



<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v72iS1.58884>

## Invertebrados (Echinodermata, Brachiopoda, Bryozoa, Cnidaria, Porifera) del Carbonífero de Sierra Santa Teresa, Sonora, México: Consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas

Iván Manuel Cuadros-Mendoza<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-7491-7722>  
Blanca Estela Buitrón-Sánchez<sup>2\*</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-7756-3587>  
Francisco Javier Cuen-Romero<sup>3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0001-8061-5600>  
Miguel Ángel Torres-Martínez<sup>2</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-9322-0429>  
Andrea Alejandra Caballero-Ochoa<sup>4</sup>;  <https://orcid.org/0000-0001-5520-3823>

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de México, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México; [ivan.cuadros@ingenieria.unam.edu](mailto:ivan.cuadros@ingenieria.unam.edu)
2. Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México; [blancab@unam.mx](mailto:blancab@unam.mx); [miguelatm@geologia.unam.mx](mailto:miguelatm@geologia.unam.mx) (\*Correspondencia)
3. Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Boulevard Luis Encinas y Rosales, 83000, Hermosillo, Sonora, México; [francisco.cuen@ciencias.uson.mx](mailto:francisco.cuen@ciencias.uson.mx)
4. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México; [a.caballero.ochoa@ciencias.unam.mx](mailto:a.caballero.ochoa@ciencias.unam.mx)

Recibido 31-VIII-2023. Corregido 28-X-2023. Aceptado 15-XI-2023.

### ABSTRACT

#### Invertebrates (Echinodermata, Brachiopoda, Bryozoa, Cnidaria, Porifera) from the Carboniferous of Sierra Santa Teresa, Sonora, Mexico: Paleoecological and paleogeographic considerations

**Introduction:** The Sierra Santa Teresa is located 20 km southeast of Hermosillo in the central region of Sonora state, Mexico. The sedimentary strata mainly correspond to limestone, mudstone, wackestone and packstone texture, from the upper Paleozoic. The biota is represented by crinoids of the morphospecies *Baryschyr anous*, *Cyclocaudex insaturatus*, *Floricyclus angustimargo*, *Cyclocion distictus*, *Lamprosterigma erathense*, *Preptopremnum rugosum* in association with algae, fusulinid foraminifera, coralline sponges (*Chaetetes* sp.), solitary corals (*Lophophyllidium* sp., *Fomichevella* sp.), fenestellid bryozoans (*Archimedes stoyanowi*), and brachiopods (*Antiquatonia* sp.).

**Objective:** The principal aim of this study is to analyze the biotic composition in the Sierra Santa Teresa and its paleoecological and paleogeographical considerations.

**Methods:** In this study we synthesize information about the principal taxa collected in outcrops of the Carboniferous of the Sierra, Santa Teresa.

**Results:** The distribution of the biota, and particularly the crinoid morphospecies, allowed paleobiogeographical correlations to be made with other Mississippian-Pennsylvanian localities of Mexico and different regions of the United States of America in Texas, Colorado, Illinois and Oklahoma, which were located in the southwestern of the North American Craton.

**Conclusions:** It is considered that the paleoenvironment inferred based on the paleontological records of the Sierra Santa Teresa were shallow seas that allowed the development of communities of crinoids, as well as other invertebrates such as coralline sponges, solitary corals, fenestellid bryozoans and brachiopods, with a range stratigraphic from the Middle-Upper Mississippian (Chesterian) to the Middle Pennsylvanian (Desmoinesian).

**Key words:** biota, Carboniferous, Sonora, Mexico.



## RESUMEN

**Introducción:** La Sierra Santa Teresa se encuentra a 20 km al sureste de Hermosillo en la región central del estado de Sonora, México. Los estratos sedimentarios corresponden principalmente a textura de piedra caliza, mudstone, wackestone y packstone del Paleozoico superior. La biota está representada por crinoideos de las morfoespecies *Baryschr anosus*, *Cyclocaudex insaturatus*, *Floricyclus angustimargo*, *Cyclocion distictus*, *Lamprosterigma erathense* y *Preptopremnum rugosum* en asociación con algas, foraminíferos fusulínidos, esponjas coralinas (*Chaetetes* sp.), corales solitarios (*Lophophyllidium* sp., *Fomichevella* sp.), briozoos fenestélidos (*Archimedes stoyanowi*) y braquiópodos (*Antiquatonia* sp.).

**Objetivo:** El objetivo principal de este estudio es dar a conocer la composición biótica de la Sierra Santa Teresa y sus consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas.

**Métodos:** En este estudio se sintetiza la información sobre las principales taxas recolectadas en afloramientos del Carbonífero de la Sierra, Santa Teresa.

**Resultados:** La distribución de la biota, y particularmente de las morfoespecies de crinoideos, permitió hacer correlaciones paleobiogeográficas con otras localidades del Misisípico-Pensilvánico de México y de distintas regiones de los Estados Unidos de América, principalmente en Texas, Colorado, Illinois y Oklahoma, que se encontraban ubicadas al suroeste del Cratón norteamericano.

**Conclusiones:** Se considera que el paleoambiente inferido con base en los registros paleontológicos de la Sierra Santa Teresa se trataba de mares someros que permitieron el desarrollo de comunidades de crinoideos, así como otros invertebrados como esponjas coralinas, corales solitarios, briozoos fenestélidos y braquiópodos, con un rango estratigráfico del Misisípico Medio-Superior (Chesteriano) al Pensilvánico Medio (Desmoinesiano).

**Palabras clave:** biota, Carbonífero, Sonora, México.

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Sonora se encuentran afloramientos de rocas sedimentarias del Carbonífero (Misisípico-Pensilvánico) con una abundante y diversa biota conformada por algas, foraminíferos, esponjas, corales, briozoos, braquiópodos, moluscos y crinoideos. Particularmente, con relación a la Sierra Santa Teresa, uno de los primeros estudios fue realizado por King (1939) quien cartografió la geología de la parte norte y centro de Sonora y asignó a las calizas de esta localidad una edad del Pérmico. Peiffer-Rangin (1988) estudió la bioestratigrafía del Paleozoico de varias regiones de Sonora, entre ellas, el sector norte de la Sierra Santa Teresa y citó la presencia de foraminíferos, esponjas, corales y placas articulares de crinoideos del Pensilvánico-Pérmico correspondientes a depósitos de plataforma.

En los trabajos de Stewart y Amaya-Martínez (1993) y Stewart et al. (1997) se dio a conocer la estratigrafía de las rocas sedimentarias con edades del Pensilvánico al Jurásico de la Sierra Santa Teresa y particularmente sobre el Paleozoico superior reportaron la existencia de

invertebrados entre ellos, foraminíferos fusulínidos y conodontos. Posteriormente, Cuen-Romero et al. (2016) citaron la presencia de invertebrados del Paleozoico procedentes de diversas localidades de Sonora. Navas-Parejo (2018) realizó la revisión de la bioestratigrafía del Carbonífero de Sonora y Buitrón-Sánchez et al. (2023) publicaron sobre la sistemática de los crinoideos del Carbonífero procedentes de la Sierra Santa Teresa. Estos fósiles tuvieron una distribución cosmopolita en los bordes de plataforma del Océano Reico que servía de enlace entre los océanos de Panthalassa al oeste de Norte América y el Paleo-Tethys al este de Eurasia (Buitrón-Sánchez et al., 2022). La información presentada de los registros nuevos de invertebrados de esta localidad contribuye al conocimiento de la bioestratigrafía, paleoecología y paleogeografía del Paleozoico superior de México.

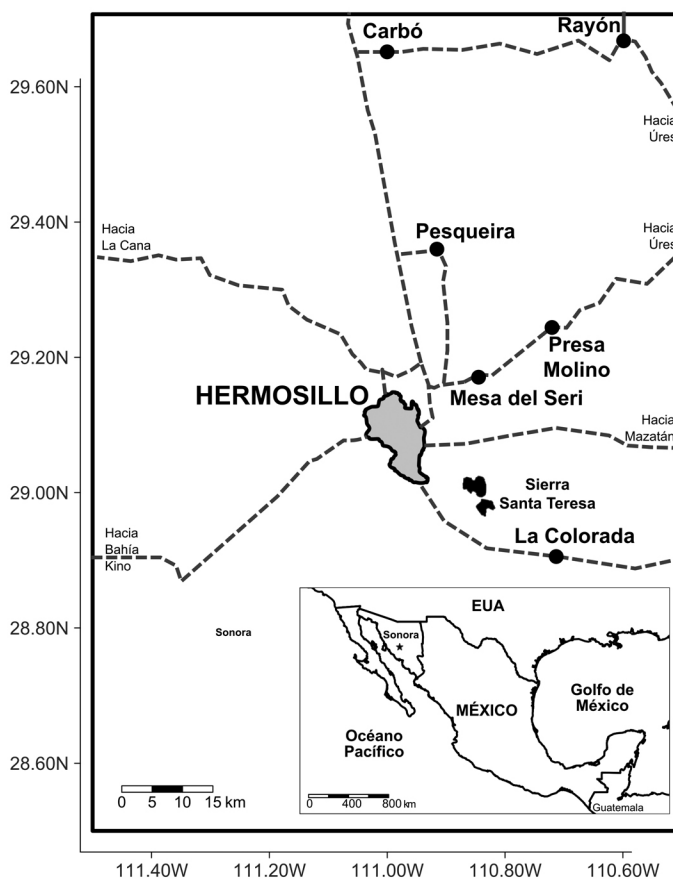
El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer la composición biótica de la Sierra Santa Teresa, contribuir al conocimiento de las características ambientales donde se desarrollaron y su distribución geográfica en el Carbonífero de diferentes regiones del mundo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización geográfica:** La Sierra Santa Teresa se localiza a 20 Km al sureste de la ciudad de Hermosillo, Municipio de BÁCUM, Valle del Yaqui en el estado de Sonora, con coordenadas geográficas 28° 58' 56" N y 110° 51' 27" W del meridiano de Greenwich (Fig. 1, Fig. 2).

La información geológico-paleontológica de la Sierra Santa Teresa se obtuvo con la consulta de las cartas geológico-mineras y topográficas H12-D41 Hermosillo, H12-D51, Estación Torres/Estación Serdán (Servicio Geológico Mexicano, 2011a; Servicio Geológico Mexicano, 2011b) escala 1:50.000, con artículos de revistas especializadas y tesis. Particularmente, se consultaron los artículos de Peiffer-Rangin

(1988), Stewart y Amaya-Martínez (1993), Stewart et al. (1997) y Stewart et al. (1999). La prospección geológico-paleontológica de la secuencia de calizas del Misisípico-Pensilvánico de la Sierra Santa Teresa, se realizó en dos ocasiones en 2021 y 2023. Los fósiles se recolectaron con control estratigráfico y en el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora (UNISON) se realizó la preparación de las muestras y la obtención de imágenes fotográficas; en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se continuó con el trabajo de laboratorio y gabinete. Para el estudio de los invertebrados se utilizó la información de los trabajos de Ausich (1998); Ausich et al. (1999); Ausich et al. (2022); Bassler (1953); Buitrón-Sánchez



**Fig. 1.** Mapa de localización de la Sierra Santa Teresa, estado de Sonora, México. / **Fig. 1.** Location map of the Sierra Santa Teresa, Sonora State, Mexico.



**Fig. 2.** Vista panorámica de la Sierra Santa Teresa, estado de Sonora, México. / **Fig. 2.** Panoramic view of the Sierra Santa Teresa, Sonora State, Mexico.

et al. (2023); Condra y Elias (1944); Hill (1967); Jeffords y Miller (1968); McGhee y McKinney (2002); McKinney y Jackson (1989); Moore y Jeffords (1968); Muir-Wood y Cooper (1960); Rodríguez-García (1984); Stanton et al. (2016); Stukalina (1966); Stukalina (1988). Se asignaron a los ejemplares fósiles números provisionales del Catálogo USONDG-240-256, de la Colección Paleontológica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

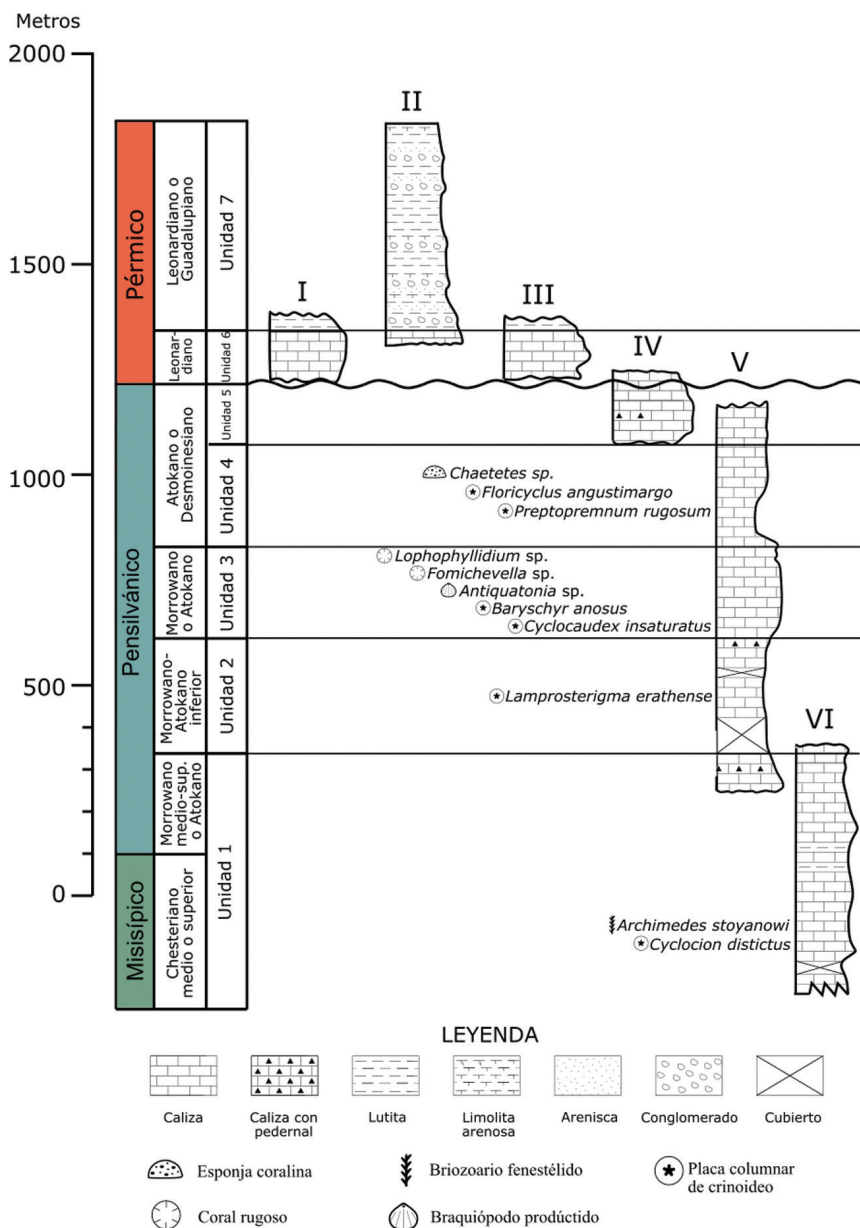
**Marco geológico y contenido fósil de la Sierra Santa Teresa:** En la Sierra Santa Teresa se encuentra expuesta una de las secuencias sedimentarias del Paleozoico superior, representadas principalmente por calizas de mares someros. Peiffer-Rangin (1988) midió más de 1 600 m en secciones estratigráficas de caliza y citó la existencia de una abundante y diversa biota del Paleozoico superior. Stewart et al. (1997) publicaron sobre una de las secuencias sedimentarias más completas con edades del Misisípico al Pérmico en la Sierra Santa Teresa, constituida principalmente por caliza, recientemente la edad ha sido confirmada por Buitrón-Sánchez et al. (2023). A continuación, se describen las siete unidades informales propuestas por Stewart et al. (1997) que se complementaron con nuevos registros de invertebrados (Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5). Varios de

los invertebrados encontrados fueron descritos por Moore & Jeffords, 1968.

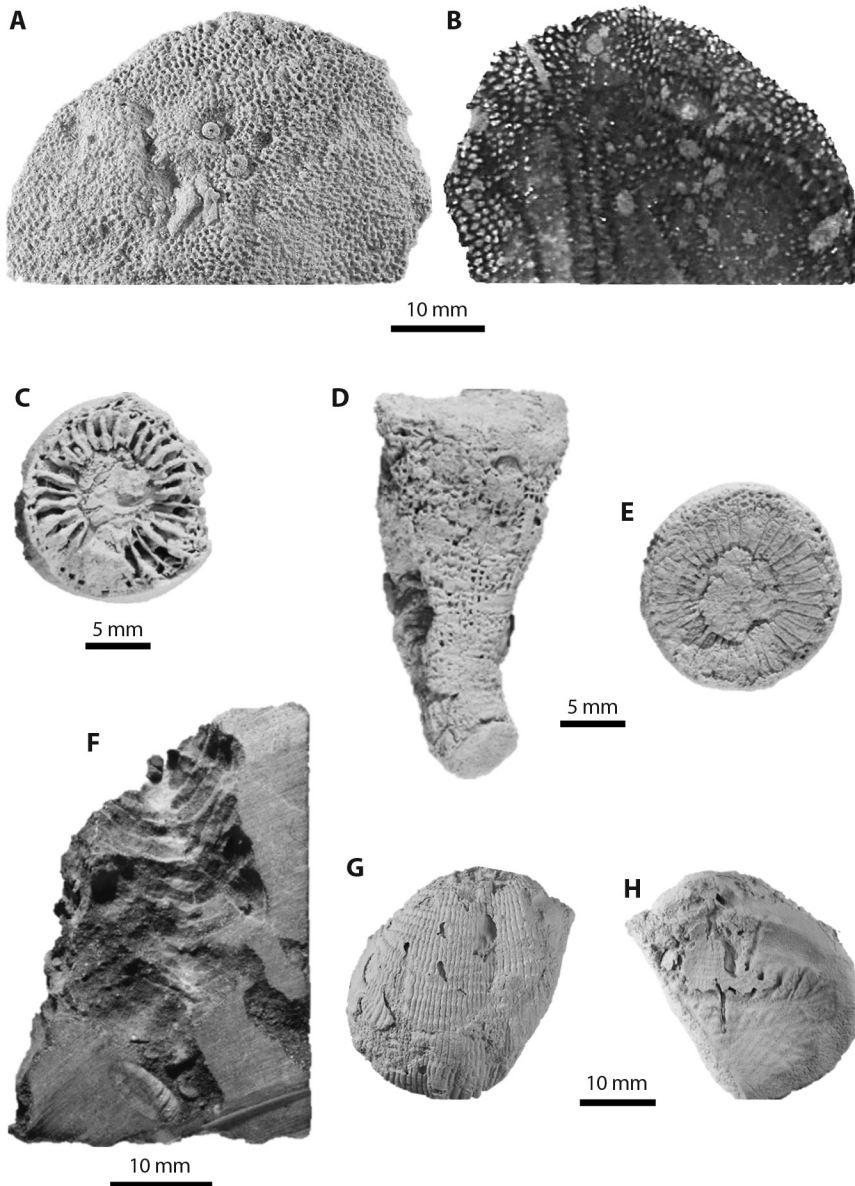
*Unidad 1:* Es la unidad más antigua expuesta en Sierra Santa Teresa, conformada por estratos delgados de caliza bioclástica con textura mudstone, wackestone y packstone con placas articulares de crinoideos de la morfoespecie *Cyclocium distinctus* Moore & Jeffords. El espesor de la unidad se estima en 579 m. El análisis de conodontos y la presencia de briozoos fenestelidos de la especie *Archimedes stoyanowi* Condra & Elias (1944) indica que la edad de la base de esta unidad es del Misisípico Tardío (Chesteriano), mientras que la parte superior corresponde al Pensilvánico Medio.

*Unidad 2:* La unidad tiene aproximadamente 176 m de espesor, la cima está conformada por caliza con textura mudstone y wackestone, con fósiles de corales, braquiópodos y escasas placas columnares de crinoideos de la especie *Lamprosterigma erathense* Moore & Jeffords. La edad corresponde al Pensilvánico (Morrowano temprano-Atokano temprano).

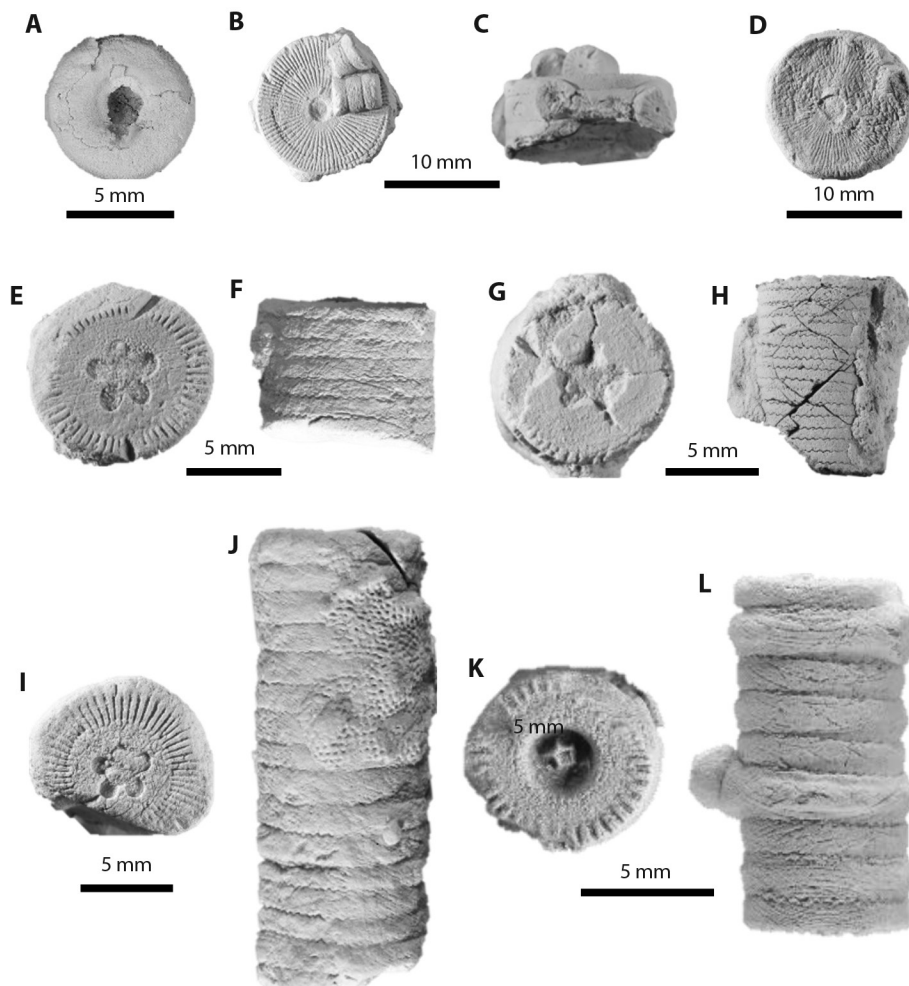
*Unidad 3:* La unidad está conformada por caliza con textura mudstone y wackestone recristalizada, con un espesor total de 230 m, con pedernal en algunas zonas



**Fig. 3. Representación de las unidades estratigráficas reportadas en Sierra Santa Teresa (Modificada de Stewart et al., 1997). Las unidades 1-6 se desarrollaron en un ambiente marino somero; la unidad 7 corresponde a zonas profundas. Se complementa con nuevos registros de especies de invertebrados (Buitrón-Sánchez et al., 2023).** / **Fig. 3. Representation of the stratigraphic units reported in Sierra Santa Teresa (Modified from Stewart et al., 1997). Units 1-6 were developed in a shallow marine environment; Unit 7 corresponds to deep areas. Complemented with new records of invertebrate species (Buitrón-Sánchez et al., 2023).**



**Fig. 4.** A-B. *Chaetetes* sp., ejemplar USONDG-234, A. vista de la superficie de la colonia y B. corte transversal; C. *Lophophyllidium* sp., vista superior, ejemplar USONDG-235; D-E. *Fomichevella* sp., ejemplar USONDG-236 D. vista lateral del coral, E. vista superior; F. *Archimedes stoyanowi*, incrustado en roca caliza, ejemplar USONDG-238; G-H. *Antiquatonia* sp., valva dorsal, ejemplar USONDG-239. G. vista externa, H. vista interna. / **Fig. 4.** A-B. *Chaetetes* sp., specimen USONDG-234, A. view of the colony surface and B. cross section; C. *Lophophyllidium* sp., top view, specimen USONDG-235; D-E. *Fomichevella* sp., specimen USONDG-236 D. lateral view of the coral, E. top view; F. *Archimedes stoyanowi*, embedded in limestone rock, specimen USONDG-238; G-H. *Antiquatonia* sp., dorsal valve, specimen USONDG-239. G. external view, H. internal view.



**Fig. 5.** A. *Baryschr anosus*, vista de la placa articular, ejemplar USONDG-240; B–D. *Cyclocaudex insaturatus* Moore & Jeffords, 1968, B. vista de la placa articular con placas cirrales, C. noditaxis con marcas cirrales, ejemplares USONDG-241 y USONDG-242; E–F. *Floricyclus angustimargo* Moore & Jeffords, 1968, ejemplar USONDG-244. E. vista de la placa articular, F. noditaxis; G–H. *Cyclocion distictus* Moore & Jeffords, 1968, ejemplar USONDG-248. G. vista de la placa articular, H. noditaxis; I–J. *Lamprosterigma erathense* Moore & Jeffords, 1968, ejemplares USONDG-250 y USONDG-251. I. vista de la placa articular. J. noditaxis con un briozoario adherido, K–L. *Preptopremnum rugosum* Moore & Jeffords, 1968, ejemplar USONDG-255. K. vista de la placa articular, L. noditaxis. / **Fig. 5.** A. *Baryschr anosus*, view of the articular plate, specimen USONDG-240; B–D. *Cyclocaudex insaturatus* Moore & Jeffords, 1968, B. view of articular plate with cirral plates, C. noditaxis with cirral markings, specimens USONDG-241 and USONDG-242; E–F. *Floricyclus angustimargo* Moore & Jeffords, 1968, specimen USONDG-244. E. view of the articular plate, F. noditaxis; G–H. *Cyclocion distictus* Moore & Jeffords, 1968, specimen USONDG-248. G. view of the articular plate, H. noditaxis; I–J. *Lamprosterigma erathense* Moore & Jeffords, 1968, specimens USONDG-250 and USONDG-251. I. view of the articular plate. J. noditaxis with an attached bryozoan, K–L. *Preptopremnum rugosum* Moore & Jeffords, 1968, specimen USONDG-255. K. view of the articular plate, L. noditaxis.

y escasas placas columnares de crinoideos. Buitrón-Sánchez et al. (2023) identificaron para esta unidad fósiles de corales rugosos (*Lophophyllidium* sp., *Fomichevella* sp.), braquiópodos (*Antiquatonia* sp)

y crinoideos (*Baryschr anosus* Moore & Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore & Jeffords). La edad con base en el estudio de los conodontos fue propuesta por Stewart et al. (1997) para el Pensilvánico



Temprano-Medio (Morrowano-Atokano) y complementada con el estudio de crinoideos (Buitrón-Sánchez et al., 2023).

**Unidad 4:** La unidad tiene 261 m de espesor y está conformada por caliza bioclástica con textura mudstone y wackestone (Stewart et al., 1997). En la parte media de esta unidad se recolectaron esponjas coralinas del género *Chaetetes*, placas columnares de crinoideos de las morfoespecies *Floricyclus angustimargo* Moore & Jeffords y *Preptopremnum rugosum* Moore & Jeffords (Buitrón-Sánchez et al., 2023) y fusulínidos que determinaron la edad para el Pensilvánico Medio (Atokano).

**Unidad 5:** La unidad está constituida por caliza con textura mudstone con algunos lentes y nódulos pedernal, contiene escasos estratos de caliza con textura wackestone y presenta un espesor aproximado de 164 m. El estudio de los conodontos y fusulínidos indican una edad del Atokano al Desmoinesiano (Pérez-Ramos, 2001; Stewart et al., 1997).

**Unidad 6:** La unidad tiene 122 m de espesor y está conformada por caliza bioclástica de textura packstone con placas columnares de crinoideos y foraminíferos fusulínidos; también contiene lentes y nódulos de pedernal con horizontes de caliza recristalizada. La edad determinada por los fusulínidos es del Pérmico temprano (Leonardiano). Las unidades 1 a 6 corresponden a sedimentos marinos de agua somera (Stewart et al., 1997).

**Unidad 7:** Esta unidad corresponde a estratos de caliza limosa-arenosa, lodolita limosa y arenisca limosa con rizaduras o laminación convoluta. Su espesor se ha estimado en 610 m. En la unidad existen facies de calcarenita masiva con *Nereites* y fusulínidos. El ambiente corresponde a depósitos de agua profunda. La edad se ha establecido a partir de estudios de fusulínidos y se considera del Pérmico temprano (Leonardiano o Guadalupiano) (Stewart et al., 1997).

## RESULTADOS

Las rocas sedimentarias de la Sierra Santa Teresa contienen una abundante y diversa biota conformada por algas, foraminíferos, esponjas, corales, briozoos, braquiópodos, moluscos, crinoideos y conodontos (Buitrón-Sánchez et al., 2023; Peiffer-Rangin, 1988; Stewart et al., 1997). Esta biota presenta un intervalo estratigráfico del Misisípico Medio-Superior (Chesteriano) al Pensilvánico Medio (Desmoinesiano). Particularmente, se estudiaron fósiles de briozoos fenestélidos de la especie *A. stoyanowi* y crinoideos de las especies *C. distinctus* del Misisípico Tardío (Chesteriano medio-superior) que fueron recolectados en la base de la secuencia estratigráfica de la sierra. En la unidad 2, en niveles de caliza con pedernal, se obtuvieron numerosas placas articulares del crinoideo de la especie *L. erathense* con una edad relativa correspondiente al Pensilvánico Temprano (Morrowano-Atokano). En la unidad 3, en niveles de caliza con textura mudstone y wackestone se identificaron fósiles de corales rugosos (*Lophophyllidium* sp., *Fomichevella* sp.), braquiópodos (*Antiquatonia* sp.) y placas articulares de crinoideos (*Baryschr anousus* Moore & Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore & Jeffords); esta asociación faunística presenta una edad del Pensilvánico Temprano (Morrowano-Atokano). En la unidad 4, conformada por caliza con textura mudstone y wackestone, se recolectaron esponjas coralinas del género *Chaetetes* y placas columnares de crinoideos de las morfoespecies *Floricyclus angustimargo* y *P. rugosum* (Fig. 4, Fig. 5).

## DISCUSIÓN

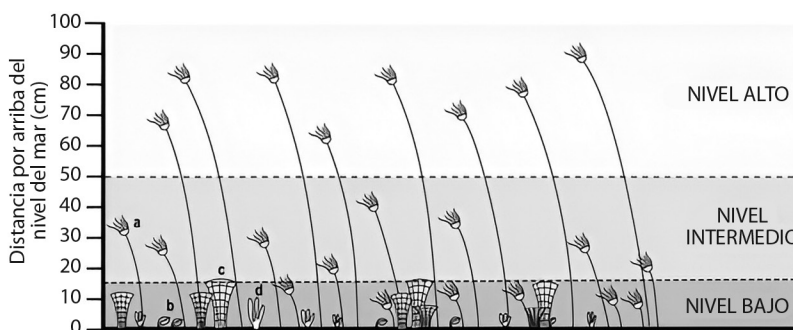
**Consideraciones paleoecológicas:** Durante el Misisípico Superior (Chesteriano) al Pensilvánico Medio (Morrowano-Desmoinesiano), la asociación biótica de la sierra Santa Teresa se desarrolló en una plataforma carbonatada de mares tropicales y someros ubicada en el margen suroeste del Cratón Norteamericano



y el Océano Reico. La biota está principalmente representada por numerosas morfoespecies de crinoideos (*Baryschrus anonus* Moore & Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore & Jeffords, *Floricyclus angustimargo* Moore & Jeffords, *Cyclocion distictus* Moore & Jeffords, *L. erathense*, *P. rugosum*) asociados a esponjas arrecifales (*Chaetetes*), corales solitarios (*Lophophyllidium*, *Fomichevella*), briozoos fenestélidos (*A. stoyanowi*) y braquiópodos productidos (*Antiquatonia*).

Los quetétidos (*Chaetetes*) fueron los principales constructores de montículos arrecifales, localizados en facies de plataforma y áreas epicontinentales de mares someros con escasa sedimentación (Connolly et al., 1989; Gómez-Espinosa et al., 2006; Suchy & West, 2001; West & Kershaw, 1991). Los briozoos del género *Archimedes* suelen indicar que había movimientos leves en la columna de agua que permitieron su desarrollo, aunque existen formas asociadas a diferentes sustratos y niveles de energía (McGhee & McKinney, 2002). El género *Archimedes* ha sido considerado entre los briozoos más comunes de los mares someros del Misisípico Tardío (Chesteriano) en el Cratón Norteamericano (McKinney, 1993). McGhee y McKinney (2002) y McKinney y Raup (1989) consideran que la forma de crecimiento

en briozoarios de láminas fenestradas poco abiertas se asocian a ambientes de menor profundidad, en comparación con los que tienen las láminas más abiertas están asociadas a zonas más profundas. Los corales solitarios y braquiópodos productidos tuvieron una importante distribución mundial por la conexión marina a través del Océano Reico con los océanos de Panthalassa y Paleo-Tethys. Para el Pensilvánico se pierde la conexión marina generando regionalizaciones específicas o genéricas en estos grupos (Montañez & Poulsen 2013; Wang et al., 2022). Las condiciones climáticas y la libre circulación de corrientes marinas permitieron el incremento de crinoideos que son uno de los invertebrados más representativos de esta sierra. Los crinoideos fueron invertebrados marinos dominantes en los márgenes de plataformas del Carbonífero, estos organismos vivieron fijos al sustrato en asociación con otros organismos epibentónicos (corales, briozoos, braquiópodos, moluscos). Ausich (1978), Ausich (1980) y Kammer y Ausich (2006) consideraron que para comunidades con organismos suspensívoros, existen datos acerca de la relación que guardan con el sustrato (bentos) y se indica que las comunidades con organismos de tamaños menores o iguales a 15 cm habrían presentado mayor competencia por el alimento (Fig. 6).



**Fig. 6.** Representación de comunidades de crinoideos y otros invertebrados bentónicos para el Misisípico temprano **a)** crinoideos, **b)** braquiópodos, **c)** briozoos, **d)** algas. Cuando la longitud del crinoideo era menor a 15 cm (Nivel Bajo) aumentaba la competencia por el alimento de otros organismos que también se alimentaban por filtración de partículas suspendidas; cuando la longitud era mayor a 15 cm (Niveles Intermedio y Alto), la competencia por el alimento era menor. Modificada de Ausich (1980). / **Fig. 6.** Representation of communities of crinoids and other benthic invertebrates for the Early Mississippian **a)** crinoids, **b)** brachiopods, **c)** bryozoans, **d)** algae. When the length of the crinoid was less than 15 cm (Lower Level), competition for food from other organisms that also fed by filtration of suspended particles increased; when the length was greater than 15 cm (Intermediate and High levels), competition for food was less. Modified from Ausich (1980).



Asociaciones bióticas como la anterior, son típicas del Carbonífero de plataformas marinas y montículos arrecifales (Newell, 1972; West, 1988). Los crinoideos de la Sierra Santa Teresa fueron los invertebrados más abundantes representados por placas articulares aisladas y fragmentos de las columnas. Las bajas tasas de sedimentación y lento enterramiento pudieron haber permitido que la biota, particularmente, los briozoos, braquiópodos y crinoideos, permanecieran por un tiempo más prolongado a la intemperie previo al enterramiento, favoreciendo que perdieran alguna de sus partes por desarticulación durante el proceso de fosilización (Gómez-Espinosa et al., 2006).

**Consideraciones paleogeográficas:** En el Misisípico, la mayoría de las masas continentales entre ellas América del Norte, Europa, América del sur, África, Arabia, India, Antártida, y Australia, se encontraban ubicadas en la parte paleoecuatorial y sur del globo terráqueo, en tanto que Mongolia y los bloques de China del norte y sur se localizaban en la parte norecuatorial y Siberia hacia el norte. La cercanía de los continentes y la reducción de barreras geográficas propiciaron el intercambio entre especies tropicales alrededor del Paleoecuador y a través del Océano Reico (Angiolini et al., 2022; Aretz et al., 2020; Lucas et al., 2022). Los briozoos fenestélidos de la especie *A. stoyanowi* del Chesteriano de la sierra Santa Teresa se han descrito anteriormente para la Formación Paradise en Arizona, Estados Unidos de Norteamérica (Condra & Elias, 1944). El braquiópodo *Antiquatonia* reportado para el Morrowano-Atokano de la Sierra Santa Teresa, se ha considerado como un género cosmopolita que se encuentra en distintas localidades de la región del Mid-Continent durante el Carbonífero (Torres-Martínez et al., 2018). Sobre los registros de crinoideos descritos para el Carbonífero de México es importante tomar en cuenta que presentan asociaciones con diversos organismos que vivieron en los mares tropicales y someros de distribución tethysiana entre estos, algas incrustantes y filoides (*Eugonophyllum*, *Kamaena*, *Zidella*), foraminíferos fusulínidos

(*Triticites*, *Fusulinella*) típicos de la región del Mid-Continent que son similares a la biota de la Provincia Euroasiática-Ártica, también asociados a corales (*Lophophyllidium*, *Neozaphrentis*, *Caninophyllum*, *Cyathaxinia*, *Lithostrotionella*) citados para la provincia Cordillerana en América del Norte y para la provincia Euroasiática, en asociación con braquiópodos (*Avoonia*, *Wellerella*, *Composita*, *Hustedia*), trilobites (*Griffithides*) y conodontos (Buitrón-Sánchez et al., 2006; Buitrón-Sánchez et al., 2008).

En el Misisípico y Pensilvánico de México, en varias localidades de Sonora, entre ellas, la Sierra Agua Verde, se han identificado crinoideos de las morfoespecies *Cyclocaudex insaturatus*, *L. erathense* y *P. rugosum*, coincidentes con registros de Sierra Santa Teresa; también se han descrito corales tabulados (*Michelinea*), corales solitarios (*Lophophyllidium*), braquiópodos espiriféridos (*Spirifer*, *Anthracospirifer*), productidos (*Antiquatonia*), gasterópodos (*Eumphalus*) y conodontos (Buitrón-Sánchez, Almazán & Vachard, 2005; Buitrón-Sánchez, Gómez-Espinosa et al., 2007; Buitrón-Sánchez et al., 2015, Gómez-Espinosa et al., 2006; Gómez-Espinosa et al., 2008; Villanueva-Olea et al., 2019). Para Cerros El Tule se han registrado las morfoespecies *Cyclocaudex insaturatus* y *P. rugosum* (Buitrón-Sánchez et al., 2008; Buitrón-Sánchez et al., 2012). Para el Pensilvánico de la Sierra Las Mesteñas, Sonora, han sido identificados crinoideos de las morfoespecies *Cyclocaudex insaturatus*, *Floricyclus angustimargo*, *L. erathense* y *P. rugosum* (Buitrón-Sánchez, Almazán, Vachard, Gómez-Espinosa et al., 2005; Buitrón-Sánchez et al., 2008; Villanueva-Olea & Buitrón-Sánchez, 2013; Villanueva-Olea et al., 2016) las cuales guardan similitud con registros del Misisípico y Pensilvánico del estado de Durango (Formación Gran Tesoro) donde se han identificado *Cyclocaudex insaturatus* en asociación con *P. rugosum*, reconocidas del bloque metamórfico con protolito sedimentario del Pensilvánico Medio en asociación con briozoos fenestélidos (Eguiluz-de Antuñano et al., 2014). *P. rugosum* es una especie en común con la fauna del Wordiano (Pérmico medio) de la Formación

Monos en Caborca, Sonora (Buitrón-Sánchez, Almazán et al., 2007). A su vez, *Cyclocaudex insaturatus* y *P. rugosum* tienen afinidad con registros del Wordiano-Capitaniano de la Formación Las Delicias en el estado de Coahuila (Villanueva-Olea et al., 2021).

En la región centro-oriente de México, los registros de crinoideos de Sierra Santa Teresa son similares con los del Pensilvánico de la Formación Del Monte en Calnali, Hidalgo, entre ellos *Baryschyr anosus*, *Cylindrocauliscus fiski*, *Cyclocaudex* sp. cf. *C. costatus*, *C. insaturatus*, *C. jucundus*, *Mooreanteris waylandensis*, *Plummeranteris sansaba* y *Heterosteleschus keithi* asociados a algas rodofíceas, briozoos fenestélidos y braquiópodos de las especies *Neospirifer* sp. cf. *N. fasciger* y *Dictyoclostus* sp. (Buitrón-Sánchez et al., 1987).

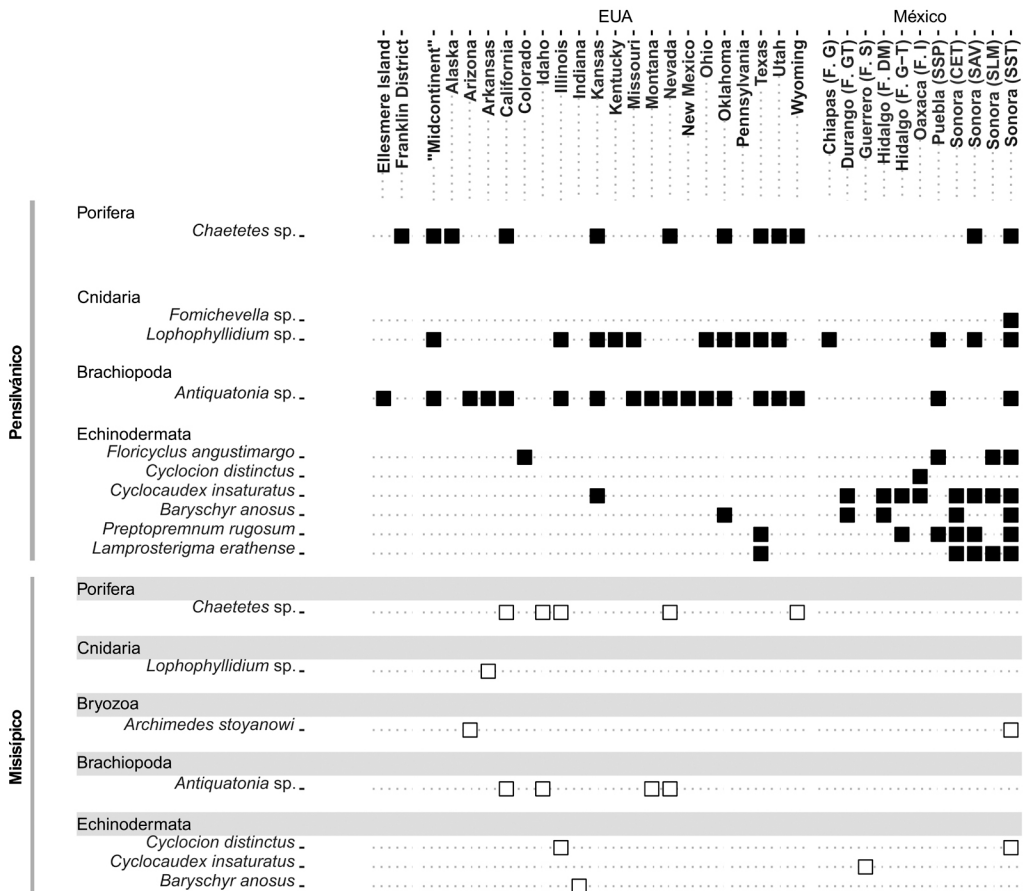
En la región de San Salvador Patlanoaya, Puebla, se han estudiado una de las más abundantes y diversas especies de crinoideos del Misisípico y Pensilvánico, de esta localidad se citan a *Floricyclus angustimargo* y *P. rugosum*, en asociación con *Ampholenium apolegma*, *Cyclocaudex jucundus*, *Dierocalipter doter*, *Lomalegnum hormidium*, *Stiberostaurus aestimatus*, *Blothronagma cinctutum*, *Cyclocaudex typicus*, *Cyclocaudex* sp., *Cyclosteleschus turritus*, *Cyclocrista cheneyi*, *Floricyclus welleri*, *Mooreanteris perforatus*, *M. waylandensis*, *Pentagonomischus plebeius* y *Pentagonomischus* sp. (Esquivel-Macías et al., 2000; Velasco-de León & Buitrón-Sánchez, 1992; Villaseñor-Martínez et al., 1987).

De la región del suroeste de México, se cita a *P. rugosum* de la Formación Olinalá del Pensilvánico Superior en el estado de Guerrero. En esta formación también se han estudiado las especies de crinoideos *Cyclocaudex costatus*, *Heterosteleschus jeffordsi*, *Pentaridica pentagonalis* e *Isocrinus* sp. (Buitrón-Sánchez, Silva et al., 2005; Esquivel-Macías et al., 2000; Esquivel-Macías et al., 2004; Flores-de Dios & Buitrón-Sánchez, 1982; González-Arreola et al., 1994; Vachard et al., 1993). Para la formación Santiago del Pensilvánico Inferior-Medio del estado de Oaxaca, se describieron las morfoespecies *Cyclocion distinctus* *Pentagonomischus* sp. cf. *P. plebeius*, *Lomalegnum* sp. cf. *L. hormidium*,

*Axilinucrinus angustus?*, *Graphosterigma* sp., *Cylindrocauliscus fiski*, *Cyphosteleschus* sp. cf. *C. claudus* y *Cyclocaudex typicus*. Además, se ha mencionado la presencia de corales solitarios, briozoos, braquiópodos (*Neochonetes granulifer*, *Neospirifer dunbari*), pelecípodos, gasterópodos y trilobites (Villanueva-Olea et al., 2011), (Fig. 7).

**Conclusiones:** La biota de la sierra Santa Teresa está representada por crinoideos de las morfoespecies *Baryschyr anosus* Moore & Jeffords, *Cyclocaudex insaturatus* Moore & Jeffords, *Floricyclus angustimargo* Moore & Jeffords, *Cyclocion distinctus* Moore & Jeffords, *L. erathense*, *P. rugosum* en asociación con algas, foraminíferos fusulínidos, esponjas corallinas (*Chaetetes* sp.), corales solitarios (*Lophophyllidium* sp., *Fomichevella* sp.), briozoos fenestélidos (*A. stoyanowi*) y braquiópodos (*Antiquatonia* sp.). La distribución de la biota, y particularmente de las morfoespecies de crinoideos, permitió correlacionar los registros con otras localidades del Misisípico-Pensilvánico de México y de distintas regiones de los Estados Unidos de América, principalmente en Texas, Colorado, Illinois y Oklahoma. Se considera que el paleoambiente inferido con base en los registros paleontológicos de la Sierra Santa Teresa se trataba de mares someros que permitieron el desarrollo de comunidades de crinoideos, así como otros invertebrados como esponjas corallinas, corales solitarios, briozoos fenestélidos y braquiópodos, con un rango estratigráfico del Misisípico Medio-Alto (Chesteriano) al Pensilvánico Medio (Desmoinesiano).

**Declaración de ética:** los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.



**Fig. 7.** Distribución de registros de la biota identificada en Sierra Santa Teresa y de otras localidades de México, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. *Abreviaturas:* F. G: Formación Gruperá; F. GT: Formación Gran Tesoro; F. S: Formación Santiago; F. DM: Formación Del Monte; F. G-T: Formaciones Guacamaya-Tuzancoa; F. I: Formación Ixtaltepec; SSP: San Salvador Patlanoaya; CET: Cerros El Tule; SAV: Sierra Agua Verde; SLM: Sierra Las Mesteñas; SST: Sierra Santa Teresa. / **Fig. 7.** Distribution of records of the biota identified in Sierra Santa Teresa, Sonora, and other Mexico, USA, and Canada localities. Abbreviations: F. G: Gruperá Formation; F. GT: Gran Tesoro Formation; F. S: Santiago Formation; F. DM: Del Monte Formation; F. G-T: Guacamaya-Tuzancoa Formations; F. I: Ixtaltepec Formation; SSP: San Salvador Patlanoaya; CET: Cerros El Tule; SAV: Sierra Agua Verde; SLM: Sierra Las Mesteñas; SST: Sierra Santa Teresa.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Autónoma de México que a través de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), proporcionó el apoyo para la realización del Proyecto PAPIIT No. IN101522 titulado “Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico superior de la Sierra Santa Teresa, Sonora, contenido biótico,

consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas”. También se agradece a José Carlos Jiménez López la revisión del texto y la preparación de figuras.

**REFERENCIAS**

Angiolini, L., Cisterna, G. A., Mottequin, B., Shen, S. Z., & Muttoni, G. (2022). Global Carboniferous brachiopod biostratigraphy. En S. G. Lucas, J. W. Schneider, X.

- Wang, & S. Nikolaeva (Eds), *The Carboniferous timescale* (pp. 497–550). Geological Society.
- Aretz, M., Herbig, H. G., Wang, X. D., Gradstein, F. M., Agterberg, F. P., & Ogg, J. G. (2020). Chapter 23 - The Carboniferous Period. En F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz, & G. M. Ogg (Eds.), *Geologic Timescale* (pp. 811–874). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00023-1>
- Ausich, W. I. (1978). Niche partitioning in Lower Mississippian crinoid communities. *Geological Society of America. Abstracts with Programs*, 10(6), 361.
- Ausich, W. I. (1980). A model for niche differentiation in Lower Mississippian crinoid communities. *Journal of Paleontology*, 54(2), 273–288.
- Ausich, W. I. (1998). Early phylogeny and subclass division of the Crinoidea (Phylum Echinodermata). *Journal of Paleontology*, 72(3), 499–510. <https://doi.org/10.1017/S0022336000024276>
- Ausich, W. I., Donovan, S. K., Hessm, H., & Simms, M. J. (1999). Fossil occurrence. En H. Hess, W. I. Ausich, C. E. Brett, & M. J. Simms (Eds.), *Fossil crinoids* (pp. 41–49). Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626159.003>
- Ausich, W. I., Kammer, T. W., & Mirantsev, G. V. (2022). Carboniferous crinoids, *Geological Society of London Special Publications*, 512(1), 551–601, <https://doi.org/10.1144/SP512-2020-71>
- Bassler, R. S. (1953). Bryozoa. En R. C. Moore (Ed.), *Treatise on invertebrate paleontology. Part G Bryozoa*. Geological Society of North America (G1–G253) University of Kansas Press.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán, V. E., Vachard, D., Gómez-Espinosa, C., & Mendoza, M. C. (2005). Crinoides Pensilvánicos asociados a facies “arrecifales” de Chaetétidos en Sierra Agua Verde, Estado de Sonora, México. *GEOS*, 25(1), 151..
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán, V. E., & Vachard, D. (2005). Los crinoides de los cerros Las Mesteñas en la región nororiental del estado de Sonora y sus implicaciones paleogeográficas. *GEOS*, 25(1), 151.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán, E., & Vachard, D. (2007). Middle Permian crinoids (Echinodermata, Crinoidea) from Cerros Los Monos, Caborca, Sonora, Mexico and paleogeographic considerations. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(3), 344–353.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán, V. E., Vachard, D., & Gómez-Espinosa, C. (2006, September 4-10). Carboniferous crinoids from México and their biogeographic significance (abstract), In M. Aretz & H.-G. Herbig (Eds.). *Kölner Forum für Geologie und Paläontologie Carboniferous Conference Cologne* [Conference]. Institute of Mineralogy and Geology, University of Cologne, Cologne, Germany.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Chacón-Wences, O., Vachard, D., Palafox-Reyes, J. J., Jiménez-López, J. C., & Sour-Tovar, F. (2015). Pennsylvanian biota of the Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico: Biostratigraphic and paleogeographic considerations: *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2), 521–527.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuén-Romero, F. J., & Torres-Martínez, M. A. (2023). Crinoideos (Echinodermata: Crinoidea) del Misisípico-Pensilvánico de la Sierra Santa Teresa, región central del estado de Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e945134. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.5134>
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., Monreal, R., & Cuén-Romero, I. M. (2022). Diversity of Crinozoa (Echinodermata: Eocrinoidea, Blastoidea, Crinoidea) from the Paleozoic of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 39(1), 43–53. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2022.1.1665>
- Buitrón-Sánchez, B. E., Gómez-Espinosa, C., Almazán, V. E., & Vachard, D. (2007). 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, & E. Vennin (Eds.), *Paleozoic reefs and bioaccumulations: climatic and evolutionary controls* (pp. 201–209). Geological Society Special Publication.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Gómez-Espinosa, C., Almazán, E., Vachard, D., Laguarda-Figueroa, A., & Solís-Marín, F. (2008). A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 56(S3), 1–12.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Silva, P. A., Flores-de Dios, A., Vachard, D. (2005). New macrofauna and macroflora from Olinalá region, Guerrero State. *Anales de la Société Géologique du Nord*, 2(2), 169–176.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Patiño, J., & Moreno, A. (1987). Crinoides del Paleozoico tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 1(1), 125–136.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E., & 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(1), 39–62.
- Condra, G. E., & Elias, M. K. (1944). Study and revision of *Archimedes* (Hall). *Special papers of the geological society of America*, 53, 1–243.
- Connolly, W. M., Lambert, L. L., & Stanton, R. J., (1989). Paleogeology of lower and middle Pennsylvanian (Middle Carboniferous) *Chaetetes* in North America. *Facies*, 20, 139–165.



- Cuen-Romero, F. J., Valdez-Holguín, J. E., Montijo-González, A., & Monreal-Saavedra, R. (2016). Invertebrados fósiles del Paleozoico de Sonora, México (Paleozoic invertebrates fossils from Sonora, México). *Epistemus*, 10(21), 75–83. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v10i21.37>
- Eguiluz-de Antuñano, S., Aranda-García, M., & 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(3), 507–539.
- Esquivel-Macías, C., Ausich, W. I., Buitrón-Sánchez, B. E., & Flores-de Dios, 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(6), 1187–1190.
- Esquivel-Macías, C., Solís-Marín, F., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2004). Nuevos registros de placas columnares de crinoideos (Echinodermata, Crinoidea) del Paleozoico superior de México, algunas implicaciones paleobiogeográficas y paleoambientales. *Coloquios de Paleontología*, 54, 15–23.
- Flores-de Dios, G.A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (1982). Revisión y aportes a la estratigrafía de la Montaña de Guerrero. *Universidad Autónoma de Guerrero, Serie Técnico-Científica*, 12, 28.
- Gómez-Espinosa, C., Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E., & Vachard, D. (2006). Pennsylvanian lithofacies, biofacies and microfacies of the Sierra Agua Verde región, Sonora, México (resumen). *Kölnner Forum für Geologie und Paläontologie Carboniferous Conference Cologne Program and Abstracts*, 1, 29–30.
- Gómez-Espinosa, C., Vachard, D., Buitrón-Sánchez, B. E., Almazán-Vázquez, E., & Mendoza-Madera, C. (2008). Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (Northwestern, Mexico) and their Stratigraphic and paleobiogeographic implications. *Contest rendus Palevol*, 7, 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2008.04.001>
- González-Arreola, C., Villaseñor-Martínez, A. B., & Corona-Esquivel, R. (1994). Permian fauna of the Los Arcos Formation, Municipality of Olinalá, State of Guerrero, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2), 214–221.
- Hill, D. (1967). Rugosa. En R. C. Moore (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part F Coelenterata* (F233–F324). Geological Society of North America, University of Kansas Press.
- Jeffords, M. & Miller, T. H. (1968). *Ontogenetic development in Late Pennsylvanian crinoids columnals and pluricolumnal*. University of Kansas Paleontological Institute.
- Kammer, T. W., & Ausich, W. I. (2006). The “Age of Crinoids”: A Mississippian Biodiversity Spike Coincident with Widespread Carbonate Ramps. *Palaios*, 21(3), 238–248. <https://doi.org/10.2110/palo.2004.p0.4-47>
- King, R. E. (1939). Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 50(11), 1625–1722. <https://doi.org.pbidi.unam.mx:2443/10.1130/GSAB-50-1625>.
- Lucas, S., Schneider, J., Nikolaeva, S., & Xiangdong, W. (2022). The Carboniferous timescale: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 512, 1–17. <https://doi.org/10.1144/SP512-2021-160>
- McGhee, G. R., & McKinney, F. K. (2002). A theoretical morphologic analysis of ecomorphologic variation in archimedes helical colony form. *Palaios*, 17(6), 556–570.
- McKinney, F. K. (1993). Carboniferous biogeography of the bryozoan *Archimedes* in North America. *Historical Biology*, 7(1), 71–90.
- McKinney, F. K., & Jackson, J. B. C. (1989). *Bryozoan Evolution. Special topics in Palaeontology Series XIII*. Unwin Hyman & Cambridge University Press.
- McKinney, F. K., & Raup, D. M. (1989). A Turn in the Right Direction: Simulation of Erect Spiral Growth in the Bryozoans *Archimedes* and *Bugula*. *Paleobiology*, 8(2), 101–112.
- Montañez, I. P., & Poulsen, C. J. (2013). The Late Paleozoic ice age: an evolving paradigm. *Annual Review of the Earth and Planetary Sciences*, 41, 629–656.
- Moore, R. C., & Jeffords, R. (1968). Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts and their columns. En R. C. Moore, & R. M. Jeffords (Eds.), *Paleontological contribution. Echinodermata* (Vol. 9, pp. 1–86). University of Kansas.
- Muir-Wood, H., & Cooper, G. A. (1960). *Morphology, Classification and Life Habits of the Productoidea (Brachiopoda)* (Vol. 81). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/MEM81>
- Navas-Parejo, P. (2018). Carboniferous biostratigraphy of Sonora: a review. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(1), 41–53.
- Newell, N. D. (1972). The evolution of reefs. *Scientific American*, 226(6), 54–69.
- Peiffer-Rangin, F. (1988). *Biostratigraphic study of Paleozoic Rocks of northwestern and central Sonora* [Tesis doctoral no publicada]. 3 Parc Universidad de París, Francia.
- Pérez-Ramos, O. (2001). *Bioestratigrafía del Pérmico en Sonora y consideraciones paleobiogeográficas* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de México].

- TESIUNAM. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000295773](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000295773).
- Rodríguez-García, S. (1984). Corales rugosos del Carbonífero del este de Asturias [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid] Docta complutense. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/40597>
- Servicio Geológico Mexicano (2011a). *H12-D41 Hermosillo escala 1:50 000* [Carta Geológico Minera]. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/mapas-topograficos-escala-1-50-000-serie-iii-sonora/resource/7b7fd9802-481c-4f35-81a0-1ba33c6e65f0>
- Servicio Geológico Mexicano (2011b). *H12-D51 Estación Torres/Estación Serdán, Sonora, a escala 1: 50 000* [Carta Geológico Minera]. [http://maps.server.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/315\\_H12-D51\\_GM.pdf](http://maps.server.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/315_H12-D51_GM.pdf)
- Stanton, R. J., Lambert, L. L., Webb, G. E., & Lustig, L. D. (2016). *Chaetetes* morphology, environment, and taxonomy. *Facies*, 62 (29), 1–21.
- Stewart, J. H. & Amaya-Martínez, R. (1993). Stratigraphy and structure of Sierra Santa Teresa, Sonora, near Hermosillo, Sonora, Mexico, a preliminary appraisal. En C. M. González-León, & E. L. Vega-Granillo (Eds.), *III Simposio de la Geología de Sonora y áreas adyacentes* [Simposio]. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad de Sonora, Sonora, México.
- Stewart, J. H., Amaya-Martínez, R., Stamm, R. G., Wardlaw, B. R., Stanley, G. D., & 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(2), 115–135.
- Stewart, J. H., Poole, F. G., Harris, A. G., Repetski, J. E., Wardlaw, B. R., Mamet, B. L., & Morales-Ramírez, J. M. (1999). Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(1), 35–62.
- Stukalina, G. A. (1966). On the principles of classification of Paleozoic crinoids stems. *Paleontological Journal*, 3, 94–102.
- Stukalina, G. A. (1988). Studies in Paleozoic crinoids-columnals and stems. *Palaentographica Abteilung A*, 204, 1–66.
- Suchy, D. R., & West, R. R. (2001). Chaetetid buildups in a Westphalian (Desmoinesian) cyclothem in southeastern Kansas. *Palaos*, 16, 425–433.
- Torres-Martínez, M. A., Sour-Tovar, F., González-Mora, S., & Barragán, R. (2018). Carboniferous brachiopods (Productida and Orthotetida) from Santiago Ixtaltepec, Oaxaca, southern Mexico. *Revista Brasileira de Paleontologia* 21(1), 3–16. <https://doi.org/10.4072/rbp.2018.1.01>.
- Vachard, D., Oviedo, A., Flores-de Dios, A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (1993). Barranca d'Olinálá (Guerrero): Une coupe de reference pour le Permian du Mexique Central; étude préliminaire. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 2(2), 153–160.
- Velasco-de León, P., & Buitrón-Sánchez, B. E. (1992). Algunos crinoides (Echinodermata-Crinoidea) del Misisípico-Pensilvánico de San Salvador Patlanoaya, estado de Puebla. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 5, 71–81.
- Villanueva-Olea, R., Barragán, R., Palafox-Reyes, J. J., Jiménez-López, J. C., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2019). Microfacies and stable isotope analyses from the Carboniferous of the La Joya section in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(3), 585–607.
- Villanueva-Olea, R., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2013). La biota del Pensilvánico de la sierra las Mesteñas, Estado de Sonora y sus implicaciones paleobiogeográficas. *GEOS*, 33(1), 117.
- Villanueva-Olea, R., Buitrón-Sánchez, B. E., Palafox-Reyes, J. J., & Piña-Flores, S. (2016). Crinoides (Echinodermata: Crinoidea) del Pensilvánico de sierra Las Mesteñas, NE Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 125–134.
- Villanueva-Olea, R., Castillo, K., Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S. A., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2011). Placas columnares de crinoides (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(3), 429–443.
- Villanueva-Olea, R., Quiroz-Barroso, S. A., Quiroz-Barragán, J., Torres-Martínez, M. A., & 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), 1–17. <https://doi.org/10.18268/bsgm2021v73n1a040820>
- Villaseñor-Martínez, A. B., Martínez-Cortés, A. M., & Contreras-Montero, B. (1987). Bioestratigrafía del Paleozoico Superior de San Salvador Patlanoaya, Puebla, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 1(1), 396–417.
- Wang, X. D., Yang, S. R., Yao, L., Sugiyama, T., & Hu, K. (2022). Carboniferous biostratigraphy of rugose corals. En S. G. Lucas, J. W. Schneider, X. D. Wang, & S. Nikolaeva (Eds.). *The Carboniferous timescale* (pp. 603–632). Geological Society of London Special Publications.
- West, R. R. (1988). Changes in Carboniferous Reef Mound Communities. *Palaos*, 3(2), 152–169.
- West, R. R., & Kershaw, S. (1991). Chaetetid habitats. En J. Reitner, & H. Keupp (Eds.), *Fossil and recent sponges* (pp. 445–455). Springer.