

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

HELCIONELOIDOS (MOLLUSCA –  
HELCIONELLOIDA) DEL CÁMBRICO  
(MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE LA REGIÓN  
CENTRAL DE SONORA, MÉXICO.

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
GEÓLOGO

PRESENTA:  
BRANDON MORALES GARCÍA



HERMOSILLO, SONORA, JUNIO DE 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**

Agradezco a todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realizara con éxito.

En especial a mi director de tesis cDr. Héctor Arturo Noriega Ruiz, por compartirme sus conocimientos, por su ayuda, paciencia y dedicación. Agradezco al Dr. Juan José Palafox Reyes y Dr. Francisco Javier Cuen Romero, por la atenta lectura y correcciones al presente manuscrito, haciendo grandes mejoras a la versión final.

Agradezco también a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, me motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad de Sonora.

A toda mi familia y amigos por acompañarme en este proceso.

¡Que nadie se quede afuera, se lo dedico a todos!

## ÍNDICE

RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
1. Introducción.....	7
2. Generalidades .....	10
2.1. Objetivos.....	10
2.1.1. Objetivo General .....	10
2.1.2. Objetivos específicos.....	10
2.2. Antecedentes y trabajos previos .....	11
2.3. Fisiografía .....	13
3. Metodología.....	15
4. Localización.....	16
5. Marco geológico regional.....	17
6. Estratigrafía .....	20
7. Paleontología sistemática .....	23
8. Discusiones.....	27
8.1. Bioestratigrafía del área del Chihuarruita.....	27
8.2. Paleogeografía .....	29
8.3. Implicaciones sistemáticas.....	32
8.4. Morfología de los helcionélidos .....	33
8.5. Paleoecología de los helcionélidos .....	34
9. Resultados y conclusiones .....	36
10. Referencias .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las localidades del Cámbrico en el estado de Sonora. Modificado de Noriega-Ruiz <i>et al.</i> , 2020.....	8
Figura 2. Provincias fisiográficas del estado de Sonora (CONABIO, 1990). El cerro El Chihuarruita se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses. Tomado de Cuen-Romero, 2013. ....	14
Figura 3. Ubicaciones de los cerros El Chihuarruita y El Sahuaral, San José de Gracia, Sonora central, México. Tomado de Noriega-Ruiz, 2019.....	16
Figura 4. Columna estratigráfica del área de San José de Gracia (El Chihuarruita), Sonora central. ....	22
Figura 5. Concha de <i>Latouchella arguta</i> . Escala 1 mm. ....	23
Figura 6. Concha de <i>Latouchella burlingi</i> ?. Escala: 1 mm. ....	25
Figura 7. Mapa paleogeográfico durante el Cámbrico medio y distribución de los depósitos: 1) Formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán del Cerro El Chihuarruita, Sonora central; 2) Formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos, y El Tren del área de Caborca, noroeste de Sonora; 3) Formación Carrara de California, EUA; 4) Formación Emigrant de Nevada, EUA; 5) Formación Carrara de Nevada, EUA; 6) Formación Pioche de Nevada, EUA; 7) Miembro Spence Shale de la Formación Langston de Utah, EUA; 8) Formación Forteau de Newfoundland, Canadá; 9) Formación Hawke Bay de Newfoundland, Canadá; 10) Formación Henson Gletscher de Nyeboe Land, Groenlandia. Tomado de Ron Blakey, NAU Geology, Colorado Plateau Geosystems.....	31
Figura 8. Reconstrucción paleoecológica de los helcionélidos durante el Cámbrico medio. Tomado de Vendrasco <i>et al.</i> , 2011.....	35

## RESUMEN

En los últimos años, los estudios estratigráficos y paleontológicos del Cámbrico sedimentario en México han aumentado de manera significativa en distintos enfoques. Estos trabajos se han enfocado mayoritariamente en el análisis bioestratigráfico, de microfacies, y de paleoecología cuantitativa. Particularmente, los análisis sistemáticos de fauna representativa del Cámbrico son escasos, aunque han sido relevantes para comprender factores paleogeográficos, paleoecológicos y evolutivos.

En el área de San José de Gracia, Sonora central, aflora una secuencia sedimentaria de material detrítico-carbonatado, la cual incluye unidades litoestratigráficas que han sido reconocidas originalmente en el área de Caborca: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, y El Gavilán. Tales formaciones incluyen una abundante y diversa biota fósil que incluye fósiles traza, cianobacterias, esponjas, hiolítidos, braquiópodos, trilobites y equinodermos del Cámbrico Miaolingiano, Wuliuano.

La Formación El Gavilán se caracteriza por la presencia de potentes capas de lutita con alternancias de caliza fosilífera. En esta unidad se han identificado la mayoría de los fósiles que se han documentado para el Cámbrico de la región central de Sonora. Recientemente, se ha identificado una asociación de helcionélidos en la Formación El Gavilán, correspondientes a moluscos basales que han sido controversiales por poseer formas similares a gasterópodos y monoplacóforos. En este trabajo se han identificado por primera vez para México, dos especies de helcionélidos, *Latouchella arguta* (Resser, 1939) y *L. burlingi* (Resser, 1939) los cuales demuestran una estrecha afinidad con depósitos del cratón norteamericano; particularmente, en localidades de Caborca (Sonora), California, Nevada y Utah (EUA), Newfoundland (Canadá) y Groenlandia.

## ABSTRACT

In recent years, the stratigraphic and paleontological studies of the Cambrian sedimentary in Mexico have increased significantly in different approaches. These works have focused mainly on biostratigraphic analysis, microfacies, and quantitative paleoecology. Particularly, systematic analyzes of representative fauna of the Cambrian are scarce, although they have been relevant to understand paleogeographic, paleoecological and evolutionary factors.

In the San José de Gracia area, central Sonora, a sedimentary sequence of detrital-carbonate material outcrops, which includes lithostratigraphic units that have been originally recognized in the Caborca area: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, and El Gavilán. Such formations include an abundant and diverse fossil biota including trace fossils, cyanobacteria, sponges, hyolithids, brachiopods, trilobites, and echinoderms from the Cambrian Miaolingian, Wuliuan.

The El Gavilán Formation is characterized by the presence of thick layers of shale with alternating fossiliferous limestone. In this unit, most of the fossils that have been documented for the Cambrian of the central region of Sonora have been identified. Recently, an association of helcionelids has been identified in the El Gavilán Formation, corresponding to basal molluscs that have been controversial for having shapes similar to gastropods and monoplacophores. In this work, two species of helcionelids, *Latouchella arguta* (Resser, 1939) and *L. burlingi* (Resser, 1939) have been identified for the first time for Mexico, which show a close affinity with North American craton deposits; particularly, in localities of Caborca (Sonora), California, Nevada and Utah (USA), Newfoundland (Canada) and Greenland.

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, los afloramientos del Cámbrico sedimentario han sido documentados en los estados de Chihuahua, Oaxaca y Sonora (Cooper *et al.*, 1952; 1956; Pantoja-Alor y Robison, 1968; Cuen-Romero *et al.*, 2018), no obstante, los estudios estratigráficos y paleontológicos del Cámbrico han aumentado de manera significativa en el estado de Sonora, particularmente en la región central (Stewart *et al.*, 1984; Cuen-Romero *et al.*, 2016; 2018; 2022; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020). Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior afloran extensamente en el estado de Sonora (Cuen-Romero *et al.*, 2020a), comprendiendo de columnas compuestas de varios de miles de metros de espesor, que disminuyen del noroeste hacia el noreste en el estado (Roldán-Quintana, 1982). Los depósitos del Cámbrico en Sonora se caracterizan por la presencia de sucesiones estratigráficas continuas de facies marinas y una abundante biota fósil, relativamente bien preservada (Cuen-Romero *et al.*, 2016; 2018). El contenido fosilífero está representado por la presencia de fósiles traza, cianobacterias, esponjas, chancellóridos, hiolítidos, braquiópodos, trilobites y equinodermos; esto no solo incluye únicamente el enfoque bioestratigráfico sino que también ha sido estudiado de manera sistemática y taxonómica (Cuen *et al.*, 2013; Buitrón-Sánchez, 2017a; 2017b; Beresi *et al.*, 2019; Sundberg & Cuen-Romero, 2021).

En Sonora, el análisis sistemático de trilobites se ha realizado desde mediados del siglo pasado (Lochman *in* Cooper *et al.*, 1952), y esto ha permitido reconocer al menos 84 especies distribuidas en 61 géneros (Cuen-Romero *et al.*, 2018). Lo anterior es fundamental para identificar biozonas y establecer correlaciones bioestratigráficas con otros depósitos, debido a que la columna estratigráfica del Cámbrico está basada por la presencia de trilobites (Webster, 2011). Con base en un análisis de trilobites identificados se establecieron cuatro regiones de acuerdo con su posición geográfica en el estado de Sonora (Cuen-Romero *et al.*, 2018) (Figura 1): región norte (Cananea), región noroeste (Caborca), región este (Arivechi), y región central (Mazátan, Rancho Sobechi, San José de Gracia).



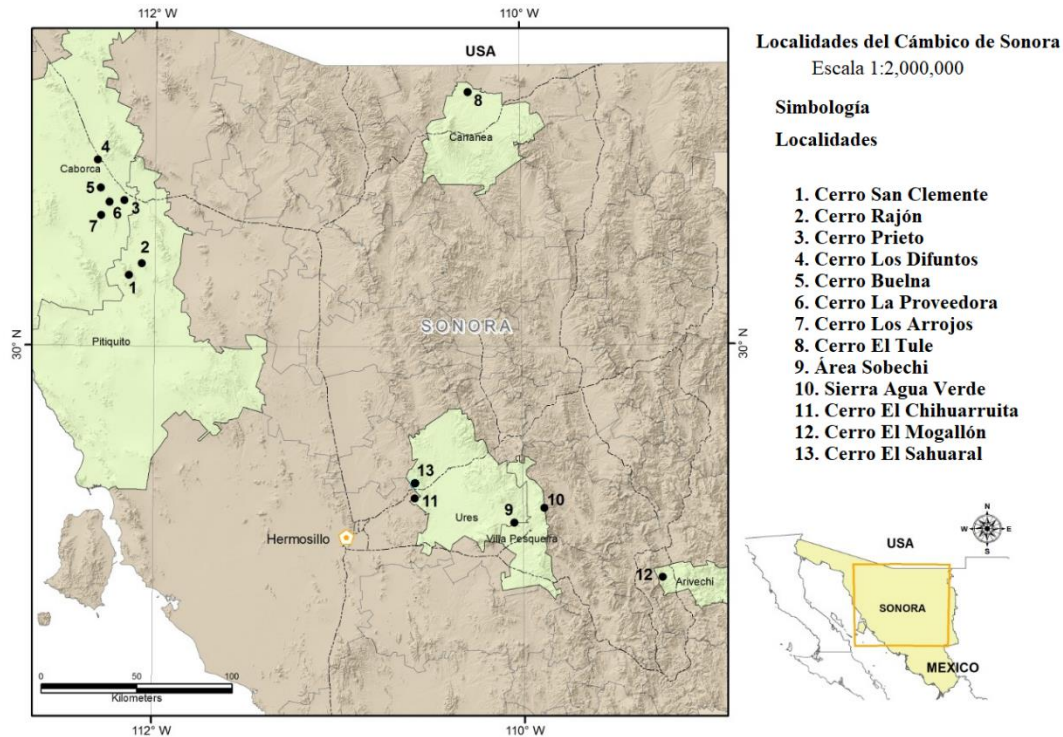


Figura 1. Distribución de las localidades del Cámbrico en el estado de Sonora. Modificado de Noriega-Ruiz *et al.*, 2020.

Las cuatro regiones anteriormente mencionadas han sido estudiadas por diversos autores en años recientes (Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2019a; 2019b; 2022; Hernández-Barbosa & Sour-Tovar, 2018; Barrón-Díaz *et al.*, 2019a; Sundberg & Cuen-Romero, 2021; Noriega-Ruiz *et al.*, 2021), aportando información valiosa sobre el Cámbrico sedimentario en Sonora. En la región norte se describió e ilustró una fauna de trilobites ptychopariidos del Cámbrico superior por primera vez para México, procedente de la Formación Abrigo, en los cerros El Tule y Mesteña (Sundberg & Cuen-Romero, 2021). En la región noroeste se han realizado descripciones sistemáticas de trazas fósiles de trilobites (Hernández-Barbosa & Sour-Tovar, 2018), además se identificaron secuencias volcano-sedimentarias relacionados con el proceso de ruptura que ocurrió a lo largo del margen continental de Laurentia (cratón norteamericano) Barrón-Díaz *et al.*, 2019a; Barrón-Díaz *et al.*, 2019b). En la región este se realizaron estudios sistemáticos de una nueva asociación de esponjas del Cámbrico medio en la formación El Mogallón, y también se ha descrito e ilustrado la especie *Ptychagnostus atavus* por primera vez para el Cámbrico de México (Cuen-Romero *et al.*, 2019b). Por otro lado, la región central ha

sido objeto de numerosos estudios, enfocados en análisis estratigráficos (Cuen-Romero *et al.*, 2016; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020), análisis de microfacies y biofacies (Cuen-Romero *et al.*, 2022), descripciones sistemáticas (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2017a; 2017b; Beresi *et al.*, 2019; Cuen-Romero *et al.*, 2020b; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2021) y reconstrucciones paleoecológicas (Cuen-Romero *et al.*, 2019a; Noriega-Ruiz *et al.*, 2021).

La Región Central comprende los depósitos del área de Mazatán, Rancho Sobechi, El Chihuarruita y El Sahuaral. Se ha documentado en el área de San José de Gracia, particularmente en el Cerro El Chihuarruita, la presencia de las formaciones Provedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos, mismas que afloran en Caborca, así como también una gran abundancia fósil perteneciente al Cámbrico inferior y Cámbrico medio (Almazán, 2002; Stewart *et al.*, 2002; Buitrón *et al.*, 2004; Nardin *et al.*, 2009; Buitrón *et al.*, 2011; Cuen *et al.*, 2013). Posteriormente, Cuen-Romero *et al.* (2016) reconocería una nueva unidad litoestratigráfica en el Cerro Chihuarruita en San José de Gracia, nombrando la Formación El Gavilán que difiere litológicamente de la Formación Arrojos en la región de Caborca. Cuen-Romero *et al.* (2016) proponen una nueva unidad litoestratigráfica en Cerro Chihuarruita en San José de Gracia, denominándola Formación El Gavilán, y reemplazando a la Formación Arrojos en esa zona, debido a importantes cambios litológicos y paleontológicos.

Recientemente en el área de San José de Gracia, Sonora central, se ha identificado una nueva asociación de helcioneloides procedente de la Formación El Gavilán del Cerro El Chihuarruita. Los helcionélidos (Clase Helcionelloida) corresponden al grupo ancestral de moluscos que aparecieron y se diversificaron durante el Ediacárico tardío – Cámbrico medio (Khomentovsky *et al.*, 1990; Peel, 1991; Gubanov & Peel, 2000). Estos organismos demuestran una notable diversidad en el Cámbrico temprano y medio (Gubanov & Peel, 2000), no obstante, la Clase Helcionelloida es una clase de moluscos que se extinguió en el Ordovícico (Lassiter *et al.*, 2021). El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio sistemático de la asociación de moluscos (helcionélidos) del Cámbrico medio de la región central de Sonora, específicamente en el área de San José de Gracia. La relevancia de este trabajo comprende en: a) Proporciona luz sobre la evolución temprana del grupo (Mollusca), b) Ayuda a entender la dispersión del grupo en el cratón norteamericano, c) corresponden posiblemente a la asociación de moluscos más antiguos descritos de forma sistemática para México.

## **2. GENERALIDADES**

### **2.1. OBJETIVOS**

#### **2.1.1. OBJETIVO GENERAL**

El principal objetivo del presente trabajo es realizar descripciones sistemáticas de los helcionélidos del Cámbrico medio del área El Chihuarruita, Sonora central. Lo anterior se llevará a cabo mediante bioestratigrafía de diversos grupos taxonómicos del Cámbrico.

#### **2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar taxonómicamente el grupo de helcionélidos presentes en la Formación El Gavilán de San José de Gracia.
- Describir las relaciones estratigráficas existentes entre las rocas del Cámbrico la región central de Sonora.
- Proponer las características Paleoecológicas y Paleogeográficas de los depósitos de El Chihuarruita durante el Cámbrico medio en relación a Laurentia.

## 2.2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

Aunque los estudios sistemáticos de organismos fósiles del Cámbrico son escasos en México, existe información relevante y detallada sobre la estratigrafía y paleontología. El estudio de las rocas cámbricas en Sonora ha progresado de manera acelerada en años recientes, siendo un tema de investigación importante debido a su buena exposición y la presencia de fósiles relevantes. A continuación, se citarán algunos trabajos destacados:

Isauro Gómez & Lorenzo Torres Izábal (1941) realizaron una exploración del norte de Sonora efectuado para Petróleos Mexicanos y se percataron de la existencia de rocas cámbricas en el Cerro Los Arrojos, en el área de Caborca, excepcionalmente bien expuestas, encontrando y recolectando los primeros trilobites conocidos en México siendo identificados por Stoyanow (1942).

Cooper & Arellano (1946) y Cooper *et al.* (1952) realizaron un estudio sobre la estratigrafía y el contenido biótico de la región de Caborca, ubicada al noroccidente del estado, revelando las primeras descripciones de algas calcáreas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos y trilobites, particularmente, la presencia de *Girvanella* y *Olenellus*.

Baldis & Bordonaro (1981) establecieron la vinculación entre el Cámbrico del noroeste de México y el Cámbrico de la Precordillera Argentina, siendo depósitos con relación a Laurentia.

Cirett & Aguilar (1989) se enfocaron en describir las características hidrológicas del acuífero del área de San José de Gracia, describiendo la estratigrafía del cerro El Chihuarruita, Sonora central, En este análisis se describen las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto que afloran en la región de Caborca.

Vega-Granillo (1996) describen la geología y el análisis estructural de la Sierra Agua Verde, Mazatán, Sonora central, donde se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias principalmente carbonatadas con delgadas intercalaciones detríticas hacia la parte inferior. En este trabajo se reporta por primera vez en el área la presencia de los géneros *Tonkinella*, *Peronopsis*, *Tomagnostus*, y *Syspacephalus*, asignándose la Zona de *Ehmaniella*.

Almazán (2002), realiza los primeros estudios paleontológicos de las rocas cámbricas de esta región, tal como lo demuestran algunos resúmenes cortos publicados en memorias. En este trabajo se reporta la presencia de una abundante biota del Cámbrico temprano y Cámbrico medio, dividiendo la secuencia sedimentaria de la loma El Chihuarruita en siete miembros (A-G). Stewart *et al.*, (2002) colectaron fósiles de géneros de trilobites como *Oryctocara*, *Peronopsis*, *Oryctocephalus*, *Pagetia*, y *Ehmaniella*. Posteriormente, Buitrón *et al.* (2004), mencionan la presencia del eocrinoide *Gogia spiralis* Robison, 1965, así como la presencia de los trilobites *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* en el Cámbrico inferior y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* en el Cámbrico medio.

Nardin *et al.* (2009) analizaron y describieron los miembros litológicos anteriormente identificados por Almazán-Vázquez (2002), Stewart *et al.* (2002) y Buitrón *et al.* (2004), además de realizar un estudio paleontológico y sistemático de *Gogia granulosa*.

Cuen-Romero *et al.* (2016) describen las unidades litoestratigráficas del cerro El Chihuarruita, San José de Gracia, las cuales son similares a las rocas originalmente reconocidas al norte del área de Caborca por Cooper *et al.* (1952). Esta sección estratigráfica incluye a las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto. Asimismo, debido a características litológicas y faunísticas, se propone la Formación El Gavilán como una nueva unidad litoestratigráfica formal.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2017a) reportan una asociación de hiolítidos del Cámbrico temprano en el cerro El Chihuarruita, describiendo de manera sistemática y por primera vez la presencia de *Hyolithes* cf. *H. sonora* y *Haplophrentis reesei*. Esta contribución al conocimiento del Cámbrico en México permitió establecer correlaciones con otros depósitos de Norteamérica, Sudamérica, Europa y Australia.

Cuen-Romero *et al.* (2019a) caracterizan las condiciones paleoecológicas de las comunidades marinas del Cámbrico en el cerro El Chihuarruita, con base en la abundancia y diversidad de organismos distribuidos en las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán.

Cuen-Romero *et al.* (2022) analizaron las microfacies siliclásticas y carbonatadas, y biofacies de la secuencia cámbrica expuesta en el cerro El Chihuarruita. Este trabajo corresponde al primer análisis de facies para el Cámbrico de México.

### **2.3. FISIOGRAFÍA**

El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses (CONABIO, 1990), que comprende más del 50% de la superficie del estado, y la cual se divide en tres subprovincias: Desierto de Altar, Sierra y Llanuras Sonorenses y Sierra del Pinacate (Figura 2). La provincia Llanuras Sonorenses corresponde a la provincia de mayor extensión, prolongándose hacia el norte con los límites de los Estados Unidos de América y continúa a través del desierto de Mojave y el desierto de Gila. Además, se caracteriza principalmente por la disposición discontinua y paralela de sierras aisladas, alargadas con rumbos generales NW – SE y angostas con relieve generalmente accidentado; las cuales se encuentran limitadas por extensas llanuras desérticas o semidesérticas y donde los pequeños afluentes en temporadas de lluvias, descargan sobre estas planicies sin llegar al mar formando pequeñas llanuras de inundación.

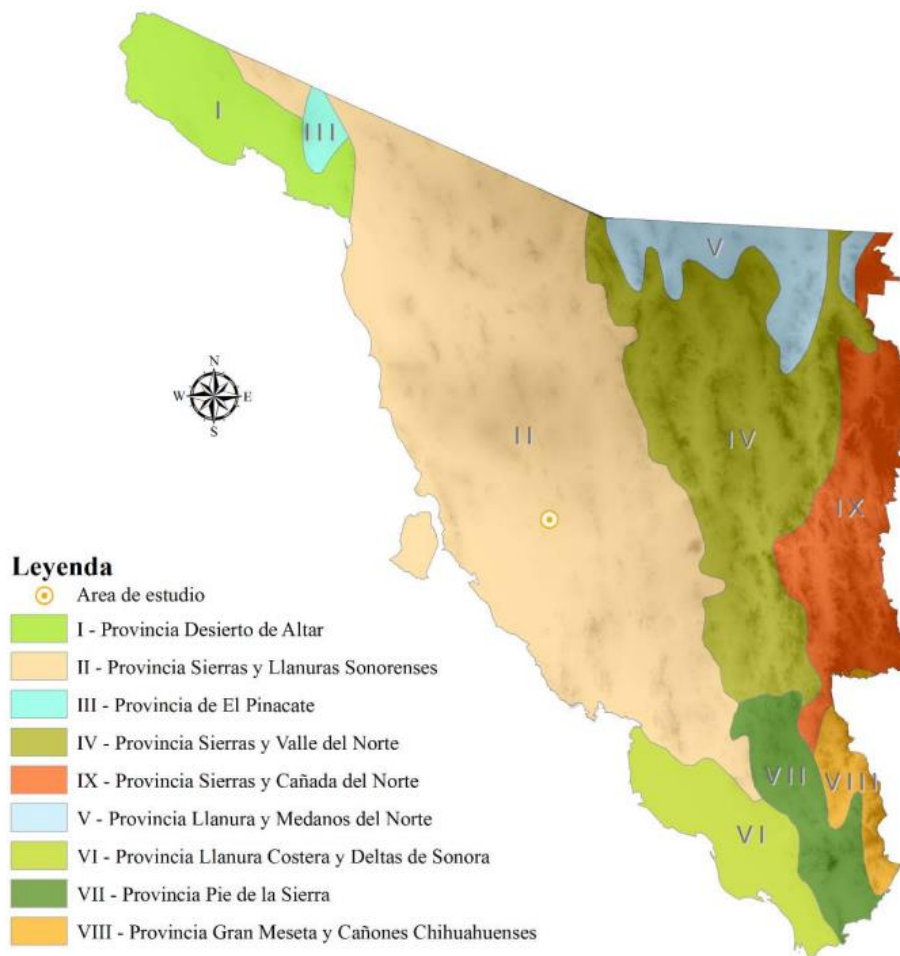


Figura 2. Provincias fisiográficas del estado de Sonora (CONABIO, 1990). El cerro El Chihuarruita se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses. Tomado de Cuen-Romero, 2013.

### 3. METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo se examinará a detalle aquellos estudios con fines estratigráficos y paleontológicos pertenecientes al Cámbrico para reconocer los distintos tipos litológicos y la identificación de fauna asociada distribuidos en el área de interés. Es necesario determinar los accesos para efectuar visitas al área de estudio, recolectar muestras y material paleontológico de afloramientos; disponiendo de secuencias más completas para la elaboración de secciones.

El trabajo en campo consistirá en medir con cinta y brújula para elaborar secciones estratigráficas continuas en el flanco suroeste del cerro El Chihuarruita, es necesario seleccionar las secuencias mejor expuestas y completas, donde los rasgos estructurales no alteran los contactos continuos entre las formaciones, esto con la intención de no complicar el análisis estratigráfico. Por tal motivo, será posible plasmar datos geológicos a detalle en el perfil como unidades estratigráficas, rumbo, buzamiento, formación, litología y contacto. Se realizará muestreos de forma sistemática de roca y material paleontológico durante el levantamiento de la sección, capturando por medio de GPS las coordenadas donde sean recolectadas las muestras, las cuales serán señaladas con una clave y la posición que ocupan, así como la orientación de estas con respecto a la base y cima del estrato. Con la información referente al muestreo sistemático se elaborará una bioestratigrafía a detalle del área de estudio.

El material paleontológico deberá protegerse en papel periódico y colocado dentro de una bolsa de plástico marcada con la clave de estrato del cual se extrajo la muestra para su posterior tratamiento físico. Una vez que se limpien mecánicamente con un cincel y pluma de grabado de aire (34000bpm, 0.1/\*0.2 /0.3mm, carcasa de acero) para facilitar la extracción y limpieza de fósiles. Una vez que se apliquen los tratamientos para la preparación de los fósiles se llevará a cabo el análisis y fotografiado para completar la descripción del material estudiado, además de determinar el fósil a nivel de género mediante la diagnosis y descripciones propuestas en el *Tratado de Paleontología en Invertebrados* de Moore (1959). Esto con la finalidad de reconocer biozonas y realizar una correlación estratigráfica más precisa, obtener edades relativas y ambiente de depósito. Asimismo, las especies se determinarán mediante descripciones taxónomicas y sistemáticas en la bibliografía.



#### 4. LOCALIZACIÓN

El Cerro El Chihuarruita se ubica en la latitud  $29^{\circ} 17' N$  y longitud  $110^{\circ} 35' W$ , a 3 km al sureste de la localidad de San José de Gracia, a unos 36 km al noroeste de Hermosillo; mientras que Cerro El Sahuaral está ubicada en el centro de Sonora, en las coordenadas geográficas  $29^{\circ} 02' N$  y  $110^{\circ} 37' W$ , a 7 km al norte de la localidad de San José de Gracia, que se ubica en 45 km al noreste de la ciudad de Hermosillo (Figura 3). Los cerros de El Chihuarruita y El Sahuaral se encuentran en la Carta Topográfica H12-D32 emitida por INEGI (2001), así como en la Carta Geológica-Minera de SGM (2011) identificada con el mismo código. El principal acceso a tales áreas es por las carreteras federales 15 y 14, viajando desde Hermosillo hasta la localidad de Ures (Figura 3).

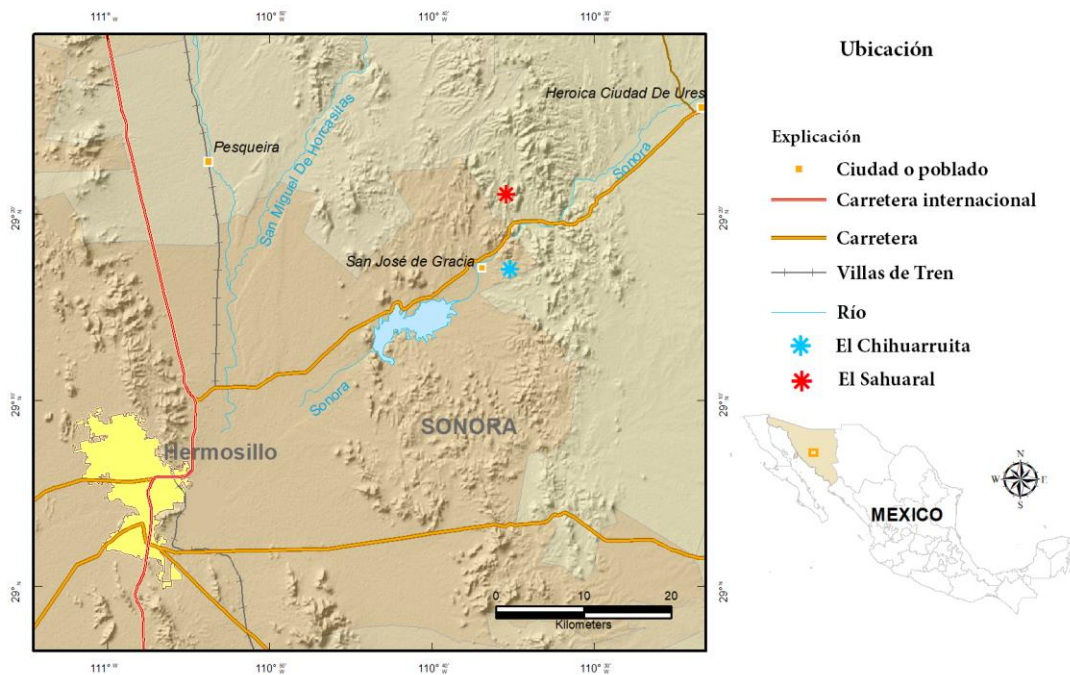


Figura 3. Ubicaciones de los cerros El Chihuarruita y El Sahuaral, San José de Gracia, Sonora central, México. Tomado de Noriega-Ruiz, 2019.

## **5. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

El Servicio Geológico de México (2002) realiza el mapa de Geología y Minería (H12-D32) del área de estudio y describe secuencias del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Esta carta proporciona una descripción en orden cronológico de las unidades ubicadas cerca del área de interés.

### **Unidad caliza, dolomía y arenisca (CiPcpCz, Do, Ar) (Almazán-Vázquez, 1996, comunicado)**

Está formado por rocas del Paleozoico inferior, particularmente del Cámbrico inferior-medio, entre las que se encuentran las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos. Estas unidades consisten principalmente en caliza, dolomita y arenisca.

### **Unidad de andesita y toba andesítica (KsTpaA-TA) y la unidad de riolitas y tobas riolíticas (KsTpaR-TR): Formación Tarahumara.**

Se compone principalmente de tobas y derrames que consisten en andesita y toba riolítica con alternancia de niveles sedimentarios (KsTpaA-TA, KsTpaA-Ar, KsTpaATq, KsTpaCgp-Ar, KsTpaR-TR). Las edades oscilan entre los 70 y los 90 millones de años correspondientes del Cretácico Superior – Paleoceno (McDowell *et al.*, 1994).

### **Unidad ignimbrita – toba riolítica (ToIg-TR). Grupo Yécora (Quintana & Grijalva, 1998)**

Esta unidad pertenece al grupo (informal) Yécora propuesto por Grijalva Noriega & Roldán Quintana (1998) y comprende de rocas ígneas y lavas de composición ácida con basalto prominente distribuida en la parte superior de la Sierra Madre Occidental, en Sonora. Esta unidad está representada por la presencia de ignimbritas, tobas, brechas riolíticas, riolitas, aglomerados, riolacitas y dacita, con edades de 24 a 39.2 millones de años. Damon *et al.* (1983) y McDowell (1997) asignan una edad del Oligoceno.

### **Unidad andesita (ToA)**

Una unidad descrita informalmente del grupo Yecora, que consiste en andesita de aproximadamente 200 m de espesor, expuesta al suroeste del mapa geológico y minero (H12-D32). Su contacto inferior es discordante con las unidades JimR-Ar-A y KsTpaAr-Lu-CZ, y el contacto superior es discordante con las unidades Qhoal y Qptcgp. Se determina una edad del Oligoceno mediante relaciones y posiciones estratigráficas (SGM, 2002).

### **Unidad basalto-andesita (TmB-A)**

Pertenece al Grupo Yécora (informal). Esta unidad corresponde a flujos de basalto intercalados con aglomerados basálticos sobre los que descansa el conglomerado Báucarit (Grijalva Noriega & Roldán Quintana, 1998). Las edades radiométricas de K/Ar asignan edades de 30.4 a 25.3 Ma (Bartolini, *et al.*, 1994).

### **Unidad conglomerado polimíctico-arenisca (TmCgp-Ar): Formación Báucarit (King, 1939)**

Dumble (1900) identificó una secuencia marina sedimentaria del Triásico en la región central de Sonora, a la cual definió como una nueva unidad litoestratigráfica denominada división Barranca. Esta unidad está constituida por conglomerado polimíctico de fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de arenisca y basalto principalmente, gravas y arenas poco consolidadas. Se tienen edades radiométricas de K/Ar de  $17$  a  $21 \pm 0.4$  Ma lo cual sitúa a esta unidad en el Mioceno (Bartolini, *et al.*, 1994).

### **Unidad Toba riolítica, dacita, andesita (TmTR, Da, A): Formación Lista Blanca (Dumble, 1990)**

Esta unidad fue descrita originalmente por Dumble (1900), donde describe una secuencia constituida por niveles de conglomerados y rocas volcánicas en el cerro Lista Blanca al oeste de San Marcial Sonora, asignándole una edad Triásica. Esta unidad se encuentra específicamente en la parte superior del grupo Yécora (Quintana & Grijalva, 1998), compuesta de una secuencia de toba riolítica, riolita, ignmbrita, andesita, dacita,

aglomerado andesítico, con algunas capas de basalto, traquita y algunos domos andesíticos y riolíticos, brecha lahárica. Además de horizontes zeolitizados y perlíticos, con espesores desde los 100 a 500 m. Se tienen edades de radiométricas de K/Ar  $10.4 \pm 0.2$  Ma (Bartolini, *et al.*, 1994; McDowell *et al.*, 1997).

Se correlaciona en edad con los basaltos del campo volcánico Moctezuma en donde tiene edades de 0.53 y 1.7 Ma que indica una edad del Pleistoceno (Paz-Moreno *et al.*, 2003).

### **Unidad aluvión (Qhoal)**

Esta unidad está compuesta por sedimentos no consolidados, principalmente gravas, arenas, limos y arcillas con espesores variables de más de 50 m. Aflora en los valles y en los arroyos del área de estudio. Cubre a todas las unidades desde las precámbricas hasta las pleistocénicas. El ambiente de depósito son lechos de arroyos, ríos y planicies.

## 6. ESTRATIGRAFÍA

El cerro Chihuarruita, ubicado en las inmediaciones de la localidad de San José de Gracia, está representado por rocas sedimentarias del Cámbrico Miaolingiano, Wuliuano. Esta secuencia está constituida de una sucesión detrítico-carbonatada y se divide en cuatro formaciones (de la base a la cima): Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (Figura 4). Estas unidades fueron reconocidas por Cooper *et al.* (1952) en el área de Caborca, noroeste de Sonora.

La Formación Proveedora aflora en la cima del cerro Chihuarruita y se constituye generalmente de cuarcita y arenisca de grano fino, de color rosa de forma homogénea, presentando manchas de óxidos de Fe y la fuerte fracturación y contacto con capas de calizas, es decir, menos competente, le atribuye un aspecto fallado. Esta unidad posee un espesor aproximado de 225 metros. En la base aflora un paquete de cuarcita de color café-oscuro, con granos de cuarzo de grano fino, mientras que en la parte superior aflora un paquete de arenisca gruesa de cuarzo de color café y posee una estructura conglomerática. Se reconoce abundante bioturbación con icnofósiles, entre los que se identifican *Skolithos* isp., cf. *S. linearis* Haldeman, 1840; *Arenicolites* isp., *Palaeophycus* isp., *Asteriacites* isp. y *Asterosoma* isp. (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2016; Cuen-Romero *et al.*, 2016; 2019a). La icnofacies de *Skolithos* es representativa de ambientes arenosos, tales como zonas de litorales y sublitorales de playa, barras de arena o frentes deltaicos (Seilacher, 1964; Gibert & Martinell, 1998). Aunque la unidad no presenta fósiles indicadores de edad, se le asigna una edad de Cámbrico inferior por correlación con la Formación Proveedora del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952; Cuen-Romero *et al.*, 2016). El contacto inferior no se observa, en cambio el contacto superior es concordante con la Formación Buelna (Figura 4).

La Formación Buelna consiste por lo general de caliza granular con alternancias de lutita y caliza fosilífera. El espesor de la unidad es de 74 metros, en la base se presenta una caliza arenosa de estratificación masiva, de aproximadamente 19 metros de espesor. La parte media consta de intercalaciones de lutita y caliza donde se presentan fósiles como los hiolítidos *Hyalithes sonora* Lochman, 1952, *Haplophrentis ressei* Babcock y Robison, 1988, en asociación con fragmentos de olenélidos y biceratópsidos como *Olenellus* sp. y *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* Resser, 1928, fauna representativa de la Zona de *?Bristolia mohavensis* o *?Bristolia insolens*, confiriéndole una edad Serie 2, Piso 4, y para *Laurentia*

corresponde con Waucobiano, Dyerano (Cámbrico inferior). (Webster, 2011). Posteriormente aflora una capa de caliza gris arenosa con alto contenido de algas oncolíticas asignadas a *Girvanella mexicana* Johnson, 1952. La base y cima de esta unidad son concordantes con la Formación Proveedora y Cerro Prieto respectivamente. El ambiente de depósito es marino, somero, de aguas tranquilas con aporte de terrígenos, como lo demuestra la caliza con fragmentos de granos de cuarzo muy angulosos (Figura 4).

La Formación Cerro Prieto es descrita como una caliza oolítica masiva de color gris oscuro, que forma crestos que sobresalen del terreno, y se encuentra ligeramente dolomitizada con gran resistencia al intemperismo cárstico bien definido de forma homogénea formando cantiles, y posee una gran cantidad de vetillas de calcita. En esta unidad no se identificaron fósiles que pudieran proporcionar una edad para la secuencia, sin embargo, por su posición estratigráfica, Cooper *et al.* (1952, 1956) la consideraron como la transición Cámbrico inferior – Cámbrico medio debido a que sobreyace de manera concordante a la Formación Buelna y es sobreyacida de manera concordante por la Formación El Gavilán, correspondientes a edades del Cámbrico inferior – Cámbrico medio respectivamente (Cuen-Romero *et al.*, 2016). Además, debido a la presencia de fragmentos de *Amecephalus* estas rocas son asignadas de manera dudosa a la Zona de *Amecephalus arrojensis* o *Poliella denticulata*, confiriéndole una edad del Piso 4-5 (Lincolniano). La Formación Cerro Prieto se depositó en un ambiente marino somero de alta energía, cercano a la línea de costa (Figura 4).

La Formación El Gavilán está constituida de materiales detríticos y carbonatados, aflorando un potente paquete de lutita de color rojo muy fracturada e intercalada con caliza fosilífera de color gris-oscuro. La secuencia aflora en la parte superior posee un espesor de 233 m, donde el contacto inferior es concordante con la Formación Prieto, mientras que el contacto superior es discordante con rocas volcánicas cenozoicas (Figura 4). Se caracteriza por abundantes fósiles de invertebrados del Cámbrico medio, entre los que destacan los trilobites *Perenopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri*, *Oryctocephalites walcotti*, *Elrathina antiqua*, *Bathyriscus* sp., entre otros, en asociación con poríferos (*Allonia* sp., *Chancelloria eros*, *Diagoniella* sp.), hiolítidos (*Haplophrentis ressei*), braquiópodos linguliformes (*Acrotele* sp., *Dictyonina* sp., *Linnarsonia* sp., y *Prototreta* sp.).

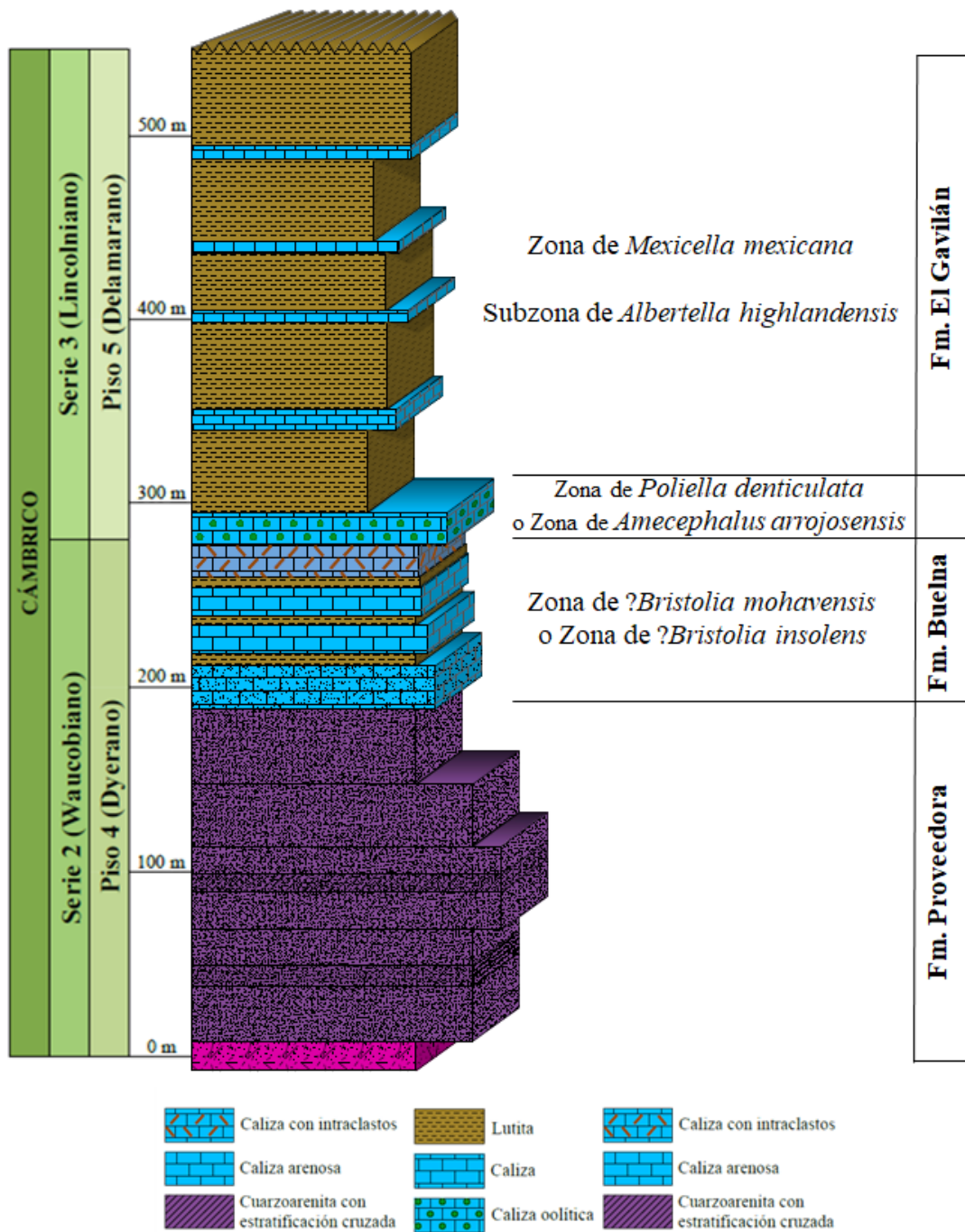


Figura 4. Columna estratigráfica del área de San José de Gracia (El Chihuarruita), Sonora central.

## 7. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Phylum Mollusca Cuvier, 1797

Clase Helcionelloida Peel, 1991

Orden Helcionellida Geyer, 1994

Familia Helcionellidae Wenz, 1938

Género *Latouchella* Cobbold, 1921

Especie tipo *Latouchella costata* Cobbold, 1921

*Latouchella arguta* (Resser, 1939)

(Figura 5)



Figura 5. Concha de *Latouchella arguta*. Escala 1 mm.



**Material:** cuatro ejemplares relativamente completos presentes en la Formación El Gavilán. Subzona de *Albertella highlandensis*, parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Descripción:** la concha se enrolla prácticamente en un torbellino completo y se expande rápidamente, como lo describió originalmente Resser (1939) de la Formación Langston, Utah. Los especímenes exhiben costillas co-marginales prominentes, muy espaciadas y agudamente puntiagudas que parecen ser continuas a través del dorso. La sección transversal de la mayor parte del torbellino es casi circular pero se aplana hacia la boca. El caparazón en el lado interior del torbellino es casi liso, pero en el lado opuesto está dividido por surcos profundos en ocho o más anulaciones, lo que le da una apariencia mucho más irregular que la mayoría de las especies del género. Cada una de estas grandes rugosidades lleva una serie de pequeños pliegues transversales. Además, el caparazón está fuertemente estriado a lo largo, las estrías son ligeramente irregulares en su curso y varían ligeramente en fuerza.

*Latouchella burlingi?* (Resser, 1939)

(Figura 6)

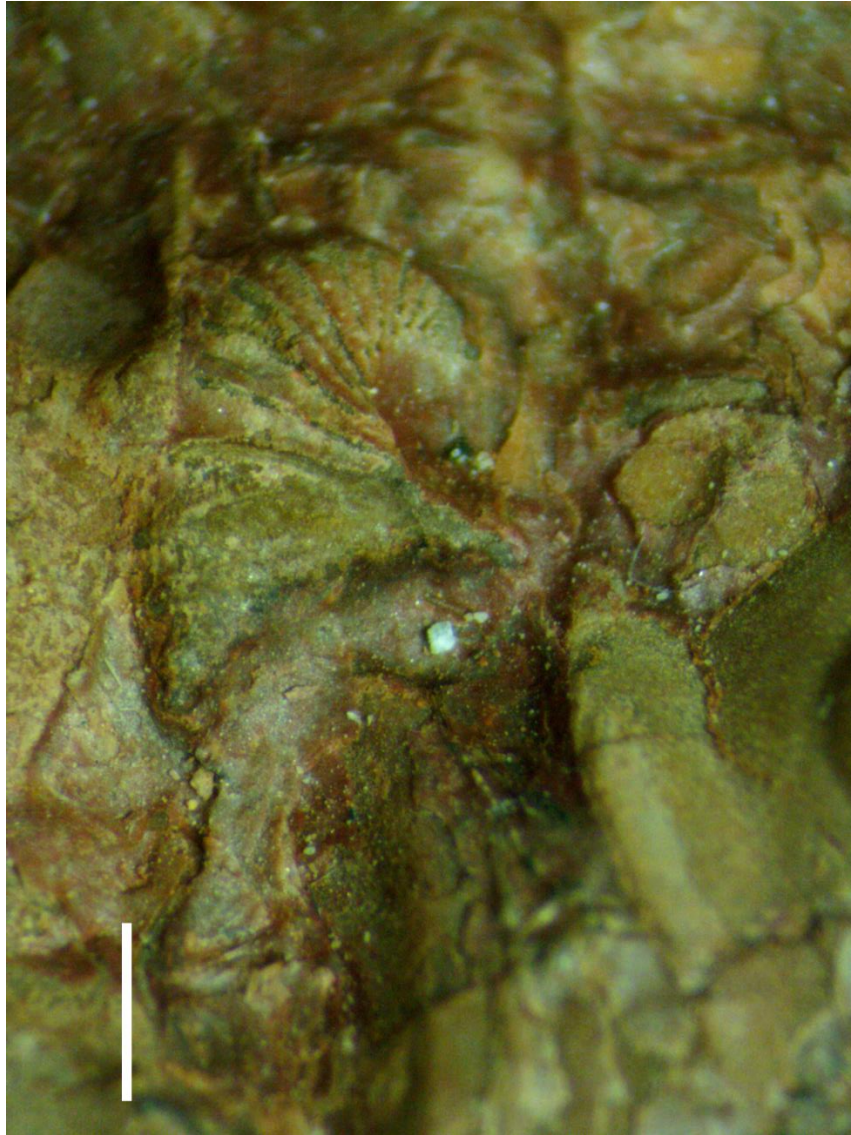


Figura 6. Concha de *Latouchella burlingi?*. Escala: 1 mm.

**Material:** único ejemplar pobremente preservado presente en la Formación El Gavilán. Subzona de *Albertella highlandensis*, parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Descripción:** El espécimen se encuentra mal preservado y representa una única especie planispiral, abiertamente enrollada y aplanada lateralmente. Las áreas entre las costillas co-marginales están adornadas con finas estrías longitudinales. Esta especie está fuertemente curvada pero no forma un torbellino completo. Además, se presentan estrías longitudinales bastante débiles hacia el margen exterior del remolino.

**Discusiones:** Existen tres tipos de costillas entre los primeros helcioneloides, vistos en vista dorsal. A) *Oelandiella* con costillas comarginales simétricas que cruzan el dorso. B) *Latouchella* con áreas laterales acostilladas y dorso liso. C) *Oelandia* con nervaduras dispuestas asimétricamente.

El concepto tradicional de *Latouchella* como un molusco enrollado exogástricamente sin torcer (Pojeta & Runnegar, 1976; Runnegar & Jell, 1976) ha sido cuestionado desde décadas anteriores (Geyer, 1986; Peel & Yochelson 1987; Peel 1991), por lo que este género, y todos los demás univalvos helcionélidos, ahora son comúnmente reconstruidos como moluscos sin torcer con una concha enrollada endogástricamente (Brock, 1998). Existen argumentos válidos para interpretaciones de la concha tanto exogástrica como endogástrica, aunque se ha sugerido esta última como de mayor afinidad para los helcionélidos (Brock, 1998).

Desde el punto de vista morfológico, la superficie interna en el área subapical de las conchas de algunos moluscos del Cámbrico muestra elementos peculiares que se asemejan a distintos pliegues longitudinales en forma de cresta. Los pliegues comienzan desde la región apical y se extienden hacia la apertura. Estos pliegues fueron descubiertos por primera vez por Robison (1964) en el caparazón de "*Helcionella*" *arguta* Resser, 1939 del Cámbrico medio de Utah (Parkhaev, 2000). Peel (1991) interpretó las crestas internas emparejadas de *Latouchella* como pliegues reflectantes en el tejido blando, suprayacente de la pared de la cavidad del manto. Tal pared separa las corrientes de agua inhalantes ubicadas lateralmente de la corriente exhalante media, por lo que se vacía en el borde de apertura del sub-apical dirigido posteriormente a la superficie de la concha. De acuerdo con Gubanov & Peel (1999), el género *Latouchella* Cobbold, 1921 se caracteriza por la presencia de un dorso liso y, por lo tanto, está restringido a la especie tipo *L. costata* Cobbold, 1921 y a *L. ostenfeldense* Skovsted, 2004.

Resser (1939) describió las especies *Helcionella arguta* y *H. burlingi*, las cuales son incluidas dentro de la fauna de Ptarmigania del Miembro Spance Shale la Formación Langston. El miembro Spence Shale de la Formación Langston corresponde a uno de los depósitos *Lagerstätte* del Cámbrico (Miaolingiano, Wuliuano) en el noreste de Utah y el sureste de Idaho, donde únicamente se han identificado *Helcionella* y *Hyolithes* para géneros de gasterópodos.

## 8. DISCUSIONES

### 8.1. BIOESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DEL CHIHUARRUITA

Las edades de las rocas del cerro El Chihuarruita son correspondientes con la bioestratigrafía del Cámbrico de Laurentia occidental basada en trilobites agnóstidos y poliméridos. Para el Cámbrico inferior, se encuentran establecidas seis zonas bioestratigráficas en la parte superior del Dyerano (Webster, 2011), mientras que para el Cámbrico medio se establecen cinco zonas bioestratigráficas del Delamarano (McCollum & Sundberg, 2007). Asimismo, se han identificado la Zona de *Ptychagnostus praecurrens*, incluida dentro de las zonas con base en agnóstidos propuestas por Robison (1976) para la bioestratigrafía de plataforma abierta.

La Formación Proveedora expuesta en el cerro El Chihuarruita contiene una gran abundancia de icnofósiles, representados principalmente por *Skolithos* y *Arenicolites*. Aunque esta unidad no proporcionó fósiles de trilobites que permitieran establecer zonaciones, las rocas de la Formación Proveedora son asignadas a las zonas *Arcuolenellus arcuatus* y *Bristolia mohavensis* debido a su posición estratigráfica, confiriéndole una edad Dyerano medio (Cuen-Romero *et al.*, 2018).

La Formación Buelna contiene abundantes fragmentos de trilobites olenélidos correspondientes a *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y *Olenellus* sp. La asociación biótica está dada por algas calcáreas, braquiópodos no identificados, hiolítidos y equinodermos (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2017a, 2017b; Cuen-Romero *et al.*, 2018). Las rocas de la Formación Buelna son asignadas a la Zona de ?*Bristolia mohavensis* o ?*Bristolia insolens*, confiriéndole una edad Serie 2, Piso 4, y para Laurentia corresponde con Waucobiano, Dyerano medio-superior.

Para la Formación Cerro Prieto, se han identificado fragmentos pobremente preservados de *Amecephalus* sp. cf. *A. arrojensis*, por lo tanto, estas rocas se encuentran restringidas de manera dudosa a la Zona de *Amecephalus arrojensis* y/o *Poliella denticulata*, confiriéndole una edad Serie 2, Piso 4 - Wuliuano, mientras que para Laurentia se les confiere una edad del Delamarano inferior-medio (Cuen-Romero *et al.*, 2018).

La Formación El Gavilán del cerro El Chihuarruita se caracteriza por la abundancia de trilobites agnóstidos y poliméridos en asociación con poríferos, chancellóridos, hiolítidos y braquiópodos. Esta unidad es asignada a la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de

*Albertella highlandensis* y a la Zona de *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta, confiriendo estas rocas a una edad del Miaolingiano, Wuliuano, a nivel global, mientras que para *Laurentia* se asigna Lincolniano, Delamarano tardío (Cuen-Romero *et al.*, 2018).

## 8.2. PALEOGEOGRAFÍA

La secuencia sedimentaria del Cámbrico en el cerro El Chihuarruita corresponde a edades que varían del Series 2, Piso 4 al Miaolingiano, Wuliuano, a nivel global. Por otro lado, es posible establecer correlaciones con otros depósitos que correspondan a sedimentos cámbricos depositados en el límite oeste de la margen de Laurentia.

Las formaciones Proveedora, Buelna, y Cerro Prieto son reconocidas en el área de San José de Gracia (cerro El Chihuarruita y cerro El Sahuaral) (Cuen-Romero *et al.*, 2016; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020) y en las áreas de Caborca (Cooper *et al.*, 1952) y Mazatán (Vega-Granillo, 1996), en Sonora, México.

La Zona de *?Bristolia mohavensis* o *?Bristolia insolens* ha sido identificada en la Formación Buelna del cerro El Chihuarruita, cerro El Sahuaral y área Caborca (México) (Cooper *et al.*, 1952; Cuen-Romero *et al.*, 2016; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020), y es correlacionable con el Thimble Limestone Member de la Formación Carrara (California, USA), donde se ha documentado la presencia de abundantes fragmentos de *Bristolia bristolensis* y *Olenellus* (Palmer & Halley, 1979), y también con la Formación Forteau (Newfoundland, Canadá) al presentar zonaciones del Dyerano tardío (Boyce & Knight, 2016).

La Subzona de *Albertella highlandensis*, parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana*, se encuentra en la Formación El Gavilán del cerro El Chihuarruita y es correlacionable con la Formación Arrojos del área de Caborca (Sonora, México), Miembro Grassy Springs de la Formación Pioche (Nevada, EUA) (Sundberg, 2011), la Formación Emigrant, Groom Range (Nevada, EUA), el Miembro Caliza Red Pass de la Formación Carrara (California, EUA), la Formación La Laja (Precordillera Argentina, Argentina) (Pratt & Bordonaro, 2014), y la Formación Hawke Bay (Newfoundland, Canadá) (Boyce & Knight, 2016).

Con base a lo anterior, es posible inferir que durante el Cámbrico existió una relación de facies entre los depósitos cámbricos del suroeste de los Estados Unidos de América (Figura 7), como son la Formación Carrara (California), la Formación Emigrant y la Formación Pioche (Nevada) las cuales se encontraban depositando en la parte occidental de Laurentia, en regiones ubicadas más hacia el norte (Stewart *et al.*, 1984; Cuen-Romero

*et al.*, 2022). Además de las formaciones Forteau y Hawke Bay de Newfoundland, Canadá (Figura 7).

Además, con base en la identificación de *L. arguta* y *L. burlingi*?, se establece una estrecha correlación de las rocas de la Formación El Gavilán con los depósitos Lagerstätten del Miembro Spence Shale de la Formación Langston, en el noroeste de Utah y sureste de Idaho. El Miembro Spence Shale es el miembro medio de la Formación Langston, corresponde a una edad del Cámbrico Miaolingiano, Wuliuano (~507.5–506Ma), donde se han reconocido las zonas de *Albertella* a *Glossopleura* (Kimmig *et al.*, 2019).

El Miembro Spence Shale del noreste de Utah y el sureste de Idaho conserva una biota diversa, con ejemplares con exoesqueletos biomineralizados y de cuerpo blando, lo que proporciona información sobre las comunidades marinas en Laurentia, previo a la depositación de la cantera Walcott de Burgess Shale (Kimmig *et al.*, 2019). En particular, aunque El Miembro Spence Shale es más antigua que las formaciones Burgess Shale y Wheeler, Marjum y Weeks, comparte varios taxones en común con estos depósitos, así como con la Formación Pioche en Nevada.

Asimismo, se ha documentado la Formación Henson Gletscher en el norte de Nyeboe Land, la cual consiste en lutitas arcillosas oscuras ricas en materia orgánica. En esta unidad se identifica la presencia de *L. arguta* asociado a una fauna representativa del Cámbrico medio temprano (Ineson *et al.*, 1994), asignada a la Zona *Glossopleura*.

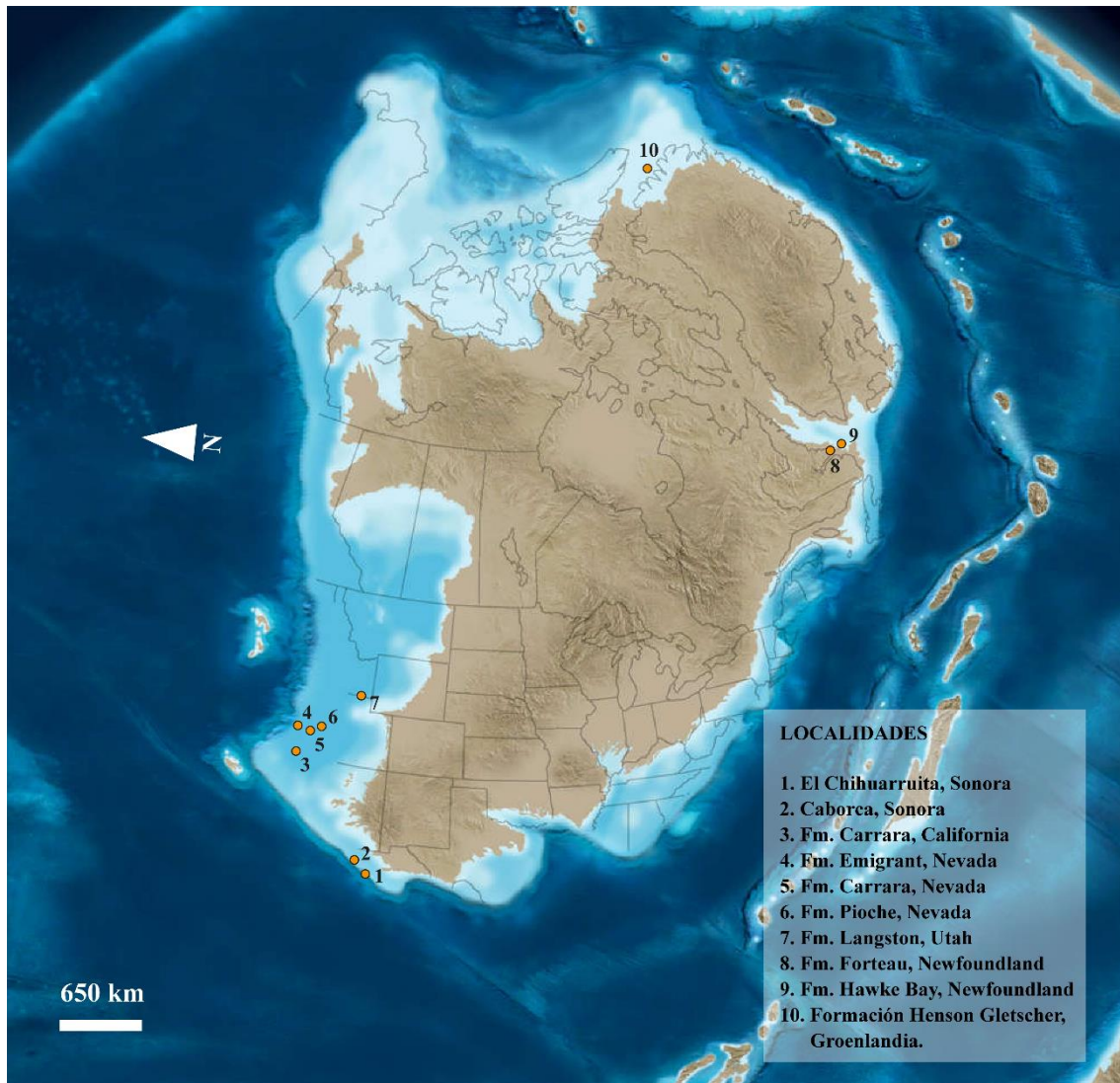


Figura 7. Mapa paleogeográfico durante el Cámbrico medio y distribución de los depósitos: 1) Formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán del Cerro El Chihuarruita, Sonora central; 2) Formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arroyos, y El Tren del área de Caborca, noroeste de Sonora; 3) Formación Carrara de California, EUA; 4) Formación Emigrant de Nevada, EUA; 5) Formación Carrara de Nevada, EUA; 6) Formación Pioche de Nevada, EUA; 7) Miembro Spence Shale de la Formación Langston de Utah, EUA; 8) Formación Forteau de Newfoundland, Canadá; 9) Formación Hawke Bay de Newfoundland, Canadá; 10) Formación Henson Gletscher de Nyeboe Land, Groenlandia. Tomado de Ron Blakey, NAU Geology, Colorado Plateau Geosystems.



### 8.3. IMPLICACIONES SISTEMÁTICAS

Se ha considerado que los primeros fósiles atribuidos al Phylum Mollusca aparecieron en el Cámbrico más antiguo (Gubanov & Peel, 1999). Aunque existe cierta diversidad morfológica, la mayoría de ellos son gasterópodos comprimidos lateralmente, enrollados planispiralmente hasta formar un verticilo y generalmente muestran ornamentación comarginal. Estas formas se denominan helcionélidos o helcioneloides, aunque actualmente existe controversia sobre el alcance del grupo o sus relaciones con otros moluscos paleozoicos (Peel, 1991; Runnegar, 1996; Parkhaev, 2002). Las incertidumbres sobre las relaciones filogenéticas de las clases existentes del filo también dificultan la ubicación de los helcionélidos en el árbol evolutivo de los moluscos (Budd & Jensen, 2000). Los helcionélidos posiblemente son abundantes en estratos del Cámbrico inferior y medio, registrando una variedad de moluscos problemáticos del Cámbrico superior (Webers *et al.*, 1992), aunque el registro de helcionélidos es incierto (Gubanov & Peel, 2000).

Los helcionélidos se han interpretado como torcidos o gasterópodos (Knight *et al.*, 1960) y no torcidos (monoplacóforos) y esta última hipótesis cuenta actualmente con un amplio respaldo (Runnegar, 1996). Peel (1991) reconstruyó helcionélidos con el vértice posterior y la concha expandiéndose anteriormente (endogástrica), a diferencia del ápice anterior y la concha expandida posteriormente (exogástrica) de *Neopilina* y otros tergomianos. Con base esto, Peel (1991) abandonó Monoplacophora como taxón formal, empleando la Clase Helcionelloida para la rama endogástrica y la Clase Tergomya para la rama exogástrica. El reconocimiento de los helcioneloides como grupo ancestral de moluscos se enfoca en la búsqueda de formas intermedias a clases de moluscos como Tergomya, Gastropoda y Cephalopoda al Cámbrico tardío. Mientras que la Clase Rostroconchia se considera como descendiente directa de la Clase Helcionelloida y la Clase Bivalvia, las cuales son grupos característicos del Cámbrico temprano (Runnegar & Pojeta, 1985; Gubanov & Peel, 2000).

#### 8.4. MORFOLOGÍA DE LOS HELCIONÉLIDOS

Existen conchas morfológicamente similares de posición sistemática incierta que ocurren a finales del Cámbrico y principios del Ordovícico (Stinchcomb, 1986; Webers *et al.* 1992; Webers & Yochelson, 1999).

Con base en datos paleontológicos, se ha sugerido que los primeros moluscos corresponden a organismos de escala milimétrica. Los moluscos conservados a escala milimétrica son constituyentes importantes de numerosos conjuntos de pequeños fósiles con concha (*Small Shelly Faunas*) y han sido objeto de estudio de gran parte de los análisis modernos de moluscos del Cámbrico (Mus *et al.*, 2008). Los moluscos del tamaño de un centímetro han sido documentados mayormente en la base del Cámbrico, aunque estos estudios son escasos debido a que los moluscos de escala milimétrica contienen contrapartes mejor preservadas (Mus *et al.*, 2008).

La mayoría de los helcionélidos se conocen especímenes de escala milimétrica (1 a 2 mm de longitud) seleccionados de residuos resistentes a los ácidos de rocas carbonatadas disueltas (Runnegar & Pojeta, 1985). Este rango de tamaño ocasionalmente demuestra sesgos ambientales, de conservación y de preparación debido a la recuperación de material adecuado. Para el análisis, se extraen los ejemplares comúnmente mediante la disolución de rocas de carbonato fosfatado en ácidos débiles (Gubanov & Peel, 2000). Asimismo, los moluscos de grandes tamaños, de 30 mm a ~2.5 cm también se conocen desde la base del Cámbrico (Dzik, 1991).

Tomando en cuenta estas consideraciones, la importancia taxonómica de las diferencias de tamaño es incierta, y no se confirma si existe una continuidad ontogenética entre las formas pequeñas y grandes (Mus *et al.*, 2008). No obstante, Peel (1991) destacó la importancia de considerar el tamaño en las interpretaciones morfológicas funcionales de los primeros moluscos. Es necesario proseguir con los estudios ontogenéticos para una determinación precisa en la taxonomía de los helcionélidos (Gubanov & Peel, 2000).

## 8.5. PALEOECOLOGÍA DE LOS HELCIONÉLIDOS

Desde el punto de vista morfológico, diversas propiedades mecánicas y fisiológicas de los animales marinos cambian drásticamente precisamente con dimensiones en el intervalo entre 1 y 2 mm y 1 cm. Funciones como la respiración, la excreción o el movimiento no se pueden realizar de manera eficiente con el mismo método en animales diminutos y en animales de más de varios milímetros (Budd & Jensen, 2000). Desde esta perspectiva, es crucial saber si los primeros moluscos pudieron alcanzar tamaños adultos superiores a unos pocos milímetros. La mayoría de los caracteres anatómicos compartidos por los moluscos modernos, y por lo tanto considerados homólogos y presentes en su último ancestro común, están diseñados para ser funcionales en un cuerpo relativamente grande (Mus *et al.*, 2008).

Los helcionélidos muestran una notable diversidad en el Cámbrico temprano y medio. La amplia apertura y la fuerte ornamentación commarginal sugieren que géneros como *Oelandiella* era un microherbívoro bentónico o un alimentador de depósitos (Gubanov & Peel, 2000), un modo de vida inferido en una variedad de otros taxones (Figura 8), como *Latouchella*. Dos tendencias morfológicas adaptativas son claramente visibles en la base del Cámbrico (Gubanov & Peel, 2000). La expansión de la concha para producir un cono corto con una abertura amplia a casi equidimensional (vista en planta) caracteriza a géneros como *Bemella* Missarzhevsky, 1969 y *Helcionella* Grabau & Shimer, 1909, considerados como alimentadores de depósitos bentónicos que se adaptan a un sustrato duro (Linsley, 1977; Gubanov, 1984). La pérdida de ornamentación y la fuerte compresión lateral en géneros como *Anabarella* indican adaptación a un sustrato más blando y una vida semi-infaunal. Según Gubanov & Peel (2000), Esta tendencia de *Oelandiella* a *Anabarella* continúa en *Watsonella* Grabau, 1900, considerado como el miembro más antiguo de la Clase Rostroconchia Runneger & Pojeta, 1974 (Pojeta & Runneger, 1976; Runneger & Pojeta, 1985; Gubanov *et al.*, 1999).

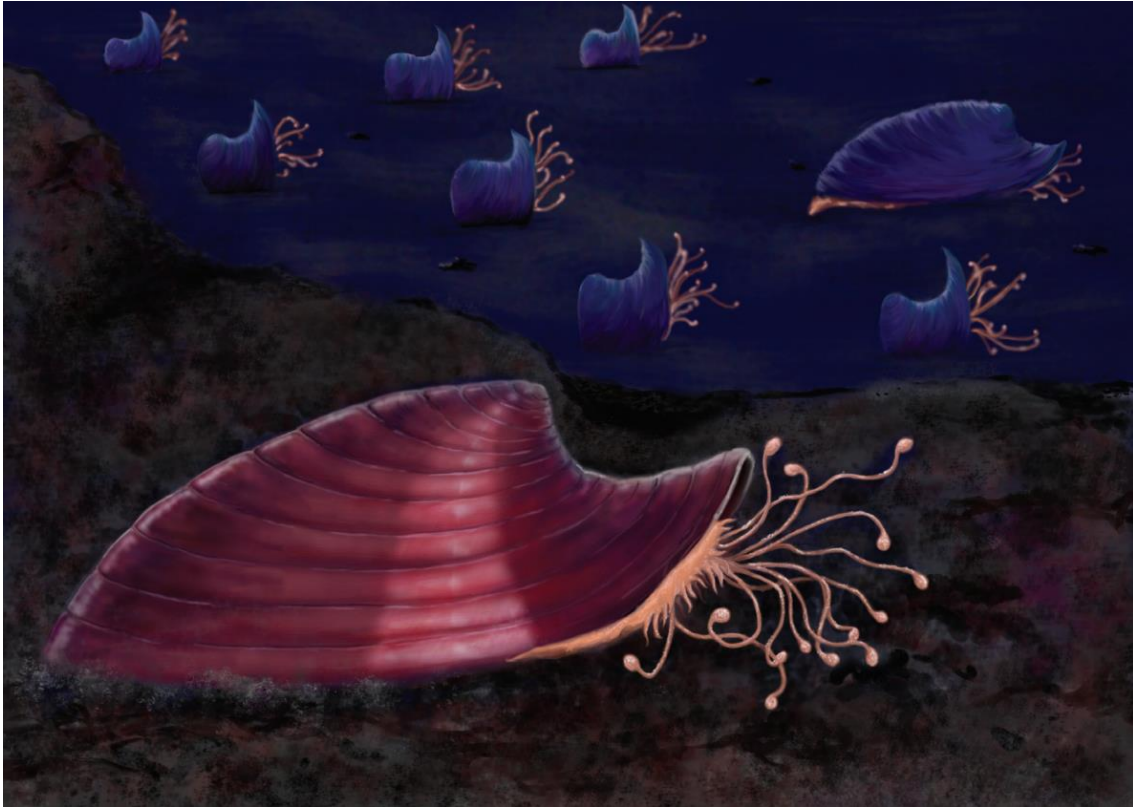


Figura 8. Reconstrucción paleoecológica de los helcionélidos durante el Cámbrico medio. Tomado de Vendrasco *et al.*, 2011.

## 9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se identificó la presencia de *Latouchella arguta* y *Latouchella burlingi*? en los horizontes de caliza correspondientes a rocas de la Formación EL Gavilán en el cerro El Chihuarruita, Sonora central. La determinación de estos especímenes confirma la biozona establecida por otros autores: Subzona de *Albertella highlandensis*, parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana*, y es correlacionable con la Formación Arrojos del área de Caborca en Sonora, México. También se ha establecido una correlación regional con otros depósitos de Norteamérica, basado en la presencia de *Latouchella arguta* en los depósitos *Lagerstätten* del Miembro Spence Shale de la Formación Langston en el noroeste de Utah y sureste de Idaho; y la Formación Henson Gletscher en el norte de Nyeboe Land, Groenlandia, donde también se ha identificado una fauna representativa del Cámbrico medio temprano. Estos depósitos son asignados las zonas de *Albertella* a *Glossopleura*, las cuales corresponden a una edad del Cámbrico Miaolingiano, Wuliuano (~507.5–506Ma).

La Formación El Gavilán se correlaciona con depósitos de Estados Unidos: el Miembro Grassy Springs de la Formación Pioche (Nevada), la Formación Emigrant, Groom Range (Nevada), el Miembro Caliza Red Pass de la Formación Carrara (California), la Formación La Laja (Argentina), y la Formación Hawke Bay (Newfoundland, Canadá).

## 10. REFERENCIAS

- Almazán, V.E., 2002. El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. Unión Geofísica Mexicana, V. 22 – 2. p. 333.
- 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.
- Baldis, B., Bordonaro, O., 1981. Evolución de facies carbonáticas en la cuenca cámbrica de la Precordillera de San Juan. VIII Congreso Geológico Argentino. San Luis, Argentina. Actas, 2, 385-397.
- Barrón-Díaz, A. J., Paz-Moreno, F. A., Lozano-Santa Cruz, R., Herrera-Urbina, S., Centeno-García, E., López-Martínez, M., 2019. Early Cambrian alkaline volcanism on the southern margin of Laurentia: Evidence in the volcanoclastic units from the Puerto Blanco Formation in the Caborca block, NW Mexico. International Geology Review, 61(10), 1189-1206.
- Barrón-Díaz, A. J., Paz-Moreno, F. A., & Hagadorn, J. W., 2019. The Cerro Rajón Formation—A new lithostratigraphic unit proposed for a Cambrian (Terreneuvian) volcano-sedimentary succession from the Caborca region, northwest Mexico. Journal of South American Earth Sciences, 89, 197-210.
- Bartolini, C., Damon, P. E., Shafiqullah, M., Morales-Montaña, M., 1994. Geochronologic contributions to the Tertiary sedimentaryvolcanic sequences (“Baucarit Formation”) in Sonora. México: Geofísica Internacional, 33, 67-77.
- Beresi, M. S., Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F. J., Palafox, J. J., 2019. Escleritomos 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.
- Boyce, W.D., Knight, I., 2016. Significant New Cambrian (Dyeran To Topazan) Trilobite Faunas of the Labrador Group, Gros Morne National Park, Western Newfoundland, Canada. In Geological Association of Canada, Newfoundland and Labrador Section, Annual Technical Meeting, Meeting Program and Abstracts for Presentations (February 22-23, 2016, Johnson GEO CENTRE, St. John's, Newfoundland and Labrador), 13-14.

- Brock, G. A., 1998. Middle Cambrian molluscs from the southern New England fold belt, New South Wales, Australia. *Geobios*, 31(5), 571-586.
- Budd, G. E., Jensen, S., 2000. A critical reappraisal of the fossil record of the bilaterian phyla. *Biological Reviews*, 75(2), 253-295.
- Buitrón, B.E., Almazán V.E., Mendoza M.C., 2004. *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México. *Unión Geofísica Mexicana*. V. 24. No. 02. p. 251.
- Buitrón, B. E., Vachard, D., Clausen, S., Gómez, E. C., 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyalolithida, Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México (resumen). *Reunión Internacional de Malacología*, 175.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F., Huerta-Ruiz, A., & Montijo-González, A., 2017a. Hiolítidos del Cámbrico (Hyalolitha) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas. *Paleontología Mexicana*, 6(1), 10.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F. J., Montijo-González, A., Beresi, M., 2017b. El equinodermo *Gogia granulosa* (Echinodermata: Blastozoa) del Cámbrico temprano-medio en Sonora, México: paleoecología y paleogeografía. *Revista de biología tropical*, 65(1-1), S160-S167.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Cuen-Romero, F. J., Beresi, M. S., Monreal, R., 2021. First record of *Ubaghsicystis* (Eocrinoidea-Echinodermata) from the Cambrian (Miaolingian, Wuliuan) of Sonora, Mexico: Biostratigraphical and paleoecological considerations. *Revista de Biología Tropical*, 69(Suppl. 1), 51-65.
- Cirett, G.J., Aguilar, R.F., 1989. Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Geología.
- Cobbold, E.S., 1921. The Cambrian horizons of Comley (Shropshire) and their Brachiopoda, Pteropoda, Gasteropoda and etc. *The Quarterly Journal of the Geological Society of London* 76, 325–386.

- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1990. Provincias fisiográficas de México. Carta 1:4000000.
- 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), 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. 1<sup>a</sup>. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1-259.
- 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, E., Buitrón, B.E., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo, A., Minjarez, S.I., 2016. Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, México: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68, 429-441.
- Cuen, F.J., Valdez, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, R., Enríquez, O., Aguirre, E., Ochoa, J., Palafox, 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., 2020a. El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 21-35.
- Cuen-Romero, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., & Buitrón-Sánchez, B. E., 2020b. *Euagnostus interstrictus* (White, 1874)(Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliuano) del cerro El Sahuaral, Sonora central, México. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 31-39.
- Cuvier, G. B., 1798. Tableau élémentaire de l'histoire naturelle des animaux. Baudouin, imprimeur.
- Damon, P. E., Shafiqullah, M., Clark, K. F., 1983. Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(6), 1052-1071.
- Dumble, E. T., 1900. Triassic coal and coke of Sonora. Mexico: Geological Society of America Bulletin, 11, 10-14.
- Dzik, J., 1991. Is fossil evidence consistent with traditional views of the early metazoan phylogeny. The early evolution of metazoa and the significance of problematic taxa. Cambridge University Press, Cambridge, 47-58.
- Geyer, G., 1986. Mittelkambrische mollusken aus Marokko und Spanien. *Senckenbergiana lethaea*, 67(1/4), 55-118.
- Geyer, G., 1994. Middle Cambrian molluscs from Idaho and early conchiferan evolution. *New York State Museum Bulletin*, 481(1), 69-86.
- Grabau, A. W., Shimer, H. W., 1909. North American index fossils, invertebrates, Vol. 2. Seiler and Company, Lancaster, PA, 853.
- Grabau, A. W., 1900. Palaeontology of the Cambrian terranes of the Boston Basin. Grabau.

- Grijalva-Noriega, F. J., Roldán-Quintana, J., 1998. An overview of the Cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora, northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(2), 4.
- Gubanov, A. P., Peel, J. S., 1999. *Oelandiella*, the earliest Cambrian helcionelloid mollusc from Siberia. *Palaeontology*, 42(2), 211-222.
- Gubanov, A. P., Peel, J. S., 2000. Cambrian monoplacophoran molluscs (class Helcionelloida). *American Malacological Bulletin*, 15(2), 139-146.
- Gubanov, A. P., Kouchinsky, A. V., Peel, J. S., 1999. The first evolutionary-adaptive lineage within fossil molluscs. *Lethaia*, 32(2), 155-157.
- INEGI, 2001. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México, 31 p.
- Gubanov, A. P., 1984. Forma rakoviny gastropod i ee svyaz' so sredoj obitaniya i obrazom zhisni. 53–57. In: *Geologogeo-fisicheskie issledovaniya v Sibiri*. Institut Geologii i Geofiziki Sibirskogo Otdeleniya Akademii Nauk SSSR, Novosibirsk, 164 pp.
- Hernández Barbosa, A. M., 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.
- INEGI, 2001. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México, 31 p.
- Ineson, J. R., Surlyk, F., Higgins, A. K., Peel, J. S., 1994. Slope apron and deep shelf sediments of the Brønlund Fjord and Tavsens Iskappe Groups (Lower Cambrian–Lower Ordovician), North Greenland: stratigraphy, facies and depositional setting. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse*, 169, 7-24.
- Johnson, J. H., 1952. *Girvanella*. Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, Mexico: *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(1), 24-26.
- Khomentovsky, V. V., Sokolov, B. S., Fedonkin, M. A., 1990. Vendian of the Siberian platform. *The Vendian System*, 2, 102-183.

- Kimmig, J., Strotz, L. C., Kimmig, S. R., Egenhoff, S. O., Lieberman, B. S., 2019. The Spence Shale *Lagerstätte*: an important window into Cambrian biodiversity. *Journal of the Geological Society*, 176(4), 609-619.
- Lassiter, L. S., Tweet, J. S., Sundberg, F. A., Foster, J. R., Bergman, P. J., 2021. Paleozoic invertebrate Paleontology of Grand Canyon.
- Linsley, R. M. (1977). Some “laws” of gastropod shell form. *Paleobiology*, 3(2), 196-206.
- 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.
- Mus, M. M., Palacios, T., Jensen, S., 2008. Size of the earliest mollusks: Did small helcionellids grow to become large adults?. *Geology*, 36(2), 175-178.
- 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.
- McDowell, F. W., Roldán-Quintana, J., Amaya-Martínez, R., 1997. Interrelationship of sedimentary and volcanic deposits associated with Tertiary extension in Sonora, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 109(10), 1349-1360.
- McDowell, F. W., Roldán, Q. J., Amaya, M. R., González, C. M., 1994. The Tarahumara Formation a neglected component of the Laramide magmatic arc in Sonora: GEOS. *Boletín de la Unión Geofísica Mexicana*, Epoca II, 12(5), 76.
- Missarzhevsky, V. V. 1969. Description of hyolithids, gastropods, hyolithelminths, camenides and forms of an obscure taxonomic position. In *The Tommotian Stage and the Cambrian Lower Boundary Problem* (A. Yu. Rozanov and others). Trudy Geologicheskii Institut, Nauka, Moscow 206 (in Russian; English translation, U.S. Department of the Interior, 1981).
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009. First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early Middle Cambrian of Sonora

(Mexico), with biostratigraphical and palaeoecological comments. *Geobios*, 42(2), 233-242.

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*, 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., 2021. Quantitative paleoecology of cambrian (Series 2–miaolingian) communities from central sonora, mexico. *Palaeoworld*.

Noriega-Ruiz, H.A., 2019. Litofacies, microfacies y biofacies del Cámbrico del área El Sahuaral, Sonora central: consideraciones paleoecológicas y paleogeográficas [Tesis de Maestría]: Universidad de Sonora, 120 pp.

Palmer, A.R., Halley, R.B., 1979. Physical Stratigraphy and Trilobite Biostratigraphy of the Carrara Formation (Lower and Middle Cambrian) in the Southern Great Basin. U.S. Geological Survey Professional Paper 1047, 1–131.

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

Parkhaev, P.Y., 2000. The functional morphology of the Cambrian univalved molluscs—helcionellids. 1. *Paleontological Journal* 34 (4): 392–399 [Transl. from *Paleontologicheskii Zhurnal* 2000 (4): 32–39].

Parkhaev, P.Y., 2002. Phylogeny and system of Cambrian univalved mollusks, *Paleontol. Zh.*, no. 1, pp. 27–39.

Paz-Moreno, F. A., Demant, A., Cocheme, J. J., Dostal, J., & Montigny, R., 2003. The Quaternary Moctezuma volcanic field: a tholeiitic to alkali basaltic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, México. *Special paper-Geological Society of America*, (374), 439-455.

- Peel, J. S., Yochelson, E. L., 1987. New information on *Oelandia* (Mollusca) from the Middle Cambrian of Sweden. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 36: 263–273.
- Peel, J. S. 1991. Functional morphology of the Class *Helcionelloida* nov., and the early evolution of the Mollusca. In *The Early Evolution of Metazoa and the Significance of Problematic Taxa*. Edited by A. Simonetta and S. Conway Morris. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Pojeta, J., Runnegar, B. 1976. The paleontology of rostroconch molluscs and the early history of the phylum Mollusca. *United States Geological Survey Professional Paper* 968: 1–88.
- Pratt, B.R., Bordonaro, O.L., 2014. Early middle Cambrian trilobites from La Laja Formation, Cerro El Molle, Precordillera of western Argentina. *Journal of Paleontology*, 88(5), 906-924.
- Resser, C.E., 1928. Cambrian fossils from the Mohave Desert. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 81(2), 1-10.
- Resser, C.E., 1939. The *Ptarmigania* strata of the northern Wasatch Mountains. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 98(24), 1-72.
- Robison, R. A., 1964. Late middle Cambrian faunas from western Utah. *Journal of Paleontology*, 510-566.
- Roldan-Quintana, J., 1982. Evolucion tectonica del estado de Sonora. *Revista*, vol, 5(2), 178-185.
- Blakey, R., 2011. Colorado Plateau Geosystems. Inc., Western North America Series: [http://www. cpgeosystems. com/paleomaps. html](http://www.cpgeosystems.com/paleomaps.html).
- Runnegar, B., Jell, P. A., 1976. Australian Middle Cambrian molluscs and their bearing on early molluscan evolution. *Alcheringa*, 1(2), 109-138.
- Runnegar, B. and Pojeta, J., Jr., Origin and diversification of the Mollusca, *The Mollusca*, 10: Evolution, Treuman, E.R. and Clarke, M.R., Eds., Orlando: Acad. Press, 1985, pp. 1–57.

- Runnegar, B., 1996. Early evolution of the Mollusca: the fossil record, Origin and Evolution of the Mollusca, Taylor, J., Ed., Oxford: Oxford Univ. Press, pp. 77–87.
- Seilacher, A., 1964. Biogenic sedimentary structures. Approaches to paleoecology, 296–316.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano, 2011. Carta Geológico-Minera y Geoquímica Carbó H12-D21 escala 1: 50 000, Estado de Sonora.
- Skovsted, C. B., 2004. Mollusc fauna of the Early Cambrian Bastion Formation of north-east Greenland. Bulletin of the Geological society of Denmark, 51(1), 11-37.
- Stewart, J. H., McMenemy, 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.
- 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 365, 5–48.
- Stinchcomb, B. L., 1986. New Monoplacophora (Mollusca) from Late Cambrian and Early Ordovician of Missouri. Journal of Paleontology, 60(3), 606-626.
- Sundberg, F. A., Cuen-Romero, F. J., 2021. Trilobites from the *Crepicephalus* Zone (upper Guzhangian Stage, Miaolingian Series, Cambrian) from northern Sonora, Mexico, and its correlation to Arizona and Texas, USA. Journal of South American Earth Sciences, 108, 103185.
- Sundberg, F.A., 2011. Delamaran biostratigraphy and lithostratigraphy of southern Nevada. In: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. and Foster, J.R. (Eds.), Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada. Western Nevada and Eastern California. Museum of Northern Arizona, Bulletin 67, 174–185.
- Vega-Granillo, R., 1996. Geología de la Sierra de Mazatán. Boletín del Departamento de Geología. Universidad de Sonora, 13(1), 89–102.

- Webster, M., 2011. Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (Traditional Laurentian “lower Cambrian”) in the southern Great Basin, U.S.A. In: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. and Foster, J.R. (Eds.), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada. Western Nevada and Eastern California. Museum of Northern Arizona, Bulletin 67*, 121–154.
- Vendrasco, M. J., Kouchinsky, A. V., Porter, S. M., Fernandez, C. Z., 2011. Phylogeny and escalation in *Mellopegma* and other Cambrian molluscs. *Palaeontologia Electronica*, 14(2), 1-44.
- Webers, G. F. Pojeta, Jr., J., Yochelson, E. L., 1992. Cambrian Mollusca from the Minaret Formation Ellsworth Mountains, West Antarctica, *Geological Society of America Memoir 170*, pp. 181-248.
- Webers, G.F. and Yochelson, E.L., 1989. Late Cambrian molluscan faunas and the origin of the Cephalopoda, in *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*, Crame, J.A., Ed., *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, London: Geol. Soc. London, vol. 47, pp. 29–42.
- Wenz, W. 1938. Gastropoda. Allgemeiner Teil und Prosobranchia, p. 1–720. In O.H. Schindewolf (ed.), *Handbuch der Paläozoologie*, Band 6. Borntraeger, Berlin.