



El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica

Cuen-Romero, Francisco Javier^{a,*}; Reyes-Montoya, Dulce Raquel^b;
Noriega-Ruiz, Héctor Arturo^b

^aDepartamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

^bDepartamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Luis Donaldo Colosio s/n, entre Sahuaripa y Reforma, Col Centro, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

* francisco.cuen@ciencias.uson.mx

Resumen

Los estudios del Paleozoico inferior de México se inician en 1900 por Edwin Theodore Dumble (1852–1927), quien identificó estratos del Ordovícico por primera vez en Sonora. Actualmente, transcurridos ~120 años de estos primeros estudios en el país, se cuenta con una amplia bibliografía sobre estratigrafía y paleontología. En el presente trabajo se elabora una recapitulación de los principales trabajos del Cámbrico, Ordovícico y Silúrico de Sonora. El Cámbrico se encuentra distribuido de manera uniforme en la parte central y norte del estado. El Ordovícico se localiza en un cinturón principalmente hacia la parte central y sur del estado, y el Silúrico aflora en dos localidades de manera aislada. La biota del Paleozoico inferior de México está constituida por cianobacterias, poríferos, arqueociatos, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos como formas predominantes.

Palabras clave: Cámbrico, México, Ordovícico, Paleozoico, Silúrico, Sonora.

Abstract

The studies on the lower Paleozoic rocks of Mexico began in 1900 by Edwin Theodore Dumble (1852–1927), who first identified Ordovician in Sonora. Currently, after ~120 years of these first studies in the country, there is a dense stratigraphic and paleontological bibliography. In this work, a summary of the main works of the Cambrian, Ordovician, and Silurian of Sonora is compiled. The Cambrian is evenly distributed in the central and northern parts of the state. The Ordovician is located in a belt mainly towards the central and southern part of the state and the Silurian outcrops are found only in two isolated locations. The lower Paleozoic biota of Mexico consists of cyanobacteria, poriferans, archaeocyathids, brachiopods, mollusks, arthropods, and echinoderms, as predominant forms.

Keywords: Cambrian, Mexico, Ordovician, Paleozoic, Silurian, Sonora.

1. Introducción

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior de México se encuentran en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Tamaulipas y Oaxaca (López Ramos, 1969; Buitrón y Sandoval, 1989; Buitrón, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2018). En México existen escasos afloramientos del Cámbrico, Ordovícico y Silúrico, los cuales se distribuyen

principalmente en el estado de Sonora, con una biota fósil relativamente bien preservada. De manera general estos afloramientos se encuentran pobremente distribuidos en el estado, debido a que fueron en su mayoría cubiertos por una potente secuencia de sedimentos del Mesozoico (Buitrón, 1992), siendo el Sistema Silúrico el menos conocido desde el punto de vista estratigráfico y paleontológico. Estos afloramientos han sido ampliamente estudiados desde

principios de siglo pasado centrándose en la estratigrafía y paleontología (Dumble, 1900; King, 1939; Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952, 1956; Poole y Amaya-Martínez, 2000).

Los estudios estratigráficos y paleontológicos enfocados a las rocas del Paleozoico inferior de México han aumentado de manera significativa en las últimas décadas (Stewart y Poole, 2002; Nardin *et al.*, 2009; Cuen *et al.*, 2013; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2017; Cuen-Romero *et al.*, 2016, 2018, 2019a, 2019b). Roldán-Quintana (1982) reconoce tres áreas principales de afloramientos en el estado de Sonora: la región de Caborca (noroeste), la región de Bavispe (noreste) y la región de Hermosillo (centro). Los estudios más detallados que se han llevado a cabo de las rocas paleozoicas de Sonora corresponden a la región de Caborca (Cooper y Arellano, 1946; Cooper *et al.*, 1952, 1956; Rivera-Carranco, 1988; Sour-Tovar y Hernández-Barbosa, 2018). La región de Caborca está constituida por una secuencia de dolomía y caliza, así como cuarzoarenita, calcarenita y escasa lutita. En la región de Bavispe la litología consiste principalmente en caliza, dolomía, caliza con lentes de pedernal, cuarcita y escasa lutita. En la región de Hermosillo, existen afloramientos constituidos principalmente por caliza, caliza con lentes de pedernal, escasa dolomía y arenisca. El espesor de las secuencias paleozoicas varía en cada región, consistiendo en columnas compuestas de miles de metros que disminuyen del noroeste hacia el noreste de Sonora (Roldán-Quintana, 1982). Por otro lado, los rasgos estructurales de las rocas paleozoicas en Sonora han sido pobremente estudiados.

Asimismo, se han documentado principalmente dos secuencias sedimentarias del Paleozoico, identificando sus características sedimentarias y los aspectos estratigráficos los cuales indican que, durante el Precámbrico tardío y en todo el Paleozoico, la región central de Sonora representó una plataforma continental a la que se le ha denominado Miogeoclinal Cordillerano (Fries, 1962; Stewart, 1982); mientras que el segundo paquete sedimentario corresponde a secuencias asociadas al talud continental o al denominado Eugeoclinal Cordillerano que cubrieron discordantemente a estratos ordovícicos (González-León, 1986; Molina-Garza e Iriando, 2005).

El registro de facies de aguas someras del cratón y aguas profundas distribuidas en las distintas regiones del estado (noroeste, noreste, central) denota afinidad a relaciones observadas a lo largo de la cordillera oeste de Norteamérica (Stewart *et al.*, 1984; Molina-Garza e Iriando, 2005). Sin embargo, las facies transicionales entre facies del cratón y facies de plataforma no han sido reconocidas en Sonora. Solo localmente se hallan unidades preservadas del Paleozoico medio (Silúrico-Devónico); también es aparente un hiato en el Silúrico ya que dicho sistema se encuentra pobremente representado en las secuencias paleozoicas de Sonora (Poole y Amaya-Martínez, 2000; Molina-Garza e Iriando, 2005).

En el presente trabajo se realiza una breve descripción de las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior de Sonora, con el objetivo de mostrar una perspectiva general sobre los estudios de estratigrafía y paleontología que se han llevado a cabo.

2. Cámbrico

2.1. Área Norte

Los geólogos Gómez y Torres-Izabal realizaron una exploración en el norte de Sonora para Petróleos Mexicanos en 1941 y se percataron de la existencia de rocas cámbricas en el Cerro Los Arrojos, en el área de Caborca (Figura 1), excepcionalmente bien expuestas, y recolectaron los primeros trilobites conocidos en México, los cuales fueron identificados por Stoyanow (1942).

Cooper y Arellano (1946) estudiaron la estratigrafía y el contenido fosilífero de la región de Caborca, dando a conocer las primeras descripciones de algas calcáreas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos y trilobites, particularmente, la presencia de *Girvanella* y *Olenellus* en Sonora.

Lochman (1948) describió siete géneros y siete especies de trilobites del Cámbrico temprano y medio del área de Caborca, identificadas como *Sombrella mexicana*, *Mexicaspis stenopyge*, *Mexicella mexicana*, *Provedoria starquistae*, *Arellanella caborcana*, *Caborcella arrojosensis* y *Kistocare corbini*. Actualmente *Amecephalus arrojosensis* y *Mexicella mexicana* representan zonas bioestratigráficas del Cámbrico medio en Norteamérica (McCollum y Sundberg, 2007; Webster, 2011).

Cooper *et al.* (1952) continuaron con las investigaciones en Caborca y realizaron un estudio detallado de la estratigrafía y paleontología, estableciendo las siguientes unidades en orden cronoestratigráfico para el Cámbrico inferior: las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Cerro Prieto, ésta última de edad incierta. Para el Cámbrico medio se considera la Formación Arrojos y la Formación El Tren. Lochman en Cooper *et al.* (1952) identificó trilobites, citando más de 20 especies nuevas. Los trilobites de la Formación Puerto Blanco están representados por *Olenellus* sp. y *Lochmanolenellus primus* (syn. *Wanneria* spp.). Cooper *et al.* 1952 identificaron fragmentos de olenélidos de la Formación Proveedora asignándolos a *Lochmanolenellus mexicana* (syn. *Wanneria mexicana*). En la Formación Buelna los trilobites *Fritzolenellus truemani* Walcott (syn. *Olenellus fremonti*), *Antagmus buttsi* Resser y nuevas especies se reconocieron por Lochman en Cooper *et al.* (1952), como *Paedeumias puertoblancoensis*. La Formación Cerro Prieto no presentó trilobites, mientras que la Formación Arrojos posee una abundante fauna de trilobites como *Alokistocare althea* Walcott, *Kistocare tontoensis* Resser, *Kootenia exilaxata*

Deiss, *Athabaskia bela* Walcott, *Ptychoparia clusia* Walcott, *Zacanthoides holopygus* Resser, *Amecephalus arrojensis* Lochman, y las nuevas especies *Alokistocare modestum*, *Alokistocare mexicana*, *Kochaspis cooperi*, *Ptarmigania (Ptarmiganoides) bispinosa*, *Glossopleura torresi* (syn. *Sonoraspis torresi*), *Glossopleura gomezi* (syn. *Sonoraspis gomezi*), *Albertella proveedora*, *Albertella* aff. *A. proveedora*, *Mexicaspis difuntoensis*, *Arellanella sonora*, *Inglefieldia imperfecta*, *Pachyaspis deborra* y *Pachyaspis isabella*, así como las especies ya descritas por Lochman en 1948. Los trilobites de la Formación El Tren están representados por *Athabaskia minor* Resser, *Inglefieldia* sp. y *Parehmania* sp.

Fritz (1975) evaluó también la estratigrafía del área de Caborca, en las formaciones Buelna y Cerro Prieto. Con base en trilobites reconoció la Zona *Bonnina-Olenellus* y determinó que la transición al Cámbrico medio ocurre cerca de la base de la Formación Arrojós.

Stewart *et al.* (1984) realizaron el estudio estratigráfico de las rocas sedimentarias del Proterozoico superior y Cámbrico de la región de Caborca, identificando catorce formaciones, las cuales fueron consideradas parte del Miogeoclinal Cordillerano en el noroeste de México. Para la Formación La Ciénega se reconocieron faunas pre-trilobíticas y la ocurrencia de fósiles traza de trilobites como *Rusophycus*, infiriendo la Zona de pre-*Fallotaspis*. La

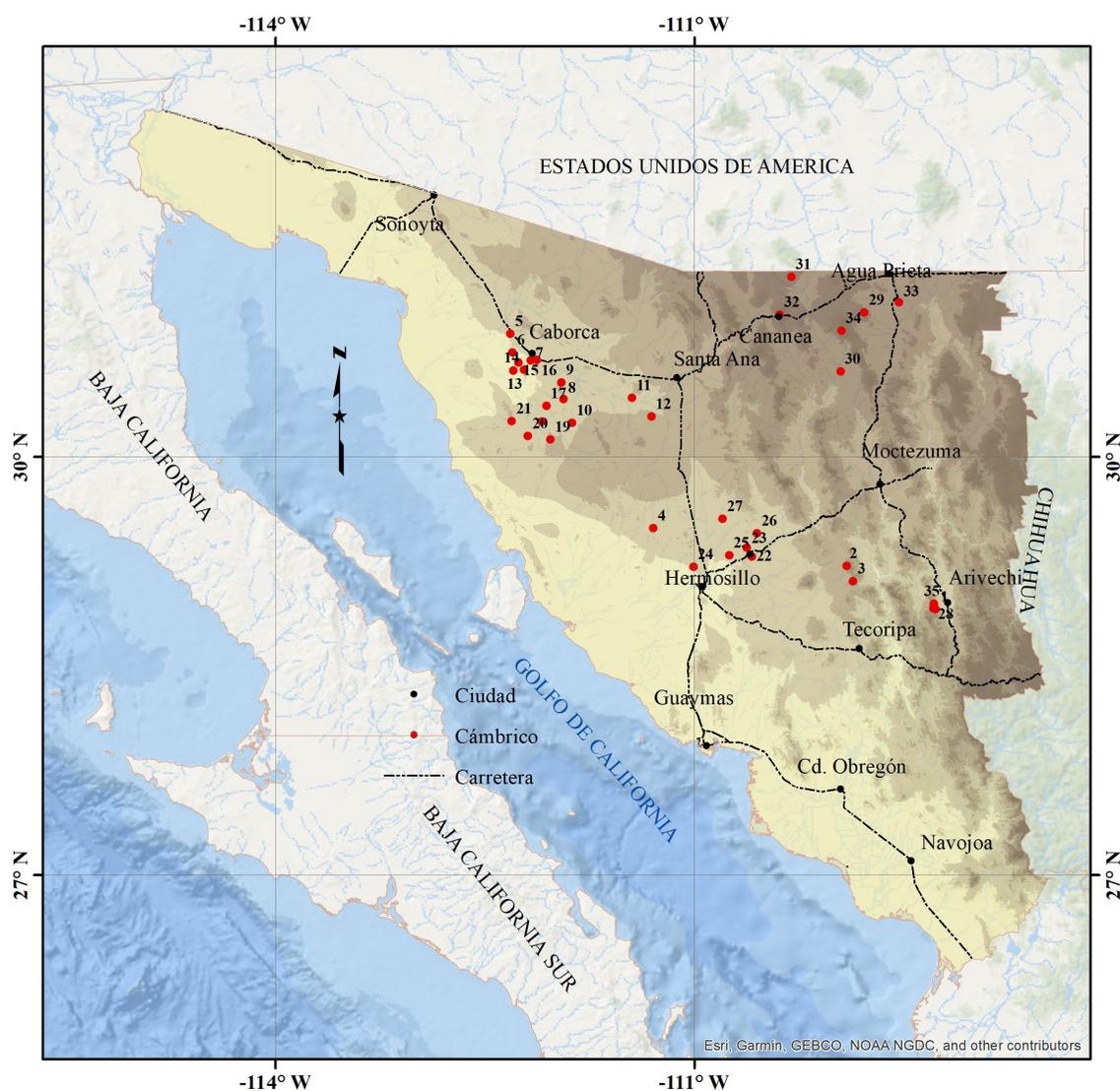


Figura 1. Afloramientos del Cámbrico de Sonora, México. 1 Cerro El Mogallón, 2 Sierra Agua Verde, 3 Sierra El Carrizo, 4 Rancho Pozo Nuevo, 5 Cerro Los Difuntos, 6 Cerro Buelna, 7 Cerro Prieto, 8 Cerro Rajón, 9 Sierra la Víbora, 10 Cerro San Clemente, 11 Cerro Arituaba, 12 Cerro El Picacho, 13 Cerro Arrojós, 14 Cerro Lista Blanca, 15 Cerro Proveedora, 16 Cerro Cañedo, 17 Sierra La Verruga, 18 Cerro Calaveras, 19 Cerro La Ciénega, 20 Cerro Pozo Serna, 21 Sierra Del Viejo, 22 Cerro El Chihuarruita, 23 Cerro El Sahuaral, 24 Cerro La Caridad, 25 Cerro El Cártamo, 26 Cerro El Sotol, 27 Sierra La Chepa, 28 Cerro La Sata, 29 Sierra Las Mesteñas, 30 Cerro La Cal, 31 Sierra El Tule, 32 Cananea, 33 Cerro Cabullona, 34 Sierra Los Ajos y 35 Cerro El Potrero.

Formación Puerto Blanco contiene abundantes trilobites que fueron identificados por Lochman (1948) y Palmer (1982), quién asignó las zonas de *Bonnia-Olenellus*, *Nevadella* y *Fallotaspis*.

González-León (1986) describió una secuencia de rocas sedimentarias del Cámbrico medio y superior en el área de la Sierra del Tule, Cananea (Figura 1), constituida principalmente por arenisca, caliza, capas de lodolita, limolita y arenisca de grano muy fino. La biota está representada por algas calcáreas y los trilobites *Arapahoia* sp., *Cedaria* sp., *Coosella* sp., *Coosia* sp., *Llanoaspis* sp. y *Tricrepicephalus* sp. del Cámbrico medio y superior (Dresbachiano).

McMenamin (1987) informó sobre trilobites de la Formación Puerto Blanco, Sonora. Asimismo, determinó las zonaciones y estableció correlaciones con la Formación La Ciénega del noroeste de Sonora (Figura 1). El mismo autor identificó la especie cf. *Fallotaspis* sp. y nuevas especies como *Nevadia ovalis* y *?Avefallotaspis orbis* (syn. *Judomia orbis*) del Cámbrico inferior. Estos trilobites fueron importantes para correlacionar la Formación Puerto Blanco con otras localidades de Norteamérica.

Rivera-Carranco (1988) determinó el conjunto de procesos sedimentarios que actuaron en las unidades cámbricas del área de Caborca, con el fin de establecer las condiciones paleoambientales de su depósito, señalando que la mayor parte de estas formaciones representan ambientes marinos de aguas someras y tranquilas de carácter lagunar, además de existir depósitos de intermarea y submarea.

2.2. Área central y oriental

Cirett y Aguilar (1989) son los descubridores del Cámbrico del Cerro El Chihuarruita, en el área de San José de Gracia (Figura 1). Dichos autores estudiaron la estratigrafía de las rocas de la región, identificando para el Cámbrico a las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto, incluidas en el grupo San José.

Almazán-Vázquez (1989) describió y nombró informalmente cuatro formaciones en la región de Arivechi centro oriental del estado de Sonora: La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillás (Figuras 1 y 2). Para la formación La Sata, Almazán-Vázquez (1989) identifica las especies de trilobites *Amecephalus* sp. y *?Fioldaspis* sp., indicando la base de Cámbrico medio y representando la Zona pre-*Glossopleura*. La formación El Mogallón presenta las especies *Bathyriscus* sp., *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus michaeli*, *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* sp. cf. *O. marjumensis*, *?Modocia typicalis*, *Modocia* sp., y *?Utaspis* sp., infiriendo que las rocas pertenecen a la parte media del Cámbrico medio. En la formación La Huerta se encontraron trilobites indeterminados, representando la parte superior del Cámbrico medio, aunque los taxa no demostraron una edad precisa, mientras que la formación Milpillás está representada por las especies *Aphelotoxon* sp.,

Elviniella sp., *Homagnostus* sp., *Pseudagnostus* sp., *?Pterocephalia* sp. y ptychopariidos indeterminados, infiriendo la Zona *Dunderbergia* o *Elvinia*, situando a estas rocas en la parte media del Cámbrico superior. Así, a la secuencia continua le fue asignada una edad de Cámbrico medio-Ordovícico con base en la identificación de zonas faunísticas: *Poliella denticulata*, *Bolaspidea* y *Elvinia* (Cuen-Romero et al., 2018).

Vega-Granillo (1996) describió la geología y el análisis estructural de la Sierra de Mazatán, Sonora central, donde se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias principalmente carbonatadas con delgadas intercalaciones detríticas hacia la parte inferior. Esta unidad contiene ejemplares de *Tonkinella valida*, *Quadragnostus depressa* (syn. *Peronopsis fallax depressa*), *Tomagnostus* sp. y *Ptychoparella* sp. (syn. *Syspacephalus* sp.), asignando la Zona de *Ehmaniella*. Sin embargo, años más tarde serían asignadas a la parte superior de dicha zona (Cuen-Romero et al., 2018), específicamente a la Subzona de *Altiocculus* por la presencia de *Tonkinella valida*, que indica una edad Serie 3, Piso 5, para Laurentia (Lincolniano, Topazano).

Stewart et al. (2002) describieron numerosas áreas donde se presentan secuencias de rocas de la cobertura neoproterozoica y paleozoica en Sonora. En el estudio, las secuencias neoproterozoicas y cámbricas fueron divididas en cuatro principales asociaciones: 1) La secuencia del Neoproterozoico ubicada al noroeste de Hermosillo, conformada por rocas de los grupos Las Víboras y El Águila (informales), considerada como parte del supercontinente Rodinia. 2) El grupo Las Bolas (informal), ubicado al este de Sonora, el cual contiene depósitos glaciares en la parte inferior de la secuencia correspondientes a la Glaciación Sturtiana. 3) En la porción norte y noreste, los estratos del Neoproterozoico y Cámbrico pertenecientes al Miogeoclinal Cordillerano fueron depositados a lo largo del margen continental recién formado de Laurentia, que se inició después de la fragmentación del supercontinente Rodinia. 4) Al sureste, la cubierta cratonal del Cámbrico medio y superior dentro del Miogeoclinal Cordillerano. Los autores consideraron que Sonora se encuentra en una posición única en la reconstrucción del hipotético supercontinente de Rodinia, sugiriendo que una posición cerca de Australia o la Antártida parece ser la más probable.

Nardin et al. (2009) dieron a conocer la existencia de *Gogia granulosa* Robison, 1965 y determinaron el Cámbrico inferior-medio de las rocas de San José de Gracia en la región central de Sonora. Los autores en una reevaluación del material fósil, propuesto por Buitrón et al. (2004), realizaron el estudio paleontológico y sistemático de *Gogia granulosa*, así como la descripción detallada de los miembros litológicos propuestos por otros autores anteriores.

Cuen et al. (2013) describieron escleritos aislados de *Chancelloria eros* Walcott 1920, *Diagoniella* sp. y asociaciones de espículas hexactinélidas-estauractinas y hexactina- pentactinas para el Cámbrico medio de San José

de Gracia (Figura 3). Dichos organismos están asociados con otros representativos de la Zona de *Mexicella mexicana*, además de braquiópodos inarticulados.

Cuen-Romero *et al.* (2016) realizaron estudios en la estratigrafía del Cerro El Chihuarruita (Figuras 1 y 3), en la región de San José de Gracia, con el establecimiento de una estrecha correlación con la estratigrafía propuesta por Cooper *et al.* (1952), para la región de Caborca situada al noroeste del estado. Describieron la estratigrafía del Cámbrico del área San José de Gracia, conformada por cuatro formaciones: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, y propusieron formalmente una nueva unidad estratigráfica denominada Formación El Gavilán (Cuen-Romero *et al.*, 2016). Estos autores reportan por primera vez la presencia de *Amecephalus arjosensis* en la base de la Formación Cerro Prieto, la cual es una especie indicadora del Cámbrico medio. La biota en esta región está constituida por algas oncolíticas (Figura 6a), espículas de esponja (Figura 6b), braquiópodos (Figura 6c–d), hiolítidos, trilobites (Figura 6e–f), entre otros.

Encinas-Miranda (2016) realizó la descripción sistemática de la fauna de trilobites presente en la Formación El Gavilán del área El Sahuaral (Figura 1), Sonora central, identificando por primera vez en esta región de Sonora cinco especies de trilobites: *Quadragnostus depressa*, *Pagetia* sp., *Oryctocephalus* sp., *Elrathina antiqua* y *Tonkinella valida*, este último indica la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella*, una edad estimada de 505 Ma.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2017) reportaron por primera vez, para el Cámbrico inferior y medio de México, hiolítidos de la especie *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison,

1988, y para la región de San José de Gracia la especie *Hyolithes* cf. *H. sonora* Lochman, 1952. Con base en la biota cámbrica, que incluye a estos hiolítidos, se establece una estrecha correlación con los depósitos de Canadá, Estados Unidos de Norteamérica, Groenlandia, Sudamérica, norte de Europa, Asia, y noreste de Australia.

Danzos-Acuña (2018) realizó la bioestratigrafía a detalle del área del Sahuaral, Sonora central, con base en trilobites, destacando la presencia de trilobites de la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona *Ehmaniella*.

Cuen-Romero *et al.* (2018) en un estudio detallado y combinado con aportes previos de otros autores estableció la bioestratigrafía y las zonas faunísticas basadas en trilobites de los depósitos cámbricos en Sonora. Asimismo, en este estudio se implementó la nueva división cámbrica propuesta por la Subcomisión Internacional de la Estratigrafía del Cámbrico, siendo utilizada para asignar las posiciones cronoestratigráficas de los estratos cámbricos de Sonora. Las zonas bioestratigráficas se establecieron según Webster (2011) y Webster y Bohach (2014).

Sour-Tovar y Hernández-Barbosa (2018) describieron madrigueras y estructuras etológicas con relación a los icnogéneros *Rusophycus* y *Cruziana* de la Formación Puerto Blanco, en la región Caborca-Pitiquito, noroeste de Sonora (Figura 1). Los ejemplares permitieron reconocer la asociación típica de la icnofacies *Cruziana*, que indican ambientes marinos submareales con cambios en condiciones de meso a infralitorales

Beresi *et al.* (2019) hicieron el primer reporte formal para el área de El Sahuaral y describieron la presencia de fragmentos de escleritomos de *Chancelloria eros* Walcott



Figura 2. Afloramientos del Cámbrico-Ordovícico del área de Arivechi, izquierda (cerro La Sata), derecha (cerro El Mogallón).



Figura 3. Cerro El Chihuarruita. Afloramientos del Cámbrico de Sonora central.

asociados con escleritos aislados de *Allonia tintinopsis* Bengston y Collins (2015), y *Archiasterella* sp., presentes en la Formación El Gavilán.

Cuen-Romero *et al.* (2019a) realizaron las reconstrucciones paleoecológicas de las comunidades del Cámbrico en la región de Sonora central, de acuerdo con el análisis litológico y las características faunísticas para interpretar las condiciones del ambiente de depósito de las formaciones estudiadas en el área de San José de Gracia. En conjunto se distinguen las comunidades bentónicas con diversos grupos funcionales y gremios bien definidos, y las condiciones paleoambientales varían desde la línea de costa hasta la plataforma marina abierta.

Cuen-Romero *et al.* (2019b) describieron por primera vez para la región de Arivechi la especie *Ptychagnostus atavus*. La abundancia y amplia distribución del trilobite agnóstico permitió realizar correlaciones a nivel global, aportando nuevo conocimiento para el Cámbrico medio de México y la relación estrecha con el supercontinente Laurentia.

Noriega-Ruiz (2019) realizó un análisis de litofacies, microfacies y biofacies de las unidades litoestratigráficas cámbricas, identificando por primera vez a la Formación El Tren en el área de El Sahuaral, así como la presencia

de icnofósiles (*Arenicolites* isp., *Thalassinoides* isp. y *Skolithos* isp.), algas oncolíticas (*Girvanella* sp.), braquiópodos (*Lingulella proveedorensis* Cooper in Cooper *et al.*, 1952), hiolítidos (*Hyolithes sonora* Lochman, 1952, y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988), trilobites (*Tomagnostus* sp., *Oryctocephalus* sp., y *Tonkinella flabelliformis* Mansuy, 1916) y placas aisladas de equinodermos.

3. Ordovícico

El Paleozoico inferior se describió por primera vez en Sonora en El Rancho La Casita (Dumble, 1900) y en la Sierra Cobachi (King, 1939), estando representado por una secuencia de rocas calcáreas y dolomías asignadas al Ordovícico (Figura 4).

Los depósitos del Ordovícico fueron clasificados en tres cinturones de facies por Poole *et al.* (1995a, 1995b): plataforma cratónica, plataforma carbonatada y cuenca oceánica. Los depósitos de plataforma carbonatada del Ordovícico Inferior se caracterizan por caliza intraclástica, limolita, lutita y pedernal; los del Ordovícico Medio se constituyen de caliza arenosa y arenisca de cuarzo; los

depósitos del Ordovícico Superior se componen de caliza con pedernal y caliza arcillosa (Page *et al.*, 2012). Las rocas de plataforma cratónica del Ordovícico en Sonora se componen de afloramientos dispersos de caliza en el noreste de Sonora (Poole *et al.*, 1995a). Los depósitos del Ordovícico de cuenca oceánica están constituidos mayormente por lutita negra, argilita, pedernal y cuarcita que afloran principalmente en el centro de Sonora (Poole *et al.*, 1995b).

3.1. Área de Cobachi-Barita de Sonora

Peiffer-Rangin *et al.* (1980) y Peiffer-Rangin (1988) realizaron el estudio sobre el Ordovícico Superior de la región de La Casita-Los Chinos y reportaron una secuencia de argilita, pedernal con radiolarios y caliza arrecifal con corales como *Streptelasma* sp., *Palaeophyllum* sp. y *Calapoecia* sp. En el Cerro Cobachi, la secuencia se compone de argilita con los graptolites *Dicranograptus* sp., *Orthograptus* sp. (Figura 6g) y *Climacograptus* sp.

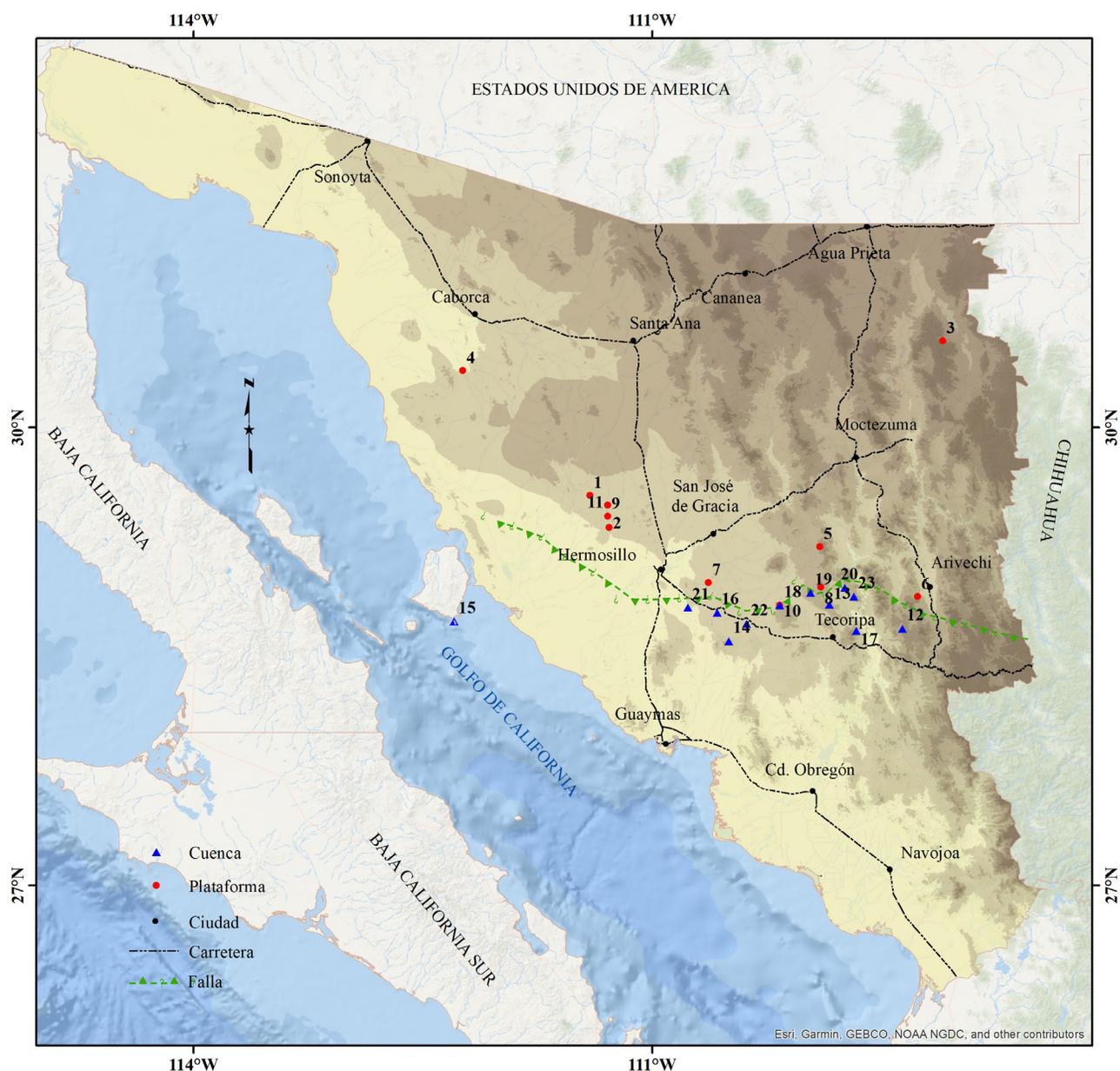


Figura 4. Afloramientos del Ordovícico de Sonora, México. Facies de plataforma carbonatada: 1 Cerro El Camero, 2 Rancho Placeritos, 3 Cañón de Santa Rosa, 4 El Bísani, 5 Sierra Agua Verde, 6 Cerro El Santísimo, 7 Rancho Las Norias, 8 Sierra Martínez, 9 Sierra de López, 10 Cerro Cobachi, 11 Rancho Pozo Nuevo. Facies de Cuenca Oceánica, 12 Sierra El Encinal, 13 Sierra La Ciénega, 14 Sierra de Moradillas, 15 Isla Turner, 16 La Colorada, 17 Sierra El Aliso, 18 Cerro Cobachi, 19 Barita de Sonora, 20 Rebeiquito, 21 Cerros El Aguaje, 22 Cerros La Herradura y 23 Cerro El Carrizo.

(Ordovícico Tardío), así como pedernal y cubierta por arenisca de cuarzo.

Noll (1981) nombró informalmente el grupo Guayacán, en el Cerro Cobachi, que se compone de arenisca masiva que gradúa a lutita calcárea y lutita carbonosa con graptolites, arenisca calcárea, caliza y bandas de pedernal, que tiene una edad del Ordovícico al Devónico.

Montes-Pesqueira y Campillo-Corrales (1983) refrieron una secuencia del Grupo Guayacán en la Barita de Cobachi (Barita de Sonora), que se conforma de lutita con graptolites como *Cryptograptus tricornis*, *Corynoides* sp., *Orthograptus calcaratus acutus* y *Pseudoclimacograptus sharenbergi* del Ordovícico Medio.

Ketner (1986) nombró informalmente cuarcita Peña Blanca a una secuencia siliciclástica de 132 m de espesor del Ordovícico que aflora en el Cerro Cobachi y concluyó que es similar en espesor, composición y textura a la Cuarcita Eureka de California y Nevada, EUA.

Montijo-González y Terán-Ortega (1988), reportaron en la Sierra Martínez una secuencia de dolomía, caliza arenosa, conglomerado y limolita, con un espesor aproximado de 100 m del Ordovícico Inferior (Tremadociano-Darriwiliano). Poole et al. (1995a) describieron en esta secuencia una fauna de trilobites (*Paranileus* sp.), braquiópodos, gasterópodos (*Lecanospira* sp., *Maclurites* sp., *Helicotoma* sp., y *Lophospira* sp.) (Figura 6h-i) y conodontos de las zonas *Macerodus diana* hasta *Histiodela sinuosa* (Ibexiano-Whiterockiano).

En el área de la mina Barita de Sonora aflora una secuencia ordovícica de cuenca profunda de la formación El Quemado, la cual mide alrededor de 100 m y se compone de caliza, limolita, dolomía, arenisca y conglomerado intraclástico. Esta secuencia se dató con graptolites del género *Adelograptus*. Esta formación está sobreyacida por la formación el Mezquite de 110 m de espesor, formada de argilita y lutita con graptolites (*Nemagraptus gracilis*, *Dicranograptus clingani*) del Ordovícico Medio. La formación el Yaqui sobreyace a la secuencia anterior y está formada por bandas de pedernal y limolita de 120 m de espesor que contienen graptolites (*Dicranograptus clingani*, *Dicellograptus complanatus*) del Ordovícico Medio-Superior (Poole et al., 1995b).

3.2. Área de Arivechi

Almazán-Vázquez (1989) trabajó en el oeste de Arivechi, lugar donde informalmente nombró cinco formaciones para referirse a rocas del Cámbrico medio-superior y Ordovícico Inferior, las cuales son La Sata, El Mogallón, La Huerta, Milpillitas y El Santísimo (Figura 4), estableciendo sus edades mediante trilobites. Las capas pertenecientes al Ordovícico Inferior contienen trilobites y crinoides de la Zona de *Symphysurina*.

Reyes-Montoya (2017) reconoció una secuencia de limolita, lutita, brecha sedimentaria y caliza con conodontos

Drepanodus sp., *Drepanodus arcuatus*, *Scolopodus subrex*, del Ordovícico Inferior (Tremadociano) pertenecientes a la formación El Santísimo.

3.3. Área El Bísani y Bavispe

En las inmediaciones del Rancho El Bísani se localizan colinas con rocas carbonatadas de donde Brunner (1984) describió fauna de conodontos del Ordovícico Inferior-Medio.

Poole et al. (1995a) reportó una secuencia de dolomía gris oscura con pedernal y arenisca de cuarzo con conodontos de edad Whiterockiano a Cincinnatiano (Ordovícico Medio-Tardío) en el Rancho Bísani (Figura 4).

En el Cañón de Santa Rosa, ubicado a 20 km al noroeste de Bavispe, se encuentra una secuencia de calizas con los conodontos *Drepanodus* sp., *Scolopodus subrex*, *Acontiodus* sp., del Ordovícico Inferior pertenecientes a depósitos de plataforma cratónica (Holcomb, 1979; Poole et al., 1995b).

3.4. Área Sierra Agua Verde

La región de la Sierra Agua Verde fue explorada en los años setenta por Peiffer-Rangin; sin embargo, la primera publicación la realiza Stewart et al. (1984) donde describieron secuencias del Cámbrico y Ordovícico. A partir de esta publicación, diversos autores han estudiado esta área y como conclusión se obtuvo que en la Sierra Agua Verde está expuesta una sucesión sedimentaria de aproximadamente 3.7 km de espesor, que comprende el Neoproterozoico?, Cámbrico, Ordovícico, Devónico Superior, Misisípico y Pensilvánico Inferior-Medio (Poole et al., 1984, 1995a; Repetski et al., 1985; Stewart et al., 1988a). Los afloramientos del Paleozoico fueron descritos por Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993).

Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993) trabajaron en la Sierra Agua Verde y denominaron el grupo San José para incluir a las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Arrojos, las cuales correlacionaron con la secuencia del Cámbrico de Caborca. También nombraron informalmente la formación el Boquinete dentro el grupo Agua Verde para referirse a una secuencia de lutita calcárea, caliza arenosa, caliza con pedernal y arenisca. La biota se compone por braquiópodos (*Liricamera* sp. y *Dipareplasma* sp.), corales (*Palaeoalveolites* sp., *Palaeophyllum* sp. y *Streptelasma* sp.), crinoides y briozoarios fragmentados.

Stewart et al. (1999) identificaron dos unidades carbonatadas del Ordovícico Inferior en la Sierra Agua Verde. La unidad 1 consiste en una secuencia carbonatada de caliza intercalada con lutita que contiene conodontos del Ordovícico Inferior (Tremadociano) (*Cordylodus caboti*, *Cordylodus lindstromi*, *?Eoconodontus notchpeakensis*, *Rossodus manitouensis*, *Drepanodus arcuatus*, *Protopanderodus leei*). La unidad 2 está representada por caliza fosilífera del

Ordovícico Inferior (Tremadociano-Floiano), la biota está representada por algas, braquiópodos, equinodermos y conodontos (*Histiodela* sp., *Protopanderodus leei*, *Scolopodus bolites*, *Macerodus diana*, *Acodus deltatus*, *Oepikodus communis*, *Chionoconus avanga*, *Reutterodus andinus*, *Tropodus australis*, *Jumudontus gananda*).

En el Cerro La Cueva, en la región de San Pedro de la Cueva, Sonora aflora una secuencia calcárea con cianobacterias (*Nuia sibirica*), esponjas, gasterópodos, trilobites y pelmatozoos. Esta secuencia es equivalente con la formación el Boquinete (Ochoa-Granillo y Sosa León, 1993) o lo equivalente a la unidad 2 propuesta por Stewart *et al.* (1999). Esta unidad es del Ordovícico Inferior, Tremadociano-Floiano (Vachard *et al.*, 2017).

3.5. Área Sierra López y Rancho Las Norias

Vega-Granillo y Araux-Sánchez (1987) nombraron informalmente la formación Las Norias, en el Rancho Las Norias (Figura 4), que corresponde a una secuencia del Ordovícico compuesta de caliza, lutita, dolomía y arenisca, comparable en litología a la Formación Pozo Nuevo. Estas rocas contienen fósiles de briozoarios, braquiópodos, gasterópodos, trilobites, crinoideos y conodontos, entre otros.

Ávila-Angulo (1987) describió una unidad llamada informalmente “unidad caliza Pozo Nuevo” del Ordovícico, conformada por dolomía con capas de pedernal, cuarcita, arenisca calcárea, caliza con pedernal con briozoarios, braquiópodos, cefalópodos, trilobites y crinoideos en el Rancho Pozo Nuevo ubicado al norte de la Sierra López. Esta área fue estudiada posteriormente por otros autores (Franco-Vega *et al.*, 2000; Page *et al.*, 2003; Almazán-Vázquez, 2006).

En el Cerro Sonora, Sierra San Juan de Dios (norte del Rancho Las Norias), Peiffer-Rangin (1988) realizó una sección compuesta de caliza, limolita y brecha calcárea. Estos estratos contienen el alga *Nuia* del Ordovícico Temprano.

Al oeste de la Sierra López, Stewart *et al.* (1988b) describieron una secuencia compuesta de aproximadamente 1,700 m de caliza, lutita y dolomía con *Caryocaris* y *Hypermeaspis*, otra unidad de caliza con pedernal con conodontos del Ordovícico Medio y finalmente caliza y dolomía con conodontos de la parte superior del Ordovícico. Del Rancho Placeritos ubicado al sur de la Sierra López, Poole *et al.* (2000) identificaron un paquete de rocas del Ordovícico Medio-Superior, correlacionable con la parte superior de la caliza Pozo Nuevo, la cuarcita Peña Blanca y una unidad de caliza cíclica, caliza arcillosa y dolomía con corales rugosos y tabulados del Ordovícico Superior.

Franco-Vega (2000) nombró informalmente como formación Pozo Nuevo a una secuencia sedimentaria carbonatada compuesta de 12 facies (A–L), en el Rancho Pozo Nuevo, y correlacionó las facies F a la L con la

secuencia del Ordovícico que aflora en el Rancho Las Norias. Franco-Vega (2000) también indicó presencia de rocas cámbricas en el área.

Page *et al.* (2003) designaron la cuarcita La Pirinola del Cámbrico superior en el sureste del Rancho Las Norias. También realizaron secciones en las cercanías del Rancho El Albañil de donde informaron que la secuencia carbonatada de la formación Las Norias contiene braquiópodos, gasterópodos, trilobites, cefalópodos y conodontos del Ordovícico Temprano-Medio.

Almazán-Vázquez *et al.* (2006) nombró formalmente la Formación Pozo Nuevo, la cual aflora en el Rancho Las Norias y Rancho Pozo Nuevo, conformada por catorce miembros, y que en conjunto tienen un espesor de 2,490 m de caliza con pedernal, que alterna con capas arcillo-calcáreas y de arenisca cuarzosa con trilobites, gasterópodos y braquiópodos del Ordovícico Temprano. Beresi *et al.* (2012) concluyó debido al estudio de microfacies, que las rocas de la Formación Pozo Nuevo en Cerro Salazar cerca del Rancho Las Norias, se depositaron en un ambiente lagunar, depósitos intermareales, submareales y ambientes de playa de alta energía y dolomías de ambiente vadoso.

3.6. Área Sierra El Aliso

Bartolini (1988) identificó en la Sierra El Aliso un paquete del Ordovícico Inferior, Medio y Superior compuesto por cuatro unidades de lutitas negras con graptolites (*Undulograptus* sp., *Temnograptus* sp., *Loganograptus* sp.), pedernal con radiolarios, cuarcita, argilita con graptolites (*Climacograptus* sp. y *Orthograptus* sp. aff. *O. amplexicaulis*) y calizas azoicas.

3.7. Otras localidades del Ordovícico

Bartolini *et al.* (1990) describieron argilitas del Ordovícico Medio (Arenigiano-Llanvirniano) a lo largo de la carretera Rebeiquito-El Novillo. El Ordovícico de cuenca se encuentra presente también en las localidades de Rebeiquito, La Colorada (Cerro La Minita, Cerro el Aguaje, Cerros La Herradura) y en la Isla Turner. También en Rebeiquito se hallan afloramientos de lutita negra con graptolites del Whiterockiano-Mohawkiano, y en las localidades de La Colorada se han encontrado graptolites en lutitas y argilitas color gris, con edades del Whiterockiano al Cincinnatiano, y finalmente los graptolites encontrados en lutitas presentes en Isla Turner son del Mohawkiano (Poole *et al.*, 1995b) (Figura 4).

Poole *et al.* (1995a) concluyeron que las rocas de plataforma del Ordovícico en Sonora se pueden correlacionar con las del oeste de Estados Unidos de Norteamérica; las rocas carbonatadas de Sierra López, Sierra Martínez, Las Norias y Cerro Cobachi se pueden correlacionar con el Grupo Pogonip de Nevada y California, EUA, mientras que las rocas del Ordovícico de la Sierra Agua Verde son

correlacionables con la Caliza El Paso ubicada en el oeste de Texas, EUA (Figura 4).

4. Silúrico

El Sistema Silúrico se encuentra pobremente distribuido en el estado de Sonora. Como antecedente se tiene el trabajo de Palomares (1985), quién presentó una interpretación de isopacas, considerando la distribución actual de las rocas paleozoicas a partir de datos del subsuelo y superficie. El área de este trabajo incluye principalmente el norte de los estados de Sonora y Chihuahua, donde se exponen en su mayoría rocas sedimentarias paleozoicas constituidas de

caliza, y en menor proporción lutita, arenisca y limolita, seguido de arenisca y conglomerado; lo que es atribuido a un ambiente de depósito de ambientes litorales-aguas someras a profundos. El autor menciona que no existe evidencia de rocas sedimentarias del Silúrico en Sonora. González-León (1986) propuso que la ausencia de los sedimentos del Ordovícico y Silúrico en el sureste de Arizona, EUA y en el área de Cananea, noreste de Sonora, se debe principalmente a movimientos epirogénicos progresivos que causaron la erosión de los depósitos. Poole y Amaya-Martínez (2000) realizaron el estudio detallado sobre el reconocimiento de estratos pre-orogénicos y estratos sin-orogénicos asociados a aguas profundas (del Ordovícico al Misisípico Temprano) con relación a la formación del cinturón orogénico

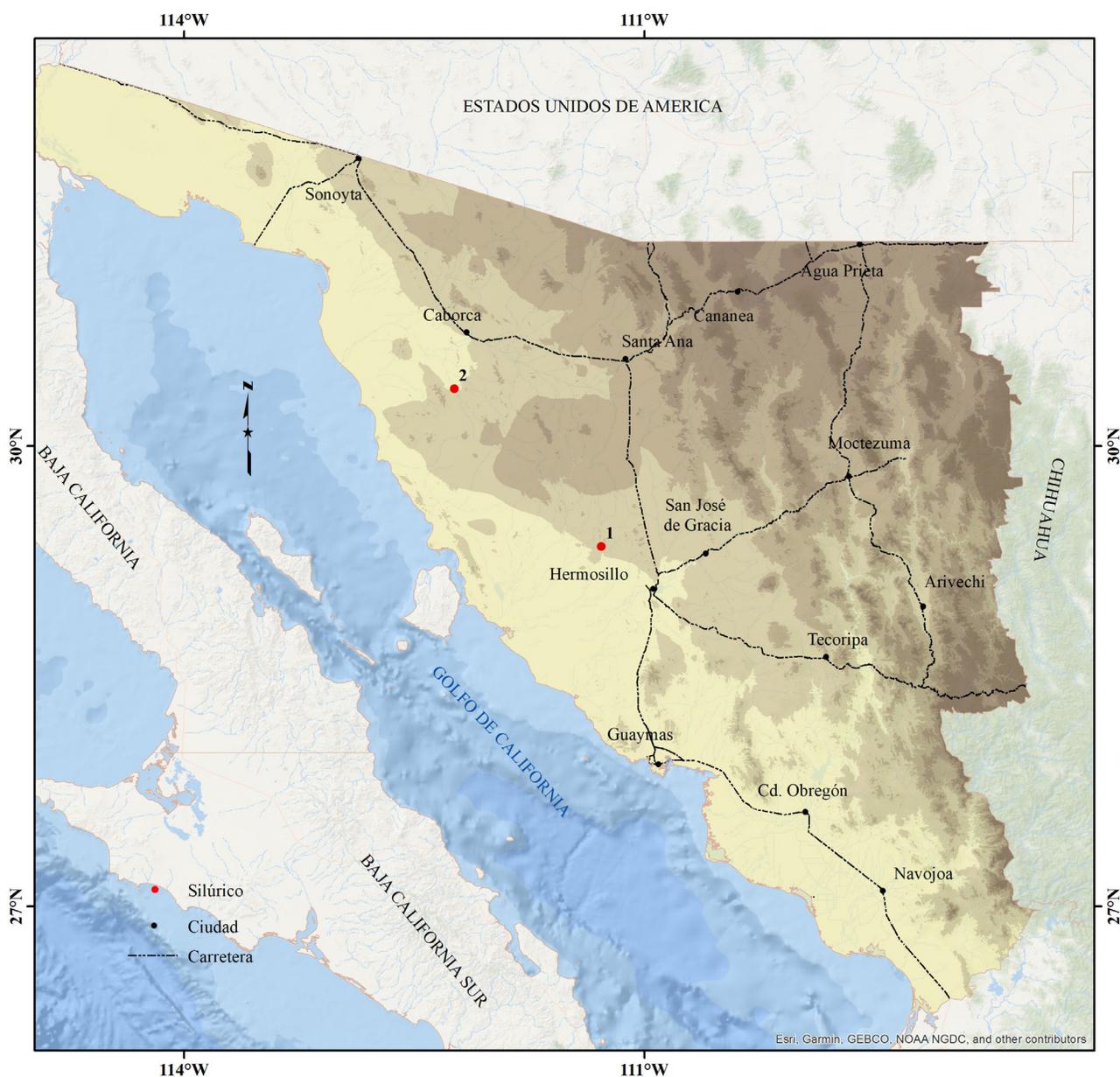


Figura 5. Afloramientos del Silúrico de Sonora, México. 1 Rancho Placeritos, y 2 El Bísani.



Figura 6. Fauna fósil del Paleozoico inferior de Sonora. a) Detalle de un alga oncolítica nucleada en una concha de un hiolítico, Formación Buelna, Cámbrico. b) Espículas de *Diagoniella* sp., Formación El Gavilán, Cámbrico. c) Valva pedicelar de *Acrothele concava*, Formación El Gavilán, Cámbrico. d) Asociación de *Acrothele* sp. y posible *Allonia*, Formación El Gavilán, Cámbrico. Tomado de Cuen *et al.*, 2013. e) *Elrathina antiqua*, Formación El Gavilán, Cámbrico. f) *Oryctocephalites walcotti*, Formación El Gavilán, Cámbrico. Tomado de Cuen-Romero *et al.*, 2018. g) Detalle de *Orthograptus* sp., Ordovícico, Barita de Sonora. h) *Lecanospira compacta*, Ordovícico, Rancho Las Norias. i) *Hormotoma gracilis*, Ordovícico, Rancho Las Norias. j) Detalle de *Halysites* sp., Silúrico, Rancho Placeritos.

Ouachita-Marathon-Sonora, producido por la obducción del Eugeoclinal Cordillerano sobre el Migeoclinal Cordillerano (Figura 5).

Stewart y Poole (2002), hicieron la recopilación sobre las localidades del Neoproterozoico y Paleozoico, para examinar y describir el contenido litológico. Los autores describieron cuatro localidades correspondientes al Silúrico:

1. El Rancho El Bísani se encuentra en la región noroeste de Sonora, 22 km al oeste de Caborca, donde aflora una secuencia estratigráfica marina del Ordovícico al Misisípico que ha sido objeto de estudio para fines litoestratigráficos y bioestratigráficos (Cooper y Arellano, 1946; Brunner, 1975; Armstrong *et al.*, 1981; Poole *et al.*, 1995a). La presencia de conodontos sugiere una edad del Silúrico para las rocas tipo plataforma del Rancho El Bísani (Figura 5).
2. El Cerro Cobachi se ubica al sureste de Hermosillo. Se han descrito dos secuencias principales, correspondientes a aguas someras de una plataforma carbonatada y una secuencia silíceas de aguas relativamente profundas en las que se incluyen tentativamente estratos del Silúrico.
3. El Rancho Placeritos se encuentra en la región central de Sonora, en las inmediaciones de la ciudad de Hermosillo, donde se han reconocido y descrito rocas del Ordovícico Superior al Misisípico en contacto discordante con rocas del Jurásico Inferior (Ávila-Angulo, 1987; Poole *et al.*, 1997; 1998).
4. El Cerro El Carnero se localiza al noroeste de la ciudad de Hermosillo. Con base en una sección establecida que mediante el análisis de litofacies y de conodontos confirmaron edades del Ordovícico, Silúrico y Devónico.

Algunos autores han afirmado la evidencia de un hiato en el registro estratigráfico que abarca del Silúrico al Devónico en afloramientos de la región central de Sonora (Montes-Pesqueira y Campillo-Corrales, 1983; González-León, 1986; Montijo-González y Terán-Ortega, 1988; Poole y Amaya-Martínez, 2000).

Se ha propuesto que la secuencia sedimentaria del Miogeoclinal Cordillerano corresponde al margen continental pasivo con relación al cratón norteamericano, lo que permitió la sedimentación continua durante el Neoproterozoico y Cámbrico, depositándose potentes espesores de caliza y en menor proporción arenisca. Posteriormente, tal sedimentación fue interrumpida durante el Silúrico-Devónico Medio, posiblemente por la ocurrencia de un levantamiento regional durante el Silúrico y una subsidencia muy lenta durante el Devónico Temprano (Palomares, 1985; Hernández-Gracia, 2011; Encinas-Valenzuela y Vega-Figueroa, 2018). La sedimentación continuó durante el Devónico Tardío aflorando potentes espesores de caliza fosilífera donde se han realizado recientemente aportaciones bioestratigráficas (Navas-Parejo, 2019).

No obstante, en el área Rancho Placeritos, Sonora central, se ha documentado abundante contenido fosilífero, destacando la presencia de corales coloniales y tabulados como *Halysites* sp. (Figura 6j) que corresponde a una edad del Silúrico (Poole *et al.*, 2000). Los depósitos de plataforma de esta área del Silúrico tienen relevancia ya que podrían representar la continuación de un cinturón que envuelve el cratón de Norteamérica desde el sur de Texas, EUA, a través de Chihuahua y Sonora, México y una columna estratigráfica continua, y su estudio a detalle también podría beneficiar el entendimiento sobre la evolución geológica de México (Poole *et al.*, 2000; Molina-Garza e Iriando, 2005).

5. Conclusiones

Los afloramientos del Paleozoico inferior de Sonora poseen un gran potencial para el avance del conocimiento de la estratigrafía y paleontología de México, además de un conocimiento histórico respecto a los estudios realizados pues el estado tiene la mayoría de los afloramientos del Paleozoico inferior de México, con una abundante biota fósil que prueba la relación paleogeográfica de Sonora con el cratón de Norteamérica. Los trabajos publicados en los últimos años demuestran el interés en continuar con el legado paleontológico de 120 años de investigación del Cámbrico, Ordovícico y Silúrico de México.

Agradecimientos

Al Proyecto PRODEP UNISON-PTC-301: “*Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y su relación con el cratón de Norteamérica*”, por el soporte proporcionado. Los autores agradecen las atinadas correcciones y/o sugerencias de la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez, Dr. Rogelio Monreal y el trabajo editorial del Dr. Josep A. Moreno Bedmar, contribuyendo a mejorar de manera significativa este trabajo.

Referencias

- Almazán-Vázquez, E., 1989, El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región Centro- Oriental del Estado de Sonora: Instituto de Geología, Revista, 8(1), 58–66.
- Almazán-Vázquez, E., Buitrón, B., Franco-Vega, O., 2006, Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 23(1), 23–38.
- Armstrong, A.K., Mamet, B.L., Brunner, P., 1981, Mississippian stratigraphy, southern New Mexico, Arizona, and Sonora, Mexico: Geological Society of America, Abstracts with Programs, 13(2), 42.
- Ávila-Angulo, R., 1987, Consideraciones geológicas y estratigráficas de la porción NW de Hermosillo, México: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 78 pp.

- Babcock, L.E., Robison, R.A., 1988, Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and Hyolithids (Mollusca) from western North America: University of Kansas Paleontological Contributions, 121, 1–22.
- Bartolini, C., 1988, Regional structure and stratigraphy of Sierra El Aliso, central Sonora, Mexico: Tucson, Arizona, University of Arizona, M.Sc. Thesis, 189 pp.
- Bartolini, C., Morales, M., Spinosa, C., Finney, S., 1990, Paleozoic off-shelf successions unconformably overlain by Triassic strata in central Sonora, Mexico: Evidence for a Permo-Triassic tectonic event?: Geological Society of America, Abstracts with Programs, 22(7), A114.
- Bengtson, S., Collins, D., 2015, Chancelloriids of the Cambrian Burgess Shale: Palaeontologia Electronica, 18, 1.6A, 1–67.
- Beresi, M., Cabaleri, N., Buitrón, B.E., Rodríguez, M., Heredia, S., Tortello, M., 2012, Microfacies, biota y paleoambientes sedimentarios del Ordovícico temprano-medio del Cerro Salazar, Sonora central, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(2), 330–345.
- Beresi, M.S., Buitrón, B., Cuen-Romero, F.J., Palafox-Reyes, J.J., 2019, Escleritomas de *Chancelloria eros* y escleritos del Cámbrico medio (Serie 3, Piso 5) de Sonora Central, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 36(1), 54–63.
- Brunner, P., 1975, Estudio estratigráfico del Devónico en el área de El Bísani, Caborca, Sonora: Instituto Mexicano del Petróleo, Revista, 7, 16–45.
- Brunner, P., 1984, Los conodontos de México, en Perrilliat, M., del C., ed., Oaxtepec, Morelos, III Congreso Latinoamericano de Paleontología, Memoria 3, 84–91.
- Buitrón, B.E., 1992, Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico inferior de México y su contenido biótico, en Gutiérrez Marco, J.C., Saavedra, J., Rábano, I. (eds.), Paleozoico inferior de Ibero-América: España, Universidad de Extremadura, Memoria, 193–201.
- Buitrón, B.E., Sandoval, G., 1989, El Paleozoico Inferior de México. Universidad Tucumán, Argentina: Revista de Correlación Geológica 5, 131–136.
- Buitrón, B.E., Almazán, E., Mendoza, C., 2004, *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México: Unión Geofísica Mexicana, 24(2), 251 p.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F., Huerta-Ruiz, A., Montijo-González, A., 2017, Hiolitidos del Cámbrico (Hyolitha) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas: Paleontología Mexicana, 6(1), 10.
- Cirett, G.J., Aguilar, R.F., 1989, Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 137 pp.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México: Bulletin American Association Petroleum Geologists, 30(4), 606–611.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1952, Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México: Smithsonian Miscellaneous Collections, 119, 1–184.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956, Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Pt. 1ª: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 259 pp.
- Cuen, F.J., Beresi, M.S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., Palafox, J.J., 2013, *Chancelloria* Walcott, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65(3), 581–590.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, S.R., Sundberg, F., Montijo-González, A., 2016, Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68(3), 429–441.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L.F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J.A., Palafox-Reyes, J.J., 2018, Trilobite-based biostratigraphy (arthropoda-trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 83, 227–236.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L.F., Hinojosa, E.A., Ochoa-Granillo, J.A., Grijalva-Noriega, F.J., Palafox Reyes, J.J., 2019a, Paleoeology of cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations: Journal of South American Earth Sciences, 92, 631–645.
- Cuen-Romero, F.J., Beresi, M.S., Palafox-Reyes, J.J., Montijo-Gonzalez, A., 2019b, *Ptychagnostus atavus* (Tullberg, 1880) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Drumiano) de Arivechi, Sonora, México: significado bioestratigráfico: Paleontología Mexicana, 8(2), 97–108.
- Danzos-Acuña, G.H., 2018, Bioestratigrafía del Cámbrico del Cerro El Sahuaral, Sonora, México: Paleocología y Paleogeografía: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Maestría, 78 pp.
- Dumble, E.T., 1900, Notes on the geology of Sonora, Mexico: Transactions of the Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 29, 122–152.
- Encinas-Miranda, M.A., 2016, Trilobites del Cámbrico medio (Zona de *Elhmaniella*) del Cerro El Sahuaral, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 52 pp.
- Encinas-Valenzuela, J.A., Vega-Figueroa, L.E., 2018, Estratigrafía de las rocas del Neoproterozoico y su relación con las secuencias Paleozoicas de plataforma y de cuenca en la Sierra Martínez, Sonora Central, México; Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 83 pp.
- Franco-Vega, O., 2000, Bioestratigrafía del Ordovícico Temprano en los Ranchos Pozo Nuevo y Las Norias, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 122 pp.
- Fries, Jr., C., 1962, Reseña de la geología del Estado de Sonora, con énfasis en el Paleozoico: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 14, 257–273.
- Fritz, W.H., 1975, Broad correlations of some Lower and Middle Cambrian strata in the North America Cordillera: Geological Survey of Canada Paper, 75–1 (Part A):533–540.
- González-León, C., 1986, Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 6(2), 117–135.
- Hernández-Gracia, E.D.J., 2011, Generalidades estratigráficas de las secuencias paleozoicas de plataforma y de cuenca: con énfasis en la Formación Mina México en Sonora central: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 94 pp.
- Holcomb, R.A., 1979, Conodont biostratigraphy of the Paleozoic carbonates near Bavispe, Sonora, Mexico: Fort Worth, USA, Texas Christian University, M.Sc. Thesis, 99 pp.
- Ketner, K.B., 1986, Eureka Quartzite in Mexico?-tectonic implications: Geology, 14(12), 1027–1030.
- King, R.E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of México: Geological Society of America Bulletin, 50(11), 1625–1722.
- Lochman, C., 1948, New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, Mexico: Journal of Paleontology, 22(4), 451–464.
- Lochman, C., 1952, Trilobites, en Cooper, G.A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, J., Stoyanow, A. (Eds.), Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, Mexico: Smithsonian Miscellaneous Collections, 119, 60–107.
- López Ramos, E., 1969, Rocas Paleozoicas Marinas de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 32(1), 15–44.
- Mansuy, H.A., 1916, Faunes Cambriennes de l'Extrême-Orient méridional, Mémoires du Service Géologique de L'Indochine, 5(1), 1–48.
- McCollum, L.B., Sundberg, F.A., 2007, Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, USA: implications for global correlations and defining a Series 3 global boundary stratotype: Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists, 34, 147 pp.

- McMenamin, M.A., 1987, Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, México: *Journal of Paleontology*, 61(4), 738–749.
- Molina-Garza, R.S., Iriando, A., 2005, La Megacizalla Mojave-Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(1), 1–26.
- Montes-Pesqueira, M., Campillo-Corrales, A.I., 1983, Geología del yacimiento de barita de Cobachi, Sonora: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 67 pp.
- Montijo-González, A., Terán-Ortega, L., 1988, Geología del área de Rebeico con énfasis en el Paleozoico: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 95 pp.
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009, First report of *Gogia* (Eocrinoida – Echinodermata) from the Early-Middle Cambrian of Sonora (Mexico), with biostratigraphical and palaeoecological comments: *Geobios* 42(2), 233–242.
- Navas-Parejo, P., Martínez, O.R., Palafox, J.J., Valencia-Moreno, M., 2019, Late Famennian conodonts from the Cerro la Cueva, Sonora, NW Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 108–115.
- Noll, J., 1981, Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, México: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, M.Sc. Thesis, 165 pp.
- Noriega-Ruiz, H.A., 2019, Litofacies, microfacies y biofacies del Cámbrico del área El Sahuaral, Sonora central: consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas. Universidad de Sonora: Tesis de Maestría en Ciencias-Geología, 120 pp.
- Ochoa-Grañillo, J.A., Sosa-León, J.P., 1993, Geología y Estratigrafía de la Sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico, Mátape, Sonora, México: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura 59 pp.
- Page, W., Harris, A., Poole, F., Repetski, J., 2003, Reinterpretation of the stratigraphy and structure of the Rancho Las Norias area, central Sonora, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 523–540.
- Page, W.R., Harris, A.G., Repetski, J.E., 2012, The Cambrian-Ordovician Rocks of Sonora, Mexico, and Southern Arizona, Southwestern Margin of North America (Laurentia). The Great Carbonate Bank: The geology and economic resources of the Cambrian-Ordovician Sauk megasequence of Laurentia: *AAPG Memoir* 98, 897–908.
- Palmer, A.R., 1982, Fossils of Desbrachian and Franconian (Cambrian) Age from the subsurface of West-Central Indiana, Department of Natural Resources Geological Survey Special Report 29, Bloomington, Indiana, 17 pp.
- Palomares, D.M., 1985, Distribución actual e isopacas de las rocas paleozoicas en el norte de los estados de Chihuahua y Sonora, México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, XXXVII(2), 3–30.
- Peiffer-Rangin, F., 1988, Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern and central Sonora: unpublished manuscript on file with F.G. Poole, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, 90 pp.
- Peiffer-Rangin, F., Echavarrí-Pérez, A., Salas-Piza, G., Rangin, C., 1980, Sur la présence d'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Paris, Academia des Seances Comptes Rendus, Vol. 290, Ser. D.
- Poole, F.G., Amaya-Martínez, R., 2000, The Sonora orogen in the Barita de Sonora mine area east of Mazatán, central Sonora: Guide to Field Trip 3 (March 5, 2000) for the Fourth Symposium on the Geology of northwest Mexico and adjacent areas (March 6-8, 2000), Center for the Arts, University of Sonora: Hermosillo, Sonora, México, 27 p.
- Poole, F.G., Amaya-Martínez, R., Page, W.R., 2000, Silurian and Devonian carbonate-shelf rocks and Lower Jurassic sequence near Rancho Placeritos, west-central Sonora: Guide to Field Trip 2 (March 4, 2000) for the Fourth Symposium on the Geology of Northwest Mexico and adjacent areas (March 6–8, 2000): Hermosillo, Sonora, México, University of Sonora, Center for the Arts, 24 p.
- Poole, F.G., Stewart, J.H., Armstrong, A.K., 1984, Newly Discovered Paleozoic Section in Central Sonora, en Geological Survey Research 1982. US Geological Survey, Professional Paper, 1375, 1–66.
- Poole, F.G., Stewart, J.H., Repetski, J.E., Harris, A.G., Ross, R.J., Jr., Ketner, K.B., Amaya-Martínez, R., Morales-Ramírez, J.M., 1995a, Ordovician carbonate shelf rocks of Sonora, Mexico, en Cooper, J.D., Droser, M.L., Finney, S.C. (eds.), *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System*: Fullerton, California, Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, 267–275.
- Poole, F., Stewart, J., Berry, W., Harris, A., Repetski, J., Madrid, R.J., Ketner, K.B., Carter, C., Morales-Ramírez, J., 1995b, Ordovician ocean-basin rocks of Sonora, Mexico, en Cooper, J.D., Droser, M.L., Finney, S.C. (eds.), *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System*: Fullerton, Calif., Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, 277–284.
- Poole, F.G., Page, W.R., Amaya-Martínez, R., 1997, Newly discovered Silurian carbonate-shelf rocks in west-central Sonora, Mexico: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 29(6), 483.
- Poole, F.G., Page, W.R., Amaya-Martínez, R., 1998, Rocas Silúricas de plataforma en Sonora: *Mundo Minero (México)*, 2(18), 24.
- Repetski, J., Harris, A., Stewart, J., Poole, F., Morales-Ramírez, J., 1985, Early Ordovician conodonts from central Sonora, Mexico, en Alridge, R., Austin, R., Smith, M. (eds.), *Fourth European Conodont Symposium (ECOS IV) Abstracts*, Nottingham, England: Southampton, England, A.L. Austin, Department of Geology, The University of Southampton, 25–26.
- Reyes-Montoya, D.R., 2017, Bioestratigrafía del Cámbrico-Ordovícico de Sonora central: Implicaciones paleogeográficas y paleoecológicas: Sonora, México, Universidad de Sonora, Tesis de Maestría, 112 pp.
- Rivera-Carranco, E., 1988, Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 7(1), 22–27.
- Robison, R.A., 1965, Middle Cambrian Eocrinoids from Western North America: *Journal of Paleontology*, 39, 355–364.
- Roldán-Quintana, J., 1982, Evolución tectónica del estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México: Revista del Instituto de Geología, 5(2), 178–185.
- Sour-Tovar, F., Hernández-Barbosa, A., 2018, *Rusophycus* y *Cruziana*, galerías y rastros de trilobites del Terreneuviano (Cámbrico inferior) de la Formación Puerto Blanco, Noroeste de Sonora, México. Implicaciones paleoambientales: *Paleontología Mexicana*, 7(1), 1–11.
- Stewart, J.H., 1982, Regional relations of Proterozoic Z and Lower Cambrian rocks in the western United States and northern Mexico, en Cooper, J.D., Troxel, B.W., Wright, L.A., (eds.), *Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains, western Mojave Desert, and southern Great Basin, California*: Geological Society of America, Cordilleran Section Annual Meeting, Anaheim, California, Guidebook and Volume, 171–186.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., 2002, Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico. U.S. Geological Survey Open-File Report, 02–97, 50 pp.
- Stewart, J.H., McMenamin, M.A., Morales-Ramírez, J.M., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico—Physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations: US Geological Survey Professional Paper, 1309, 36.
- Stewart, J., Madrid, R.J., Poole, F.G., Kernet, K.B., 1988a, Studies of Late Proterozoic, Paleozoic, and Triassic rock in Sonora, Mexico, en Segundo Simposio sobre Geología y Minería de Sonora, resúmenes, 60–62.
- Stewart, J.H., Ketner, K.B., Amaya-Martínez, R., 1988b, Preliminary studies of Cambrian and Ordovician rocks near Sierra Lopez, Sonora, México, en Segundo Simposio sobre la Geología y Minería de Sonora, México: Sonora, México, UNISON, AIMMG, Distrito Sonora, DGF y ERNO, UNAM, 1–10.

- 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, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(1), 35–62.
- Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., Palmer, A.R., 2002, Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, Mexico: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin: *Special Papers-Geological Society of America*, 5–48.
- Stoyanow, A., 1942, Paleozoic paleogeography of Arizona: *Bulletin of the Geological Society of America*, 53(9), 1255–1282.
- Vachard, D., Clausen, S., Palafox-Reyes, J., Buitrón, B., Devaere, L., Hayart, V., Régnier, S., 2017, Lower Ordovician microfacies and microfossils from Cerro San Pedro (San Pedro de la Cueva, Sonora, Mexico), as a westernmost outcrop of the newly defined *Nuia* Province, *Facies*, 63(18), 37 pp.
- Vega-Granillo, R., 1996, Geología de la Sierra de Mazatán: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 13, 89–102.
- Vega-Granillo, R., Araux-Sánchez, E., 1987, Estratigrafía del Paleozoico en el área del Rancho Las Norias, Sonora Central: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 4(1), 41–50.
- Walcott, C.D., 1920, Middle Cambrian Spongiae: *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 67(6), 261–364.
- Webster, M., 2011, Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (traditional Laurentian ‘Lower Cambrian’) in the southern Great Basin, USA: *Museum of Northern Arizona Bulletin*, 67, 121–154.
- Webster, M., Bohach, L.L., 2014, Systematic revision of the trilobite genera *Laudonia* and *Lochmanolenellus* (Olenelloidea) from the lower Dyeran (Cambrian Series 2) of western Laurentia: *Zootaxa*, 3824(1), 66.
- Manuscrito recibido: Mayo 8, 2020.
 Manuscrito corregido recibido: Mayo 26, 2020.
 Manuscrito aceptado: Mayo 28, 2020.