



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Sistemática y paleobiogeografía de los trilobites  
(Arthropoda-Trilobita) del Cámbrico medio de la región  
centro-oriental de Sonora, México.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O  
P R E S E N T A :

GRETA MARGARITA  
RAMÍREZ GUERRERO



DIRECTORA DE TESIS:  
Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez

Ciudad Universitaria, 2016  
CDMX



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Ramírez  
Guerrero  
Greta Margarita  
5570734847  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
309317425

2. Datos del tutor

Dra  
Blanca Estela Margarita  
Buitrón  
Sánchez

3. Datos del sinodal 1

Dr  
Frank Raúl  
Gío  
Argáez

4. Datos del sinodal 2

Dra  
Silvia Elizabeth  
Rivera  
Olmos

5. Datos del sinodal 3

Dra  
Ma. Catalina  
Gómez  
Espinosa

6. Datos del sinodal 4

M en C  
Rafael  
Villanueva  
Olea

7. Datos del trabajo escrito

Sistemática y paleobiogeografía de los trilobites (Arthropoda-Trilobita)  
del Cámbrico medio de la región centro-oriente de Sonora, México  
58 p.  
2016

A mi mamá y mi papá,  
que aunque estén en lugares diferentes  
sé que siempre están conmigo.



## AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se realizó en el marco de los proyectos CONACYT No. 165826 “Evolución de los Ecosistemas del Paleozoico de México” y ECOS Francia-México No. M13-U01. Asimismo, conté con el apoyo del estímulo del CONACYT como Ayudante de Investigador SNI III durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a la Dra. Blanca Buitrón Sánchez, quien me ayudo a lo largo de este camino y me brindó las herramientas para realizar a cabo esta investigación. Reconozco y agradezco el apoyo del M. en C. Francisco Cuen Romero, de la Universidad de Sonora, quien ha aportado mucho al estudio de la región y por su ayuda en el trabajo de campo.

Agradezco a los sinodales, Dr. Raúl Gío Argáez, Dra. Silvia Rivera Olmos, Dra. Catalina Gómez Espinosa y al M. en C. Rafael Villanueva Olea cuyas sugerencias aportaron mejoras para el presente trabajo. Así como al Dr. Josep Moreno Bedmar por la ayuda para la toma de fotografías.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	7
ANTECEDENTES .....	8
OBJETIVO GENERAL .....	11
OBJETIVOS PARTICULARES .....	11
JUSTIFICACIÓN .....	11
GENERALIDADES DE LA CLASE TRILOBITA .....	12
<i>Morfología externa</i> .....	13
<i>Origen y evolución</i> .....	16
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
MARCO GEOLÓGICO .....	20
<i>Formación Provedora</i> .....	20
<i>Formación Buelna</i> .....	21
<i>Formación Cerro Prieto</i> .....	22
<i>Formación El Gavilán</i> .....	23
MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
<i>Trabajo de campo</i> .....	27

<i>Trabajo de gabinete</i> .....	27
<i>Trabajo de laboratorio</i> .....	27
RESULTADOS .....	28
CONSIDERACIONES PALEOBIOGEOGRÁFICAS.....	45
CONCLUSIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología general de los trilobites .....	13
<b>Figura 2.</b> Morfología dorsal de un trilobite.....	15
<b>Figura 3.</b> Números de familias de trilobites durante el Paleozoico. ....	17
<b>Figura 4.</b> Localización del área del estudio .....	18
<b>Figura 5.</b> Paleorreconstrucción de una biota típica del Cámbrico. ....	19
<b>Figura 6.</b> Similitud entre las propuestas estratigráficas de San José de Gracia.....	20
<b>Figura 7.</b> Columna estratigráfica de la región de San José de Gracia .....	25
<b>Figura 8.</b> Mapa geológico del Cerro Chihuarruita, San José de Gracia .....	26
<b>Figura 9.</b> Distribución de continentes durante el Cámbrico Temprano.....	46
<b>Figura 10.</b> Trilobites de San José de Gracia.....	52

## RESUMEN

En el Cerro Chihuarruita, que se localiza en la región de San José de Gracia en el Municipio de Ures, Sonora, existe una abundante y diversa biota marina. La asociación biótica está constituida por algas oncolíticas, esponjas hexactinélidas, braquiópodos linguliformes, moluscos hiolítidos, eocrinoideos blastoideos y trilobites. De estos últimos, se describen las especies *Peronopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp., *Orytocephalites walcotti*, *Orytocephalus indicus* y *Elrathina antiqua* para la Formación El Gavilán del Cámbrico Medio, así como *Olenellus* sp. y *Bristolia bristolensis* para la Formación Buelna del Cámbrico Inferior. Los fósiles proceden de una potente secuencia sedimentaria marina constituida por caliza, lutita y arenisca cuyo depósito ocurrió en una plataforma somera de mares cálidos. La asociación biótica es similar a la reportada en formaciones de California y Nevada, por lo que dicho conjunto formaba parte del cratón Norteamericano.

## ABSTRACT

In the Chihuarruita Hill, located in the region of San José de Gracia, Ures, Sonora, there is an abundant and diverse marine biota. This biotic association consists of oncolytic algae, hexactinellid sponges, linguliform brachiopods, hyolithid molluscs, eocrinoids blastoids, and trilobites. From the lastest, the species *Peronopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp., *Orytocephalites walcotti*, *Orytocephalus indicus* and *Elrathina antiqua* are described for the El Gavilán Formation from the Middle Cambrian, as well as *Olenellus* sp. and *Bristolia bristolensis* for the Buelna Formation from the Lower Cambrian. The fossils come from a powerful marine sedimentary sequence consisting of limestone, shale and sandstone whose deposit occurred in a shallow shelf of a warm sea. The biotic association is similar to those reported in formations in California and Nevada, therefore, this group was part of the North American Craton.

## INTRODUCCIÓN

Los afloramientos del Paleozoico marino en México son escasos con relación a la extensión territorial del país, debido a que fue cubierto en gran parte por una gruesa secuencia de sedimentos mesozoicos y cenozoicos. No obstante, en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Tamaulipas y Oaxaca, están presentes rocas de casi todos los periodos, con excepción del Silúrico que está poco representado (Buitrón, 1992). Las publicaciones sobre rocas sedimentarias del Paleozoico en México y su contenido biótico son también escasas y aisladas. Los conjuntos faunísticos han sido estudiados parcialmente y en algunos casos sólo se menciona su existencia como grupo (Almazán *et al.*, 2006). En las localidades paleozoicas de estos estados, se encuentran representantes de diversos géneros y especies de invertebrados, entre ellos arqueociátidos, corales, braquiópodos, trilobites, graptolites y conodontos (Buitrón, 1992).

Las investigaciones sobre la geología, estratigrafía y sedimentología de diversas localidades del Paleozoico sedimentario de México son también poco conocidas, ya que los depósitos se presentan en afloramientos aislados y esporádicos, como ocurre en el estado de Sonora. Su contenido fosilífero ha sido escasamente estudiado, con excepción de algunos grupos que se utilizan como indicadores bioestratigráficos; sin embargo, mucha de esta fauna se encuentra bien conservada y representada en las localidades. Existen aproximadamente 150 artículos publicados hasta 2002 sobre el Paleozoico de México que corresponden al 9% del total de los trabajos sobre paleontología del país (Gío & Rodríguez, 2003).

## ANTECEDENTES

Los primeros trabajos del Paleozoico de Sonora fueron las investigaciones de King (1940) quien menciona rocas del Cámbrico-Ordovícico en la región de Cobachi. Cooper *et al.*, (1952) y Lochman (1948) realizan las primeras descripciones de algas calcáreas, arqueociátidos, braquiópodos y trilobites en la región de Caborca, además proponen una estratigrafía que reconoce a las Formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren.

Baldis & Bordonaro (1981) elaboraron una correlación de los trilobites cámbricos de Sonora con los de la Precordillera Argentina. Stewart (1984) propuso una correlación de las unidades del Cámbrico de Sonora con las del oeste de EUA. Brunner (1984) reportó sobre la presencia de conodontes del Ordovícico-Silúrico procedentes de la región de Bísani en el área de Caborca, Sonora.

McMenamin (1985, 1987) realizó prospecciones geológico-paleontológicas en diversas localidades de Sonora, dando a conocer los invertebrados del Paleozoico inferior, entre ellos trilobites, particularmente de las regiones noroeste y centro de Sonora. Rivera-Carranco (1988a, 1988b) definió las condiciones paleoambientales de depósito en las diferentes unidades cámbricas de Sonora. Almazán (1989) estudió las rocas del Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, al noreste del estado de Sonora. Riva y Ketner (1989) y Debrenne *et al.* (1989) hicieron nuevas aportaciones sobre el estudio de arqueociátidos y graptolites del Paleozoico temprano.

Particularmente sobre la región de San José de Gracia se encuentran pocos trabajos. La primera referencia es la de Cirett y Aguilar (1989) quienes descubren el área y al estudiar sus rocas identifican a las Formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto. Maytorena-Silva *et al.* (1990) reportaron la presencia de rocas

cámbricas y hacen inferencias sobre las implicaciones tectónicas de la parte central de Sonora. Bartolini *et al.* (2001) estudiaron las rocas terciarias de la región desde un punto de vista estratigráfico y geocronológico.

Almazán (2002) realizó la primera estratigrafía formal de San José de Gracia, así como su estudio paleontológico; el extenso de este trabajo se publicó en Nardin *et al.* (2009). Stewart *et al.* (2002) reportaron la presencia de algunos géneros de trilobites como *Oryctocara* sp., *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*?, *P. brighamensis*, *Oryctocephalus* sp., *Pagetia* sp. y ?*Ehmaniella* sp. Posteriormente, Buitrón *et al.* (2004) reportaron la presencia de otros trilobites de los géneros *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* del Cámbrico Inferior y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* del Cámbrico Medio; además del hallazgo de un crinoide de la especie *Gogia spiralis*. Nardin *et al.* (2009) redefinieron la especie a *Gogia granulosa* y propusieron implicaciones sobre la paleoecología de la región.

Buitrón *et al.* (2011) hicieron mención sobre la presencia de dos especies de moluscos hiolítidos en San José de Gracia. Cuen (2012, 2013) estudió detalladamente la geología del Cerro Chihuahueta y las correlacionó con localidades del sur de Estados Unidos. Además, este autor encontró el registro de los trilobites *Ogygopsis typicalis* y *Pagetia* sp., braquiópodos del género *Lingulella*, así como escleritas de esponjas del género *Chancelloria* y posiblemente *Salterella* (Cuen *et al.*, 2013). Cuen *et al.* (2016) reconstruyeron la estratigrafía de San José de Gracia, tomando como base la realizada por Almazán en Nardin *et al.*, (2009), proponiendo la nueva Formación El Gavilán, que sobreyace a las formaciones anteriormente reportadas.

## OBJETIVO GENERAL

- Contribuir al conocimiento del registro paleontológico de los trilobites cámbricos del estado de Sonora, México.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar y describir las especies de trilobites de la región centro-oriente de Sonora, México.
- Analizar las implicaciones paleobiogeográficas del grupo y su correlación con otras localidades en el mundo.

## JUSTIFICACIÓN

México cuenta con una historia geológica sobresaliente, pues en el territorio se encuentran rocas de origen sedimentario entre las que destacan diversos afloramientos paleontológicos con invertebrados que constituyen una fauna rica y diversa, que son de suma importancia para la aplicación en el conocimiento de la distribución de tierras y mares (paleogeografía), ambiente (paleoecología) y de la edad relativa de las rocas (cronoestratigrafía).

Debido a que existen escasas investigaciones sobre la biota, y particularmente sobre invertebrados del Paleozoico de Sonora, es importante dar a conocer, con base en nuevas prospecciones geológico-paleontológicas, los nuevos hallazgos con un enfoque más integral y actualizado. Particularmente, el estudio de los trilobites de la región no ha permitido que muchos registros sean identificados a nivel de especie.



## GENERALIDADES DE LA CLASE TRILOBITA

El extinto grupo Trilobita pertenece al phylum Arthropoda y se caracteriza por tener un exosqueleto trilobulado, tanto longitudinal como transversalmente. Los trilobites fueron organismos de distribución mundial, exclusivamente marinos, desarrollando su vida en los fondos y alcanzando tallas desde menos de un centímetro a casi un metro (Buitrón, 2010).

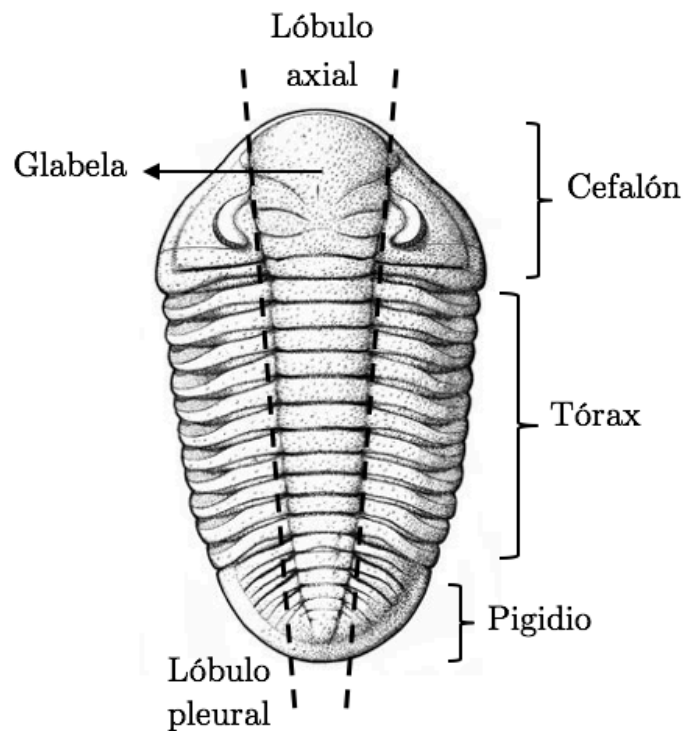
Los primeros trilobites aparecieron en el Cámbrico Temprano (521 Ma) y alcanzaron su máximo desarrollo en el Cámbrico Tardío; desaparecieron en su totalidad en la gran extinción del Pérmico-Triásico (251 Ma). Actualmente se reconocen alrededor de 10 órdenes, 150 familias, 5,000 géneros y 20,000 especies que vivieron alrededor de los 300 millones de años que duró su existencia (Gon, 2014).

Los trilobites permiten datar la edad de las rocas que los contienen, ya que son fósiles índice, y junto con la abundancia de ejemplares de diversos géneros y especies, constituyen un factor muy importante para su estudio. Su preservación fue posible debido al exoesqueleto del que estaban constituidos, y que por su dureza y resistencia era muy susceptible de ser mineralizado. Además, al ser artrópodos que presentan crecimiento por ecdisis, cada muda tiene el potencial de formar parte del registro fósil. Los trilobites tienen una particular importancia estratigráfica en el Cámbrico, Ordovícico, Silúrico y Devónico, debido a que fueron muy abundantes y cambiaron rápidamente en el tiempo; aunque después del Devónico sólo existió una familia (Brezinski, 1999; Buitrón, 2010).

Las paleorreconstrucciones de los ambientes donde vivían han sido posibles por la evidencia morfológica, su coexistencia con otros organismos, los sedimentos donde se han encontrado y los icnofósiles que han dejado.

### *Morfología externa*

A pesar de la gran diversidad de formas de trilobites que existieron, todos conservan un patrón general que les confiere su nombre. Su cuerpo se divide en tres regiones de forma latitudinal: el cefalón, el tórax y el pigidio. Longitudinalmente también se regionalizan en tres lóbulos: la sección central se conoce como lóbulo axial y a los extremos se encuentran los lóbulos pleurales (Fig. 1).



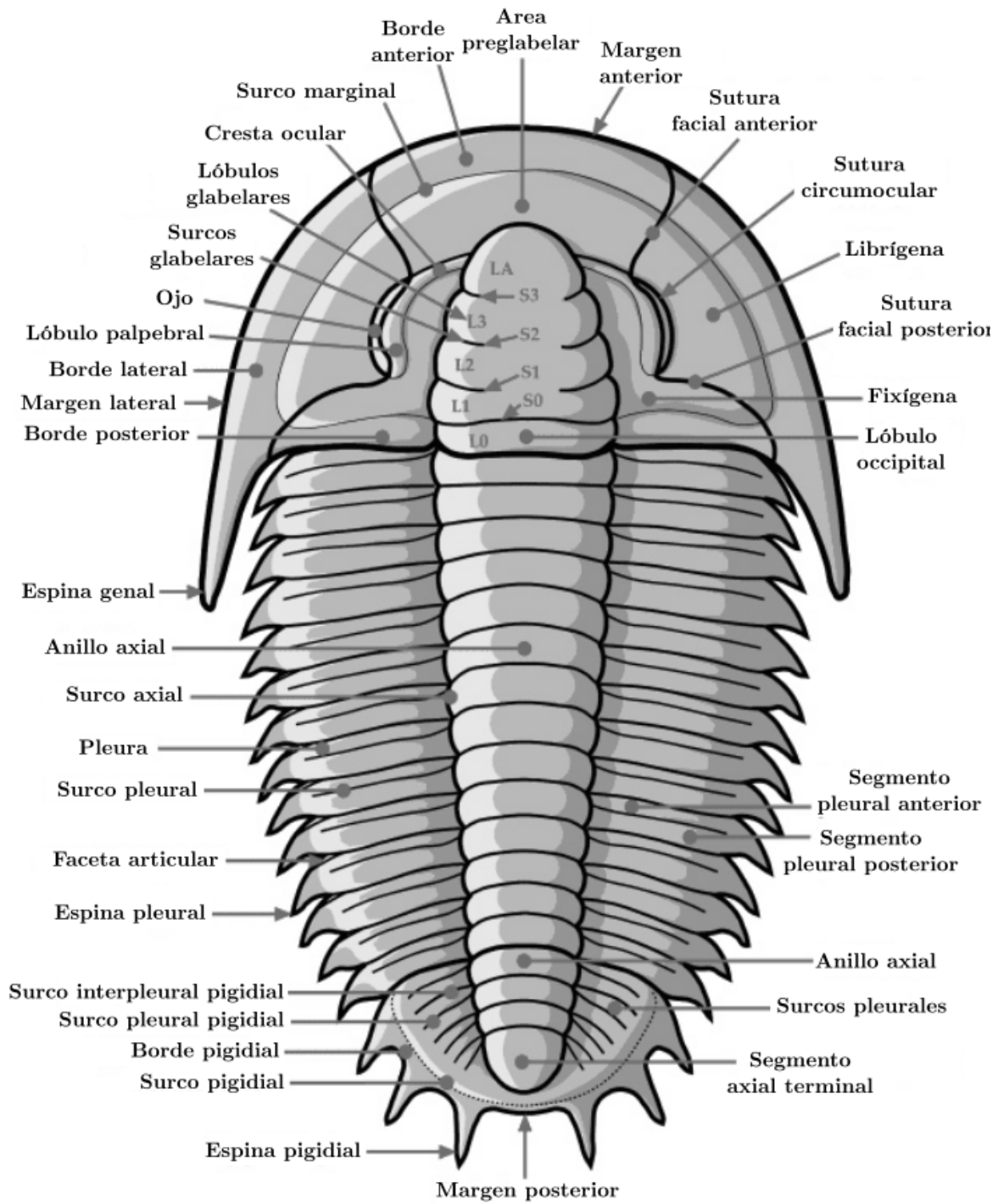
**Figura 1.** Morfología general de los trilobites.

El cefalón corresponde a la cabeza y en su eje axial presenta una protuberancia conocida como glabela. El resto del cefalón, excluyendo la glabela, se conoce como gena y se puede dividir por suturas en fixígena y librígena. El primero corresponde a la parte que rodea a la glabela, y el segundo a la parte más externa

de la gena. Algunas veces se usa erróneamente el término cranidio para referirse al cefalón, sin embargo, éste sólo comprende el área de la glabella y la fixígena.

Algunos trilobites tenían espinas que se originaban en el ángulo genal, por lo que se llaman espinas genales, aunque también pueden presentarse espinas en el tórax y pigidio. La mayor parte del grupo presentaba en la parte dorsal de la cabeza ojos compuestos hechos de lentes de calcita, que implicaban una gran ventaja para la depredación (Harrington *et al.*, 1959; Sundberg, 2000). Debido a su modo de vida bentónico, en regiones donde la luz era escasa o nula, algunos trilobites comenzaron a perder los ojos sin que esto resultara una desventaja adaptativa para ellos. En los grupos que los perdieron, algunos conservaron las suturas faciales mientras que en otros desaparecieron, dando indicios de que todos provienen de un ancestro que tenía ojos (Fortey & Owens, 1997).

Los trilobites presentaban branquias para obtener el oxígeno del agua y estas se ubicaban justo debajo de su exoesqueleto. También poseían una placa calcificada, en la parte ventral del cefalón cerca de la boca, llamada hipostoma y que, como en todos los artrópodos, se cree que servía para la alimentación. Los apéndices birrámeos, los cuales están bifurcados, también son característicos del grupo y se presentan en pares a lo largo del cefalón, uno en cada segmento del tórax y varios en el pigidio (Harrington *et al.*, 1959).



**Figura 2.** Morfología dorsal de un trilobite (Modificado de Gon, 2014).

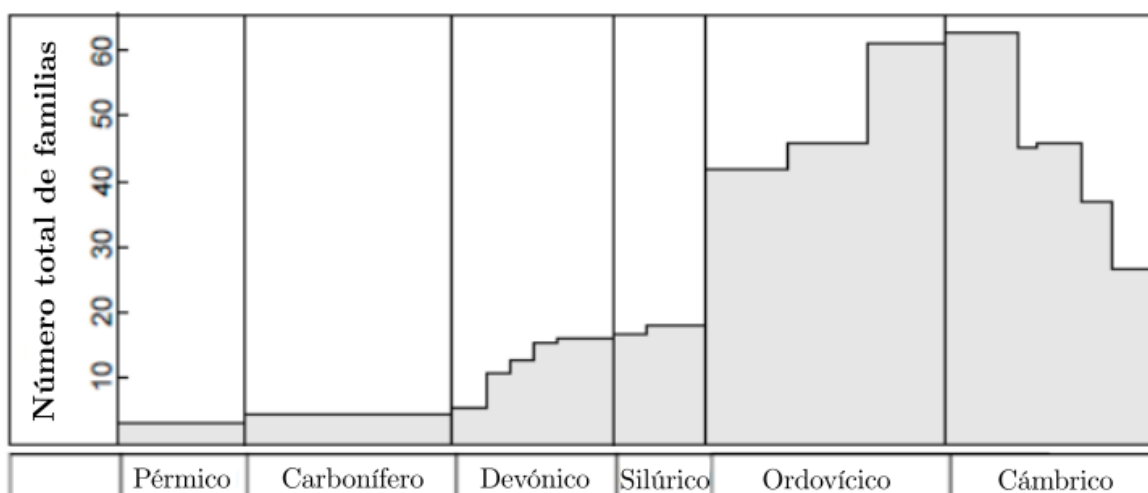
Muchos géneros eran capaces de flexionar los segmentos del tórax para envolverse en forma circular. Se cree que esto servía para descansar el cefalón sobre el pigidio y como protección ante depredadores. Incluso en algunos grupos este enrollamiento era casi hermético (Lieberman & Karim, 2010). El estudio de los tipos de enrollamiento es importante para la paleontología, ya que da indicios de la paleoecología del lugar. Igual de importantes son el estudio de las trazas fósiles o icnofósiles que dejaban a su paso los trilobites, ya sea por desplazamiento, alimentación o descanso (Congreve, 2013).

### *Origen y evolución*

Los primeros trilobites, del orden Redlichiida y Ptychopariida, aparecieron en rocas del Cámbrico Temprano (521-530 Ma) de lo que hoy es Escandinavia y el este de Europa. Posteriormente, aparecieron en China, Norteamérica, Antártida y Australia, y para el final del periodo ya tenían una distribución global (Fortey & Owens, 1997; Congreve, 2013).

La evolución del grupo muestra un patrón biogeográfico diferencial, que aunado a evidencias fósiles, sugieren que pudo haber un significativo periodo de diversificación, pero que ocurrió antes de la aparición de su registro fósil (Brezinski, 1999; Sundberg, 2000). Las más recientes estimaciones señalan que a pesar de que los trilobites aparecieron en el registro alrededor de hace 525 Ma, es posible que se hayan originado hace 550-600 Ma (Abe & Lieberman, 2012; Gon, 2014). Las posibles razones del porqué no se preservaron es debido a que pudieron ser pequeños, sin un exoesqueleto, o no eran comunes y estaban restringidos a ambientes donde no se favorecía la fosilización.

Este grupo continuó diversificándose hasta el Ordovícico, pero sus poblaciones fueron afectadas tras la extinción masiva de fines de ese periodo. A pesar de que se recuperaron parcialmente, fueron afectados de nuevo en la extinción del Devónico, tras la cual no pudieron restablecerse y sólo perduró el orden Proetida (Abe & Lieberman, 2012; Congreve, 2013). La extinción total del grupo se da a finales del Pérmico, en la gran extinción que acabó con casi el 96% de la diversidad marina (Fig. 3).



**Figura 3.** Números de familias de trilobites durante el Paleozoico (Modificado de Gon, 2014).

## LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La localidad de recolecta se ubica en el cerro Chihuarruita (29° 17' 5" N y 110° 35' 3" O), 2 km al SE del rancho San José de Gracia, localizado en el municipio de Ures, en la región central del estado de Sonora, a una distancia aproximada de 36 km al NE de Hermosillo, la capital del estado (Fig. 4). El acceso principal es por la carretera Federal #15 y la Carretera Federal #21, en el tramo Hermosillo-Ures.

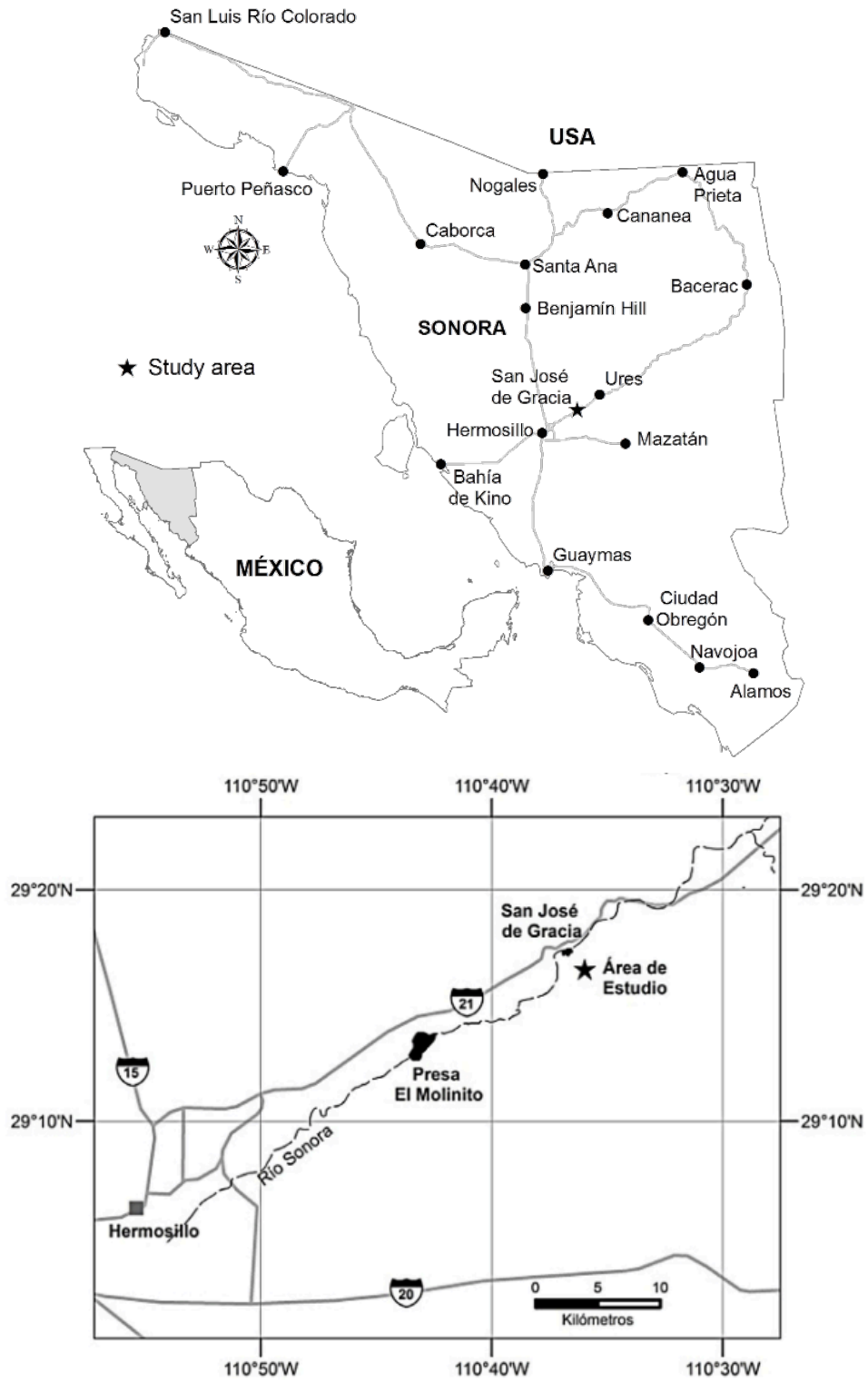
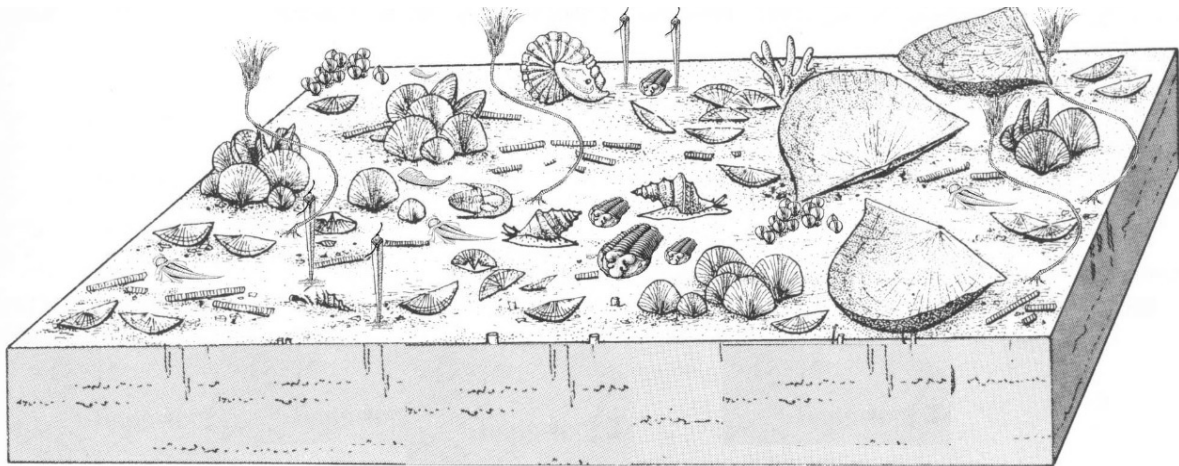


Figura 4. Localización del área del estudio.

La secuencia de rocas sedimentarias está conformada por una alternancia de caliza, arenisca y lutita que contienen una asociación de oncolitos e invertebrados como espículas de esponjas hexactinélidas; braquiópodos como *Dictyonina*, *Acrothele*, *Linnarsonia*, *Prototreta* y *Lingullela*; moluscos hiolítidos de las especies *Hyalolithes sonora* y *Haplophrentis reesei* (Fig. 5) (Beraldi *et al.*, 2013; Cuen *et al.*, 2012). Entre los géneros de trilobites identificados están *Bristolia*, *Bathyriscus*, *Kootenia*, *Orytocephalus*, *Orytocara*, *Elrathina*, *Pagetia*, *Ehmaniella* y *Peronopsis*, que confirman la edad del Cámbrico Temprano-Medio (Cuen *et al.*, 2009).



**Figura 5.** Paleoreconstrucción de una biota típica del Cámbrico. Se observan esponjas, trilobites, braquiópodos, crinoides y moluscos como los que se han reportado para San José de Gracia, Sonora.



## MARCO GEOLÓGICO

La sucesión estratigráfica del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora aflora a lo largo de 600 metros, que se dividen en 4 formaciones (Provedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán) (Figs. 6 y 7). Estas formaciones están presentes en el Cerro Chihuarruita y constituyen una sucesión detrítico-carbonatada datada en su mayoría del Cámbrico Inferior y Medio. Esta sección es parecida a la propuesta por Cooper *et al.*, (1952) para la región de Caborca, ya que en ambas están presentes las formaciones Provedora, Buelna y Cerro Prieto. La formación El Gavilán se propone por primera vez por Cuen *et al.*, (2016), bajo la modificación de la estratigrafía de Almazán (2002), que propone la existencia de siete miembros (A-G) (Fig. 6).

<b>Nardin <i>et al.</i>, 2009</b>	<b>Cuen <i>et al.</i>, 2016</b>	<b>Serie</b>
Miembro G	Formación Arrojos	Cámbrico Medio
Miembro F		
Miembro E	Formación Cerro Prieto	
Miembro D	Formación Buelna	Cámbrico Inferior
Miembro C	Formación Provedora	
Miembro B		
Miembro A		

**Figura 6.** Similitud entre las propuestas estratigráficas de San José de Gracia (Modificado de Cuen, 2013).

### *Formación Provedora*

Fue definida por Cooper *et al.*, (1952) en el Cerro de la Provedora, en Caborca; aunque en la localidad de San José de Gracia, aflora únicamente en la cima del Cerro Chihuarruita. Su composición es principalmente de intercalaciones de

arenisca y cuarcita, con un espesor total de 223 m. En la base de la columna se deposita la cuarcita blanca con esquistos de color grisáceo; la arenisca de grano fino es de color café a verde oscuro.

En la localidad de Caborca, la cima se caracteriza por poseer un estrato de cuarzoarenita con fragmentos de trilobites olenélidos y de algunos braquiópodos linguliformes, pero en general la biota es escasa (Cooper *et al.*, 1952). En San José de Gracia, la formación está compuesta de cuarzoarenita rosa con estratificación laminar y cruzada, con manchas de óxido expuestas en la cima del cerro, donde se han encontrado icnofósiles principalmente del género *Skolithos*. (Cuen *et al.*, 2016). El contacto inferior de la Formación Proveedora está cubierto por rocas volcánicas paleógenas de la Formación Puerto Blanco y el contacto superior por rocas cámbricas de la Formación Buelna.

El ambiente de depósito fue somero de tipo intermareal o submareal (Rivera-Carranco, 1988a), debido a la presencia de algunos icnofósiles de la icnofacie *Skolithos*, como son *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp. y *Planolites* isp.; así como por las intercalaciones de láminas de materiales finos y gruesos (Cuen *et al.*, 2016). A pesar de la ausencia de fósiles índice, se le ha asignado a la Formación la edad de Cámbrico Temprano debido a su correlación con los trilobites y braquiópodos del área de Caborca.

### ***Formación Buelna***

Fue definida por Cooper *et al.*, (1952) en el Cerro Buelna, en Caborca, Sonora. En San José de Gracia, esta formación aflora a lo largo de 74 m, en la parte sureste del Cerro Chihuarruita. Está constituida principalmente por intercalaciones de arenisca calcárea café de grano fino y caliza arenosa gris claro, con un espesor de 70 m.

Sobreyace concordantemente a la Formación Proveedora y subyace concordantemente a la Formación Cerro Prieto.

En la base del afloramiento, se han recolectado calizas con abundantes fósiles del género *Salterella* y trilobites de *Bristolia* sp. y *Olenellus* sp., acumulados posiblemente por corrientes marinas de alta energía. También se han encontrado calizas con bancos de oncolitos, posiblemente de *Girvanella* sp., en matrices packstone alteradas con hematita. En la parte media de la unidad, se ha reportado la presencia de moluscos de las especies *Hyolithes sonora* y *Haplophrentis reesei*. En la parte superior, se han identificado trilobites de los géneros *Onchocephalus* sp. y *Bonnia* sp. (Rivera-Carranco, 1988a; Cooper *et al.*, 1956). La composición de estos fósiles asigna a la formación la edad cámbrica de la Serie 2, Etapa 4 (Cuen *et al.*, 2016).

El ambiente de depósito fue somero, con aguas tranquilas y con aporte de terrígenos debido a la presencia de caliza con fragmentos de granos de cuarzo. A causa de tormentas, pudo haber una oleada de acumulación de fósiles que explica el por qué muchos se encuentran fragmentados (Cuen *et al.*, 2016). Debido a la similitud en la litología y el contenido fosilífero, la Formación Buelna se correlaciona con los estratos que se encuentran en San José de Gracia.

### ***Formación Cerro Prieto***

Fue definida por Cooper *et al.*, (1952) en el Cerro Prieto, Caborca, Sonora. En San José de Gracia se localiza únicamente en la parte sureste del Cerro Chihuarruita, a lo largo de 17 m. La formación está constituida por caliza oscura con algunos horizontes oolíticos y bioturbados, su espesor es de 100-110 m en el área de Caborca. Presenta el contacto inferior concordante con la Formación Buelna y

superior con la Formación Arrojos. En San José de Gracia, el contacto superior es concordante con la Formación El Gavilán.

Únicamente se ha reportado la presencia de fragmentos del trilobite *Amecephalus sp.*, del Cámbrico Medio. Debido a la falta de fósiles índice, existe controversia respecto a la edad de la Formación Cerro Prieto, que se asume puede ser de la transición del Cámbrico Temprano al Medio.

El ambiente de depósito ocurrió en aguas supersaturadas y con gran agitación, que son donde se desarrollan generalmente los oolitos. La gran abundancia de éstos, sugiere un depósito marino somero de alta energía; aunque la presencia de matrices de micrita podría indicar ambientes de menor energía (Cuen *et al.*, 2016). Debido a la similitud en la litología y posición estratigráfica, la Formación Cerro Prieto se correlaciona con los estratos que se encuentran en San José de Gracia.

### *Formación El Gavilán*

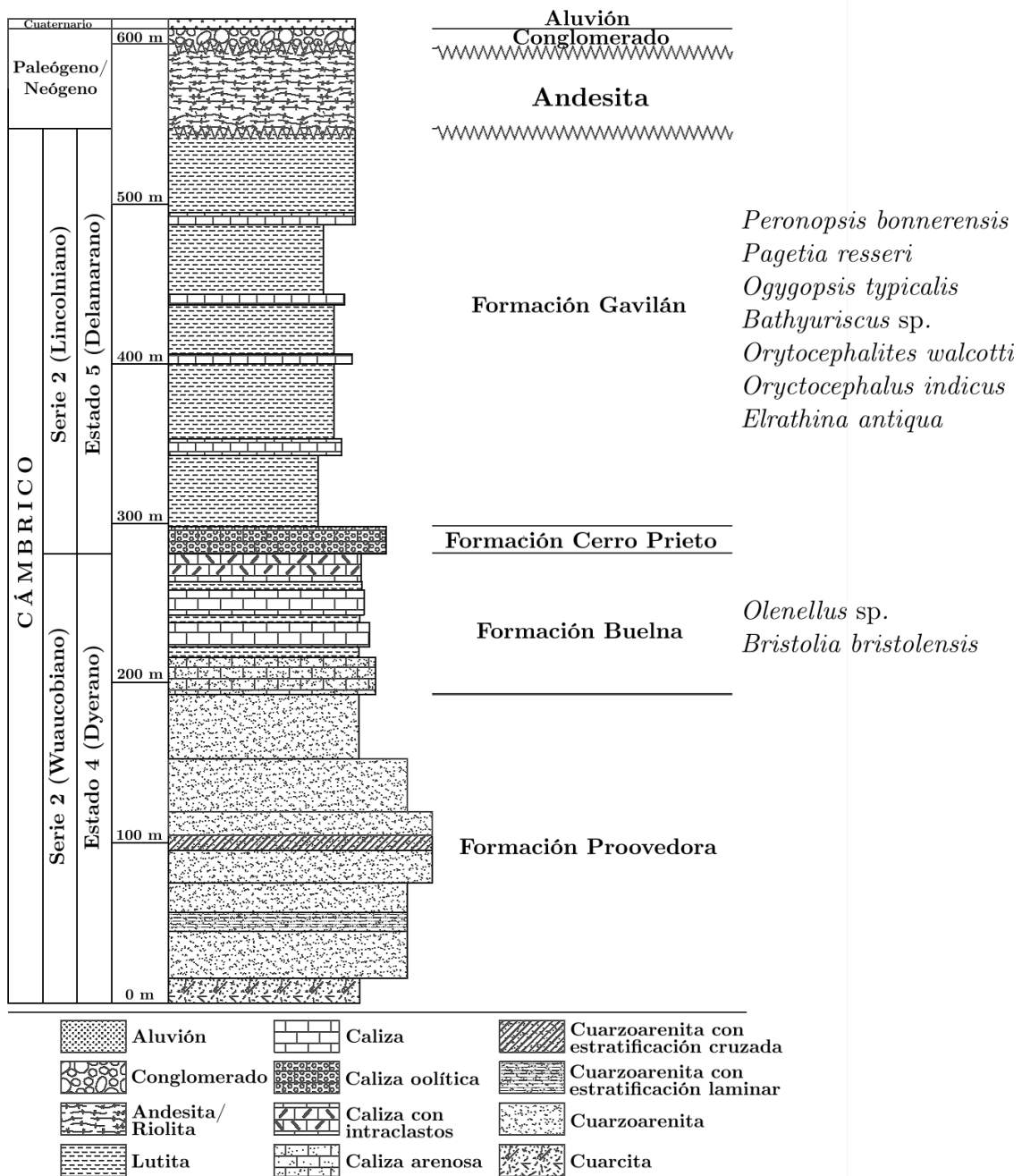
Fue definida por Cuen *et al.*, (2016) en el Cerro Chihuarruita, en San José de Gracia, Sonora. Es equivalente a la Formación Arrojos en Caborca, pero difieren en la litología. La formación está constituida por una intercalación de caliza gris con lutita roja, con un espesor de 233 m. El contacto inferior es concordante con la Formación Cerro Prieto y el superior es discordante con rocas volcánicas del Paleógeno.

Debido al contenido fósil, se le ha asignado una edad del Cámbrico Medio de la Serie 3, Etapa 5. En la formación existe una abundante y diversa fauna de trilobites, braquiópodos articulados e inarticulados, espículas de esponjas, cancelóridos, moluscos hiolítidos y crinoideos (Nardin *et al.*, 2009; Buitrón *et al.*,

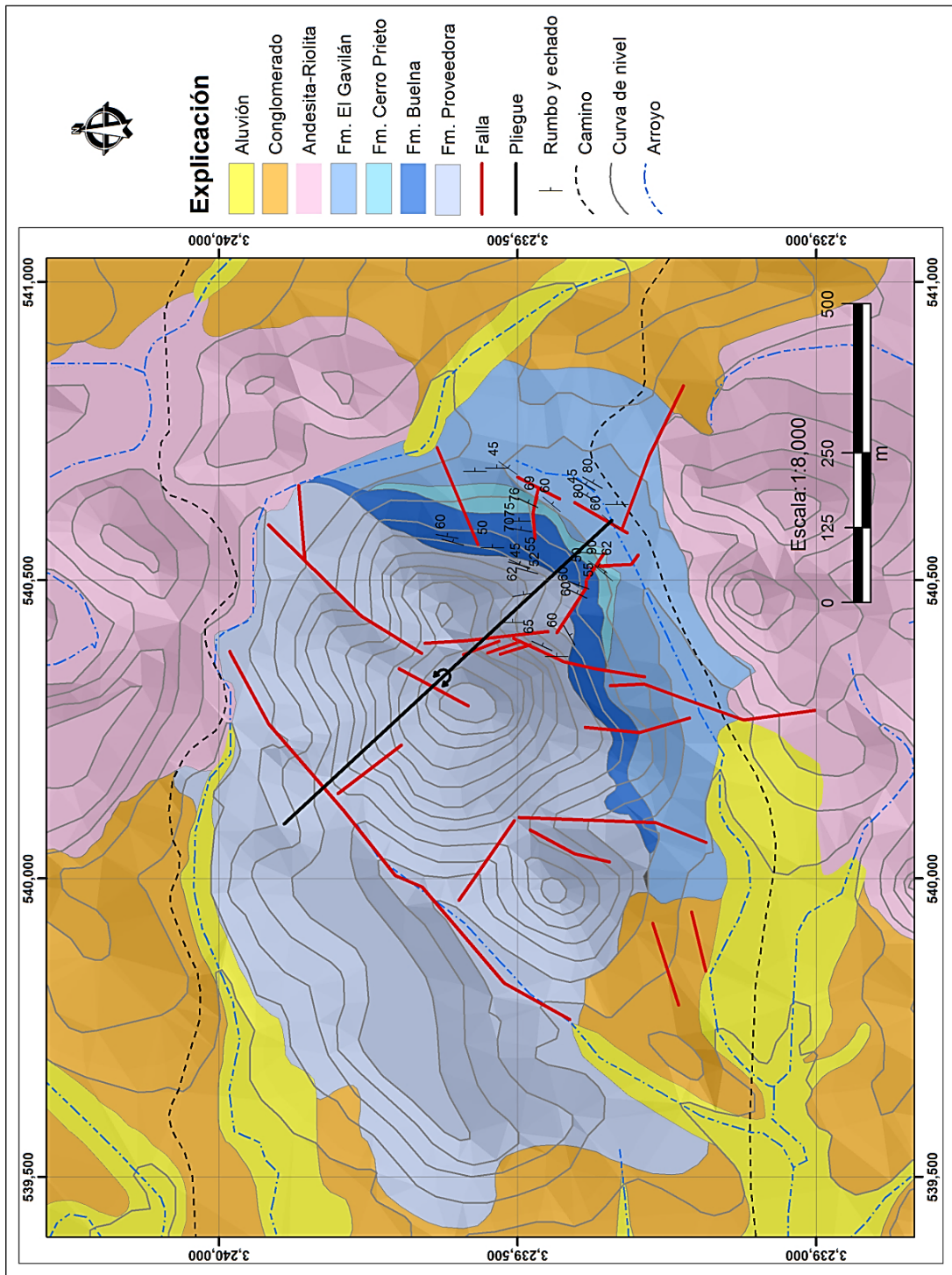
2011; Huerta, 2011; Cuen *et al.*, 2013). También por los fósiles, las rocas se atribuye pertenecen a la biozona *Mexicella mexicana*, subzona *Albertella highlandensis* (Cuen *et al.*, 2016).

El ambiente de depósito fue en plataformas abiertas de aguas someras, cálidas, de salinidad normal. Esta formación se correlaciona bioestratigráficamente con las formaciones Carrara, California y Groom Range, Nevada, por la semejanza en las biozonas y tipos de depósito presentes.

La Formación El Gavilán surge como una modificación a la estratigrafía previamente propuesta por Nardin *et al.* (2009) en la que se usa una clasificación informal de miembros.



**Figura 7.** Columna estratigráfica de la región de San José de Gracia (Modificado de Cuen *et al.*, 2016)



**Figura 8.** Mapa geológico del cerro Chihuarruita, San José de Gracia (Tomado de Cuen, 2013).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Trabajo de campo*

El material fue recolectado en diversas prospecciones geológico-paleontológicas por la Dra. Blanca Buitrón, el equipo de geólogos de la Universidad de Sonora, y en algunas ocasiones por la sustentante. Los ejemplares fueron recolectados de estratos de lutita rojiza deleznable, separando los fragmentos que contenían trilobites y clasificándolos en aquellos que estaban completos o fragmentados.

### *Trabajo de gabinete*

Se consultó la bibliografía básica sobre trabajos de trilobites cámbricos publicados recientemente y sobre la geología de la región de estudio, con el propósito de actualizar el conocimiento de la región y la paleontología del grupo.

### *Trabajo de laboratorio*

Debido al tamaño de los ejemplares, únicamente fue necesario limpiarlos con un pincel suave para eliminar el excedente de sedimento. Se identificó con un número cada muestra y se realizaron las fotografías, tras blanquear cada ejemplar con sublimado de cloruro de amonio. Se analizó a detalle la morfología y se realizaron las mediciones pertinentes de los ejemplares, para precisar la descripción taxonómica de los trilobites e identificarlos a nivel de especie.

Se analizaron los resultados obtenidos en este trabajo y se discutieron las diferencias encontradas con trabajos previos como el de Cooper *et al.*, (1952) y Cuen (2012, 2013). De acuerdo con la identificación de las diversas especies



estudiadas, se establecieron relaciones paleobiogeográficas con otras regiones de México y del mundo, haciendo énfasis en la distribución de tierras y mares durante el Cámbrico.

## RESULTADOS

### *Paleontología sistemática*

Phylum Arthropoda Latreille, 1829

Supersubphylum Euarthropoda Moore, 1959

Subphylum Trilobitomorpha Moore, 1959

Clase Trilobita Walch, 1771

Orden Agnostida Kobayashi, 1935

Suborden Agnostina Salter, 1864

Familia Spinagnostidae Howell, 1935

Género *Peronopsis* Hawle & Corda, 1847

*Peronopsis bonnerensis* Resser, 1938

Suborden Eodiscina Kobayashi, 1939

Familia Pagetiidae Kobayashi, 1935

Género *Pagetia* Walcott, 1916

*Pagetia resseri* Kobayashi, 1943

Orden Redlichiida Richter, 1932

Suborden Olenellina Walcott, 1890

Familia Olenellidae Walcott, 1890

Género *Olenellus* Hall, 1862

*Olenellus* sp. Billings, 1861

Género *Bristolia* Harrington, 1956

*Bristolia bristolensis* Resser, 1928

Orden Corynexochida Kobayashi, 1935

Familia Ogygopsidae Rasetti, 1951

Género *Ogygopsis* Walcott, 1889

*Ogygopsis typicalis* (Resser, 1939)

Familia Oryctocephalidae Beecher, 1897

Género Oryctocephalus Walcott, 1886

*Oryctocephalus indicus* Reed, 1910

Género Oryctocephalites Resser, 1939

*Oryctocephalites walcotti* Resser, 1938

Familia Dolichometopidae Walcott, 1916

Género Bathyriscus Meek, 1873

*Bathyriscus* sp. Meek, 1873

Orden Ptychopariida Swinnerton, 1915

Suborden Ptychopariina Richter, 1933

Familia Alokistocaridae Resser, 1939

Género *Elrathina* Resser, 1937

*Elrathina antiqua* Palmer & Halley, 1979

### **Clase Trilobita Walch, 1771**

(Cámbrico Inferior-Pérmico)

**Diagnosis.** Cuerpo dividido en tres lóbulos. Cefalón se articula con los segmentos del tórax y a su vez con los del pigidio. Glabela generalmente en el centro del cefalón, típicamente convexa y lobulada. Ojos compuestos en la mayoría de las especies, localizados en las suturas faciales. Espinas laterales y dorsales generalmente presentes en el cefalón, tórax o pigidio. Apéndices ventrales compuesto de antenas birrámeas (Harrington *et al.*, 1959).

### **Orden Agnostida Kobayashi, 1935**

(Cámbrico Inferior-Ordovícico Superior)

**Diagnosis.** Tallas pequeñas de orden de milímetros, siendo menores a un centímetro. Cefalón y pigidio en proporciones similares (isopigios). Generalmente

ciegos. Tórax de dos a tres segmentos. Extremidades presentes en juveniles, difieren mucho del resto de los trilobites (Harrington *et al.*, 1959; Robison, 1975).

#### **Suborden Agnostina Salter, 1864**

**Diagnosis.** Cefalón sin ojos o suturas faciales. Tórax con dos segmentos. Pigidio con tres o menos segmentos en su axis, con borde redondo o con pequeñas espinas (Harrington *et al.*, 1959; Naimark, 2012).

#### **Familia Spinagnostidae Howell, 1935.**

**Diagnosis.** Glabela con dos lóbulos principales, el anterior redondeado al frente. Surco longitudinal en frente de la glabela ausente o apenas visible. Eje del pigidio varía de largo y estrecho, a largo y ancho (Naimark, 2012).

#### **Género Peronopsis Hawle & Corda, 1847**

#### ***Peronopsis bonnerensis* Resser, 1938**

Fig. 10A

*Peronopsis bonnerensis* Resser, 1938, p. 6, lám. 1, figs. 16, 17; Resser, 1939, p. 8, lám. 2, figs. 24-26.

*Agnostus lautus* Resser, 1939, p. 25, lám. 2, figs. 16-18.

*Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis* Naimark, 2012, p. 1012.

**Descripción.** Exoesqueleto isopígido. Margen del cefalón y pigidio de contorno externo semicircular. Cefalón con margen anterior liso. Glabela bilobada y alargada, con margen anterior semicircular. Suturas faciales marginales. Tórax con

dos a tres segmentos. Anillos axiales anchos y pleuras estrechas. Pigidio con margen posterior liso y ovalado, ligeramente más ancho que el margen del cefalón. Borde del eje del pigidio alargado, con margen posterior subtriangular que no se proyecta hasta el borde de este, con pocas o ninguna traza de surcos transversales.

**Abundancia y ocurrencia.** Abundante. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis* de Norteamérica. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (Cuen, 2013; Naimark, 2012).

**Distribución y alcance estratigráfico.** El género se ha descrito para el Cámbrico Medio de Norteamérica (New Brunswick, Montana), Europa (Siberia), Asia (Manchuria) y Australia (Harrington *et al.*, 1959; Naimark, 2012).

**Discusión.** *Peronopsis bonnerensis* ha sido reportada para la Formación Carrara, en el área de Nevada, en Test Site y Belted Range, donde es incluida dentro de la Zona de *Albertella* (Palmer & Halley, 1979). Se encontraron abundantes ejemplares de esta especie, algunos posiblemente en etapa de meraspis, por lo que podría proponerse que dicha riqueza se debe a mudas de varios organismos.

#### **Suborden Eodiscina Kobayashi, 1939**

**Diagnosis.** Glabela bien definida de subcilíndrica a ahusada, anillo occipital de redondeado a espinoso. Gena elevada lateralmente y con depresión en la parte frontal de la glabela. Borde cefálico puede tener tubérculos o marcas radiales. Suturas faciales de tipo propárica o ausentes. Tórax con dos o tres segmentos.

Pigidio con cuatro a doce segmentos. Espina axial o terminal presente en algunos géneros (Harrington *et al.*, 1959).

### Familia Pagetiidae Kobayashi, 1935

**Diagnosis.** Ojos y suturas faciales de tipo propárica bien desarrolladas. Tórax de dos a tres segmentos (Harrington *et al.*, 1959).

### Género Pagetia Walcott, 1916

#### *Pagetia resseri* Kobayashi, 1943.

Fig. 10B

*Pagetia clytia* Resser, 1939b, p. 25, lám. 2, figs. 6-8.

*Pagetia (Eopagetia) resseri* Kobayashi, 1944, p. 37.

*Pagetia resseri* Kobayashi, 1943, p. 40; 1944, p. 64; Rasetti, 1966, p. 509, lám. 60, figs. 19-25; Fritz, 1968, p. 192, lám. 38, figs. 8, 9.

**Descripción.** Exoesqueleto macropígido. Pigidio semicircular con seis anillos axiales en forma cilíndrica que se extienden hasta el margen posterior de este. Margen anterior liso y angosto. Pleuras del pigidio con aproximadamente seis surcos.

**Abundancia y ocurrencia.** Moderada. Formación El Gavilán.

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Medio de la porción superior de las calizas de la Formación Langston, en el Two Mile Canyon, Idaho, en asociación con *P. maladensis*, pero menos común (Rasetti, 1966).

**Discusión.** *Pagetia resseri* ha sido documentada para el Miembro Caliza Red Pass de la Formación Carrara, California, en asociación con *Nyella granosa*, *Oryctocephalites typicalis*, *Pachyaspis gallagari*, *Ptarmiganoides crassaxis*, entre otras (Palmer & Halley, 1979). En el Miembro Lutita Pahrump Hills del área de Belted Range, esta especie se encuentra asociada a *Elrathina antiqua*, entre otras. También ha sido reportada en la Formación Emigrant, al noreste de Last Chance Range, dentro de la Biozona de *Albertella* (Sundberg & McCollum, 2003) en asociación con ejemplares de *Amecephalus* sp., *Peronopsis brighamensis*, *Bathyriscus* sp., *Elrathina* sp., *Kootenia* sp. y *Oryctocephalites walcotti*. En San José de Gracia se encuentran fragmentos aislados de esta especie. A pesar de sólo contar con el pigidio, debido al número de segmentos axiales y surcos pleurales, se puede determinar la especie porque ha sido asociada a biozonas y otras formaciones.

### **Orden Redlichiida Richter, 1932**

(Cámbrico Inferior-Cámbrico Medio)

**Diagnosis.** Exoesqueleto alargado, elíptico y micropígido. Cefalón grande, semicircular y generalmente con espinas genales bien desarrolladas. Suturas faciales de tipo opistopáricas o anquilosadas. Ojos generalmente elongados en forma de media luna. Tórax compuesto de cinco a once segmentos (Harrington *et al.*, 1959).

### **Suborden Olenellina Walcott, 1890**

**Diagnosis.** Cefalón generalmente con marcadas espinas genales. Glabela elongada con surcos evidentes. Ojos alargados en suturas faciales anquilosadas. Numerosos

segmentos torácicos que generalmente terminan en espinas. Pigidio diminuto o rudimentario (Harrington *et al.*, 1959).

### **Familia Olenellidae Walcott, 1890**

**Diagnosis.** Exoesqueleto subovalado a elongado, generalmente plano o ligeramente convexo. Cefalón subsemicircular, sin suturas dorsales y con borde bien definido. Glabela con tres a cinco surcos. Espinas genales usualmente presentes. Tórax compuesto por numerosos segmentos, con surcos pleurales bien definidos y algunas espinas. Pigidio con un solo segmento. Superficie del exoesqueleto cubierta de gránulos o delicadas redes (Harrington *et al.*, 1959).

### **Género Olenellus Hall, 1862**

#### ***Olenellus* sp. Billings, 1861**

Fig. 10C

**Descripción.** Cefalón alargado lateralmente, semicircular. Borde angosto y liso que termina en espinas genales. Glabela ancha, se extiende hasta el margen anterior, el extremo anterior de forma circular. Presencia de cuatro pares surcos en la parte anterior de la glabela. Ojos alargados en forma de hoz, que se extienden a lo largo de los surcos. Suturas faciales gonatopáricas.

**Abundancia y ocurrencia.** Moderada. Formación Buelna. Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Se han reportado para el Cámbrico Temprano de Norteamérica, Groenlandia y Escocia (Harrington *et al.*, 1959).

**Discusión.** El género *Olenellus* presenta una amplia distribución geográfica y un rango estratigráfico del Cámbrico Inferior (*Olenellina*) y ha sido reportado en diversos afloramientos. En la Formación Carrara, Death Valley, California, las especies representantes de *Olenellus* son abundantes en los miembros Lutita Eagle Mountain (*O. arcuatus*, *O. cylindricus*), Caliza Thimble (*O. clarki*, *O. fremonti*, *O. puertoblancoensis*), Lutita Echo (*O. clarki*), Caliza Gold Ace (*O. puertoblancoensis*, *O. howelli*), y Lutita Pyramid (*O. multinodus*, *O. fremonti*, *O. gilberti*, *O. brachyomma*), entre otras (Palmer & Halley, 1979). El fragmento se infiere por la presencia de especies de *Olenellus* en el área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952), en la Formación Puerto Blanco (*O. puertoblancoensis*) y en el área de Mazatán donde se reportan fragmentos de *O. gilberti* (Stewart *et al.*, 1984).

#### Género *Bristolia* Harrington, 1956

#### *Bristolia bristolensis* Resser, 1928

Fig. 10

*Olenellus howelli* Meek, 1874; Walcott, 1884, lám. 9, fig. 15; lám. 21, figs. 8, 9.

*Olenellus gilberti* Meek, 1874; Walcott, 1886, lám. 20, figs. 1a, k, l; 1891, lám. 86, figs. 1a, k, l; 1910, lám. 37, figs. 16, 18, 19.

*Mesonacis bristolensis* Resser, 1928, p. 07, lám. 2, figs. 5-8.

*Olenellus bristolensis* (Resser) Riccio, 1952, p. 30, lám. 7, figs. 1, 2, 5; lám. 8, figs. 1-11.



*Bristolia bristolensis* (Resser) Harrington, 1956, p. 59, fig. 1D; Riccio, 1952, p. 30, lám. 7, figs. 1, 2, 5; Harrington *et al.*, 1959, p. O192, fig. 133.3; Mount, 1976, p. 175, fig. 12; Palmer & Halley, 1979, p. 64, lám. 1, figs. 14, 16, 17; Mount, 1980, p. 27, fig. 12; Palmer & Repina, 1993, p. 24, figs. 4, 5, 13; Palmer & Repina, 1997, p. 409, fig. 258.1; Lieberman, 1998, p. 73, fig. 4.3.

?*Fremontella* sp. Nelson, 1976, p. 31, lám. 8.

**Descripción.** Cefalón semicircular, ligeramente puntiagudo. Borde anterior liso y angosto, que termina en espinas genales alargadas. Glabella en forma de reloj de arena que se prolonga por todo el cefalón, la parte anterior de forma piriforme. Presencia de tres pares de suturas en la glabella. Ojos en forma de media luna que se proyectan desde la parte anterior de la glabella.

**Abundancia y ocurrencia.** Moderada. Formación Buelna. Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Inferior de Norteamérica (Harrington *et al.*, 1959)

**Discusión.** El género *Bristolia* presenta una amplia distribución geográfica en Norteamérica, para el cual se reconocen cerca de ocho especies (*B. bristolensis*, *B. anteros*, *B. brachyomma*, *B. fragilis*, *B. harringtoni*, *B. insolens*, *B. kurtzi* y *B. mohavensis*). *B. bristolensis* ha sido reportada en el Miembro Caliza Thimble (Cámbrico Inferior) de la Formación Carrara (Palmer & Halley, 1979) en asociación con *B. anteros*, *B. fragilis*, *Olenellus clarki*, *O. euryparia*, *O.*

*puertoblancoensis*, entre otras. También ha sido documentada en Latham Shale, Marble Mountains, California; en el Miembro Delamar de la Formación Pioche, Nevada (Cuen, 2013). Se distingue claramente del género *Olenellus* por la forma de la glabella, que tiene forma más redondeada y ancha en *Olenellus*, mientras que en *Bristolia* es en forma de flecha, además por la forma de la glabella.

### **Orden Corynexochida Kobayashi, 1935**

(Cámbrico Inferior-Cámbrico Superior)

**Diagnosis.** Exoesqueleto elongado subelíptico, con macropigidio. Cefalón semicircular con espinas genales bien desarrolladas. Glabella larga, con lados subparalelos y en algunos casos, se extienden hasta el borde anterior. Ojos elongados y estrechos. Suturas faciales opistopáricas. Tórax de cinco a once segmentos, pleura con surcos bien definidos y terminaciones espinosas. Pigidio de mediano a largo, generalmente con espinas marginales (Harrington *et al.*, 1959).

### **Familia Ogygopsidae Rasetti, 1951**

**Descripción.** Exoesqueleto isopígido. Glabella paralela que alcanza el borde anterior. Ojos de talla mediana, a la altura del punto medio de la glabella. Suturas faciales anteriores moderadamente divergentes. Tórax con ocho segmentos. Pigidio redondeado, con varios segmentos axiales y pleurales (Harrington *et al.*, 1959).

### **Género Ogygopsis Walcott, 1889**

*Ogygopsis typicalis* (Resser, 1939)

Fig. 10D

*Toxioura typicalis* Resser, 1939, p. 62, lám. 14, figs. 6-14; Shimer & Shrock, 1944, lám. 259, figs. 23, 24.

*Toxioura magna* Resser, 1939, p. 63, lám. 14, figs. 1-2.

*Toxioura elongata* McLaughlin & Enbysk, 1950, p. 470, lám. 65, figs. 2, 9.

*Toxioura* sp. indet. Fritz, 1968, p. 201, lám. 40, fig. 30.

*Ogygopsis typicalis* (Resser) Palmer & Halley, 1979, p. 82, lám. 12, figs. 1-4; Blaker 1986, p. 72.

*Ogygopsis batis* (Walcott, 1916) Blaker, 1986, p. 69.

**Descripción.** Pigidio semicircular, con aproximadamente ocho surcos pleurales en cada lóbulo. Borde posterior angosto y liso. Axis cilíndrico, ligeramente reducido en la región posterior, con aproximadamente siete anillos axiales. Axis se proyecta hasta el margen anterior sin tocarlo.

**Abundancia y ocurrencia.** Moderada. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Medio de Norteamérica, principalmente en Estados Unidos (Sundberg & McCollum, 1997).

**Discusión.** *Ogygopsis typicalis* fue descrita por primera vez por Resser (1939) en las calizas de la Formación Langston, Utah y Idaho, incluyéndola dentro de la llamada fauna Ptarmigania (Blaker & Peel, 1997). Esta especie ha sido reportada para la Formación Carrara, Belted Range, Nevada, dentro de la Zona de *Albertella* (Palmer

& Halley, 1979). *Ogygopsis* sp. ha sido documentada en la Formación Monola, Inyo Mountains, en la Biozona de *Albertella* en asociación con *Oryctocephalus indicus*, *Syspacephalus* sp., *Amecephalus* sp., entre otras (Sundberg & McCollum, 1997).

### **Familia Oryctocephalidae Beecher, 1897**

**Diagnosis.** Exoesqueleto dorsal poco convexo, pequeño o de mediano tamaño. Glabela paralela o expandida adelante, alcanzando el borde frontal. Surcos de la glabela y occipitales generalmente con pares de huecos que no alcanzan el surco axial. Cresta del ojo desarrollada. Fibrígena amplia y librígena angosta con espinas genales. Tórax de cinco a 18 segmentos. Pigidio pequeño y simple, de redondeado a espinoso (Harrington *et al.*, 1959).

### **Género Oryctocephalus Walcott, 1886**

#### ***Oryctocephalus indicus* Reed, 1910**

Fig. 10F

*Zacanthoides indicus* Reed, 1910, p. 9, 10, lám. 1, fig. 15.

*Oryctocephalus* cf. *reynoldsi* Reed 1910, p. 12, lám. 1, figs 22, 23.

*Oryctocephalus orientalis* Saito, 1934, p. 230, 231, lám. 25, fig. 21,

*Oryctocephalus kobayashii* Saito, 1934, p. 231, 232, lám. 25, figs 23–25.

*Oryctocephalus indicus* (Reed, 1910). – Resser, 1938 p. 38.

*Oryctocephalus incurvus* Lu & Chien, 1974, p. 101, lám. 39, fig. 8.

*Oryctocephalops tongrenensis* Lu & Qian, 1983 p. 27, lám. 3, figs 4, 5.

**Diagnosis.** Pigidio semicircular. Borde con espinas rectas y ligeramente cortas. Axis paralelo que se extiende hasta el borde del pigidio, con aproximadamente ocho segmentos, en la parte central de cada uno se observa una pequeña protuberancia. Cuatro surcos pleurales que a su vez presentan surcos interpleurales.

**Abundancia y ocurrencia.** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Medio de Norteamérica, Europa y Asia (Sundberg *et al.*, 2011).

**Discusión.** *Oryctocephalus* es un género importante durante el Cámbrico Medio, debido a que presenta una amplia distribución geográfica y corto rango estratigráfico, pudiendo ser utilizado como fósil índice (*Oryctocephalus indicus*). *Oryctocephalus* sp. ha sido reportada en la Biozona de *Poliella denticulata* en los miembros Caliza Susan Duster y Log Cabin, de la Lutita Pioche, Nevada. También ha sido reportada para el Miembro Lutita Pyramid de la Formación Carrara, Nevada (Sundberg & McCollum, 2003).

#### **Género *Oryctocephalites* Resser, 1939**

#### ***Oryctocephalites walcotti* Resser, 1938**

Fig. 10G

*Oryctocephalus walcotti* Resser, 1938

*Oryctocephalites walcotti* Sundberg & McCollum, 1997

**Descripción.** Exoesqueleto isopígido. Cefalón semicircular. Glabela se extiende hasta el margen anterior y presenta surcos. Tórax con cinco segmentos que presentan surcos pleurales y espinas pleurales cortas, dirigidas hacia abajo. Pigidio con axis triangular, de cinco segmentos axiales. Surcos pleurales pigidiales que terminan en espinas.

**Abundancia y ocurrencia.** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Medio de Norteamérica (Harrington *et al.*, 1959).

**Discusión.** Sundberg & McCollum (1997) hacen un listado de las especies de *Oryctocephalus* presentes en el límite del Cámbrico Inferior-Medio de las formaciones en Nevada y California. En ese trabajo también modifican el género a *Oryctocephalites* debido a que éste presenta el contorno del cranidio menos recto y la glabela más expandida hacia el frente.

#### **Familia Dolichometopidae Walcott, 1916**

**Diagnosis.** Exoesqueleto dorsal de ovalado a elongado. Cefalón semicircular con ángulos genales que terminan en espinas. Glabela se extiende hasta el borde posterior; la parte anterior es generalmente más estrecha. Suturas faciales

opistopáricas. Tórax de seis a doce segmentos. Pigidio de tamaño, forma y número de segmentos variable, generalmente macropigio (Harrington *et al.*, 1959).

### Género *Bathyuriscus* Meek, 1873

#### *Bathyuriscus* sp. Meek, 1873

Fig. 10E

**Descripción.** Pigidio subcircular. Anillo occipital corto. Espinas pleurales muy cortas que se observan como pleuras únicamente puntiagudas. Surcos pleurales e interpleurales profundos, estrechos, con bordes bien definidos y en algunos, pares de espinas laterales. Pigidio con aproximadamente siete anillos en el axis.

**Abundancia y ocurrencia.** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Medio de Norteamérica (Harrington *et al.*, 1959).

**Discusión.** *Bathyuriscus* es un género endémico de Laurentia que se encuentra distribuido en casi toda la periferia del cratón Norteamericano, para el cual se conocen 19 especies (Cuen, 2013). Solo se reporta para ambientes de plataforma externa, ya que hasta el momento no ha sido hallada en la plataforma interna (Bordonaro & Fojo, 2011). Este mismo autor reporta la presencia de *Bathyuriscus* en la Precordillera Argentina. *Bathyuriscus* sp. ha sido reportada en la Caliza

Metaline, Pend Oreille County, Washington, en asociación con *Elrathina* sp., *Ogygopsis* sp., *Olenoides* sp. y *Toxioura* sp. (McLaughlin & Enbysk, 1950).

### **Orden Ptychopariida Swinnerton, 1915**

(Cámbrico Inferior-Pérmico Medio)

**Diagnosis.** Glabela simple generalmente reducida hacia el frente, puede presentar surcos. Suturas faciales generalmente opistopáricas o marginales o con surcos subparalelos. Tórax con tres o más segmentos. Pigidio reducido en las formas tempranas y grande en las tardías (Harrington *et al.*, 1959).

### **Suborden Ptychopariina Richter, 1933.**

**Diagnosis.** Glabela se prolonga sin tocar el borde del cefalón. Suturas faciales generalmente opistopáricas. Tórax relativamente largo. Pigidio pequeño (Harrington *et al.*, 1959).

### **Familia Alokistocaridae Resser, 1939.**

**Diagnosis.** Área preglabellar amplia y glabela un poco reducida. Suturas faciales profundas y cóncavas opuestas a la glabela. Cresta del ojo bien desarrollada. Espinas genales de longitud moderada. Pigidio pequeño (Harrington *et al.*, 1959).

### **Género *Elrathina* Resser, 1937**

### ***Elrathina antiqua* Palmer & Halley, 1979**

Fig. 10H



*Elrathina antiqua* Palmer & Halley, 1979, p. 103, lám. 15, figs. 1-3.

*Ptychoparella antiqua* (Palmer) Palmer & Halley, 1979.

**Descripción.** Exoesqueleto micropígido. Cefalón liso, semitriangular o con el margen anterior trunco, antes del cual se presenta un surco transversal. Glabela semicircular con dos pares de surcos. Suturas faciales propáricas. Tórax con aproximadamente diez segmentos, con surcos pleurales y terminaciones en punta, sin presentar espinas. Axis en forma cilíndrica, ligeramente reducido en la parte posterior. Diez segmentos axiales, cada uno con los extremos ligeramente en forma circular.

**Abundancia y ocurrencia.** Abundante. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (Cuen, 2013).

**Distribución y alcance estratigráfico.** Reportada para el Cámbrico Medio de Norteamérica, particularmente Estados Unidos y Canadá, siendo de las especies más antiguas del género (Harrington *et al.*, 1959; Palmer & Halley, 1979).

**Discusión.** *Elrathina* corresponde a un género de importancia estratigráfica durante el Cámbrico Medio temprano, para el cual su posición sistemática es incierta, siendo considerado anteriormente como un representante de la familia Alokistocaridae Resser, 1939. Sundberg (1999) en un estudio sistemático de ptychopariidos, excluye al género *Elrathina* de la familia Alokistocaridae, posicionándolo como un sinónimo de *Ptychoparella*. Se diferencia del género

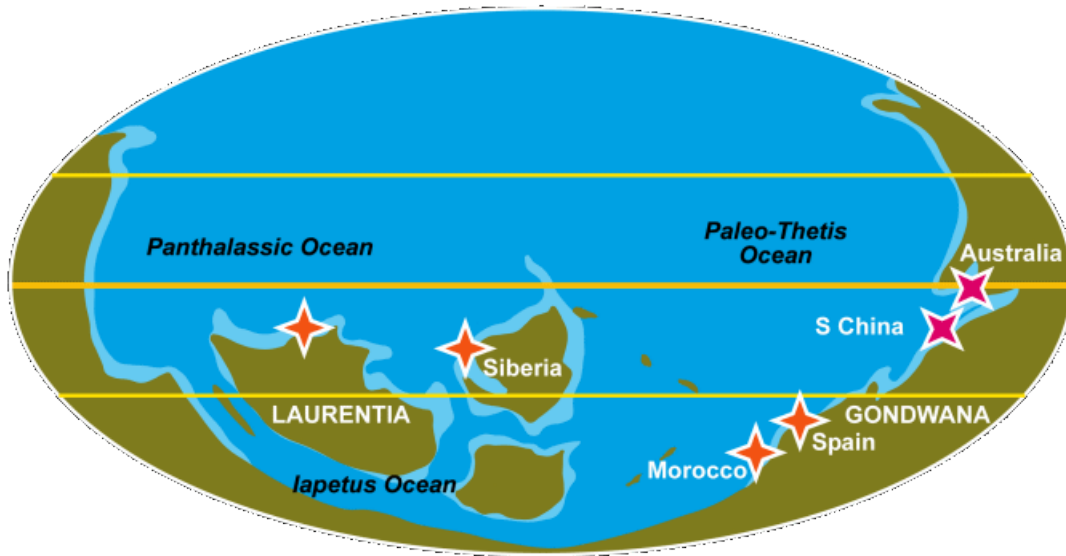
*Elrathia*, en que el borde de *Elrathina* es más estrecho y tiene más segmentos torácicos. *Elrathina antiqua* fue propuesta por Palmer & Halley (1979), en el Miembro Lutita Pahrump Hills de la Formación Carrara, en asociación con *Chancia maladensis*, *Ogygopsis typicalis*, *Pagetia maladensis*, *Pagetia resseri*, *Peronopsis lautus*, entre otras.

## CONSIDERACIONES PALEOBIOGEOGRÁFICAS

Los estudios paleogeográficos, paleotectónicos y paleomagnéticos indican la existencia durante el Proterozoico (~2500 – 543 Ma) de un supercontinente llamado Rodinia, el cual al fragmentarse generó diversos cratones (Weil *et al.*, 1998). A causa de esto, a inicios del Paleozoico existieron seis grandes masas continentales bien establecidas, Gondwana, Laurentia, Báltica, Siberia, Kazakhstania y China. Hace 570 millones de años estos continentes eran independientes entre sí. Todos se encontraban a latitudes bajas del hemisferio sur, cubiertos por mares someros y su posición permitía la libre circulación de las corrientes oceánicas (Sour & Quiroz, 1998) (Fig. 10).

La presencia de rocas del Proterozoico y Paleozoico en el estado de Sonora permite constatar que esta región formó parte del cratón de Norteamérica (Almazán *et al.*, 2006). Este cratón formaba parte de Laurentia y debió constituir, durante el Cámbrico Temprano, masas terrestres cercanas al ecuador, alineadas aproximadamente este-oeste a 30° sur (Weil *et al.*, 1998; Cuen, 2013), mientras que durante el Cámbrico Medio estaría sobre el ecuador. Es por esto que los sedimentos cámbricos de Sonora son parte de los depósitos más antiguos de dicho cratón,

aunque es posible que durante el Cámbrico éstos se hayan sedimentado en la parte occidental de Laurentia (Cuen, 2013).



**Figura 9.** Distribución de las masas continentales durante el Cámbrico Temprano. Se indican algunas de las localidades donde se han reportado los primeros trilobites (Gon, 2014).

Lochman & Lee (1958) propusieron dos modelos de biofacies, con base en su relación y cercanía con el cratón: biofacies cratónica y biofacies extracratónica, la cual es subdividida en biofacies extracratónica intermedia y biofacies extracratónica euxínica. Las biofacies propuestas por Lochman & Lee, de manera generalizada, podrían ser comparadas con los modelos de facies aceptados actualmente, como lo son plataforma interior, plataforma intermedia y plataforma exterior (Hallam, 1973).

Posteriormente, Lochman & Wilson (1978) en una síntesis del Cámbrico en Norteamérica reconocen aparentemente tres biofacies caracterizadas por criterios tectónicos y ambientales, una con característica cratónica, otra zona extra

cratónica-intermedia y otra extra cratónica-euxínica. La fauna de las dos primeras biofacies ha sido representativa de la provincia de Norteamérica en el Pacífico, mientras que la de extra cratónica- euxínica ha sido representativa de provincias del Atlántico.

En el oeste de Norteamérica, un cinturón extenso de sedimentos de carbonatos, se reflejan en gran parte de la superficie del agua a través de una plataforma carbonatada, formada durante el Cámbrico Medio y Tardío. Éste separa a una región interna de sedimentos terrígenos generalmente asociada con caliza oscura, estratificada.

La mayoría de los depósitos de las plataformas carbonatadas y los sedimentos más profundos dentro de la zona detrítica, contiene fauna característica de la zona cratónica. Por otro lado, los depósitos de las márgenes oceánicas de la plataforma de carbonatos y de los sedimentos profundos del agua fuera de la faja detrítica contiene fauna característica de la zona extra cratónica- intermedia (Lochman & Wilson, 1978).

El primer modelo indica el cambio de tendencia de las rocas del Proterozoico Superior y Paleozoico, formando una curva en el margen continental que se prolonga en el noreste de México. El margen se podría extender más allá del noreste de México y fusionarse con el margen Ouachita en el sur – centro de los Estados Unidos. Este modelo no explica las similitudes existentes entre la secuencia estratigráfica de Caborca, San Bernardino Mountains y el sureste de la Great Basin; tales similitudes indicarían que estas regiones alguna vez estuvieron cercanas y fueron separadas tectónicamente.

Particularmente, la paleogeografía de Sonora durante el Cámbrico Temprano y Medio ha sido discutida por diversos autores (Stoyanow, 1942; Lochman y Lee,

1958; Stewart *et al.*, 1984) desde mediados de siglo pasado. Stewart *et al.*, (1984) proponen tres modelos tectónicos y paleogeográficos para los afloramientos cámbricos del área de Caborca, confiriéndolos como parte del miogeoclinal cordillerano, depositados en la margen del continente de Norteamérica.

Los trilobites de Norteamérica se hicieron cada vez más diversos y cosmopolitas. La fauna al interior del continente consiste en especies endémicas de trilobites no agnóstidos. La fauna en la región próxima incluye además familias de trilobites típicas de América como *Eodiscidae*, *Oryctocephalidae* y *Pagetiidae* en partes del Cámbrico Temprano y Medio y una variedad de agnóstidos del Cámbrico Medio hasta el Cámbrico Tardío (Palmer, 1979). Las especies identificadas en este trabajo apoyan este antecedente sobre la ocurrencia de organismos de dichas familias y edades.

## CONCLUSIONES

Se estudiaron y analizaron algunos aspectos interesantes sobre la estratigrafía, bioestratigrafía y paleogeografía de Sonora, así como su relación con los depósitos cámbricos del suroeste del cratón de Norteamérica.

Se describen los trilobites de las especies *Peronopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Oryctocephalus indicus* y *Elrathina antiqua* para la Formación El Gavilán del Cámbrico Medio, así como *Olenellus* sp. y *Bristolia bristolensis* para la Formación Buena del Cámbrico Inferior. Los fósiles proceden de una potente secuencia sedimentaria marina constituida por caliza, lutita y arenisca. Estas especies se

suman a las ya descritas de algas oncolíticas, braquiópodos, moluscos hialítidos y esponjas hexactinélidas.

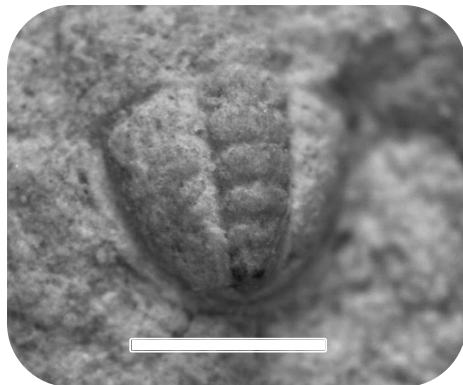
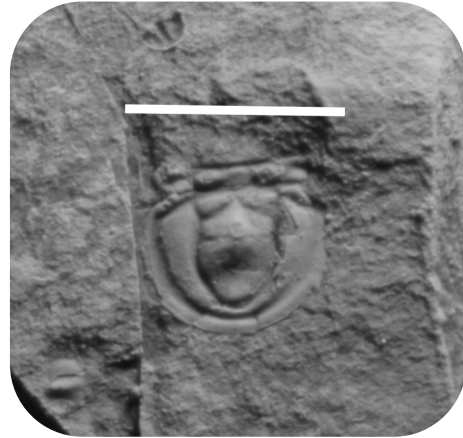
Las rocas del área de Caborca fueron depositadas en un ambiente marino de plataforma interior, con cercanía a la línea de costa y en ocasiones afectadas por el oleaje. Es posible interpretar que los depósitos cámbricos de Sonora, representados por Caborca (plataforma interior) y San José de Gracia (plataforma intermedia a plataforma exterior) correspondan a sedimentos cámbricos depositados en el límite oeste de la margen de Laurencia. Actualmente corresponden a los depósitos más australes de Norteamérica.

Con base en 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, como con la Formación Carrara (California) y la Formación Emigrant (Nevada), principalmente, las cuales se encontraban depositadas en regiones más norteañas. Esto se infiere por la similitud de especies identificadas en ambas localidades y lo cual apoya la teoría de que formaban parte de una misma masa continental, tal como lo sugieren las reconstrucciones paleobiogeográficas.

LÁMINAS

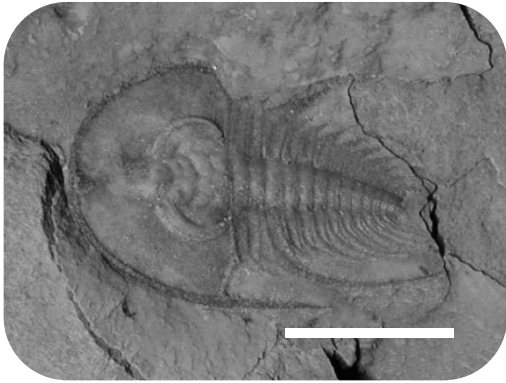


A) *Peronopsis bonnerensis*



B) *Pagetia resseri*





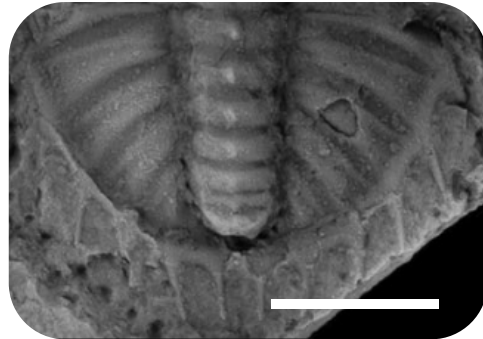
C) *Olenellus* sp.



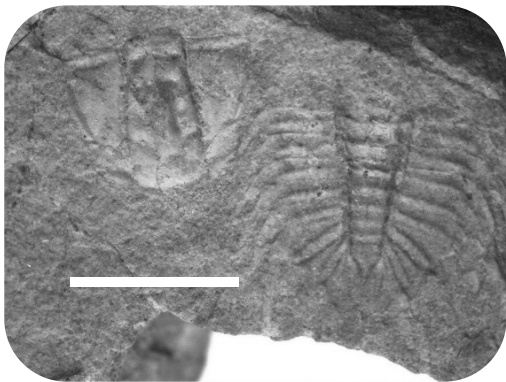
D) *Ogygopsis typicalis*



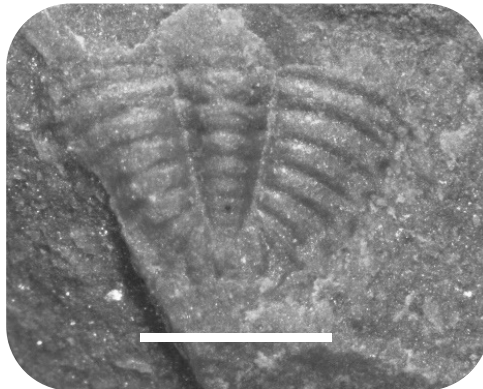
E) *Bathyriscus* sp.



F) *Oryctocephalus indicus*



G) *Oryctocephalites walcotti*







H) *Elrathina antiqua*

Figura 10. Trilobites de San José de Gracia (Escala 50 mm).

## BIBLIOGRAFÍA

- Abe, F.R & Lieberman, B.S. 2012. Quantifying morphological change during and evolutionary radiation of Devonian trilobites. *Paleobiology*, 38, 292-307.
- Almazán V.E. 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centro oriental del estado de Sonora. *Boletín del Instituto de Geología*, 8(1):58-67.
- Almazán, V.E. 2002. El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. *GEOS. Unión Geofísica Mexicana*, 22(2):333.
- Almazán, V.E., Buitrón, B. & Franco, O. 2006. Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(1):23-38.
- Baldis, B.A.J. & Bordonaro, O.L. 1981. Vinculación entre el Cámbrico del noroeste de México y la Precordillera Argentina. *II Congreso Latinoamericano de Paleontología, Annals*, 1:1-10.

- Bartolini, C., Morales–Montaño, M. & Damon, M. 2001. Estratigrafía del Terciario y Geocronología (K – Ar) del área sur de San José de Gracia, Sonora central, México. *Geological Society of America*, 24:1-6.
- Beraldi–Campesi, H., Buitrón, S.B., Cuen, R.F. & Montijo, G.A. 2013. *Oncolitos del Cámbrico inferior de la región de San José de Gracia, Sonora*. VIII Congreso Latinoamericano de Paleontología, XIII Congreso Mexicano de Paleontología. Programa y resúmenes, p. 37.
- Blaker M.R. & Peel, J.S. 1997. Lower Cambrian trilobites from North Greenland. *Meddelelser om Grønland, Geoscience* 35, 1–145.
- Bordonaro, O. & Fojo, C. 2011. *Bathyriscus mendozanus* (Rusconi, 1945), trilobites del Cámbrico medio de la Precordillera Argentina. *Revista Española de Paleontología*, 26(1):11-23.
- Brezinski, D.K. 1999. The rise and fall of late Paleozoic trilobites of the United States. *Journal of Paleontology*, 73:164–175.
- Brunner, P. 1984. Los conodontos de México. En: Perrilliat, M. (ed.) Memorias del Congreso Latinoamericano de Paleontología, Oaxtepec, Morelos, 84-91 p.
- Buitrón, B.E. 1992. *Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico Inferior de México y su contenido biótico*. Paleozoico Inferior de Ibero-América, Universidad de Extremadura, España. J.G. Gutiérrez Marco, J. Saavedra & I. Rábano (Eds.), pág. 193-201.
- Buitrón, B.E. 2010. *Paleontología general. Invertebrados*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 317 p.
- Buitrón, B.E., Almazán-Vázquez, E. & Mendoza-Madera, C. 2004. *Gogia spiralis* Robison, el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico Temprano) de México. IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Juriquilla, Qro. 31 de octubre 5 de noviembre.

- Buitrón, B.E., Vachard, D., Clausen S. & Gómez, E.C., 2011. *Moluscos del Cámbrico (Hyolithida, Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México*. Reunión Internacional de Malacología. Libro de resúmenes. 175 p.
- Cirett, G.J. & Aguilar, R.F. 1989. *Características geológicas de hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México*. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Geología, 63 p.
- Congreve, C.R. 2013. Cladal turnover: the end Ordovician as a large-scale analogue of species turnover. *Palaeontology*, 56:1285-1296.
- Cooper, G. A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, V., Stoyanow, A. & Lochman, C. 1952. Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119(1):184 p.
- Cuen, F. 2012. *Sobre la estratigrafía y paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora Central*. Tesis Profesional de Licenciatura, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, 65 p.
- Cuen, F. 2013. *Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas*. Tesis Profesional de Maestría en Ciencias- Geología. Universidad de Sonora. Departamento de Geología, 142 p.
- Cuen, F., Almazán-Vázquez, E., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., Grijalva, N.F., Monreal, S.R., Schwennicke, T. & Ochoa, G. 2009. Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico temprano y medio en la parte central del estado de Sonora, México. *GEOS. Unión Geofísica Mexicana*, 29(1):91.
- Cuen, R.F., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., De la O, V. M., Buitrón, S.B. & Sundberg, F., 2012. *La biota del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora: Consideraciones bioestratigráficas, sistemáticas y paleogeográficas*. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. XXXV Semana Cultural. Libro de Resúmenes.
- Cuen, F., Beresi, M., Montijo, A., Buitrón, B., Minjárez, I., de la O, M. & Palafox, 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, F., Valdez-Holguin, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, S.R., Sundberg F., Montijo, A. & Minjarez, 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*, EN PRENSA.
- Debrenne, F., Gandin, A. & Rowland, S. M. 1989. Lower Cambrian bioconstructions in northwestern Mexico (Sonora). Depositional setting, paleoecology and systematics of archaeocyaths. *Geobios*, 22(2):137-195.
- Fortey, R.A. & Owens, R.M. 1997. Evolutionary history. En: Kaesler, R.L. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*, O (Arthropoda 1, Trilobita, Revised). Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence, Kansas, p. 249–287.
- Gío-Argáez R. & Rodríguez-Arévalo, H. 2003. Panorama General de la Paleontología Mexicana. *Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México: Revista Ciencia Ergo Sum*, 10 (1):85-95.
- Gon, S.M. 2014. *A guide to the orders of trilobites*. (En línea) Disponible en [www.trilobites.info](http://www.trilobites.info)
- Hallam, A. 1973. *Atlas of Paleobiogeography*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 531 p.
- Harrington, H., G. Henningsmoen, B. Howell, V. Jaanus-son, C. Lochman-Balk, R. Moore, C. Poulsen, F. Raseti, E. Richter, R. Richter, H. Schmidt, K. Sdzuy, W. Struve, L. Stormer, C. Stubblefield, R. Tripp, J. Weller & H. Whittington. 1959. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part O Arthropoda*. Geological Society of America and University of Kansas. 560 p.
- Huerta–Ruiz, A. 2011. *Moluscos del Cámbrico (Hyolithida, Syssoiv, 1957) de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, paleoecológicas y paleogeográficas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis profesional de Ingeniero Geólogo.

- King, R. E. 1940. Pre-Tertiary history of the Sierra Madre Occidental of Sonora and Chihuahua and some adjacent parts of central Sonora, México. *Sexto Congreso Científico, Proceedings*, 1:217-222.
- Lieberman, B.S. & Karim, T.S. 2010. Tracing the trilobite tree from the root to the tips: A model marriage of fossils and phylogeny. *Arthropod Structure and Development*, 39:111-123.
- Lochman, C. 1948 New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology*, 22:451-464.
- Maytorena-Silva, J.F. & Esparza-Yañez, F.A. 1990. The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications. *Geological Society of America*, 22(3):65.
- McLaughlin, K.P. & Enbysk, B.B. 1950. Middle Cambrian trilobites from Pend Oreille County, Washington. *Journal of Paleontology*, 24(4): 466-471.
- McMenamin N.M. 1985. Basal Cambrian small shelly fossils from La Ciénega Fm. NW, Sonora. *Journal of Paleontology*, 59:1414-1425.
- McMenamin M.N. 1987. Lower Cambrian zonation and correlation of the Puerto Blanco Fm., Sonora. *Journal of Paleontology*, 4:738-749.
- Naimark, E.B. 2012. Hundred species of the Genus *Peronopsis* Hawle et Corda, 1847. *Paleontological Journal*, 46(9):945–1057.
- 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* 42:233 – 242.
- 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.

- Rasetti, F. 1966. Revision of the North American species of the Cambrian trilobite Genus *Pagetia*. *Journal of Paleontology*, 40(3):502-511.
- Riva, J.F. & Ketner, K.B. 1989. Ordovician graptolites from the northern Sierra de Cobachi, Sonora, Mexico. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 80:71-90.
- Rivera-Carranco, E. 1988a. Condiciones Paleoambientales de depósito de las Formaciones Cámbricas del área de Caborca, Sonora. *Boletín del Instituto de Geología*, 7(1):22-27.
- Rivera-Carranco, E. 1988b. Génesis de la Formación Proveedora (Cámbrico Inferior) del área de Caborca, Sonora, Noroccidental. *Boletín del Instituto de Geología*, 7(2):163-167.
- Robison, R. A. 1975. Species diversity among agnostoid trilobites. *Fossils and Strata*, 4:219-226.
- Sour, F. & Quiroz, S. 1998. La fauna del Paleozoico. *Ciencias* 52:40-45.
- Stewart, J. H., McMenamin, A.S. & Morales-Ramírez, J.M. 1984. *Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, México – Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleocurrent Studies and Regional relations*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1309:36.
- Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R. & Palmer, A.R. 2002. Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, México. Rodinian Super continent to Laurentian Cordilleran Margin. *Geological Society of America. Special Paper*, 36:9-15.
- Sundberg, F.A. 1999. Redescription of *Alokistocare subcoronatum* (Hall and Whitfield, 1877), the type species of *Alokistocare*, and the status of Alokistocaridae, Resser, 1938b (Ptychopariida: Trilobita, Middle Cambrian). *Journal of Paleontology*, 73:1126–1143.
- Sundberg, F.A. 2000. Homeotic evolution in Cambrian Trilobites. *Paleobiology*, 26(2):258-270.

- Sundberg, F.A. & McCollum, L.B. 1997. Oryctocephalids (Corynexochida: Trilobita) of the Lower-Middle Cambrian Boundary Interval from California and Nevada. *Journal of Paleontology*, 71(6):1065-1090.
- Sundberg, F.A. & McCollum, L.B. 2003. Early and Mid Cambrian trilobites from the outer-shelf deposits of Nevada and California, USA. *Palaeontology*, 46(5):945-986.
- Sundberg, F.A., Zhao, Y.L., Yuan, J.L. & Lin, J.P. 2011. Detailed trilobite biostratigraphy across the proposed GSSP for Stage 5 (“Middle Cambrian” boundary) at the Wuliu-Zengjiayan section, Guizhou, China. *Bulletin of Geosciences*, 86(3):423–464.