

Universidad de Sonora
División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

**Trilobites del Cámbrico superior
(Miaolingiano-Guzhangiano) de la
Zona de *Crepicephalus* de la Sierra
Los Ajos, Sonora, México**



**Tesis Profesional
Que para obtener el Título de
Geólogo**



**Presenta:
Jesús Cuen Romero**

Hermosillo, Sonora, Febrero 2022

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Dedicatoria

A Dios por permitirme llegar hasta este punto, por darme la oportunidad, salud y paciencia para lograr mis objetivos.

A mis padres, Jesús Cuen y Alba Romero, por darme la vida, por creer en mí y por apoyarme en todo momento. Gracias por darme una carrera, todo se lo debo a ustedes.

A mis hermanos, Yazmin y Francisco, por su amor y apoyo incondicional.

A Zayda García por quererme y apoyarme siempre.

Agradecimientos

A la Universidad de Sonora, en especial al Departamento de Geología por los conocimientos y la formación adquirida a través de mis profesores.

Agradezco a mi Director de Tesis: M.C. José Alfredo Ochoa Granillo, por su interés en mi formación, paciencia, apoyo e impulso. A mi Asesor de Tesis: cDr. Héctor Arturo Noriega Ruiz, por su apoyo desinteresado y apoyo en la taxonomía de trilobites. A mi sinodal Dr. Francisco Javier Cuen Romero, por sus consejos y observaciones para mejorar este trabajo de tesis.

Resumen

En la sierra Los Ajos, noreste de Sonora, aflora una secuencia sedimentaria constituida principalmente por caliza recristalizada intercalada con lutita, con abundantes fósiles de invertebrados marinos. El presente trabajo de tesis constituye la descripción de seis especies de trilobites provenientes de la Formación Abrigo del Cámbrico superior. La fauna está constituida por *Crepicephalus* sp., *Coosella perplexa*, *Coosia ariston*, *Coosia* sp., *Tricrepicephalus texanus* y *Llanoaspis* sp., además la fauna se encuentra asociada con braquiópodos linguliformes pobremente preservados. La fauna mencionada es representativa de la Zona de *Crepicephalus*, indicando una edad del Miaolingiano, Guzhangiano (Cámbrico superior). El ambiente de depósito se infiere como marino somero de plataforma, debido a los depósitos de carbonatos y ausencia de trilobites agnóstidos. La distribución de faunas marinas del Cámbrico de Sonora permite establecer afinidades intraespecíficas con las faunas marinas del Cámbrico del cratón de Norteamérica (Arizona y Texas), indicando la existencia de una amplia provincia faunística durante ese período.

Contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 7 |
| 2. Generalidades | 9 |
| 2.1. Objetivos | 9 |
| 2.1.1. Objetivo general | 9 |
| 2.2. Antecedentes y trabajos previos | 9 |
| 2.2.1. Región noroeste..... | 9 |
| 2.2.2. Región noreste..... | 12 |
| 2.2.3. Región central | 12 |
| 2.2.4. Región este | 15 |
| 3. Localización..... | 16 |
| 4. Marco Geológico Regional..... | 18 |
| 5. Estratigrafía..... | 22 |
| 6. Paleontología sistemática..... | 26 |
| 7. Consideraciones paleogeográficas | 36 |
| 8. Discusiones | 39 |
| 9. Resultados y conclusiones | 44 |
| 10. Referencias | 45 |

Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización del área de estudio al este de la Ciudad de Cananea..... | 17 |
| Figura 2. Columna estratigráfica del área de estudio. Modificada de Paget <i>et al.</i> 2010. | 25 |
| Figura 3. <i>Crepicephalus</i> sp. | 28 |
| Figura 4. <i>Coosella perplexa</i> | 30 |
| Figura 5. <i>Coosia ariston</i> | 31 |
| Figura 6. <i>Coosia</i> sp. | 32 |
| Figura 7. <i>Tricrepicephalus texanus</i> | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 8. <i>Llanoaspis modesta?</i> | 35 |
| Figura 9. Distribución de los géneros de trilobites identificados en la Sierra Los Ajos, noreste de Sonora, México..... | 38 |
| Figura 10. Mapa paleogeográfico del cratón norteamericano, mostrando las localidades de Sonora, Arizona y Texas del Cámbrico superior. Modificado de Sundberg y Cuen-Romero, 2021. | 41 |

1. Introducción

El Cámbrico en México aflora de forma aislada y esporádica, en afloramientos parcialmente expuestos debido a que fueron cubiertos por rocas más jóvenes (Buitrón, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2020). Estos afloramientos poseen fauna fósil en buen estado de conservación, dentro de la cual los trilobites son las formas dominantes (Cuen-Romero *et al.*, 2018).

En el área de Caborca, noroeste de Sonora, afloran rocas del Cámbrico, incluidas en las formaciones Cerro Rajón, Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren (Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952; 1956; Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2020; Barrón-Díaz *et al.*, 2019). En la parte central del estado de Sonora, en el área de San José de Gracia, afloran rocas del Cámbrico incluidas en las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (Cuen-Romero *et al.*, 2016), las cuales han sido estudiadas debido a su contenido de icnofósiles (Buitrón-Sánchez, 2016), poríferos (Cuen *et al.*, 2013), braquiópodos (Cuen-Romero, 2012), hiolítidos (Buitrón-Sánchez, 2017a), trilobites (Cuen-Romero *et al.*, 2016; 2018; 2021) y equinodermos (Nardin *et al.*, 2009; Buitrón-Sánchez, 2017b). En el área del cerro El Sahuaral, Sonora central, afloran también rocas del Cámbrico, incluidas en las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, El Gavilán y El Tren (Noriega-Ruiz *et al.*, 2020; 2022).

Las rocas del Cámbrico del noreste de Sonora han sido incluidas en las formaciones Bolsa y Abrigo, y afloran principalmente en los cerros El Tule y Mesteñas (González-León, 1986; Sundberg y Cuen-Romero, 2021). Estas rocas están constituidas principalmente por arenisca, caliza, capas de lodolita, limolita y arenisca de grano fino (González-León, 1986); además poseen una abundante fauna de trilobites constituida por *Crepicephalus* sp., *Tricepicephalus texanus*, *Llanoaspis modesta?*, *Coosella perplexa*, *Coosia ariston* y *Coosia* sp. (Sundberg y Cuen-Romero, 2021).

Los trilobites (Phylum Arthropoda) son importantes debido a que son los principales indicadores bioestratigráficos para el Cámbrico (Cuen-Romero *et al.*, 2018). Tuvieron su primera radiación adaptativa durante el Cámbrico temprano y se diversificaron rápidamente durante este período, extinguiéndose durante el Pérmico. Los trilobites del Cámbrico de Sonora han sido estudiados desde mediados de siglo pasado, y actualmente se estima la existencia de más de 82 especies distribuidas en todo el estado (Cuen-Romero *et al.*, 2018; Sundberg y Cuen-Romero *et al.*, 2021).

Con base en lo anterior, resulta importante estudiar la fauna de trilobites del Cámbrico de sierra Los Ajos, este de Cananea, por constituir una nueva localidad del Cámbrico para el estado de Sonora. Lo anterior permitirá asignar edad a las rocas que afloran en dicha localidad, además de permitir establecer relaciones paleogeográficas con el cratón de Norteamérica.

2. Generalidades

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

El principal objetivo del presente trabajo de tesis es estudiar la fauna de trilobites del Cámbrico superior de la Formación Abrigo de la sierra Los Ajos, este de Cananea, Sonora, México. Lo anterior contribuirá al conocimiento del Cámbrico en el estado de Sonora, permitiendo además realizar correlaciones bioestratigráficas con otras localidades de la misma edad.

2.2. Antecedentes y trabajos previos

El Cámbrico en México ha sido relativamente poco estudiado, debido a que solamente aflora en el estado de Oaxaca (Robison y Pantoja-Alor, 1968) y Sonora (Buitrón, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2021). Los afloramientos del Cámbrico de Sonora se distribuyen en todo el estado y han sido divididos en cuatro regiones con base en las faunas de trilobites (Cuen-Romero *et al.* 2018): región noroeste (Caborca), región noreste (Cananea), región central (San José de Gracia y Mazatán) y región este (Arivechi).

2.2.1. Región noroeste

Los geólogos Gómez y Torres-Izabal (1941) reconocieron por primera vez el Cámbrico en Sonora, particularmente en el Cerro Los Arrojos del área de Caborca. La investigación efectuada para Petróleos Mexicanos documentó la presencia de afloramientos excepcionales con abundantes trilobites, los cuales fueron identificados por Stoyanow (1942).

Con base en lo anterior, el Cámbrico se convirtió en objeto de estudios estratigráficos y paleontológicos sobre el Paleozoico en México, lo que conllevó a una investigación conjunta de los estratos paleozoicos del área de Caborca por parte de un miembro del personal del Instituto Smithsonian y un representante del Instituto Geológico de México. Cooper y Arellano (1946), reportaron afloramientos de rocas calcáreas con una abundante biota del Cámbrico inferior al Cámbrico medio en el área de Caborca, que incluye los géneros *Girvanella*, *Obolella*, *Olenellus*, *Glossopleura*, *Clavaspidella* y *Alokistocare*. Este trabajo revela detalles completos de las relaciones estratigráficas de las diversas faunas, los rangos verticales conocidos de los géneros y

las composiciones genéricas de los diversos conjuntos faunísticos. Además, los estudios estratigráficos en las inmediaciones de Pitiquito, El Antimonio y sur de Caborca establecieron una columna estratigráfica compuesta del Paleozoico del noroeste de Sonora, que incluye los periodos Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Misisípico Inferior y Pérmico.

Lochman (1948), describió siete nuevos géneros y especies de trilobites y se documenta cierta información pertinente sobre las zonas de fauna del Cámbrico y las asociaciones faunísticas en el área de Caborca. Para el Cámbrico inferior se reconoce *Sombrerella mexicana*, la cual es restringida a la Zona *Antagmus-Onchocephalus*. Para el Cámbrico medio se identificaron las especies *Mexicella mexicana*, *Provedoria starquistae*, *Arellanella caborcana*, *Caborcella arrojensis* y *Kistocare corbini*, las cuales pertenecen a la Zona de *Albertella*. Sin embargo, actualmente tal biozona es representada por las zonas *Amecephalus arrojensis* y *Mexicella mexicana* del Cámbrico medio para Laurentia (McCollum y Sundberg, 2007; Webster, 2011; Cuen-Romero *et al.*, 2020).

Cooper *et al.* (1952), realizaron estudios estratigráficos a detalle en las localidades de cerros Provedora, cerro Cañedo, cerro Prieto, cerros Difuntos, cerros Buelna, Lista Blanca y cerro Arrojos, así como también otras localidades adicionales donde afloran rocas del Cámbrico en el área de Caborca. En este trabajo se presenta las descripciones sistemáticas del contenido biótico del Cámbrico temprano y Cámbrico medio en el área, que incluye cianobacterias, arqueociatos, braquiópodos y trilobites.

Lochman *in* Cooper *et al.* (1952), describió 32 géneros y 45 especies de trilobites, y correlacionó con otros depósitos de Norteamérica.

McMenamin *et al.* (1983), realizaron tres secciones estratigráficas que incluyen rocas del Proterozoico superior al Cámbrico medio en el área de Caborca. Se establecieron consideraciones paleobiológicas durante la transición Proterozoico-Cámbrico en el oeste de Norteamérica y también una correlación bioestratigráfica entre el área de Caborca y la región de Death Valley, California, particularmente con la parte basal de la Formación Wood Canyon.

Stewart *et al.* (1984), estudiaron las rocas sedimentarias del Proterozoico superior y del Cámbrico en el área de Caborca, identificando una secuencia estratigráfica que incluye 14 formaciones. En este trabajo se describe a detalle la

litología predominante para cada unidad dentro de la sección estratigráfica compuesta del Cámbrico, la cual contiene una amplia diversidad de fósiles que incluyen arqueociatos, salterélidos, hiolítidos, braquiópodos, gasterópodos y trilobites. Además, se realizó un análisis exhaustivo sobre la correlación de nomenclatura utilizada en el área de Caborca, y se establecieron correlaciones estratigráficas del área de Caborca con otros depósitos al sur de la Great Basin, particularmente en el este de California y el sur de Nevada.

McMenamin (1985), identificó una baja diversidad de fauna fósil asociada a *shelly faunas* en estratos de la Formación Ciénega, en el área de Caborca. Según el autor, es probable que el contenido faunístico represente una edad Meishucuniano o Tommotiano, la cual corresponde a las series Begadeano-Montezumano temprano (Cámbrico inferior) para Laurentia (Geyer, 2019).

McMenamin (1987), identificó dos nuevas especies de trilobites en la Formación Puerto Blanco, al sur del área de Caborca. La presencia de *Nevadia ovalis* y *Judomia orbis* y un cefalón incompleto de cf. *Fallotaspis* sp. determinan la “Zona de *Nevadella*”. Fritz (1972), reconoció tres zonas biostratigráficas con base en el rango estratigráfico de un género en particular: la “Zona de *Fallotaspis*”, la “Zona de *Nevadella*” y la “Zona de *Olenellus*” (Webster, 2011). Sin embargo, para establecer correlaciones con mayor precisión fue necesario revisar el esquema bioestratigráfico propuesto por Fritz (1972), el cual se reemplazó con un esquema de zonificación a nivel de especie (Webster, 2011; Hollingsworth, 2011). La Zona de *Nevadella* se corresponde a una edad Serie Waucobiano, Piso Montezumano para Laurentia (Hollingsworth, 2011).

Rivera-Carranco (1988a, 1988b), determinó el conjunto de procesos sedimentarios que actuaron en las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Bulena, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren del Cámbrico en el área de Caborca, con el fin de establecer las condiciones paleoambientales de su depósito. La mayor parte de estos depósitos del Cámbrico representa medios de aguas someras y tranquilas de carácter lagunar, además de existir depósitos de intermarea y submarea. Por otro lado, existe localmente una principal dirección de paleocorrientes lo que sugiere que tales corrientes fueron originadas por la turbulencia y el flujo de mareas (Rivera-Carranco, 1988b).

Hernández-Barbosa y Sour Tovar (2018), reconocieron y describieron madrigueras y estructuras etológicas relacionadas a los icnogéneros *Rusophycus* y

Cruziana de la unidad 4 de la Formación Puerto Blanco, en la región Caborca-Pitiquito, noroeste de Sonora. La abundancia de icnofósiles permite reconocer la asociación típica de una icnofacies *Cruziana*, la cual se interpreta que se originó en un ambiente de depósito con cambios de condiciones de meso a infralitorales.

2.2.2. Región noreste

De acuerdo con Cuen-Romero *et al.* (2018), la región noreste comprende principalmente las rocas del Cámbrico que afloran en el área de Cananea, principalmente en los cerros El Tule (González-León, 1986) y Mesteñas (Sundberg y Cuen-Romero, 2021). Estas rocas son correlacionables con las formaciones Bolsa y Abrigo del sureste de Arizona y Texas (González-León, 1986; Cuen-Romero *et al.* 2020; Sundberg y Cuen-Romero, 2021). En esta región también se encuentra la sierra Los Ajos, la cual es el objetivo de estudio de la presente tesis.

González-León (1986), describió en el área de sierra El Tule, Cananea, una secuencia de rocas sedimentarias, asignadas al Cámbrico medio-superior, y constituida principalmente por arenisca, caliza, lodolita y arenisca de grano fino. Estas rocas fueron asignadas a las formaciones Bolsa y Abrigo, identificando para esta última los trilobites *Arapahoia* sp., *Tricrepicephalus* sp., *Llanoaspis* sp., *Coosella* sp. y *Coosia* sp. (González-León, 1986).

Sundberg y Cuen-Romero (2021), realizaron un estudio de trilobites de la misma localidad, incluyendo además cerros Mesteñas, donde aflora una secuencia sedimentaria compuesta principalmente por arenisca, caliza oolítica, caliza y caliza arcillosa. En estas unidades se identificaron las especies de trilobites *Crepicephalus* sp., *Tricrepicephalus texanus*, *Llanoaspis modesta?*, *Coosella perplexa*, *Coosia ariston* y *Coosia* sp., incluidas en la Zona de *Crepicephalus*, por lo cual estas rocas fueron asignadas del Cámbrico superior (Miaolingiano, Guzhangiano) (Sundberg y Cuen-Romero, 2021).

2.2.3. Región central

Los estudios estratigráficos y paleontológicos del Cámbrico en la región central de Sonora han progresado de manera acelerada en años recientes (Cuen *et al.*, 2013; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2016, 2017a; Beresi *et al.*, 2017; Cuen-Romero *et al.*, 2016; 2019a; 2021; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020; 2022).

Vega-Granillo (1996), describió las rocas sedimentarias del Paleozoico en la Sierra de Mazatán, representando secuencias detríticas y carbonatadas que sugieren un ambiente de plataforma. Además, las secciones parciales en estas secuencias permitieron reconocer una unidad del Cámbrico medio en las inmediaciones del Rancho Sobechi, con la presencia de trilobites como *Peronopsis depressa*, *Tomagnostus?* sp., *Tonkinella valida* y *Syspachephalus* sp. incluidas en la Zona de *Ehmaniella*. No obstante, Sundberg (1994) propone que los rangos estratigráficos de varios trilobites ptychopariidos de la Zona de *Ehmaniella* establecen subzonas locales, las cuales son (en orden ascendente): las subzonas *Proehmaniella*, *Elrathiella*, *Ehmaniella*, y *Altiocculus*. Particularmente, La presencia de *Tonkinella valida* en los afloramientos del Cámbrico de Mazatán asignan la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella* que corresponde una edad Miaolingiano, Wuliuano en la escala global; equivalente a una edad Lincolniano, Topazano para Laurentia (Cuen-Romero *et al.*, 2018).

Cuen *et al.* (2013), describió escleritos aislados de *Chancelloria eros*, *Diagoniella* sp., *Allonia?* sp. y asociaciones de espículas hexactinélidas presentes en los afloramientos del Cámbrico medio del área de San José de Gracia. La presencia de chancellóridos y de protoesponjas hexactinélidas se encuentran en asociación biótica con abundantes trilobites como *Peronopsis bonnerensis*, *Oryctocephalites walcotti*, *Elrathina antiqua* y *Ogygopsis typicalis*. El contenido biótico sugiere que estas rocas fueron depositadas en mares someros y cálidos durante el Cámbrico.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2016), reconocieron icnogéneros procedentes de estratos de arenisca con bioturbación distribuidos en el cerro El Chihuarruita, área de San José de Gracia. Se identifica la presencia de trilobites del género *Bristolia*, lo cual sugiere una edad de Cámbrico temprano. En este trabajo se documenta por primera vez los icnogéneros *Skolithos*, *Arenicolites*, *Asterosoma*, y *Palaeophycus*, los cuales son interpretados como madrigueras de invertebrados tales como vermes, artrópodos-crustáceos y equinodermos-asteroideos que vivieron en mares tropicales, someros y bien oxigenados.

Cuen-Romero *et al.* (2016), identificaron una sucesión estratigráfica que se divide en cuatro formaciones (en orden ascendente): Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán. Esta sección cámbrica expuesta en el área de San José de Gracia es similar a la sección originalmente establecida al norte del área de Caborca por Cooper *et al.* (1952) que incluye las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto. Por otro lado, se

propone la Formación El Gavilán como una nueva unidad litoestratigráfica formal, debido a que refleja diferencias litológicas substanciales con un cambio de facies hacia ambientes exteriores, particularmente en los estratos del Cámbrico medio en comparación con otras rocas cámbricas expuestas en otras ubicaciones del estado, como la Formación Arrojos del área de Caborca.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2017a) documentan una abundante y diversa biota fósil, particularmente y de manera sistemática, se describe por primera vez especies de hiolítidos para el área de San José de Gracia. La presencia de *Hyolithes* cf. *H. sonora* y *Haplophrentis reesei* denotan una amplia provincia faunística durante el Cámbrico temprano que engloba Groenlandia, Canadá, Estados Unidos, Sudamérica, Europa y Australia.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2017b), identificaron la presencia de *Gogia granulosa* del Cámbrico temprano-medio en el área de San José de Gracia, Sonora central. Los blastoideos se encuentran asociados a trilobites tales como *Onchocephalus*, *Bonnia*, *Bristolia* y *Olenellus*, hiolítidos como *Hyolithes* y *Haplophrentis*, esponjas, algas e icnofósiles de equinodermos (Buitrón-Sánchez, 2016). Se sugiere que los equinodermos-blastoideos de la especie *Gogia granulosa* y la fauna asociada se depositaron en una plataforma carbonatada de mar tropical con abundante aporte terrígeno. Además, se sugiere que la biota fósil perteneció a una gran provincia faunística que comprendió regiones de Canadá, Estados Unidos y México.

Cuen-Romero *et al.* (2019a), describen las características paleoecológicas de las comunidades marinas que ocurridas en afloramientos del Cámbrico en la región de Sonora central, así como las condiciones paleoambientales en las que fueron depositadas.

Cuen-Romero *et al.* (2019b) describe e ilustra por primera vez para México, la especie *Ptychagnostus atavus*, trilobite agnóstido colectado en capas del Drumiano (Cámbrico-Miaolingiano) de la Formación El Mogallón, en el área de Arivechi. Además, el reconocimiento de trilobites poliméridos y agnóstidos del Cámbrico medio permitieron establecer la distribución de las facies marinas correspondientes al cratón de Norteamérica.

Noriega-Ruiz *et al.* (2020), realizaron estudios detallados sobre la estratigrafía y bioestratigrafía del área de El Sahuaral. En este trabajo se describe una secuencia

constituida por rocas sedimentarias de facies marinas y un abundante contenido biótico del Cámbrico inferior-Cámbrico medio. Además se identifican y se describen cinco unidades litoestratigráficas previamente documentadas (en orden ascendente): Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, El Gavilán y El Tren.

Cuen-Romero *et al.* (2021) realizaron un estudio de microfacies siliciclásticas, microfacies de carbonatos y biofacies de los depósitos cámbricos del norte de México. Este trabajo consistió en el primer estudio de microfacies y biofacies del Cámbrico en México, lo que proporcionó una interpretación del ambiente depositacional y a comprender la evolución geológica de Laurentia occidental.

Noriega-Ruiz *et al.* (2022), realizaron un estudio paleoecológico cuantitativo de las comunidades marinas del Cámbrico que afloran en el cerro El Sahuaral, Sonora central, en el cual se determinaron consideraciones sobre el paleoambiente y los distintos grupos funcionales distribuidos en cada una de las unidades litoestratigráficas en el área (Noriega-Ruiz *et al.*, 2020)

2.2.4. Región este

Almazán-Vázquez (1989), describió cuatro formaciones informales en la región de Arivechi centro oriental del estado de Sonora (en orden ascendente): La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillás. Para la formación La Sata, identifica la presencia de trilobites como *Amecephalus* sp., *?Fieldaspis* sp., lo que indica la base de Cámbrico medio y asigna la Zona de Pre-*Glossopleura*. Para la formación El Mogallón se reconocieron las especies *Bathyriscus* sp., *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus michaeli*, *Hypagnostus parvifrons*, *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* sp. cf. *O. marjumensis*, *?Modocia typicalis*, *Modocia* sp., y *?Utaspsis* sp., lo que sugiere que la secuencia pertenece a la parte media del Cámbrico medio. La formación La Huerta presenta trilobites marjumiidos y ptychopariidos indeterminados, sin embargo, representa la parte superior del Cámbrico medio debido a su posición estratigráfica, mientras que la formación Milpillás está representada por las especies *Aphelotoxon* sp., *Elviniella* sp., *Homognostus* sp., *Pseudoagnostus* sp., *?Pterocephalia* sp. y ptychopariidos indeterminados, asignando la Zona *Dunderbergia* / *Elvinia*, que corresponden a la parte media del Cámbrico superior. Posteriormente, Cuen-Romero *et al.* (2018) asignan una edad Cámbrico medio-Ordovícico con base a la identificación de zonas faunísticas: *Poliella denticulata*, *Bolaspidella*, y *Elvinia*.

Reyes-Montoya (2017) realiza estudios bioestratigráficos del Cámbrico-Ordovícico con base en secciones geológicas localizadas en la Sierra Agua Verde y el área de Arivechi. Para la Sierra Agua Verde se identifican cuatro unidades litoestratigráficas: Puerto Blanco y Provedora, correspondientes al Cámbrico inferior, y la unidad 3 y 4, del Cámbrico medio-superior y Cámbrico superior, respectivamente. Con respecto al contenido biótico del Cámbrico inferior, se reconocen icnofósiles como *Skolithos* isp. y fragmentos de braquiópodos; mientras que para el Cámbrico medio-Cámbrico superior se identificaron espículas de esponja y restos de braquiópodos. Para el área de Arivechi, se identifica una sucesión sedimentaria del Cámbrico medio-superior y se reconocen las unidades informales descritas por Almazán-Vázquez (1989).

Beresi *et al.* (2017) identifican esponjas reticulosas articuladas excepcionalmente bien conservadas y fragmentos de esponjas desarticuladas del Cámbrico medio de la Formación El Mogallón, en la sección Cerro El Mogallón, área de Arivechi, siendo las primeras esponjas determinadas taxonómicamente en Sonora.

Cuen-Romero *et al.* (2019b) describió sistemáticamente por primera vez la especie *Ptychagnostus atavus* en el área de Arivechi. La abundancia y amplia distribución del trilobite agnóstico permite realizar correlaciones a nivel global, aportando nuevo conocimiento para el Cámbrico medio de México y la relación estrecha con el continente Laurentia (cratón norteamericano).

Beresi (2021), determina que el conjunto de esponjas presentes en el área de Arivechi son típicos de una comunidad de aguas más profundas. El género *Choia* se ha identificado en el área de Arivechi aún no se han descrito. Sin embargo, podrían representar las primeras ocurrencias de demosponjas en la plataforma del Cámbrico medio de Sonora.

3. Localización

El área de estudio se localiza en la Sierra Los Ajos, ubicada a aproximadamente 20 km al este de la ciudad de Cananea, Sonora, México. Las rocas del Cámbrico afloran en las coordenadas geográficas 30° 59' 01.50" N y 110° 02' 11.82" W (**Figura 1**).

El acceso principal es por la carretera federal No. 15 y No. 2, la cual conduce de Hermosillo a Cananea, posteriormente se toma la carretera No. 89, y diversos caminos

de terracería que acerca al lugar del afloramiento. La distancia aproximada a la capital del estado, Hermosillo, es de 230 km.

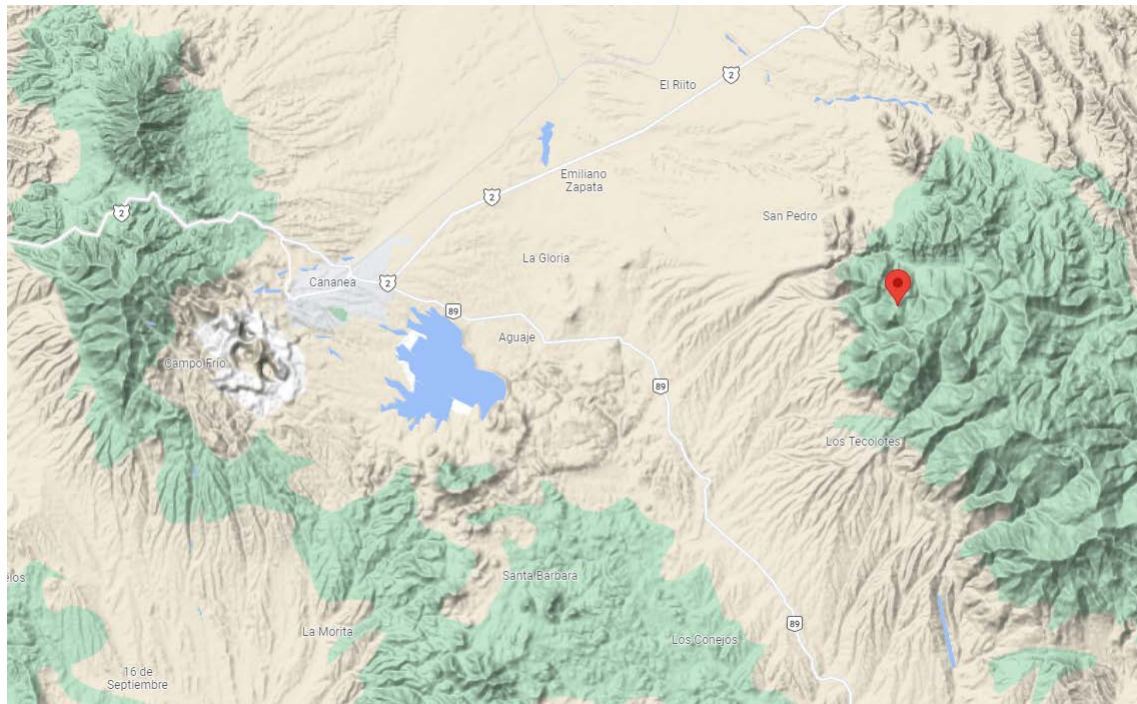


Figura 1. Localización del área de estudio al este de la Ciudad de Cananea.

4. Marco Geológico Regional

Según el Servicio Geológico Mexicano (2003) en las cartas Geológico-Minera (H12-B44, H12-B53) las unidades litológicas varían una edad desde el Proterozoico hasta el Cuaternario y pertenecen al cratón norteamericano, las cuales se constituyen por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, metamórficas y sedimentarias. Sin embargo, las cartas geológico-mineras no documentan rocas del Paleozoico inferior en la Sierra Los Ajos. Page *et al.* (2010) establecieron la cartografía a detalle en la porción norte de la Sierra de Los Ajos. Con base en estos trabajos, se presenta una breve descripción en orden cronológico de las unidades presentes en la Sierra Los Ajos:

Proterozoico medio

Unidad esquisto (pTmE) (Anderson *et al.*, 1980) – Esquito Pinal (Page *et al.*, 2010)

Esta unidad está constituida por esquisto con segregaciones de cuarzo, menores proporciones de metagrauwacka y cuarcita, además de presentar plegamiento y fracturamiento intenso (SGM, 2003). Estas rocas se distribuyen al sur de la Sierra Los Ajos y corresponden a una edad del Proterozoico medio, particularmente se ha considerado una edad del metamorfismo de 1640 Ma y una edad del protolito de 1700 Ma (Anderson *et al.*, 1980). Se ha establecido una correlación regional con el Esquisto Pinal del sureste de Arizona. Según Page *et al.* (2010) esta secuencia corresponde al Esquisto Pinal, la unidad más antigua en la región, y consiste principalmente en metasedimentos caracterizados por una buena foliación de grano fino, que incluyen minerales como muscovita, cuarzo y clorita.

Unidad Granito (pTmGr) (Anderson y Silver, 1977)

Estas rocas ígneas intrusivas representadas por granito megacrístico intrusionan a la unidad anterior y se encuentran expuestas al sur de la Sierra Los Ajos. Estos afloramientos se presentan de manera aislada y mantienen una correlación con el Granito Cananea de 1440 Ma (Anderson y Silver, 1977).

Paleozoico

Las rocas paleozoicas en el norte de la Sierra Los Ajos comprenden de las formaciones Bolsa y Abrigo del Cámbrico, Martín del Devónico Medio y Superior, Caliza Escabrosa del Misisípico, y Caliza Horquilla del Pensilvánico Medio y Superior.

Formación Bolsa

La Formación Bolsa aflora en el Cerro Las Flores, en la Sierra Los Ajos, y está constituida por ortocuarcita marrón rojiza que es localmente micácea y arcósica en la parte basal, así como conglomerados. Esta secuencia corresponde a una edad del Cámbrico medio.

Formación Abrigo

La Formación Caliza Abrigo está constituida principalmente de caliza oolítica con intercalaciones de limolita. Además, son comunes los estratos delgados de caliza intraclástica, y fragmentos de esponjas y trilobites del Cámbrico medio – Cámbrico superior.

Formación Martín

La Formación Martín en Sierra Los Ajos está constituida de la base a la parte media de dolomía, y en la parte superior se identifica principalmente lutita y caliza. La parte media de la secuencia se caracteriza por la presencia de braquiópodos como *Pseudoatrypa devoniana* del Frasniano tardío, Devónico (Blodgett *et al.*, 2002). La unidad tiene un espesor de 100 m y es equivalente con el sur de Arizona.

Formación Caliza Escabrosa (Ransome, 1904)

La Formación Caliza Escabrosa se constituye principalmente de caliza fosilífera y se encuentra de manera discordante con la Formación Martín. Se caracteriza por la presencia de abundantes macrofósiles que incluye braquiópodos, crinoideos, briozoos, y corales rugosos coloniales y solitarios (Page *et al.*, 2010). La Formación Caliza Escabrosa es una secuencia representada por facies de plataforma del Misisípico de aproximadamente 192 m de espesor, la cual se correlaciona posiblemente con la Caliza Escabrosa, descrita por Ransome (1904) en Bisbee, sureste de Arizona.

Caliza Horquilla

La Formación Caliza Horquilla está expuesta en afloramientos aislados en el área de Los Gringos al norte de la Sierra Los Ajos, y consta de caliza fosilífera de color gris y caliza encrinítica, la cual contiene braquiópodos espiriféridos, crinoideos y corales coloniales y solitarios. Los conodontos en estas rocas incluyen las especies *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Idiognathodus sinusus* y *Neognathodus*

bothrops, lo que indica una edad del Morrowano tardío – Desmoinesiano, Pensilvánico Medio – Pensilvánico Tardío (Page *et al.*, 2010). Los conodontos indican depósito en una plataforma cratónica submareal poco profunda, entorno de depósito de energía relativamente alta.

Unidad Caliza – Arenisca (PdpCz-Ar) (SGM)

Según el Servicio Geológico Mexicano esta unidad se extiende ampliamente en la porción central y suroeste de la Sierra Los Ajos, y comprende de estratos de caliza y arenisca, las cuales cubren discordantemente a la unidad esquistosa (pTmE). Esta secuencia corresponde a una edad del Devónico – Pérmico, y se correlaciona con el Paleozoico superior de la Sierra El Tule al norte de Sonora y sureste de Arizona.

Mesozoico

Los estratos del Cretácico Superior son equivalentes a las formaciones Fort Crittenden y Salero en Arizona, y al Grupo Cabullona en Sonora. Estas rocas están ampliamente expuestas en la Sierra Los Ajos, y se superponen depositacionalmente sobre rocas del basamento del Paleozoico y Proterozoico (Page *et al.*, 2010). La mayoría de las rocas en la parte inferior de la secuencia del Cretácico Superior consisten en conglomerados de color marrón amarillento y rojo pálido, arenisca, limolita y lutita arcillosa.

Unidad Arenisca – Toba riolítica (KsAr-TR y KcAr-TR) (SGM)

Esta secuencia se encuentra en la porción este y centro de la Sierra Los Ajos, la está representada por arenisca y toba riolítica, conglomerado y andesita. Estas rocas corresponden a una edad del Cretácico Tardío, específicamente del Santoniano tardío–Maastrichtiano y es correlacionable con el Grupo Cabullona.

Unidad Arenisca – Lutita (KcAr-Lu), Arenisca – Toba riolítica (KcAr-TR) y Toba riolítica - Conglomerado polimíctico (KmTR-Cgp) (SGM)

Estas unidades forman parte de las secuencias sedimentarias y vulcanosedimentarias de ambientes continentales del Grupo Cabullona, constituido por depósitos fluviales, deltaicos y lacustres de arenisca y lutita. Estas rocas se encuentran cubriendo discordantemente al Grupo Bisbee (Cretácico Inferior). La unidad KcAr-Lu se distribuye en los alrededores de la Sierra Los Ajos en la base de la unidad se ha identificado contenido faunístico representado por dinosaurios del género

Edmontosaurus, *Hadrosaurus* y *Albertosaurus*, los cuales corresponden a una edad del Campaniano – Maastrichtiano, Cretácico Tardío. También en la base de la unidad, estratos de lutita negra contienen ostrácodos lacustres y pequeños gasterópodos. Los ostrácodos en la base como *Bisulcoypridea?* sp. (Cretácico Tardío a Cenozoico temprano) son similares a los ostrácodos en facies lacustres de la Formación North Horn en Utah. Por otro lado, la unidad KmTR-Cgp se distribuye ampliamente en la Sierra Los Ajos, y está constituida de toba riolítica y conglomerado polimíctico del Cretácico Tardío – Paleoceno.

5. Estratigrafía

La Sierra Los Ajos está representado por una secuencia sedimentaria del Cámbrico medio – Cámbrico superior, constituida principalmente de rocas clásticas y carbonatadas de origen marino. Las rocas del Cámbrico inferior en Sonora consisten principalmente en cuarcita, limolita y caliza limosa; la caliza aumenta hacia arriba en la secuencia. Las rocas de la plataforma del Cámbrico medio consisten principalmente en caliza, dolomita y limolita. Las rocas de la plataforma del Cámbrico superior son escasas en Sonora, aunque se ha reconocido principalmente limolita y caliza en proporciones menores.

Formación Bolsa

Definición: La Formación Bolsa fue nombrada por Ransome (1904) a los afloramientos expuestos en las montañas Mule cerca del monte Martin, al sur de Arizona. En la parte sur de la región, la unidad mantiene generalmente un espesor de 100 a 200 m. La formación consiste principalmente en capas resistentes de ortocuarcita cementada con sílice de meteorización bastante oscura. La ortocuarcita contiene granos de cuarzo que disminuyen en tamaño de manera gradacional, desde arena predominantemente de grano grueso y medio en la parte inferior hasta arena predominantemente de grano medio y fino en la parte superior. La parte inferior contiene bajo contenido feldespático, mientras que la parte superior el contenido es ausente. Las intercalaciones de limolita-lutita son comunes en la parte superior de la formación, y por otro lado, las laminaciones cruzadas planas de pequeña y mediana escala son abundantes en la formación, particularmente en la parte inferior (Ransome, 1904; Hayes, 1978).

Litología y espesor: La Formación Bolsa se constituye de ortocuarcita marrón rojiza que es localmente micácea y arcósica en su parte inferior. Los granos de cuarzo son de grano medio a grueso y sub-redondeados a subangulares. En la parte inferior de la formación, la secuencia de cuarcita se presenta de capas delgadas a gruesas y se entrecruzan de forma transversal a laminada horizontalmente. La Formación Bolsa tiene unos 150 m de espesor (Figura 2).

Distribución: La Formación Bolsa aflora en la porción norte de la Sierra de Los Ajos.

Relaciones estratigráficas: La Formación Bolsa sobreyace discordantemente sobre el Esquistos Pinal del Proterozoico; mientras que el contacto superior con la Formación Abrigo es graduacional. En la parte superior de las capas de cuarcita ascienden hasta convertirse en arenisca, caliza arenosa y capas de limolita en la parte basal de la Formación Abrigo.

Fósiles y posición estratigráfica: No se han identificado fósiles que asignen una edad precisa en la Formación Bolsa. Sin embargo, debido a la posición estratigráfica con los estratos suprayacentes de la Formación Abrigo del Cámbrico medio tardío se sugiere que la Formación Bolsa es de una edad del Cámbrico temprano (Hayes, 1978).

Ambiente de depósito: Los fósiles traza como huellas de animales, senderos y madrigueras son comunes en el área, especialmente en la parte superior. Lo anterior y en relación a la litología predominante, se interpreta que la Formación Bolsa representa la deposición en un entorno de playa (Hayes, 1978).

Formación Caliza Abrigo

Definición: El término Abrigo como lo definió originalmente Ransome (1904) debido a los afloramientos expuestos en las Montañas Mule en el Monte Martin, y que incluía una sección entre la Formación Bolsa del Cámbrico y la Formación Martin del Devónico. Desde entonces se ha dividido en cuatro miembros en el sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México, que se describen por separado a continuación:

El miembro inferior de la Formación Abrigo tiene entre 70 y 150 m de espesor, aunque en las Montañas Waterman tiene aproximadamente 200 m de espesor. La secuencia sedimentaria en el miembro inferior incluye conglomerados de guijarros planos intraformacionales, grietas de barro y madrigueras ocasionales. Los fósiles traza son comunes en las facies de arenisca y limolita, lo que se interpreta como un depósito en un ambiente intermareal. Los fósiles asignan una edad del Cámbrico medio al Cámbrico medio tardío.

El miembro medio de la Formación Abrigo varía en espesor de 42 a 94 m, aunque no se encuentra un patrón regionalmente consistente de engrosamiento o adelgazamiento. El miembro medio incluye comúnmente conglomerados intraformacionales de caliza o dolomita de guijarros planos, algunos de los cuales tienen

bordes; seguido de abundantes fósiles traza; y laminaciones cruzadas (Hayes, 1978). Se interpreta que la facies de del miembro medio representan la deposición intermareal-submareal, mientras que la facies arenosa se interpreta como una deposición de playa arenosa. Se han recolectado trilobites que representan a la Zona *Cedaria*, lo cual indica una edad del Cámbrico medio tardío (Miaolingiano, Guzhangiano), aunque se sugiere que la mayoría del miembro es definitivamente de una edad del Cámbrico tardío (Hayes, 1978).

El miembro superior de la Formación Abrigo varía su espesor de 30 a 55 m, representado casi en su totalidad de arenisca de cuarzo dolomítica. Se han identificado trilobites correspondientes a la Zona *Crepicephalus* (Miaolingiano, Guzhangiano), lo cual indica una edad del Cámbrico tardío.

El miembro Copper Queen se encuentra en la parte superior de la Formación Abrigo y varía su espesor de 36 a 42 m de espesor en la localidad tipo, condado de Cochise (Stoyanow, 1936). El miembro Copper Queen está compuesto casi en su totalidad de caliza parcialmente arenosa, generalmente laminada, bastante resistente. Se han identificado trilobites correspondientes a la Zona de *Ptychaspis* (Furongiano, Jiangshaniano) del Cámbrico tardío y el braquiópodo *Billingsella* sp (Howell *et al.*, 1944; Hayes, 1975). La composición litológica y faunística sugieren que esta unidad fue depositada en aguas marinas poco profundas y submareales relativamente agitadas.

Litología y espesor: La Formación Abrigo en la Sierra Los Ajos consiste principalmente de caliza oolítica de color gris oscuro medio con capas delgadas de limolita de color gris amarillento a rojo grisáceo. La unidad posee un espesor aproximado de 250 m. Los 5 m basales de la formación constan de caliza arenosa, arenisca y limolita de color rojo pálido y marrón amarillento. En esta unidad, la caliza es típicamente de capa delgada a laminada, y es característicamente anaranjada y moteada de rojo en madrigueras. Ocasionalmente, se presenta una serie de delgadas capas de caliza y lutita, y de algunos afloramientos de caliza marmolada y hornfels, que varían de 0.6 cm a 1.2 cm de espesor (Figura 2).

Distribución: La Formación Abrigo aflora en la porción centro-norte de la Sierra de Los Ajos.

Relaciones estratigráficas: Esta unidad sobreyace de manera concordante o gradual a la Formación Bolsa, y es sobreyacida discordantemente por la Formación Martín.

Fósiles y posición estratigráfica: Son comunes los estratos delgados de caliza intraclástica y los fragmentos de trilobites, así como también algunos lechos que contienen fragmentos de *Chancelloria* sp. Las colecciones de trilobites de la parte superior de la Formación Abrigo representan dos horizontes faunísticos (Miaolingiano, Guzhangiano – Paibiano) (Page *et al.*, 2010).

Ambiente de depósito: Se sugiere que estas rocas fueron depositadas en ambientes de intermarea, indicando una transgresión marina debido a la presencia de estratificación delgada suavemente ondulante, lentes terrígenos, lodos calcáreos, entre otros (González-León, 1986). Esto también es interpretado como una mezcla de depósitos de playa de arena y planos intermareales (Hayes, 1978).

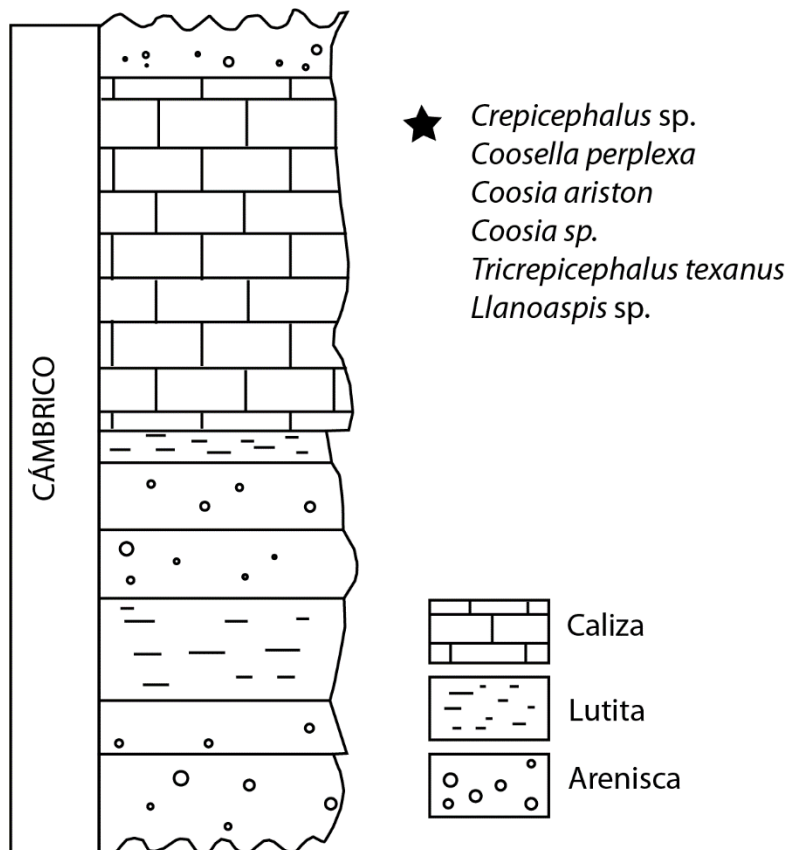


Figura 2. Columna estratigráfica del área de estudio. Modificada de Page *et al.* 2010.

6. Paleontología sistemática

El material estudiado se encuentra depositando en la Colección de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848

Clase Trilobita Walch, 1771

Orden Ptychopariida Swinnerton, 1915

Diagnosis.- Glabela ahusada, 3 pares de surcos glabellares paralelos bastante estrechos, un campo preglabellar, ojos alejados de la glabela, una condición hipostómica natural. El hipostoma se separa del cefalón mediante una sutura hipostómica o una membrana no calcificada. Tórax grande con más de 8 segmentos torácicos. Pigidio pequeño surcado y una escultura superficial tenue (Gon, 1999; Fortey, 2001; Tortello, Waisfeld, Vaccari, 2007).

Superfamilia Crepicephalacea Kobayashi, 1935

Diagnosis.- Exoesqueleto opistopario, elíptico, isopigoo o heteropigoto. Glabela convexa, ahusada, frontal redondeada o recta, con 2 o 3 pares de surcos laterales diagonales cortos, crestas oculares presentes o ausentes, espina occipital o nódulo común, ojos de tamaño mediano, opuestos o posteriores al centro de la glabela, fijas de ancho variable y pendiente, librigenae con espina genal mediana o larga. Tórax de 13 segmentos o menos, eje convexo, surco pleural bien definido, extremos pleurales falcados. Pigidio compacto, subcuadrado a subpentagonal, eje y regiones pleurales de aproximadamente el mismo ancho, con 3 a 6 anillos axiales y pleuras, borde estrecho, con un par de espinas posterolaterales derivadas de pleuras o borde, de longitud y divergencia variables (Moore, 1959).

Familia Crepicephalidae Kobayashi, 1935

Diagnosis.- Opistoparia de tamaño mediano con cefalón y pigidio subiguales. Cranidio con glabela cónica convexa, extremidad frontal bien desarrollada y borde frontal separados por un surco transversal, y ojos de tamaño mediano; genas libres que terminan en espinas genales largas. Tórax con un promedio de doce segmentos, el lóbulo axial convexo y relativamente estrecho, lóbulos pleurales anchos y planos cerca

del eje. Pigidio con lóbulos axiales y pleurales de relativamente el mismo ancho, marcados por tres o más surcos (Lochman, 1936).

Género *Crepicephalus* Owen, 1852

Diagnosis.- Ojos opuestos al centro de la glabella, las crestas de los ojos y el área palpebral alrededor de 0.3 de ancho glabellar, área posterior larga. Tórax de 12 segmentos. Pigidio subrectangular, con 4 o 5 anillos axiales y pleuras, surcos interpleurales que terminan en el borde, sin surco en el borde, borde plano o ligeramente cóncavo, más ancho en la base de las espinas, longitud y divergencia muy variable (Moore, 1959).

Especie tipo.- *Dikelocephalus iowensis* Owen, 1852

Diagnosis.- Forma general, una elipse ancha, moderadamente convexa con lóbulos pleurales más o menos aplanados, cefalón transversal, ángulos genales extendidos hacia la columna vertebral, cráneo de contorno aproximadamente subcuadrangular, con mejillas fijas estrechas y lóbulos palpebrales fuertes posteriores al borde externo redondeado de los lóbulos palpebrales extendiéndose a través de las genas fijas como estrechas crestas oculares. Glabella de contorno subcuadrangular y estrechándose ligeramente hacia su frente ampliamente redondeado, surco posterior fuerte y extendido a través de la glabella, segundo surco indicado por un par de surcos laterales cortos, se indica un tercer surco, anillo occipital fuerte aplanado. En *Crepicephalus iowensis*, las costillas pleurales y los surcos en el pigidio no se extienden hacia el borde marginal a partir del cual a su vez se produce una espina plana. (Kobayashi, 1935).

Crepicephalus sp.

(Figura 3)

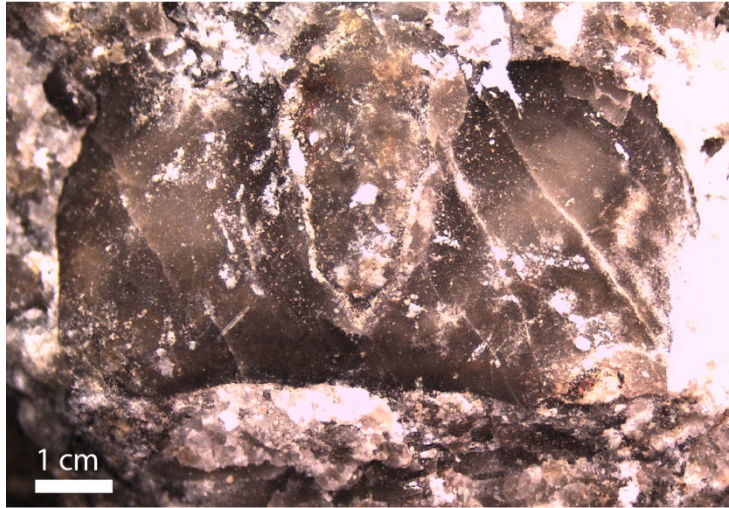


Figura 3. *Crepicephalus* sp.

Género *Coosella* Lochman, 1936

Diagnosis.- Cranidio cuadrado de contorno con una glabela corta ampliamente cónica, tres pares de surcos glabulares cortos y poco profundos, el par posterior más pronunciado y dirigido hacia adentro y hacia atrás; anillo occipital de ancho medio, surco occipital estrecho y bien definido solo a los lados; surco dorsal estrecho, delimitando claramente la glabela. Pigidio de tamaño mediano, más ancho que largo, con un borde plano ancho, lóbulo axial corto, del mismo ancho que los lóbulos pleurales; lóbulos axiales y pleurales divididos por surcos estrechos y poco profundos en tres o cuatro segmentos; borde marginal no marcado por segmentos y aumentando de ancho posteriormente; el margen posterior curvado en la línea axial media dando un aspecto bilobulado al borde (Lochman, 1936).

Especie tipo.- *Coosella prolifica* Lochman, 1936

Diagnosis.- Cranidio con una glabela corta, moderadamente convexa, redondeada al frente; surcos glabulares muy tenues en la superficie exterior pero bien definidos en la superficie interior de la prueba; anillo occipital plano, ensanchándose levemente hacia la línea media. Genas fijas ligeramente convexas, lóbulos palpebrales que equivalen a casi la mitad de la longitud de la glabela; cresta ocular estrecha, extremidad frontal estrecha, ligeramente convexa; surco transversal bien definido; borde frontal convexo, del mismo ancho que la extremidad frontal; margen anterior uniformemente redondeado. Pigidio

de tamaño mediano, lóbulo axial de la mitad de la longitud del pigidio, estrecho y moderadamente convexo, una extensión estrecha y ahusada del lóbulo axial que continúa posteriormente por una distancia corta hasta el borde marginal ancho, lóbulo axial dividido por surcos poco profundos en tres segmentos y una sección terminal, lóbulos pleurales divididos en tres amplios segmentos bajos (Lochman, 1936).

Coosella perplexa (Palmer, 1954)

(Figura 4)

Diagnosis.- Cranidio con área frontal corta subigual dividida en borde deprimido y borde elevado fuertemente desarrollado. Glabela alargada, redondeada de forma roma en la parte anterior, lóbulos palpebrales opuestos ligeramente contraídos. Extremidades posteriores puntiagudas distalmente, algo más cortas que el ancho de la glabela en el surco occipital. La superficie del cráneo está rugosa por gránulos bajos, anchos y poco espaciados. Mejilla libre con borde moderadamente estrecho, ampliamente curvado, claramente definido y espina genal corta y puntiaguda. Pigidio moderadamente arqueado en perfil transversal, largo alrededor de dos tercios de ancho. Lóbulo axial prominente, un poco más de un cuarto del ancho del pigidio, consta de tres segmentos y una porción terminal que termina en el borde en una cresta puntiaguda (Palmer, 1954).

Las características cranidiales y pigidiales del material Deadwood (Sitt y Perfetta, 2000) son casi idénticas a las de *Coosella perplexa* (Palmer), con la excepción de la ausencia de gránulos muy próximos en la superficie del cráneo. *C. perplexa* se conoce de los lechos basales de la Zona *Aphelaspis* en Texas (Palmer, 1954) y Tennessee (Rasetti, 1965), pero en Deadwood está presente en los lechos más altos de la Zona *Crepicephalus*, la primera vez que esta especie se ha informado debajo de la base del biómero pterocéfálico (Sitt y Perfetta, 2000).

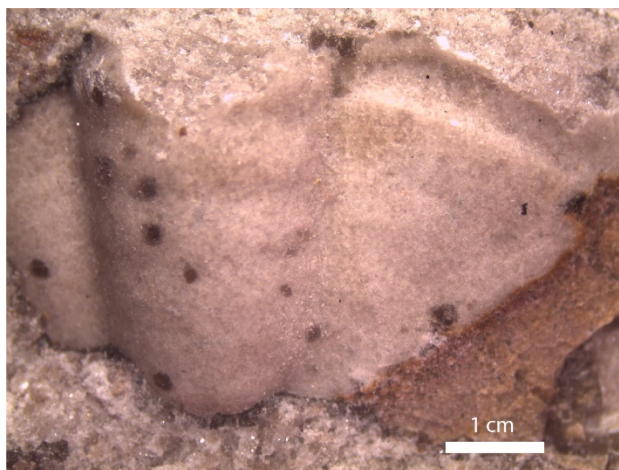


Figura 4. *Coosella perplexa*

Género *Coosia* Walcott, 1911

Diagnosis.- La descripción del genotipo *Coosia superba* y las observaciones que lo acompañan pueden tomarse como descripción y discusión del género. (Walcott, 1911).

Especie tipo.- *Coosia superba* Walcott, 1911

Diagnosis.- Cefalón semicircular en contorno, moderadamente convexo, ángulos genales desconocidos. Las suturas faciales cortan el margen posterior a cierta distancia dentro del margen externo y se extienden hacia adentro y hacia adelante con una ligera flexión sigmoidea hasta la base del lóbulo palpebral. Cranidio con una glabella subcónica moderadamente convexa, bastante grande, que muestra muy leves trazos de surcos laterales. Tórax con doce segmentos bastante estrechos, ligeramente convexos con lóbulos pleurales que se arquean ligeramente hacia atrás; lóbulo axial de cada segmento moderadamente convexo y sin marcas, por tubérculos o espinas. Pigidio moderadamente convexo, con un lóbulo axial corto y convexo y un margen muy ancho, lóbulo axial de aproximadamente la mitad de la longitud del pigidio, marcado por dos surcos transversales poco profundos que continúan en la suave pendiente descendente de los lóbulos pleurales (Walcott, 1911).

Coosia ariston (Walcott, 1916)

(Figura 5)

Diagnosis.- *Maryvillia ariston* posee caracteres generales como *M. arion*, aunque difiere en la forma de la extremidad frontal y el borde combinados. Pigidio alargado con 16 o más anillos en su lóbulo axial y lóbulos pleurales relativamente lisos (Walcott, 1916). Área frontal suavemente cóncava, baja convexidad cranial, surcos cranidiales poco profundos y pigidio con un eje prominente, cresta post-axial corta y un borde descendente amplio, liso, ligeramente convexo (Sitt y Perfetta, 2000).

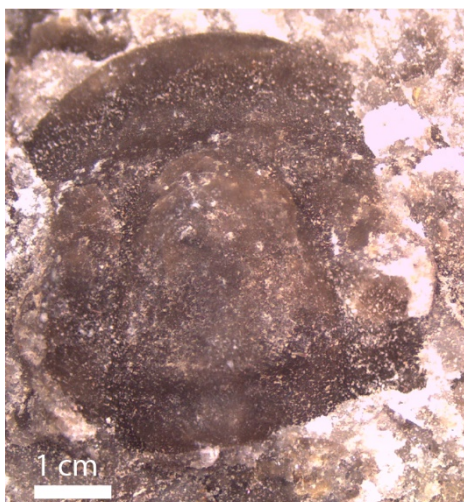
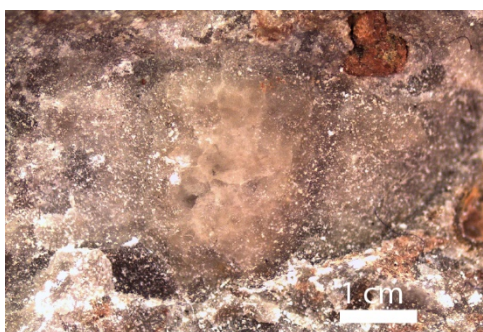


Figura 5. *Coosia ariston*



Coosia sp.

(Figura 6)

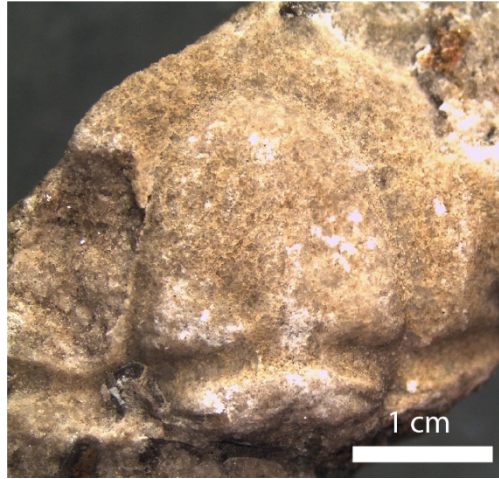


Figura 6. *Coosia* sp.

Familia *Tricrepicephalidae* Palmer, 1954

Diagnosis.- Cranidio con surcos axiales, occipitales y de borde profundos, de 2 o 3 depresiones (fosas) en el surco del borde, y pigidios con un par de espinas más o menos dirigidas hacia la parte posterior (Palmer, 1954; Poulsen, 1960). Los trilobites tricrepicefálidos poseen un cranidio como el de *Meteoraspis* aunque se diferencian de por la falta de depresiones en el surco del borde y por un borde anterior moderadamente convexo, no volteado hacia arriba (Poulsen, 1960).

Género *Tricrepicephalus* Kobayashi, 1935

Diagnosis.- Cefalón mayor afinidad hacia los *Solenopleuridae* que hacia los *Ptychoparidae*. El carácter más distintivo se encuentra en las tres marcadas depresiones que generalmente se encuentran en el surco frontal. Tórax con doce segmentos y eje estrecho. Pigidio pequeño y del tipo *Palaeocrepicephalus*, aunque más estrecho y sus espinas son mucho más fuertes que las de *Palaeocrepicephalus* (Kobayashi, 1935).

Especie tipo.- *Arionellus (Bathyurus) texanus* Shumard, 1861

Diagnosis.- Ojos detrás del nivel medio de la glabella, surcos laterales poco profundos, con 3 fosas redondas o elípticas uniformemente espaciadas en los surcos del borde anterior poco profundos, surcos palpebrales poco profundos, crestas oculares estrechas, con espina o nódulo occipital, fixigenae horizontales. Tórax de 12 segmentos. Pigidio cuadrado, eje convexo, más ancho que las regiones pleurales, con 3 anillos axiales, 3 pleuras anchas formando una espina larga, hueca y redondeada en la esquina posterolateral (Moore, 1959).

Tricrepicephalus texanus (Shumard, 1861)

(Figura 7)

Diagnosis.- Palmer (1954) consideró que la tuberculosis era de importancia primordial para separar *Tricrepicephalus texanus*, (Shumard, 1861), la especie tipo, que tiene una distribución desigual de los tubérculos, una glabella lisa o casi lisa y un borde anterior comúnmente liso, de *T. coria*, que tiene un cráneo densa y uniformemente tuberculoso.

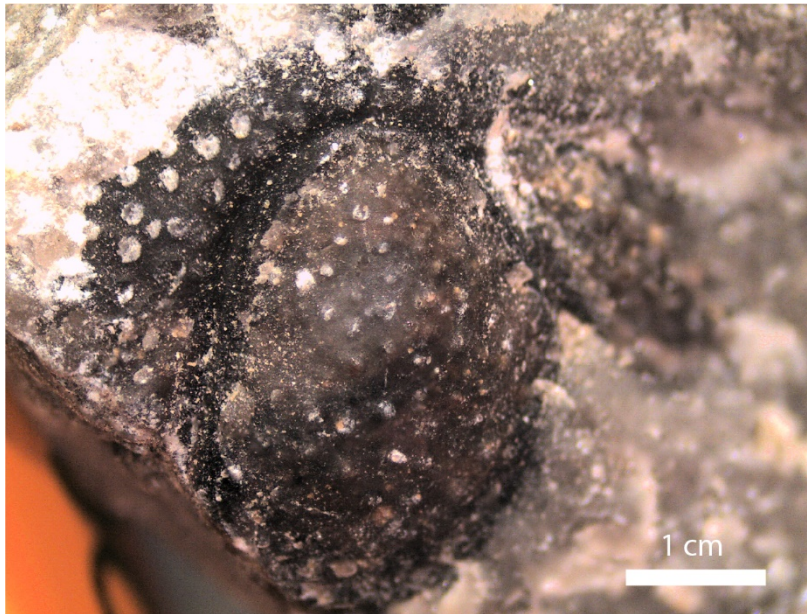


Figura 7. *Tricrepicephalus texanus*

Superfamilia Raymondinacea Clark, 1924

Diagnosis.- Exoesqueleto típicamente opistopario, elíptico, heteropigoto. Suturas faciales con secciones posteriores que van más allá del surco del borde lateral antes de girar hacia atrás para cortar los márgenes posteriores, extendiéndose en línea recta hacia afuera o curvándose hacia adelante, con tendencia a acercarse a las secciones anteriores con las que puede ocurrir fusión; secciones anteriores convergentes, rectas o divergentes hacia adelante, glabella que se estrecha en cuadrícula, frente redondeado o recto, surcos laterales presentes o ausentes, campo pregabeloso presente o ausente, crestas oculares y columna occipital pueden estar presentes, ojos de tamaño mediano a pequeño. Tórax con 7 o menos segmentos, eje más estrecho que las pleuras de extremos romos. Pigidio transversal, ovado o semicircular, eje ahusado casi en toda su longitud, más estrecho

que los campos plauerales, con todos los surcos comúnmente bien definidos (Moore, 1959).

Familia Raymondinidae Clark, 1924

Diagnosis.- Glabela estrechamente ahusada a subcuadrada, con 2 o 3 pares de surcos laterales cortos, campo preglabellar presente o ausente, ojos por debajo del tamaño mediano a pequeño, anterior al centro de la glabela, fixigenae horizontales, áreas posteriores ensanchamiento o estrechamiento hacia afuera, librígena con espinas genales o ángulos genales romos (Moore, 1959).

Subfamilia Llanoaspidinae Lochman in Lochman y Duncan, 1944

Diagnosis.- Glabela que se estrecha a subcuadrada, con 3 pares de surcos laterales cortos, campo preglabellar presente o ausente, ojos por debajo del tamaño medio, posterior al centro de la glabela, fixígenas inclinadas hacia arriba, con áreas palpebrales de 0.5 de ancho glabellar para igualar, las áreas posteriores pueden ensancharse hacia afuera, librígenas con espinas genales cortas (Moore, 1959).

Género *Llanoaspis* Lochman, 1938

Diagnosis.- Cranidio cuadrado de contorno; glabela alargada, convexa; tres pares de surcos glabellares cortos, par posterior arqueado; surco occipital amplio y profundo; anillo occipital estrecho, ligeramente convexo; surco dorsal estrecho, delimitando la glabela. Mejillas fijas anchas, elevadas; lóbulos palpebrales pequeños, en forma de aletas, situados por detrás de la línea media transversal de la glabela; un surco palpebral estrecho y poco profundo; cresta ocular prominente, cruzando las mejillas fijas en diagonal al surco dorsal ligeramente anterior a la mitad de la glabela; sin extremidad frontal; surco transversal estrecho y profundo, en línea con el frente de la glabela; borde frontal ancho; margen anterior puntiagudo sin rodeos. Pigidio transversal y convexo; lóbulo axial convexo, estrecho, extendiéndose prácticamente en toda la longitud del pigidio, dividido en seis o más segmentos y una parte terminal por surcos estrechos y poco profundos; lóbulos pleurales anchos, convexos, divididos por surcos anchos y

poco profundos en seis segmentos, que continúan hacia el borde marginal; borde más ancho en la parte anterior, estrechándose posteriormente hasta un borde delgado debajo del lóbulo axial, y cambiando de perfil de cóncavo a convexo (Lochman, 1938).

Especie tipo.- *Llanoaspis modesta* Lochman, 1938

Diagnosis.- Cranidio con una glabela subcuadrada convexa alargada, redondeada al frente; surcos glabulares tenues; surco dorsal profundo y estrecho. Mejillas fijas un poco más de la mitad del ancho de glabela, convexas y elevadas; lóbulos palpebrales pequeños, crescentiformes; cresta ocular bien definida; surco transversal estrecho, bien definido delante de las mejillas fijas; borde frontal ancho, plano, ligeramente inclinado hacia abajo desde el surco transversal. Extremidades posterolaterales largas, anchas en el margen externo; surco intramarginal profundo, estrecho. Sutura facial cortando el margen anterior cerca del centro del cráneo. Pigidio muy convexo; lóbulo axial estrecho, largo, adelgazándose posteriormente; seis tramos y una larga sección terminal delimitada por surcos estrechos y poco profundos; lóbulos pleurales anchos, divididos por amplios surcos en seis segmentos, que se curvan hacia atrás bruscamente hacia el borde marginal; borde que varía en ancho y ondula a lo largo del borde (Lochman, 1938).

Llanoaspis modesta? (Lochman, 1938)

(Figura 8)

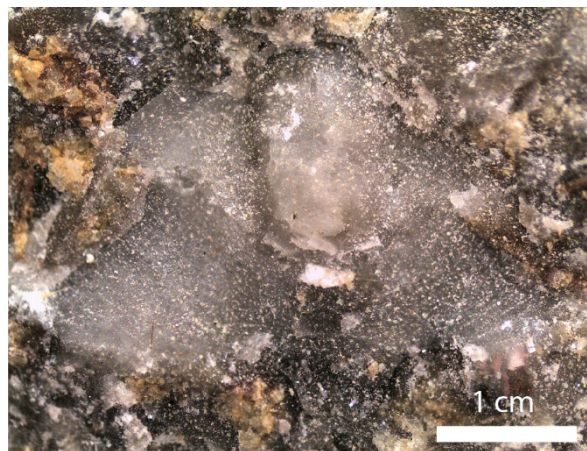


Figura 8. *Llanoaspis modesta?*

7. Consideraciones paleogeográficas

Durante el Cámbrico tardío, Laurentia o el cratón norteamericano era un continente tropical situado en el ecuador lo que favoreció al desarrollo de gremios y la preservación de estos organismos en las rocas debido a las altas tasas de sedimentación llevadas a cabo en plataformas carbonatadas. Tal y como ocurrió durante el Cámbrico temprano-medio. Sin embargo, una gran variedad de grupos de organismos muestran una rápida declinación durante el Cámbrico tardío, del cual no se identificó alguna causa específica (Harper *et al.*, 2019). Las variaciones eustáticas a nivel global del Cámbrico tardío proporcionan información sobre cambios en los ecosistemas, indicando que cuando el nivel del mar sube la biodiversidad es realmente alta; mientras que durante la regresión la biodiversidad disminuye. Durante el Cámbrico, el nivel del mar se encontraba por debajo del nivel del mar actual, aunque rápidamente alcanzaría un nivel de 30 m mayor al actual. Posteriormente, el nivel del mar durante el Cámbrico tardío alcanzaría casi 160 m mayor al nivel actual (Foster, 2014). La eustasia posiblemente ejerce el control dominante sobre el desarrollo simultáneo de los ciclos peritidal y submareal en las plataformas carbonatadas del Cámbrico tardío. El desarrollo de márgenes pasivos en la mayoría de los paleocontinentes del Cámbrico facilita la comparación de los efectos climáticos y eustáticos en ausencia o casi ausencia de complicaciones tectónicas (Osleger y Read, 1991).

Durante el Proterozoico – Cámbrico tardío, las litofacies indican que el norte de Sonora estaba rodeado por una amplia plataforma marina, donde las plataformas carbonatadas de aguas poco profundas comúnmente separaban a la plataforma interior fangosa o las lagunas restringidas de los ambientes de plataforma exterior (González-León, 1986; Babcock y Baranoski, 2013). Durante el desarrollo de estos depósitos se alojaban biofacies de trilobites (Lochman-Balk y Lee, 1958; Robison, 1976).

Lochman-Balk y Lee (1958) reconocieron tres biofacies principales en el hemisferio norte desde el Pacífico hasta el noroeste de Europa, orientados concéntricamente alrededor de Laurentia: a) Biofacies cratónica, que comprenden la plataforma de aguas poco profundas y las áreas de plataforma inestable que bordean Laurentia; b) Biofacies extracratónica, que se subdividen en biofacies extracratónica intermedio y biofacies extracratónica euxínica, es decir, ambientes hacia mares más profundos.

Robison (1976) definió un esquema bioestratigráfico alternativo del Cámbrico medio para la Great Basin, el cual contiene un conjunto separado de zonas para cada una de las principales biofacies de trilobites. Robison (1976) reconoce dos biofacies marinas mutuamente excluyentes se encuentran comúnmente en la Great Basin, suroeste de Estados Unidos: a) Una biofacies interna de plataforma restringida dominada por caliza y lutita, seguido de arenisca, lo cual indica que los patrones de litofacies demuestran que una plataforma carbonatada de extensión variable estaba flanqueada por lodos lagunarios y arenas cercanas a la costa. Por lo general, la fauna se caracteriza por la presencia escasa y de baja diversidad de trilobites poliméridos endémicos. b) Una biofacies exterior de plataforma abierta dominada por una mezcla litológica, principalmente por caliza y lutita. Esta zona se caracteriza por faunas comunes a abundantes, de alta diversidad, endémicas y cosmopolitas mixtas de trilobites poliméridos y agnóstidos. El intercambio de fauna entre biotopos se encontraba limitado por las barreras de carbonato de los bancos de agua y los cambios en los parámetros ambientales como la salinidad y la temperatura.

Según Cuen-Romero *et al.* (2019b) este modelo se puede aplicar a la fauna de trilobites de Sonora durante el Cámbrico medio y Cámbrico tardío. Las áreas de Caborca y Cananea corresponden a la biofacies de plataforma interior, litológicamente representadas por arenisca, lutita y carbonatos someros, y caracterizadas por trilobites poliméridos, principalmente de los órdenes de Ptychopariida (Alokistocaridae, Cedariidae, Crepicephalidae, Llanosapididae, Plethopeltidae, Ptychopariidae y Tricrepicephalidae) y Corynexochida (Dolichometopidae, Dorypigidae y Zacanthoididae) (Cuen-Romero *et al.*, 2019b). No obstante, las facies y el contenido faunístico, particularmente la presencia de trilobites agnóstidos en las áreas de Arivechi, San José de Gracia y Mazatán, sugieren un ambiente marino de plataforma exterior, lo cual es consistente con el modelo propuesto por Robison (1976). La composición litológica y la presencia de trilobites agnóstidos en las regiones de Caborca y Cananea se encuentran ausentes.

La secuencia del Paleozoico en la Sierra Los Ajos representa una de las sucesiones más al sur de rocas de plataforma cratónica depositadas a lo largo del margen sur de Laurentia (Blodgett *et al.*, 2002; Page *et al.*, 2010) aunque existen rocas de plataforma cratónica al sur de la Sierra Los Ajos en el área de Bacoachi (Page *et al.*, 2010)(Figura 9).

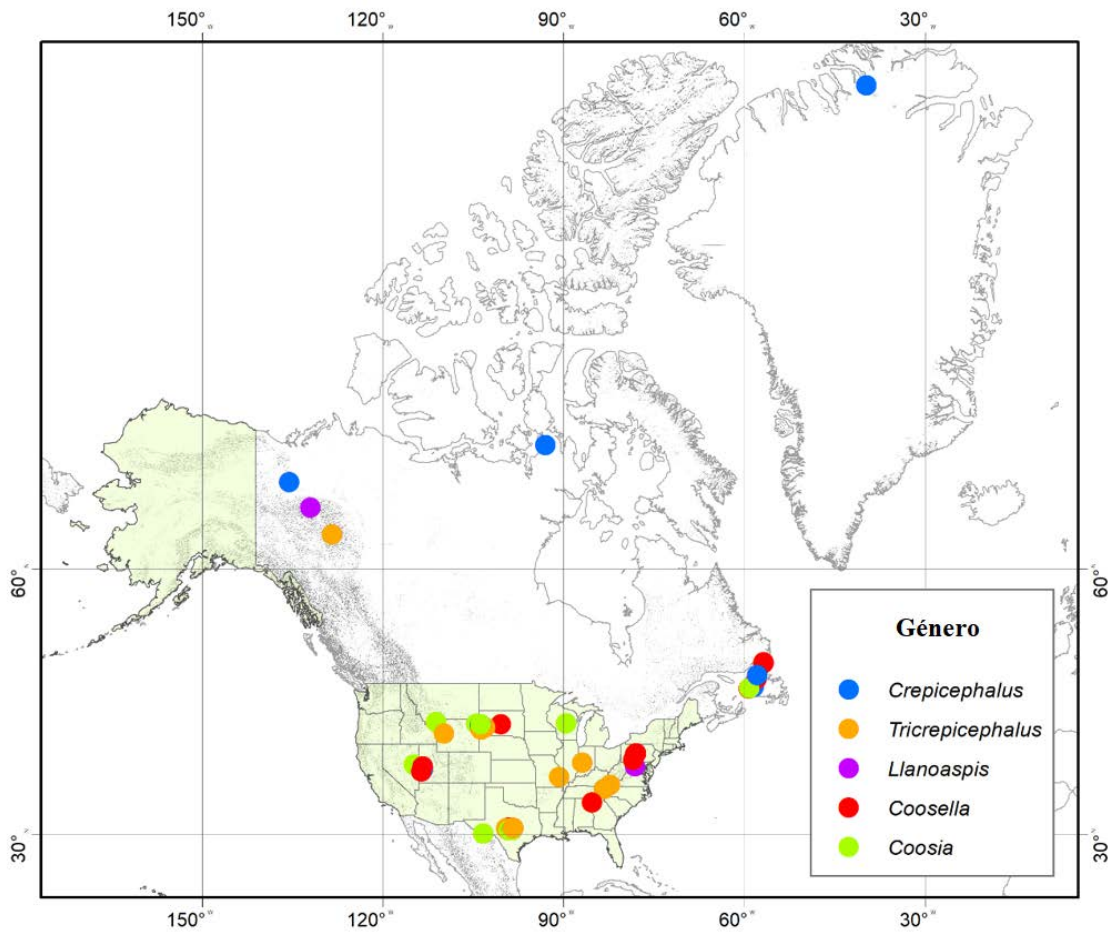


Figura 9. Distribución de los géneros de trilobites identificados en la Sierra Los Ajos, noreste de Sonora, México.

8. Discusiones

González-León (1986) describió afloramientos del Cámbrico en la Sierra El Tule, en el área de Cananea, donde reconoce cuatro miembros litológicos de manera informal. El miembro 1 consiste en arenisca con granos de cuarzo cementados por sílice, sin embargo, los análisis petrográficos permiten clasificarlas entre subarcosas y areniscas de cuarzo. Esta secuencia se presenta en estratos delgados y medianos de arenisca, ocasionalmente estratos masivos con distratificación planar, y posee un espesor incompleto de 65 m. González-León (1986) establece que el miembro 1 reconocido en el área de la Sierra El Tule corresponde a la Formación Bolsa, aunque no se identificó contenido faunístico que determine una edad. Se ha sugerido que el miembro 1 fue depositada en un mar somero, cercano a la zona litoral. González-León (1986) establece que los miembros 2, 3 y 4 evidencian la transición de una sedimentación principalmente terrígena por el miembro 1 a una sedimentación carbonatada. La parte inferior del miembro 2 posee un espesor de 110 m que se constituye de caliza de estratificación delgada con algunas capas de arenisca con disatificación, donde se presentan estructuras oncoidales representados por *Girvanella*, mientras que la parte superior consiste en caliza con intercalaciones de lodolita, limolita, y arenisca de grano muy fino con abundantes trilobites como *Arapahoia* sp. la cual asigna la Zona de *Cedaria*. El miembro 3 posee un espesor de 15 m y que incluye caliza oolítica parcialmente dolomitizada de estratificación media a gruesa. Por último, el miembro 4 posee un espesor de 45 m constituido de caliza con intercalaciones de limolita en estratos muy delgados. Estas rocas se caracterizan por la presencia de trilobites como *Tricrepicephalus* sp., *Llanoaspis* sp., *Coosella* sp., y *Coosia* sp., los cuales asignan una asociación típica de la Zona *Crepicephalus*.

Sundberg y Cuen-Romero (2021) describen la estratigrafía de los cerros El Tule y Mesteñas, y establecen consideraciones bioestratigráficas y de correlación. Para la Formación Bolsa no se documentaron fauna representativa de una edad precisa, sin embargo, se le asigna de manera tentativa la Zona de *Ehmaniella* correspondiente a una edad del Lincolniano, Topazano (Cámbrico medio) para Laurentia. Por otro lado, se reporta una fauna de trilobites ptychopariid del Cámbrico superior en los depósitos de la plataforma interior de la Formación Abrigo de los cerros El Tule y Mesteña, Sonora, México. La fauna de trilobites incluye *Crepicephalus* sp., *Tricrepicephalus texanus*, *Llanoaspis modesta?*, *Coosella perplexa*, *Coosia ariston* y *Coosia* sp., asignando una

edad del Lincolniano, Marjumano tardío (Cámbrico tardío) para Laurentia. La fauna asociada descrita en el presente estudio mantiene una estrecha relación con los depósitos de la región noreste de Sonora, particularmente con los cerros El Tule y Las Mesteñas, correspondientes a depósitos de plataforma interior (González-León, 1986; Sundberg y Cuen-Romero, 2021).

Asimismo, el contenido faunístico permite establecer una correlación con la Formación Abrigo en el sureste de Arizona (González-León, 1986). Las formaciones Bolsa y Abrigo son correlacionadas litológicamente con otros depósitos del Cámbrico identificados en el sureste de Arizona, sur de Nuevo México y centro-suroeste de Texas, localidades como French Joe Canyon, Mule Mountains, Johnny Lyon Hills y Llano Uplift (Palmer 1954; González-León, 1986; Łabaj and Pratt, 2016; Sundberg y Cuen-Romero, 2021) (Figura 10). Se ha sugerido que la Arenisca Coronado del Cámbrico medio? y Cámbrico superior en el extremo sureste de Arizona y extremo suroeste de Nuevo México es equivalente a la Formación Abrigo, la cual está cubierta por rocas carbonatadas de la Formación Caliza El Paso (Hayes y Cone, 1975; Hayes, 1978). En esta región, la parte inferior de la Formación Caliza El Paso está representada por rocas del Cámbrico tardío (Hayes, 1978), sin embargo, la mayor parte de esta unidad corresponde a una edad del Ordovícico.



Figura 10. Mapa paleogeográfico del cratón norteamericano, mostrando las localidades de Sonora, Arizona y Texas del Cámbrico superior. Modificado de Sundberg y Cuen-Romero, 2021.

La Zona *Crepicephalus* se ha correlacionado con otras secciones del Cámbrico en Norteamérica, y se ha utilizado como una de las zonas basadas en géneros de Norteamérica o Laurentia (Lochman-Balk 1971). La Zona *Crepicephalus* en la Formación Nolichucky puede correlacionarse con las Zonas *Coosella* y *Maryvillia* del centro de Texas (Palmer 1954) sobre la base de la presencia de *Tricrepicephalus texanus*. La Zona *Crepicephalus* puede correlacionarse con la misma zona en la

Formación Eau Claire en Wisconsin con base en los taxones compartidos *Coosia* y *Terranovella dorsalis* (Nelson 1951; Cuggy, 1996).

Posiblemente, la Formación Abrigo presenta un horizonte inferior pertenece a la Zona *Crepicephalus*, la zona más alta del Piso Marjumano del Cámbrico medio tardío; y el horizonte superior contiene una fauna de la Zona *Aphelaspis*, la zona más baja del Piso Steptoeano del Cámbrico tardío para Laurentia. Se produce un límite de etapa significativo entre estos horizontes, lo que marca uno de los eventos de extinción más notables en el Cámbrico (Page *et al.*, 2010). El límite del escenario se correlaciona precisamente con los estratos de la Formación Abrigo en las montañas Mule, condado de Cochise, Arizona (Hayes y Landis, 1965). Según Harper *et al.* (2019) las secuencias estratigráficas sedimentarias del Cámbrico tardío corresponden a ambientes de plataforma, talud y cuenca, identificados en depósitos como Laurentia, el Sur de China, Báltica y Avalonia, los cuales se reflejan un entierro con aumento de materia orgánica y sugieren que la deficiencia de oxígeno estaba concentrado, por lo general, en las masas de aguas subterráneas. El análisis de excursiones positivas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{34}\text{C}$ indican que la propagación de la anoxia y la disoxia a través de la plataforma demuestra cambios en la estructura del hábitat que contribuyeron a las extinciones y la reducción de la biodiversidad, particularmente entre el bentos. Estos cambios en la circulación de los océanos impactaron en el ecosistema de ambientes más profundos. Sin embargo, se considera que ocurrió un aumento de nivel del mar que transportó aguas a las plataformas con deficiencia de oxígeno (Gill *et al.*, 2011).

La correlación de rocas en todo el mundo es un problema constante que aumenta con la edad de las rocas. En el Fanerozoico existen una multitud de fósiles que permiten establecer una correlación internacional, no obstante, incluso estos fósiles se vuelven menos útiles cuanto más atrás en el tiempo. Para ilustrar las dificultades de correlación, se utiliza el ejemplo del límite Cámbrico inferior-Cámbrico medio. Los límites tradicionales están definidos por la aparición de *Paradoxides* (Europa y Siberia) o la desaparición de *Olenellus* (Laurentia) o *Redlichia* (China, Australia). Por supuesto, ninguno de estos eventos se correlaciona ni califica para una definición moderna de un límite geológico. Las correlaciones de niveles de especies ahora deben usarse para definir o redefinir los límites geológicos; sin embargo, durante el Cámbrico inferior y Cámbrico medio, la mayoría de los taxones de trilobites (y también la mayoría de los otros grupos) son endémicos, escasas especies se encuentran a nivel internacional. Uno

de estos taxones, *Oryctocephalus indicus* (Reed, 1910), se encuentra en Laurentia, China y posiblemente en Siberia y actualmente se usa para definir la Serie Miaolingiano y el Piso Wuliuano (edades de Laurentia, costa oeste de Norteamérica, noroeste de México), es decir, el límite Cámbrico inferior-Cámbrico medio. Debido a la limitada distribución de especies, se deben usar otros taxones para correlacionar con otras regiones, aunque cada salto progresivo de una región a la siguiente reduce la confiabilidad de la correlación. También se pueden utilizar otros métodos que permitan establecer la correlación, como los isótopos de carbono y las curvas del nivel del mar, sin embargo, realmente el conocimiento sobre los límites es limitado y lo que existe proporciona información contradictoria.

9. Resultados y conclusiones

En las secuencias de plataformas cratónicas en el norte de Sonora y el sur de Arizona, las rocas del Ordovícico generalmente están ausentes, y las rocas del Devónico Medio y Superior de la Formación Martin se superponen de manera discordante a la Formación Abrigo del Cámbrico Medio y Superior.

Se describen seis especies de trilobites provenientes de la Formación Abrigo del Cámbrico superior. La fauna está constituida por *Crepicephalus* sp., *Coosella perplexa*, *Coosia ariston*, *Coosia* sp., *Tricrepicephalus texanus* y *Llanoaspis* sp. representativa de la Zona de *Crepicephalus*, indicando una edad del Miaolingiano, Guzhangiano (Cámbrico tardío). El ambiente de depósito se infiere como marino somero de plataforma, debido a los depósitos de carbonatos y ausencia de trilobites agnóstidos. La distribución de faunas marinas del Cámbrico de Sonora permite establecer afinidades intraespecíficas con las faunas marinas del Cámbrico del Cratón de Norteamérica (Arizona, Nuevo México y Texas), indicando la existencia de una amplia provincia faunística durante ese período.

10. Referencias

Almazán-Vázquez, E., 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 8(1), 58-66.

Babcock, L.E., Baranoski, M.T. “*Cedaria*” *woosteri* and the *Cedaria* Zone (Cambrian: Guzhangian) of Laurentia. *Proceedings of the 3rd IGCP 591 Annual Meeting, Lund, Sweden, 9–19 June 2013*, p. 37-38.

Clark, T. H., 1924. The paleontology of the Beekmantown series at Levis, Quebec. *Bull. Am. Paleontol.* 10 (41), 134.

Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., 1946. Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin.* 30 (4), 606-11.

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), 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 [Geology and paleontology of the Caborca region, northwestern Sonora, Mexico]: *Congreso Geológico Internacional, 20th, Mexico*, pt. 13, 239 pp.

Cuen-Romero, F. J., 2012. Sobre la estratigrafía y paleontología del ámbrico de ára de San José de Gracia, Sonora central: Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 65 p.

Cuen, R.F., Beresi, M.S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., De la O, M., Palafox, J.J., 2013. *Chancelloriia* 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, R., Sundberg, F., Montijo-González, A., Minjarez-Sosa, I., 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. Paleocology 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-González, 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.

Cuen-Romero, F. J., Reyes-Montoya, D. R., Noriega-Ruiz, H. A. (2020). El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 1-15.

Cuen-Romero, F. J., Montijo-González, A., Monreal, R., Sundberg, F. A., Espinoza-Maldonado, G., Grijalva-Noriega, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., Minjárez-Sosa, I., Ochoa-Granillo, J. A., 2022. Cambrian (Series 2 to Miaolingian) platform facies from central Sonora, Mexico and the regional correlation. *Palaeoworld*, 31(1), 41-57.

Fortey, R. A., 2001. Trilobite systematics: the last 75 years: *Journal of Paleontology*, 75(6), pp. 1141-1151.

Foster, J., 2014. *Cambrian ocean world: ancient sea life of North America*. Indiana University Press, Bloomington, Indiana, USA, 415 P.

Fritz, W. H., 1975. Broad correlations of some Lower and Middle Cambrian strata in the North American Cordillera. *Geological Survey of Canada Paper*, 75-1 (Part A):533–540.

Geyer, G., 2019. A comprehensive Cambrian correlation chart. *Episodes Journal of International Geoscience*, 42(4), 321-332.

Gill, B. C., Lyons, T. W., Young, S. A., Kump, L. R., Knoll, A. H., & Saltzman, M. R., 2011. Geochemical evidence for widespread euxinia in the Later Cambrian ocean. *Nature*, 469(7328), 80-83.

Gon, S. M. 1999. A pictorial guide to the orders of trilobites. Samuel M. Gon III., 88 p.

González-León, C. M., 1986. Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 6(2), 117-135.

Harper, D. A., Topper, T. P., Cascales-Miñana, B., Servais, T., Zhang, Y. D., Ahlberg, P., 2019. The Furongian (late Cambrian) biodiversity gap: real or apparent?. *Palaeoworld*, 28(1-2), 4-12.

Hayes, P. T., Landis, E. R., 1965. Paleozoic stratigraphy of the southern part of the Mule Mountains, Arizona: U.S. Geol. Survey Bull. 1201-F, 43 p.

Hayes, P. T., Cone, G. C., 1975. Cambrian and Ordovician rocks of southern Arizona and New Mexico and westernmost Texas: U.S. Geological Survey, Professional Paper 873, 98 p.

Hayes, P. T., 1978. Cambrian and Ordovician rocks of southeastern Arizona and southwestern New Mexico. Callender, JF, Witt, JC, Clemons, RE, J.-L.(eds.), *Land of Cochise*, 165-173.

Hernández-Barbosa, A., Sour-Tovar, F., 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.

Hollingsworth, J. S., Sundberg, F. A., Foster, J. R., 2011. Cambrian stratigraphy and paleontology of Northern Arizona and Southern Nevada. *Museum of Northern Arizona Bulletin*, 67, 321 p.

Howell, B. F., Bridge, J., Deiss, C. F., Edwards, I., Lochman, C., Raasch, G. O., Resser, C. E., Duncan, D. C., Denson, N. M., 1944. Correlation of the Cambrian

formations of North America. *Bulletin of the Geological Society of America*, 55(8), 993-1004.

Kobayashi, T., 1935. The Cambro-Ordovician formations and faunas of South Chosen. *Palaeontology*. Part III. Cambrian faunas of South Chosen with a special study on the Cambrian trilobite genera and families. *Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo*, sec. II, 4, pp. 85-102.

Łabaj, M. A., Pratt, B. R., 2016. Depositional dynamics in a mixed carbonate–siliciclastic system: Middle–Upper Cambrian Abrigo Formation, southeastern Arizona, USA. *Journal of Sedimentary Research*, 86(1), 11-37.

Lochman, C. 1936. New trilobite genera from the Bonnetterre Dolomite (Upper Cambrian) of Missouri. *Journal of Paleontology*, 10, pp. 35-43.

Lochman, C., 1938. Upper Cambrian faunas of the Cap Mountain formation of Texas. *Journal of Paleontology*, 12(1), 72-85.

Lochman, C., Duncan, D., 1944. Early Upper Cambrian faunas of central Montana. *Geological Society of America Special Papers*, 54, 181 pp.

Lochman, C., 1948. New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, Mexico: *Journal of Paleontology*, 22(4), 451–464.

Lochman, C., 1952. Trilobites, in Cooper, G.A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, J., Stoyanow, A. (eds.), *Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México: Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(1), 60–107.

Lochman, C., and Wilson, J.L., 1958. Cambrian biostratigraphy in North America: *Journal of Paleontology*, 32(2), 312-350.

Lochman-Balk, C. 1971. The Cambrian of the craton of the United States. In Holland, C.D. (ed.). *Cambrian of the New World*. Wiley, New York, pp. 79-167.

McCollum, L.B., Sundberg, F.A., 2007. Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, U.S.A.: Implications for global correlations and defining a Series 3 global boundary stratotype: *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 34, 147–156.

McMenamin, M. A., Awramik, S. M., Stewart, J. H., 1983. Precambrian-Cambrian transition problem in western North America: Part II. Early Cambrian skeletonized fauna and associated fossils from Sonora, Mexico: *Geology*, 11(4), 227-230.

McMenamin, M. A., 1985. Basal Cambrian small shelly fossils from the La Cienega formation, northwestern Sonora, Mexico: *Journal of Paleontology*, 9(6), pp. 1414-1425.

McMenamin, M. A., 1987. Lower Cambrian trilobites, zonation, and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, Mexico: *Journal of Paleontology*, 61(4), 738-749.

Moore, R. C. (Ed.), 1959. *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part O, Arthropoda I*, 01-Q560. Lawrence, Kansas.

Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009. First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early–Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeoecological comments. *Geobios* 42(2), 233–242.

Nelson, C. A., 1951. Cambrian trilobites from the St. Croix valley. *Journal of Paleontology*, 25, pp. 765-784.

Noriega-Ruiz, H.A., Cuen-Romero, F.J., Enríquez-Ocaña, L.F., Sundberg, F.A., Monreal, R., Varela-Romero, A., Palafox-Reyes, J.J., Grijalva-Noriega, F.J., 2020. Cambrian stratigraphy (Series 2 to Miaolingian) of the El Sahuaral area in central Sonora, Mexico: Biostratigraphic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 103, 102797.

Noriega-Ruiz, H. A., Cuen-Romero, F. J., Enríquez-Ocaña, L. F., Monreal, R., Chacón-Baca, E., Palafox-Reyes, J. J., Grijalva-Noriega, F. J., 2022. Quantitative paleoecology of cambrian (Series 2–miaolingian) communities from central sonora, mexico. *Palaeoworld*.

Osleger, D., & Read, J. F., 1991. Relation of eustasy to stacking patterns of meter-scale carbonate cycles, Late Cambrian, USA: *Journal of Sedimentary Research*, 61(7), 1225-1252.

Owen, D. D., 1852. Report of a geological survey of Wisconsin, Iowa, and Minnesota, and incidentally a portion of Nebraska Territory. Lippincott, Grambo & Co., Philadelphia. 638 pp.

Page, W. R., Gray, F., Iriondo, A., Miggins, D. P., Blodgett, R. B., Maldonado, F., Miller, R. J., 2010. Stratigraphy and Mesozoic–Cenozoic tectonic history of northern Sierra Los Ajos and adjacent areas, Sonora, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 29(3), pp. 557–571

Palmer, A. R., 1954. The faunas of the Riley Formation In central Texas: *Journal of Paleontology*, 28, pp.709-78,6.

Poulsen, C., 1960. Fossils from the Late Middle Cambrian *Bolaspidella* zone of Mendoza, Argentina. *Matematisk-fysiske Meddelelser Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab* 32, 1-40.

Ransome, F. L., 1904. The geology and ore deposits of the Bisbee Quadrangle, Arizona (Vol. 21). US Government Printing Office.

Rasetti, F., 1965. Upper Cambrian trilobite faunas of northeastern Tennessee. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 148(3). 127 p.

Reed, F. R. C. The Cambrian fossils of Spiti. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, 1910, 15(7), pp. 1-70.

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 p.

Rivera-Carranco, E., 1988a. 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.

Rivera-Carranco, E., 1988b. Génesis de la Formación Proveedora (Cámbrico Inferior) del área de Caborca, Sonora noroccidental. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 7(2), 163-167.

Robison, R. A., Pantoja-Alor, J., 1968. Tremadocian trilobites from the Nochixtlán region, Oaxaca, Mexico. *Journal of Paleontology*, 767-800.

Robison, R.A., 1976, Middle Cambrian Trilobite Biostratigraphy of the Great Basin: *Geology Studies*, Brigham Young University, 23(2), 93–109.

SGM, Servicio Geológico Mexicano, 2003. Carta Geológico-Minera y Geoquímica Carbó H12-D21 escala 1: 50 000, Estado de Sonora.

Shumard, B. F., 1861. The Primordial zone of Texas with descriptions of new fossils: *American Journal of Science*, s. 2, 32, pp. 213- 221.

Stitt, J.H., Perfetta, P.J., 2000. Trilobites, biostratigraphy, and lithostratigraphy of the Crepicephalus and Aphelaspis zones, lower Deadwood Formation (Marjuman and Steptoean stages, upper Cambrian, Black Hills, South Dakota: *Journal of Paleontology*, 74(2), 199-223.

Stewart, J. H., McMenamin, A. S., Morales-Ramirez, J. M., 1984. In Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, México. *Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleocurrent Studies and Regional Relations*, US Geological Survey Professional Paper 1309, 1-36.

Stoyanow, A. A., 1936. Correlation of Arizona Paleozoic formations. *Bulletin of the Geological Society of America*, 47(4), 459-540.

Sundberg, F.A., 1994. Corynexochida and Prychopariida (Trilobita, Arthropoda) of the *Ehmaniella* Biozone (Middle Cambrian), Utah and Nevada. *Contributions in Science*. 446, 1–137.

Swinnerton, H. H., 1915. Suggestions for a revised classification of trilobites. *Geological Magazine*, n.s., 2, pp. 487-496, 538-545.

Tortello, M.F., Waisfeld, B.G., Vaccari, N.E., 2007, Trilobita, en Camacho, H. (eds.), *Los invertebrados fósiles: Buenos Aires*, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 535–562.

Vega-Granillo, R., 1996. Geología de la Sierra de Mazatán. *Boletín del Departamento. de Geología*. Universidad de Sonora, 13(1), 89–102.

von Siebold C. T., 1848. Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbellosen Thiere. Erster Theil. In: von Siebold C.T. & Stannius H. (eds.), Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. –Verlag von Veit & Comp., Berlin. 679 p.

Walch, J. E. I., 1771. Die Naturgeschichte der Versteinerungen zur Erläuterung der Knorr'schen Sammlung von Merckwürdigkeiten der Natur (Vol. 4). PJ Felssecker [for heirs of GW Knorr].

Walcott, C. D., 1911. Cambrian faunas of China. Smithsonian Miscellaneous Collections, 57, No.4, pp. 69-108.

Walcott, C. D., 1916b. Cambrian geology and paleontology III, No.5. Cambrian trilobites. Smithsonian Miscellaneous Collections, 64(5), pp. 303-457.

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.