore and Jeffords from Upper Mississippian (Chesterian) and Lower-Middle Pennsylvanian (Morrowano-Desmoinesian) strata are described from the Sierra Santa Teresa, Sonora. The distribution of these morphospecies allowed establishing paleobiogeographic correlations with other crinoids reported from the Carboniferous of northern Mexico in the cerros El Tule, Sierra Las Mesteñas, Sierra Agua Verde in Sonora. They are also correlated with regions of the United States of America such as Texas, Colorado, Illinois, Oklahoma and Kansas belonging to the North American Craton province. Associated with the crinoids, there is an abundant and diverse biota represented by algae, foraminifera-fusulinids, chaetetid-sponges, corals, bryozoans-phenestelids, brachiopods-productids and conodonts that developed on the continental edges of the calcareous shelf in tropical seas of the Rheic Ocean during the late Paleozoic.

Keywords: Morphospecies; Carboniferous; Rheic Ocean

Introducción

Las investigaciones sobre la paleontología sistemática de los invertebrados procedentes de la sierra Santa Teresa son escasas, únicamente Pérez-Ramos (2001) describió diversos ejemplares de fusulinidos del Pérmico. No obstante, existen reportes de los crinoideos del Carbonífero de diversas localidades paleozoicas de Sonora, como cerros El Tule (Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012), sierra Las Mesteñas (Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez y Vachard, 2005; Villanueva-Olea et al., 2016), sierra Agua Verde (Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez, Vachard, Gómez-Espinosa et al., 2005; Buitrón-Sánchez et al., 2006, 2008, 2015; Gómez-Espinosa et al., 2008; Stewart et al., 1997; Villanueva-Olea et al., 2019). Se presenta por primera vez la información sobre la sistemática y taxonomía de los crinoideos del Carbonífero de la sierra Santa Teresa. La información geológica de esta localidad también es escasa, la investigación más completa es la publicada por Peiffer-Rangin (1988), Stewart y Amaya-Martínez (1993) y Stewart et al. (1997).

El estado de Sonora se localiza en el noroeste de México, colinda al norte con EUA, al este con Chihuahua, al sur con Sinaloa y al oeste con Baja California. La sierra Santa Teresa se ubica a 20 km al sureste de la ciudad de Hermosillo, capital del estado, con coordenadas geográficas, al norte 32°29', al sur 26°18' de latitud norte; al este 108°25', al oeste 115°03' de longitud oeste (figs. 1, 2).

Marco geológico. La secuencia del Paleozoico de la sierra Santa Teresa descansa discordantemente sobre una sucesión mesozoica (Stewart y Amaya-Martínez, 1993; Stewart et al., 1997). Las rocas del Misisípico Superior se encuentran al este de la sierra Santa Teresa, las del Pensilvánico en el área este-central y parte del suroeste, y las rocas del Pérmico afloran, principalmente, en las áreas central y oeste de la sierra.

Stewart et al. (1997) midieron una secuencia estratigráfica en la sierra Santa Teresa estableciendo 7 unidades con un espesor total de más de 2,000 m y reportaron secuencias de calizas del Misisípico Superior al Pérmico Inferior depositadas en mares someros y profundos. Peiffer-Rangin (1988) midió más de 1,600 m en secciones estratigráficas del Paleozoico Superior compuestas, mayoritariamente, por calizas e informó sobre el contenido fósil conformado por algas, foraminíferos-fusulinidos, espículas de esponjas, corales, briozoarios-fenestélidos, braquiópodos, ostrácodos, crinoideos y conodontos. La edad que se obtuvo a partir de los fósiles corresponde al intervalo entre el Misisípico Superior (límite Serpukhoviano-Bashkiriano) y el Pérmico Inferior (Leonardiano).

Unidad 1: el espesor de la unidad se estima en 579 m, está compuesta por estratos delgados y laminados de calizas con textura mudstone con nódulos y lentes de pedernal, wackestone y packstone con placas articulares de crinoideos. El análisis de conodontos indica que la edad de la base de esta unidad es del Misisípico Tardío (Chesteriano) y los de la base del Pensilvánico Temprano (Morrowano). La presencia de briozoarios fenestélidos del género *Archimedes* confirma esta edad y la parte superior de la columna corresponde al Pensilvánico Medio. También contiene corales, braquiópodos y placas columnares de crinoideos. Unidad 2: se estima que la unidad tiene 176 m de espesor, la cima está compuesta por caliza con textura mudstone y, en menor proporción, wackestone. En algunas partes las calizas se encuentran recristalizadas y presentan lentes de pedernal. La edad varía del Pensilvánico Temprano al Medio (Morrowano temprano al Atokano Temprano). Contiene fósiles de corales, braquiópodos y placas columnares de crinoideos. Unidad 3: esta unidad cuenta con un espesor total de 230 m, consiste en calizas de texturas mudstone y wackestone.



Figura 1. Mapa de localización de la sierra Santa Teresa (modificado de Villanueva-Olea [2016]).

Algunas calizas están recristalizadas, presentan pedernal y algunos estratos de caliza limosa. La edad se obtuvo a partir de conodontos como del Pensilvánico Temprano-Medio (Morrowano-Atokano). Contiene placas columnares de crinoideos. Unidad 4: la unidad tiene un espesor de 261 m, está conformada por caliza con textura mudstone y wackestone con bioclastos. La edad para esta unidad es del Pensilvánico Medio (Atokano) a partir de fusulinidos (*Fusulinella clarki*, *Fusulinella searighti*?) y conodontos. Contiene fusulinidos, corales, placas articulares de crinoideos y conchas silicificadas no identificadas. Unidad 5: la unidad presenta un espesor aproximado de 164 m, está conformada por caliza mudstone con algunos lentes de pedernal y escasos estratos de caliza wackestone con placas articulares de crinoideos. El estudio de los conodontos y fusulinidos indican una edad del Pensilvánico Medio (del Atokano al Desmoinesiano). Unidad 6: el espesor de esta unidad es de 122 m, se conforma por una caliza bioclástica de textura packstone con placas columnares de crinoideos y fusulinidos. También contiene lentes y nódulos de pedernal con horizontes de caliza recristalizada. La edad determinada por los fusulinidos del Pérmico Temprano (Leonardiano). En la cima de esta unidad se encuentra la transición a la unidad 7 representada por limolitas. En esta zona se identificaron conodontos del Pérmico Temprano (Wolfcampiano Tardío). Unidad 7: se estima que su espesor



Figura 2. Vista panorámica de la sierra Santa Teresa.

es aproximadamente de 610 m, pero puede ser más extenso porque la cima no está expuesta en su totalidad. La unidad está compuesta por calizas limosa-arenosa, arenisca e intercalaciones de estratos delgados de lodolitas y areniscas limosa. En algunos estratos se presentan estructuras sedimentarias como rizaduras y laminación convoluta. El ambiente de depósito se ha caracterizado de agua profunda. En la unidad se identificaron facies de calcarenita masiva con *Nereites* y horizontes con placas columnares de

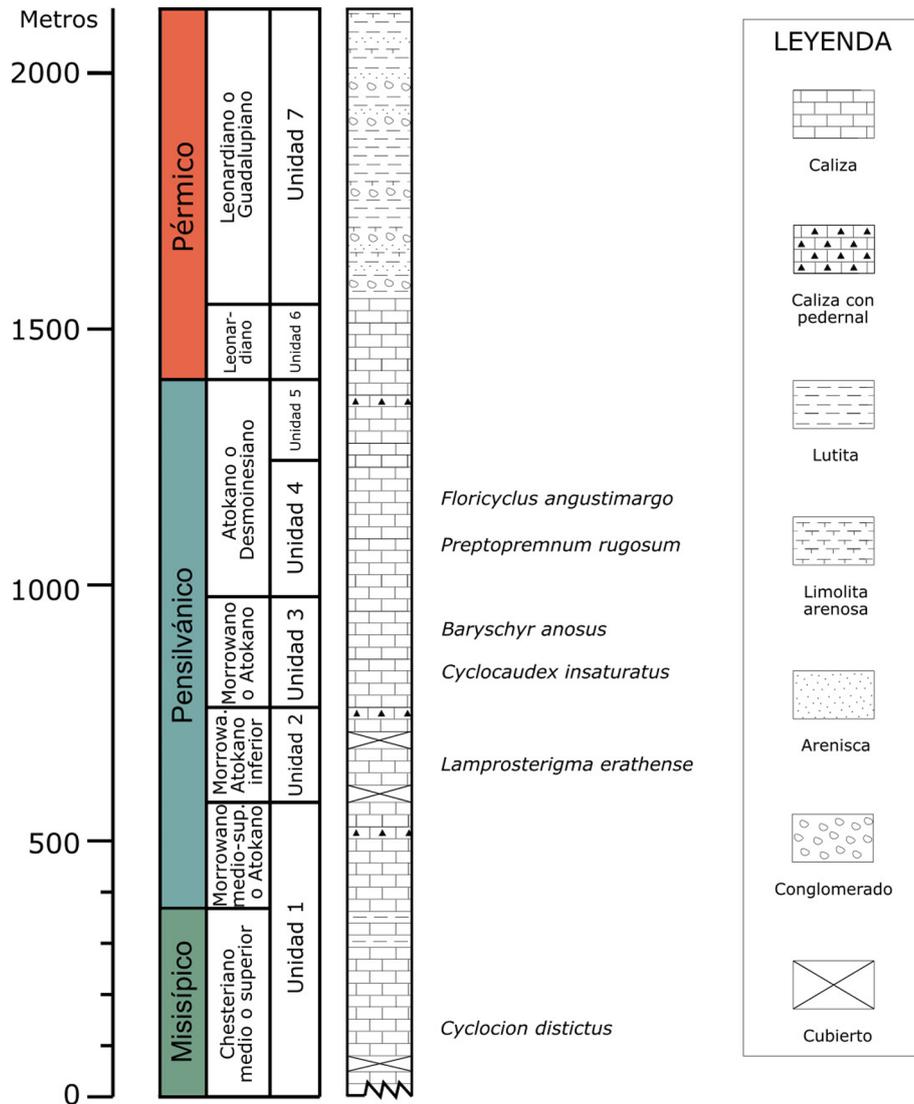


Figura 3. Columna estratigráfica de la sierra Santa Teresa. Las unidades 1-6 se desarrollaron en un ambiente marino somero, mientras que la unidad 7 corresponde a un ambiente marino profundo. Incluye las especies descritas de crinoideos del Carbonífero (modificada de Stewart et al. [1997]).

crinoideos y fusulinidos. La edad se ha establecido a partir de estudios de fusulinidos y se considera del Pérmico Temprano a Medio (Leonardiano-Guadalupiano).

Materiales y métodos

Las morfoespecies de crinoideos *Baryschyr anous* Moore y Jeffords, 1968; *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, 1968; *Floricyclus angustimargo* Moore y Jeffords, 1968; *Cyclocion distictus* Moore y Jeffords, 1968; *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, 1968

y *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968, proceden de las unidades 1-5 descritas por Stewart et al. (1997) para la sierra Santa Teresa (figs. 3, 4).

Paleontología sistemática. Los fósiles estudiados fueron recolectados en los afloramientos del Carbonífero de la sierra Santa Teresa y están depositados en la Colección de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora con los números de catálogo USONDG-240-256. La clasificación de los crinoideos se realizó basada en los trabajos de Moore y Jeffords (1968), Jeffords y Miller (1968).

Unidad cronoestratigráfica		Morfoespecies identificadas	Unidad (Stewart et al., 1997)				
			1	2	3	4	5
PENSILVÁNICO MEDIO	Desmoinesiano	<i>Floricyclus angustimargo</i> Moore y Jeffords, 1968					
		<i>Preptopremnum rugosum</i> Moore y Jeffords, 1968					
PENSILVÁNICO INFERIOR	Atokano	<i>Baryschyr anosus</i> Moore y Jeffords, 1968					
		<i>Cyclocaudex insaturatus</i> Moore y Jeffords, 1968					
	Morrowano	<i>Lamprosterigma erathense</i> Moore y Jeffords, 1968					
MISISÍPICO SUPERIOR	Chesteriano	<i>Cyclocion distictus</i> Moore y Jeffords, 1968					

Figura 4. Distribución de las especies identificadas de crinoideos del Misisípico y Pensilvánico de la sierra Santa Teresa.

Resultados

Phylum Echinodermata

Subphylum Crinozoa (Cámbrico-Reciente)

Clase Crinoidea (Cámbrico Medio-Reciente)

Familia Cyclomischidae Moore y Jeffords, 1968

Género *Baryschyr* Moore y Jeffords, 1968

Diagnosis. El género *Baryschyr* se caracteriza por la presencia del crenulario estrecho a mediano y las crénulas finas, el lumen es de tamaño medio a grande, variablemente quinquelobado a circular en su contorno.

Baryschyr anosus Moore y Jeffords, 1968

fig. 5A

Ejemplar: USONDG-240, diámetro de la faceta: 5 mm. *Baryschyr anosus* Moore y Jeffords, 1968, p. 64, lám. 14, figs. 6, 7; lám. 15, figs. 7-11; lám. 16, figs. 1-11; Buitrón-Sánchez et al., 1987, p. 130, fig. 1; Esquivel-Macías et al., 2000, p. 1188; Buitrón-Sánchez et al., 2006, p. 16; Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012; Garcés-Salazar et al., 2012; Buitrón-Sánchez et al., 2017, p. 27-29, fig. 3b, c.

Descripción. La placa articular es de contorno circular con el lumen grande que varía de forma ligeramente quinquelobado a circular, los lóbulos son anchos de contorno redondo, no presenta perilumen. La areola es

marcadamente estrecha, el crenulario es ancho con crénulas extremadamente finas.

Comentarios taxonómicos. *Baryschyr anosus* (Moore y Jeffords, 1968, p. 64, lám. 14, figs. 6, 7; lám. 15, figs. 7-11; lám. 16, figs. 1-11) fue descrito del Miembro Caliza Pumpkin Creek de la Formación Dornick Hills del Pensilvánico Medio (Atokano) de la región sur de Oklahoma, EUA. El único ejemplar procedente del Pensilvánico de la sierra Santa Teresa se encuentra mal conservado; sin embargo, las características del lumen corresponden a la descripción de Moore y Jeffords (1968).

En México, la especie ha sido citada de la Formación Del Monte (Pensilvánico Medio) de Hidalgo (Buitrón-Sánchez et al., 1987, p. 130, fig. 1; Buitrón-Sánchez et al., 2006, p. 16; Buitrón-Sánchez et al., 2017, p. 27-29, figs. 3b, c; Esquivel-Macías et al., 2000, p. 1188). También ha sido mencionada para el Pensilvánico Medio (Atokano superior) de los cerros El Tule en Sonora y la especie ha sido descrita como parte de los fósiles del protolito sedimentario de un bloque metamórfico del Pensilvánico Superior de la Formación Gran Tesoro en Durango (Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012; Eguiluz-de Antuñano et al., 2014; Garcés-Salazar et al., 2012). *Cyclocaudex* Moore y Jeffords, 1968

Diagnosis. *Cyclocaudex* presenta el crenulario muy ancho, las crénulas son estrechas y los cúlmenes más anchos que estas. La areola está reducida, el lumen es pequeño de forma subpentagonal a ligeramente quinquelobado.

Cyclocaudex insaturatus Moore y Jeffords, 1968 fig. 5B-D

Ejemplares. USONDG-241, diámetro de la faceta: 13 mm; USONDG-242, diámetro de la faceta: 19 mm; USONDG-243, diámetro de la faceta: 18 mm.

Cyclocaudex insaturatus Moore y Jeffords 1968, p. 66, lám. 17, fig. 11a, b; Buitrón-Sánchez et al., 1987, p. 439, 440, fig., 4h, i; Buitrón-Sánchez et al., 1987; Villanueva-Olea et al., 2011, p. 439, fig. 4h, i; Torres-Martínez et al., 2020, p. 6, fig. 3V; Villanueva-Olea et al., 2021, p. 6, 7., fig. 2.6, 2.7.

Descripción. La placa articular es de contorno circular, el crenulario es amplio y ocupa la mayor parte de la superficie articular, los cúlmenes son anchos, las crenelas estrechas y algunas tienen en el extremo bifurcaciones. La areola es estrecha y el lumen es de contorno circular, no presenta perilumen.

Comentarios taxonómicos. *Cyclocaudex insaturatus* (Moore y Jeffords, 1968, p. 66, lám. 17, fig. 11a, b), fue descrita de la Formación Cabaniss del Grupo Cherokee del Pensilvánico Medio (Desmoinesiano) en la región sureste de Kansas, EUA. *Cyclocaudex insaturatus* ha sido citada del Pensilvánico de la Formación Del Monte en Calnali, Hidalgo (Buitrón-Sánchez et al., 1987, p. 439, 440, fig., 4h, i; 2006); del Pensilvánico de la sierra Las Mesteñas en Sonora (Villanueva-Olea y Buitrón-Sánchez, 2013), para la Formación La Joya del Pensilvánico Medio (Atokano) de la sierra Agua Verde en Sonora (Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007; Buitrón-Sánchez, Laguarda-Figueras et al., 2012; Gómez-Espinosa et al., 2006), del Pensilvánico de la Formación Ixtaltepec en el estado de Oaxaca (Buitrón-Sánchez et al., 2000) y también para el Misisípico Medio (Merameciano) de la Formación Santiago en Nochixtlán, Oaxaca (Villanueva-Olea et al., 2011). La especie se ha reportado para el Pérmico inferior (Asseliano-Sakmario) de la Formación Gruperá en Chiapas (Torres-Martínez et al., 2020) y del Pérmico Medio (Wordiano-Capitaniano) de la Formación Las Delicias, Coahuila (Villanueva-Olea et al., 2021). También se menciona como uno de los crinoideos que forman parte de las encrinidas del Pensilvánico Medio (Moscoviano) de sierra Agua Verde, sierra Las Mesteñas y los cerros El Tule en Sonora y del Pensilvánico en Olinalá, Guerrero (Buitrón-Sánchez et al., 2006). Esta morfoespecie se ha citado de olistolitos de una secuencia siliciclástica metamorfoseada del Pensilvánico Superior de la Formación Gran Tesoro en Durango (Eguiluz-de Antuñano et al., 2014).

Familia Floricyclidae Moore y Jeffords, 1968

Género *Floricyclus* Moore y Jeffords, 1968

Diagnosis. La placa articular en el género *Floricyclus* presenta el lumen amplio, pentalobado, rodeado por un perilumen y areola estrecha. El crenulario abarca la tercera parte de la placa y los cúlmenes y crénulas son anchos.

Floricyclus angustimargo Moore y Jeffords, 1968 fig. 5E, F

Ejemplares. USONDG-244, diámetro de la faceta: 10 mm; USONDG-245, diámetro de la faceta: 9 mm; USONDG-246, diámetro de la faceta: 7 mm; USONDG-247, diámetro de la faceta: 12 mm.

Floricyclus angustimargo Moore y Jeffords, 1968, p. 77, lám. 24, figs. 6, 7; Webster y Houck, 1998, p. 1069, fig. 5.13, 5.14; Esquivel-Macías et al., 2000, p. 1188; Villanueva-Olea et al., 2016, p. 5, 6, fig. 7.

Descripción. La placa articular tiene forma circular con lumen grande y pentalobado, los lóbulos son anchos y de contorno oval, existe perilumen estrecho. La areola representa la mitad del tamaño del lumen. El crenulario es angosto con las crénulas y cúlmenes gruesos, rectos, separados por espacios pequeños.

Comentarios taxonómicos. *Floricyclus angustimargo* ha sido descrita para la Formación Minturn del Pensilvánico Medio (Desmoinesiano), Colorado, EUA (Moore y Jeffords, 1968, p. 77, lám. 24, figs. 6, 7; Webster y Houck, 1998, p. 1069, fig. 5.13, 5.14). En México es citada para el Pensilvánico Superior de San Salvador Patlanoaya en el estado de Puebla (Esquivel-Macías et al., 2000) y para estratos del Pensilvánico de sierra Las Mesteñas en Sonora (Villanueva-Olea et al., 2016).

La especie *Floricyclus angustimargo* se diferencia de *Lamprosterigma erathense* (Moore y Jeffords, 1968, p. 79, lám. 25, fig. 15a, b) citada de la Lutita Mingus, Grupo Strawn del Pensilvánico Medio (Desmoinesiano) de Texas, EUA, en que el lumen muestra lóbulos anchos y cerrados en su inicio presencia de crénulas y cúlmenes gruesos y cortos en el crenulario.

Género *Cyclocion* Moore y Jeffords, 1968

Diagnosis. La placa articular presenta el lumen es de forma estelar con areola ancha y lisa, el crenulario es muy estrecho.

Cyclocion distictus Moore y Jeffords, 1968 fig. 5G, H

Ejemplar. USONDG-248, diámetro de la faceta: 8 mm. *Cyclocion distictus* Moore y Jeffords, 1968, p. 78., lám. 24, figs. 15, 16, lám. 25, figs. 1-7; Villanueva-Olea et al., 2011, p. 441, 442, fig. 41-n.

Descripción. La placa articular es de contorno circular con el lumen grande y de forma estelar. Los lóbulos son estrechos, rectos y terminan en punta, no presenta perilumen, la areola es ancha. El crenulario es

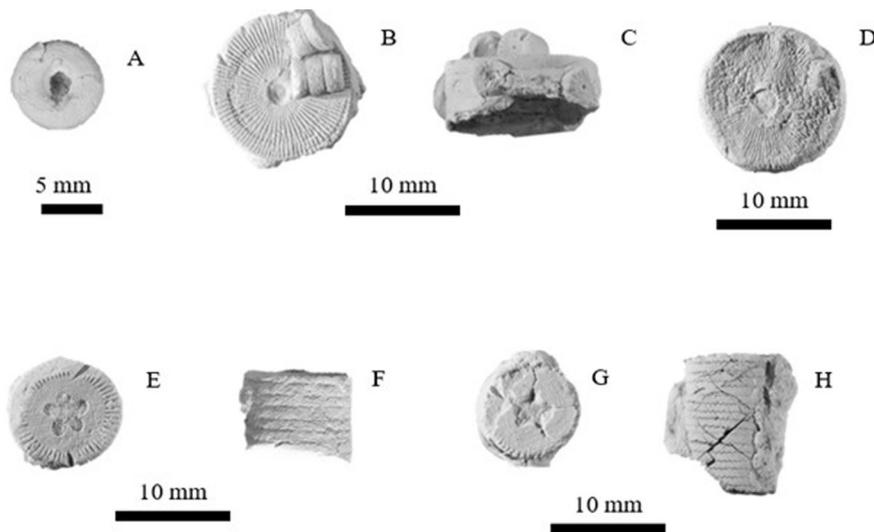


Figura 5. Crinoideos de la sierra Santa Teresa, Sonora, México. USONDG-240 vista de la faceta (A) de *Baryschr anosus* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-241 Vista de la faceta con placas cirrales (B) y del noditaxis con marcas cirrales (C) de *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-242 vista de la faceta (D) de *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-244 vista de la faceta (E) y del noditaxis (F) de *Floricyclus angustimargo* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-248 vista de la faceta (G) y noditaxis con fracturas (H) de *Cyclocion distictus* Moore y Jeffords, 1968.

muy estrecho y ocupa la quinta parte de la superficie articular, las crénulas y los cúlmenes son gruesos, rectos y paralelos.

Comentarios taxonómicos. *Cyclocion distictus* (Moore y Jeffords, 1968, p. 78., lám. 24, figs. 15, 16, lám. 25, figs. 1-7) fue descrita de la Formación Paint Creek del Misisípico Superior (Chesteriano), Illinois, EUA. En México se ha citado para el Pensilvánico (Morrowano-Desmoinesiano) de la Formación Ixtaltepec en Oaxaca (Villanueva-Olea et al., 2011).

Género *Lamprosterigma* Moore y Jeffords, 1968

Diagnosis. La placa articular presenta el crenulario amplio con cúlmenes gruesos y crénulas ligeramente más estrechas que los cúlmenes con el borde interno notablemente marcado en la areola. El lumen es pentalobado y presenta el perilumen estrecho.

Lamprosterigma erathense Moore y Jeffords, 1968 fig. 6A-F

Ejemplares. USONDG-249, diámetro de la faceta: 10 mm; USONDG-250, diámetro de la faceta: 9 mm; USONDG-251, diámetro de la faceta: 14 mm; USONDG-252, diámetro de la faceta: 9 mm; USONDG-253, diámetro de la faceta: 14 mm; USONDG-254, diámetro de la faceta: 12 mm.

Lamprosterigma erathense Moore y Jeffords, 1968, p. 79, lám. 25, fig. 15; Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007; Buitrón-Sánchez et al., 2008; Buitrón-

Sánchez, Vachard et al., 2012; Garcés-Salazar et al., 2012; Villanueva-Olea y Buitrón-Sánchez, 2013; Torres-Martínez et al., 2020, p. 7, fig. 4c.

Descripción. La placa tiene la superficie articular con el contorno circular, el crenulario es proporcionalmente más ancho que la areola y el lumen, representa aproximadamente la mitad de la superficie de la placa. Las crénulas y cúlmenes son rectos y paralelos sin bifurcaciones terminales; el lumen es grande y pentalobado, los lóbulos son anchos de contorno redondeado y amplios en su inicio, existe perilumen poco aparente y la areola es estrecha.

Comentarios taxonómicos. La especie *Lamprosterigma erathense* fue descrita por Moore y Jeffords (1968, p. 79, lám. 25, fig. 15) procedente de afloramientos del Grupo Strawn (Lutita Mingus) del Pensilvánico Medio (Desmoinesiano) de Texas, EUA y por Buitrón-Sánchez et al. (2008, p. 6) de afloramientos del Pensilvánico de la sierra Agua Verde, Sonora. También se ha reportado para el Atokano de la Formación La Joya en sierra Agua Verde, Sonora (Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007) y para el Pensilvánico Medio (Atokano) de los cerros El Tule, Sonora (Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012; Garcés-Salazar et al., 2012). Se ha descrito del Pensilvánico de sierra de Las Mesteñas (Villanueva-Olea y Buitrón-Sánchez, 2013) y de la Formación Grupera del Pérmico (Asseliano-Sakmario) en Chiapas (Torres-Martínez et al., 2020).

Lamprosterigma erathense se diferencia de *Lamprosterigma mirificum* (Moore y Jeffords, 1968, p. 79, lám. 25, fig. 10a, b), porque el crenulario tiene cúlmenes bifurcados en el extremo (Buitrón-Sánchez, 1977, p. 149, fig. 2C, D, G).

Familia Leptocarphiidea Moore y Jeffords, 1968
Género *Preptopremnum* Moore y Jeffords, 1968

Diagnosis. Placa articular de contorno circular con el crenulario ligeramente estrecho con crénulas conspicuas, areola amplia ligeramente hundida con gránulos gruesos, lumen amplio con perilumen estrecho.

Preptopremnum rugosum Moore y Jeffords, 1968
fig. 6G, H

Ejemplares. USONDG-255, diámetro de la faceta: 5 mm; USONDG-256, diámetro de la faceta: 6 mm.

Preptopremnum rugosum Moore y Jeffords, 1968, p. 81, lám. 27, figs. 1-9; Jeffords y Miller, 1968, p. 12, lám. 2, figs. 1-10; Arellano-Gil et al., 1998; Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez, Vachard, Gómez-Espinosa et al., 2005; Buitrón-Sánchez et al., 2006; Gómez-Espinosa et al., 2006; Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007, p. 349, fig. 3f, g; Buitrón-Sánchez, Gómez-Espinosa et al., 2007; Villanueva-Olea et al., 2021, p. 8-10, figs. 2.20, 3.1, 3.2.

Descripción. La placa articular presenta el contorno circular, la superficie tiene el crenulario ligeramente estrecho con cúlmenes más gruesos que las crénulas, la areola es amplia y ocupa la mitad del diámetro de la placa, está ligeramente hundida y tiene gránulos gruesos, el lumen es amplio y presenta perilumen estrecho.

Comentarios taxonómicos. *Preptopremnum rugosum* fue descrita por Moore y Jeffords (1968, p. 81, lám. 27, figs. 1-9) de la caliza Chaffin Formación Thrifty y de los miembros Caliza Gunsight y Lutita Wayland de la Formación Graham, grupo Cisco del Pensilvánico Superior (Virgiliano) de Texas, EUA.

En México, se ha identificado para el Pensilvánico Inferior (Atokano superior) de los cerros El Tule, Sonora (Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012); del Pensilvánico Inferior (Atokano) como componente de una encrinita regional de la Formación La Joya en sierra Agua Verde (Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez, Vachard, Gómez-Espinosa et al., 2005; Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007, p. 349, fig. 3f, g; Gómez-Espinosa et al., 2006); del Pensilvánico Superior (Virgiliano) de Pemuxco en Hidalgo (Buitrón-Sánchez et al., 2006) y del Pérmico inferior (Wolfcampiano superior-Leonardiano inferior) de la Formación Guacamaya (Tuzancoa) de esta región (Arellano-Gil et al., 1998). Se ha descrito para el Pérmico Medio (Wordiano) de la Formación Monos en Caborca, Sonora (Buitrón-Sánchez, Gómez-Espinosa et al., 2007) y del Pérmico Medio (Wordiano-Capitaniano) de la Formación Las Delicias en Coahuila (Villanueva-Olea

et al., 2021). *Preptopremnum rugosum* fue hallado en un protolito sedimentario del Pensilvánico Medio de un bloque metamórfico de la Formación Gran Tesoro en Durango (Eguiluz-de Antuñano et al., 2014).

Consideraciones paleoecológicas

La asociación biótica del Carbonífero de la sierra Santa Teresa está conformada por algas calcáreas, foraminíferos texturados (*Glomospira*, *Paleotextularia*), fusulinidos (*Archaeidiscus*, *Climacamina*, *Cuniculinella*, *Dunbarinella*, *Endothyra*, *Fusulinella*, *Millerella*, *Parafusulina*, *Schwagerina*, *Staffella*), esponjas arrecifales (*Chaetetes*), corales solitarios (*Lophophyllidium*), briozoarios fenestélidos (*Archimedes*), braquiópodos productidos (*Antiquatonia*), amonoideos, ostrácodos, crinoideos (*Baryschyr anosus* Moore y Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, *Floricyclus angustimargo* Moore y Jeffords, *Cyclocion distinctus* Moore y Jeffords, *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords) y conodontos (Peiffer-Rangin, 1988; Stewart y Amaya-Martínez, 1993; Stewart et al., 1997). Esta comunidad constituye una asociación compleja de organismos típica de mares someros y su estudio ha contribuido al conocimiento de la paleoecología de la región.

La biota se desarrolló en bordes de plataforma de baja energía del Océano Rheico durante el Carbonífero (Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012; Gómez-Espinosa et al., 2008). En general, estos ambientes estuvieron dominados por crinoideos los cuales son de la fauna más abundante y diversa del Paleozoico superior en México, son indicativos de mares someros, exclusivamente de ambientes de poca oxigenación y dependientes de corrientes de agua para su nutrición (Ausich et al., 2003).

Los crinoideos son organismos sésiles que formaron comunidades bentónicas, en el Paleozoico se desarrollaron en condiciones ecológicas y ambientales muy distintas a las que existen actualmente. Las columnas que presentaban estos organismos, formadas por placas, son consideradas como un factor que permitió su coexistencia con otros organismos en un mismo hábitat (Ausich et al., 2003). Los crinoideos se fijaban al sustrato a través de la raíz localizada en la base de la columna, el sistema de pínulas de los brazos sobre la corona les permitió una mejor captura de partículas alimenticias. Si la longitud de la columna media menos de 15 cm, competían el alimento con otros organismos epibentónicos como algas, corales, briozoarios, braquiópodos, moluscos, entre otros. Cuando la longitud de la columna era mayor a 15 cm, la competencia se reducía a otros crinoideos de igual o mayor dimensión (Ausich, 1980; Kammer y Ausich, 2006) (fig. 7).

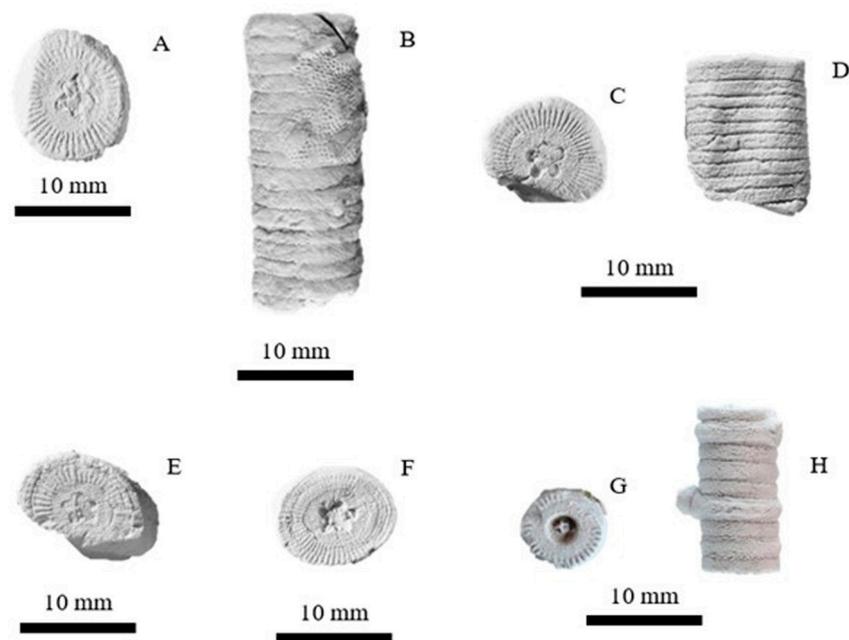


Figura 6. Crinoideos de la sierra Santa Teresa, Sonora, México. USONDG-249 vista de la faceta (A) de *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-250 vista del noditaxis con un briozooario adherido (B) de *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-251 vista de la faceta (C) y del noditaxis ligeramente deformado por compresión mecánica (D) de *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-252 vista de la faceta (E) de *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-253 vista de la faceta (F) de *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, 1968. USONDG-255 vista de la faceta (G) y del noditaxis (H) de *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968.

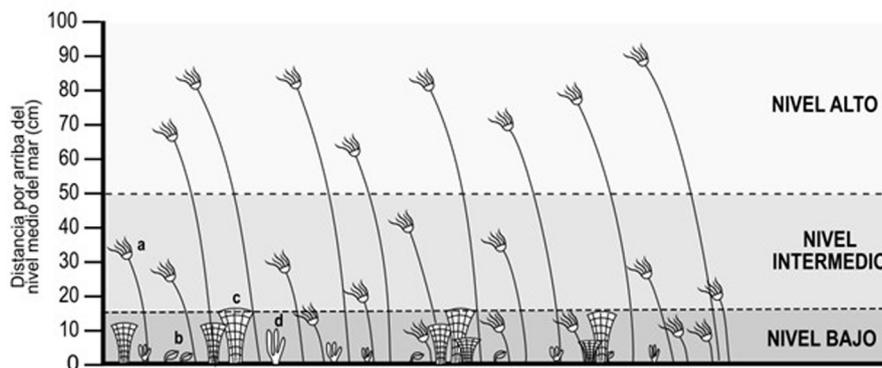


Figura 7. Niveles bajo, intermedio y superior para comunidades de crinoideos y otros invertebrados bentónicos en el Misisípico Temprano. El límite del nivel bajo abarca hasta los 15 cm, en estas zonas habitaron: crinoideos, algas, briozooarios fenestélidos y braquiópodos. La abundancia de organismos bentónicos, en este nivel se tiene mayor nivel de competencia (modificada de Ausich [1980]).

Especies de crinoideos del Carbonífero de la Sierra Santa Teresa	ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA					MÉXICO SONORA			
	Oklahoma	Kansas	Colorado	Illinois	Texas	Cerros El Tule	Sierra Las Mesteñas	Formación La Joya Sierra Agua Verde	Formación Monos Caborca
<i>Baryschr anosus</i>	Pensilv Medio					Atok sup			
<i>Cyclocaudex insaturatus</i>		Atok				Atok	Pensilv	Atok	
<i>Floricyclus angustimargo</i>			Desm				Pensilv		
<i>Cyclocion distictus</i>				Ches					
<i>Lamprosterigma erathense</i>					Desm	Desm Atok sup	Pensilv	Atok	
<i>Preptopremnum rugosum</i>					Virg	Atok sup	Pensilv	Atok	Word

Figura 8. Relación de las especies de crinoideos mencionadas para EUA y Sonora (México). Ches = Chesteriano (Misisípico Medio-Superior), Atok = Atokano (Pensilvánico Inferior-Medio), Atok sup = Atokano Superior (Pensilvánico Medio), Desm = Desmoinesiano (Pensilvánico Medio-Superior), Virg = Virgiliano (Pensilvánico Medio-Superior), Pensilv = Pensilvánico, Pensilv Medio = Pensilvánico Medio, Word = Wordiano (Pérmico Medio).

Con respecto a los fósiles de crinoideos recolectados en la sierra Santa Teresa, consistieron principalmente en placas columnares desarticuladas con algunos fragmentos de la columna (noditaxis). El ambiente de depósito fue de una plataforma carbonatada con agua poco profunda, que permitió la desarticulación parcial de los organismos.

Consideraciones paleogeográficas

Los crinoideos identificados de la sierra Santa Teresa presentan afinidad con los de otras localidades de México y del mundo. En particular, para el noroeste de México en cerros El Tule, sierras Las Mesteñas y sierra Agua Verde, se han descrito asociaciones bióticas similares a las de este trabajo (Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez, Vachard, Gómez-Espinosa et al., 2005; Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007; Buitrón-Sánchez, Laguarda-Figueras et al., 2012; Buitrón-Sánchez, Vachard et al., 2012; Buitrón-Sánchez et al., 2015; Gómez-Espinosa et al., 2008; Villanueva-Olea et al., 2016).

La asociación de crinoideos del Carbonífero de México tiene también afinidades con los descritos de los EUA en Oklahoma, Kansas, Illinois, Colorado y Texas que han sido mencionados previamente (Buitrón-Sánchez et al., 1987, 1998; Buitrón-Sánchez, Almazán-Vázquez et al., 2007; Buitrón-Sánchez, Gómez-Espinosa et al., 2007, 2008, 2015, 2017, 2022; Esquivel-Macías et al., 2000, 2004; Villanueva-Olea et al., 2016) (figs. 8, 9).

Esta distribución puede explicarse porque el océano Rheico fue un enlace entre los océanos Pantalásico y Paleotethys hace 300 Ma, lo cual permitió una amplia distribución de la fauna marina a través de larvas planctónicas en los mares tropicales someros del Carbonífero en México con desarrollo de algas incrustantes y filoides (*Eugonophyllum*, *Kamaena* y *Zidella*), fusulínidos (*Triticites*, *Fusulinella*), quetétidos, corales (*Lophophyllidium*, *Neozaphrentis*, *Caninophyllum*, *Cyathaxinia*, *Lithostrotionella*), fenestélidos y braquiópodos que compartían distribución en el mar de Tethys, típica de la región mid-continental americana (Buitrón-Sánchez et al., 2008) (fig. 10).

Discusión

En este trabajo se da a conocer la existencia de crinoideos de las morfoespecies *Baryschr anosus* Moore y Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, *Floricyclus angustimargo* Moore y Jeffords, *Cyclocion distictus* Moore y Jeffords, *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords contenidos en la secuencia estratigráfica del Misisípico Superior (Chesteriano) al Pensilvánico Medio (Desmoinesiano) de la sierra Santa Teresa, Sonora.

Durante el Carbonífero, la sierra Santa Teresa formaba parte de una plataforma carbonatada de mares

Especies de crinoideos del Carbonífero de la Sierra Santa Teresa	MÉXICO								
	COAH.	DGO.	HIDALGO		PUE.	GUERRERO	OAX.	CHIS.	
	Formación Las Delicias	Formación Gran Tesoro	Formación Del Monte	Formación Guacamaya (Tuzancoa) Pemuxco	San Salvador Paulanoaya	Formación Olnalá	Formación Santiago	Formación Ixaltepec	Formación Grupera
<i>Baryschr anous</i>		Pensilv Medio	Pensilv Medio	Leonar					
<i>Cyclocaudex insaturatus</i>	Word-Capit	Pensilv Medio	Atok	Pensilv			Meram	Atok	Assel-Sakm
<i>Floricyclus angustumargo</i>					Pensilv Sup				
<i>Cyclocion distictus</i>							Morrow-Desm		
<i>Lamprosterigma erathense</i>									Assel-Sakm
<i>Preptopremnum rugosum</i>	Word-Capit			Virg Wolf sup-Leonar inf	Pensilv Sup	Pérm med			

Figura 9. Relación de las especies de crinoideos mencionadas para algunos estados de México. Meram = Merameciano (Misisípico Medio), Ches = Chesteriano (Misisípico Medio-Superior), Atok = Atokano (Pensilvánico Inferior-Medio), Morrow-Desm = Morrowano-Desmoinesiano (Pensilvánico Inferior-Superior), Virg = Virgiliano (Pensilvánico Medio-Superior), Pensilv = Pensilvánico, Pensilv Medio = Pensilvánico Medio, Pensilv Sup = Pensilvánico Superior, Assel-Sakm = Asseliano-Sakmario (Pérmico inferior), Wolf sup-Leonar inf = Wolfcampiano superior-Leonardiano inferior (Pérmico inferior), Leonar = Leonardiano (Pérmico inferior), Word-Capit = Wordiano-Capitaniano (Pérmico Medio), Pérm med = Pérmico Medio.

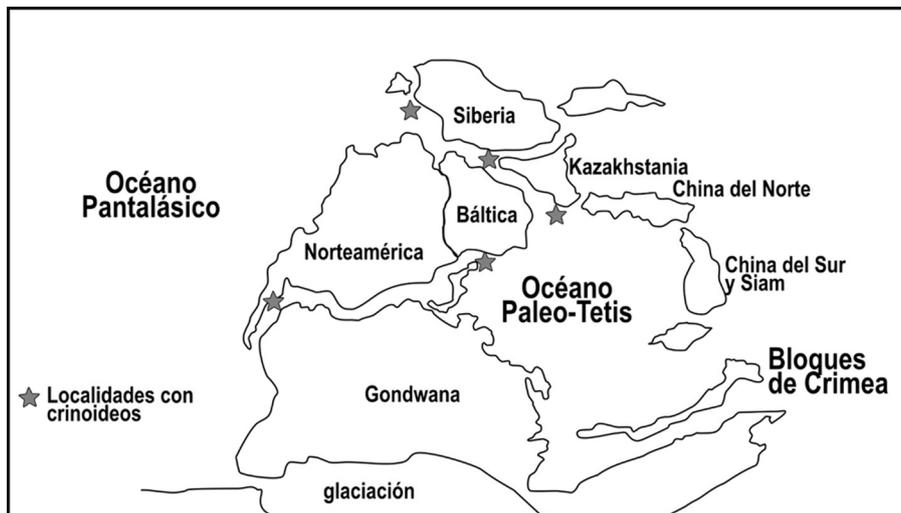


Figura 10. Mapa paleogeográfico del Carbonífero (300 Ma.) con localidades de crinoideos (modificado de Buitrón-Sánchez et al. [2008]).

tropicales y someros ubicada en el borde sureste del Cratón Norteamericano. Además, eran escasos los bancos arrecifales y algunas comunidades de esponjas coralinas de

pocas dimensiones desarrollaron bioconstrucciones. Las condiciones climáticas y la libre circulación de corrientes marinas favorecieron el desarrollo de crinoideos, pero no

permitieron la preservación de las tecas o de ejemplares completos y únicamente se conservaron las placas articulares y fragmentos (noditaxis) de columnas. Los crinoideos son uno de los invertebrados más representativos de la sierra Santa Teresa y regiones cercanas.

El registro de este periodo se encuentra en secuencias estratigráficas conformadas esencialmente por caliza con textura mudstone, wackestone y packstone con abundantes bandas de pedernal. Los fósiles de los organismos mencionados que se encontraban en estas rocas confirman un ambiente marino somero y han permitido obtener edades relativas.

El estudio de las placas columnares de los crinoideos ha permitido establecer correlaciones directas con otros afloramientos del norte de México en el estado de Sonora (cerros El Tule, sierra Las Mesteñas, sierra Agua Verde). También se reconoce similitud con faunas estudiadas con otras regiones de Sonora (Formación Monos), los estados de Coahuila (Formación Las Delicias), Hidalgo (Formación Del Monte, Formación Guacamaya), Puebla (San Salvador Patlanoaya), Guerrero (Formación Olinalá, Formación Santiago), Oaxaca (Formación Ixtaltepec) y Chiapas (Formación Grupera). Además, se tienen registros análogos en regiones de EUA (Colorado, Illinois, Kansas, Oklahoma y Texas).

Los crinoideo de la sierra Santa Teresa permitirán conocer con mayor detalle las secuencias marinas del Paleozoico que afloran en la región, con el fin de contribuir al conocimiento de las provincias faunísticas marinas del Carbonífero que complementarán y confirmarán la información paleoecológica y paleogeográfica.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto DGAPA-PAPIIT Núm. IN101522. Los autores agradecen a Francisco Alonso Solís Marín del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, la revisión crítica del manuscrito y sus acertados comentarios, a José Alfredo Ochoa Granillo del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, por su asesoría en el trabajo de campo. Asimismo, se agradece a Diego Andrés Beltrán López por su apoyo en la toma de las fotografías.

Referencias

Arellano-Gil, J., Vachard, D., Yussim, S. y Flores de Dios-González, A. (1998). Aspectos estratigráficos, estructurales y paleogeográficos del Pérmico Inferior al Jurásico Inferior en Pemuxco, Estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15, 9–13.

- Ausich, W. I. (1980). A model for niche differentiation in Lower Mississippian crinoid communities. *Journal of Paleontology*, 54, 273–288.
- Ausich, W. I., Donovan, S. K., Hess, H. y Simms, M. J. (2003). Fossil occurrence. En H. Hess, W. I. Ausich, C. E. Brett y M. J. Simms (Eds.), *Fossil crinoids* (pp. 31–40), Cambridge: Cambridge University Press.
- Buitrón-Sánchez, B. E. (1977). Invertebrados (Crinoidea y Bivalvia) del Pensilvánico de Chiapas. *Revista del Instituto de Geología*, 1, 144–150.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E. y Vachard, D. (2005). Los crinoideos de los Cerros Las Mesteñas en la región nororiental del estado de Sonora y sus implicaciones paleogeográficas. *Geos*, 25, 151.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E. y Vachard, D. (2007a). Middle Permian crinoids (Echinodermata, Crinoidea) from Cerros Los Monos, Caborca, Sonora, Mexico and paleogeographic considerations. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 240, 344–353.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E., Vachard, D. y Gómez-Espinosa, C. (2006). Carboniferous crinoids from México and their biogeographic significance. *Kölner Forum für Geologie und Paläontologie Carboniferous Conference Cologne 2006. Program and abstracts*, del 4 al 10 de septiembre, 2006. Colonia, Alemania.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E., Vachard, D., Gómez-Espinosa, C. y Mendoza-Madera, M. C. (2005). Crinoideos pensilvánicos asociados a facies “arrecifales” de Chaetétidos en Sierra Agua Verde, Estado de Sonora, México. *Boletín Informativo Unión Geofísica Mexicana A.C.*, II, 25, 1–338.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Arellano-Gil, J. y Flores de Dios-González, A. (1998). Crinoideos del Pensilvánico del Cañón de la Peregrina, Estado de Tamaulipas, México. *Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Geos, Unión Geofísica Mexicana A.C.*, del 21 al 25 de septiembre, Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Chacón-Wences, O., Vachard, D., Palafox-Reyes, J. J., Jiménez-López, J. C. y Sour-Tovar, F. (2015). Pennsylvanian biota of the Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico: Biostratigraphic and paleogeographic considerations. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 521–527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb2015.04.006>
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., Monreal, R. y Cuadros-Mendoza, I. M. (2022). Diversity of Crinozoa (Echinodermata: Eocrinoidea, Blastoidea, Crinoidea) from the Paleozoic of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 39, 43–53. <https://doi.org/10.22201/cgo.20072902e.2022.1>
- Buitrón-Sánchez, B. E., Flores de Dios-González, A. y Vachard, D. (2000). Nuevos hallazgos de invertebrados paleozoicos (Scyphozoa-Conulata Archaeogastropoda-Trocholina y Echinodermata-Crinoidea) en la región de Nochixtlán-Ixtaltepec, Oaxaca. *Geos*, 20, segunda época, 20, 1–298.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Gómez-Espinosa, C., Almazán-Vázquez, E. y Vachard, D. (2007b). A late Atokan regional

- encrinite (early-late Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Sierra Agua Verde, Sonora State, NW Mexico. En J. J., Álvaro, M., Aretz, F., Boulvain, A., Munnecke, D. Vachard y E. Vennin (Eds.), *Paleozoic reefs and bioaccumulations: climatic and evolutionary controls. Geological Society Special Publications: Geological Society, London, Special Publication, 275*, 201–209.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Gómez-Espinosa, C., Almazán-Vázquez, E., Vachard, D., Laguarda-Figueras, A. y Solís-Marín, F. A. (2008). A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico. *Revista de Biología Tropical, 56*, 1–12.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Laguarda-Figueras, A. y Solís-Marín, F. A. (2012). Pennsylvanian crinoid ossicles from central región of Sonora, NW Mexico. *14th International Echinoderm Conference, Brussels, Belgium*. Agosto 20-24, 2012.
- Buitrón-Sánchez, B. E., López-Lara, O., Vachard, D., Hernández-Barroso, S. (2017). Algunos crinoides (Echinodermata-Crinoidea) del Pérmico de la región de Pemuxco, Hidalgo. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 69*, 21–34.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Patiño-Ruiz, J. y Moreno-Cano, A. (1987). Crinoides del Paleozoico tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, 1*, 125–136.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E. y Palafox, J. J. (2012). Una secuencia cratónica del Carbonífero al Pérmico inferior expuesta en los cerros El Tule, noreste de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29*, 39–62.
- Eguiluz-de Antuñano, S., Aranda-García, M. y Buitrón-Sánchez, B. E. (2014). Las formaciones Gran Tesoro y Nazas: evolución de las secuencias Triásico Superior-Jurásico Inferior en México y su significado tectogenético. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 66*, 507–539.
- Esquivel-Macias, C., Ausich, W. I., Buitrón-Sánchez, B. E. y Flores de Dios-González, A. (2000). Pennsylvanian and Mississippian pluricolumnal assemblages (Class Crinoidea) from Southern Mexico and new occurrence of a column with a tetralobate lumen. *Journal of Paleontology, 74*, 1187–1190.
- Esquivel-Macias, C., Solís-Marín, F. A. y 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.
- Garcés-Salazar, J. L., Buitrón-Sánchez, B. E., Vachard, D. y Clausen, S. (2012). Los crinoides pensilvánicos de los Cerros El Tule, Sonora, NW México Consideraciones Paleogeográficas. *Simpósio Geología de la Sutura Laurentia-Gondwana en Chihuahua*. Libro guía de excursiones, resúmenes y programa. Universidad Autónoma de Chihuahua,
- Gómez-Espinosa, C., Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E. y Vachard, D. (2006). Pennsylvanian lithofacies, biofacies and microfacies of the Sierra Agua Verde región, Sonora, México. *Kölner Forum für Geologie und Paläontologie Carboniferous Conference Cologne Program and Abstracts*, del 4 al 10 de septiembre, 2006, Colonia, Alemania.
- Gómez-Espinosa, C., Vachard, D., Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E. y Mendoza-Madera, C. (2008). Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (Northwestern, Mexico) and their stratigraphic and paleogeographic implications. *Contest Rendus Palevol, 7*, 259–268.
- Jeffords, M. y Miller, T. H. (1968). Ontogenetic development in Late Pennsylvanian crinoids columnals and pluricolumnal. *University of Kansas, Paleontological Contribution, Echinodermata, 10*, 1–14.
- Kammer, T. W. y Ausich, W. I. (2006). The “Age of Crinoids”: A Mississippian Biodiversity Spike Coincident with Widespread Carbonate Ramps. *Palaios, 21*, 238–248.
- Moore, R. C. y Jeffords, R. (1968). Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts and their columns. *University of Kansas: Paleontological Contribution. Echinodermata, 9*, 1–86.
- Peiffer-Rangin, F. (1988). *Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northwestern and central Sonora (Tesis doctoral)*. Universidad de París, Francia.
- Pérez-Ramos, O. (2001). *Bioestratigrafía del Pérmico en Sonora y consideraciones paleobiogeográficas (Tesis doctoral)*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Stewart, J. H. y Amaya-Martínez, R. (1993). Stratigraphy and structure of Sierra Santa Teresa, Sonora, near Hermosillo, Sonora, Mexico, a preliminary appraisal. En C. González-León y E. L. Vega-Granillo (Eds.), *III Simposio de la Geología de Sonora y áreas adyacentes* (pp. 118–119). Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México/ Universidad de Sonora. México.
- Stewart, J. H., Amaya-Martínez, R., Stamm, R. G., Wardlaw, B. R., Stanley, G. D. y Stevens, C. H. (1997). Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in Sierra Santa Teresa, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 14*, 115–135.
- Torres-Martínez, M. A., Villanueva-Olea R. y Sour-Tovar, F. (2020). Columnar ossicles of Permian crinoids, including two new genera, from the Gruper Formation (Asselian-Sakmarian) of Chiapas, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 72*, 1–17. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2020v72n2a290819>
- Villanueva-Olea, R., Barragán-Manzo, R., Palafox-Reyes, J. J., Jiménez-López, J. C. y Buitrón-Sánchez, B. E. (2019). Microfacies and stable isotope analyses from the Carboniferous of La Joya section in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 71*, 585–607. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n3a1>
- Villanueva-Olea, R. y Buitrón-Sánchez, B. E. (2013). La biota del Pensilvánico de la sierra las Mesteñas, estado de Sonora y sus implicaciones paleobiogeográficas. *Geos, 33*, 117.
- Villanueva-Olea, R., Buitrón-Sánchez, B. E., Palafox-Reyes, J. J. y Piña-Flores, S. (2016). Crinoides (Echinodermata: Crinoidea) del Pensilvánico de sierra Las Mesteñas, NE Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 87*, 1225–1234. <https://doi.org/10.22201/ib.2007570ge.2018.3.2143>

- Villanueva-Olea, R., Castillo-Espinoza, K. M., Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S. A. y Buitrón-Sánchez, B. E. (2011). Placas columnares de crinoideos (Echinodermata: Crinoidea) del Misisípico de la región de Santiago Ixtaltepec, Municipio de Nochixtlán, Oaxaca. Consideraciones estratigráficas y paleobiogeográficas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63, 429–443.
- Villanueva-Olea, R., Quiroz-Barroso, S. A., Quiroz-Barragán, J., Torres-Martínez, M. A. y Sour-Tovar, F. (2021). Placas columnares de crinoideos de la Formación Las Delicias, Pérmico inferior y medio de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73, 1–17. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n1a040820>
- Webster, G. D. y Houck, K. J. (1998). Middle Pennsylvanian, Late Atokan-Early Desmoinesian Echinoderms from an Intermontane Basin, the Central Colorado Trough. *Journal of Paleontology*, 72, 1054–1072.