

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**BIOESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE  
SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA.  
CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.**



**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN CIENCIAS—GEOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO**



**HERMOSILLO, SONORA, NOVIEMBRE DEL 2013**

# 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

«To understand this early evolution and later evolutionary events, it is important to understand the phylogenetic relationships of Cambrian organisms. It was during the Cambrian that metazoans became abundant in number and diverse in form...»

Frederick A. Sundberg, 2007

Con todo mi cariño y mi amor para mis padres, quienes hicieron todo en la vida para que pudiera lograr mis sueños, por motivarme y por su determinación, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento: Jesús Cuen y Alba Romero. Gracias por todas las oportunidades que siempre me han brindado.

A mis hermanos Cinthia y Jesús, a Gerardo Sandoval, que nunca dudaron en ayudarme y apoyarme en todo momento. Gracias por su cariño, tiempo, consejos y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora y en especial al Departamento de Geología, por permitirme formar parte del Programa Maestría en Ciencias – Geología. Al Dr. Guadalupe Espinoza Maldonado por su impulso e interés a lo largo de mi formación profesional. Esta tesis fue llevada a cabo con el apoyo de los proyectos de CONACYT No. 165826 y UNAM-DGAPA PAPIIT No. 105012 “*Evolución de los Ecosistemas Paleozoicos de México*” y del proyecto interno “*Bioestratigrafía de localidades Cámbricas de Sonora*” de la Universidad de Sonora.

Agradezco infinitamente a mi directora de tesis, M.C. Alejandra Montijo González, por su esfuerzo y dedicación, quién con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito en esta nueva etapa. A mi co-directora, Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez por haber confiado en mi persona, por su paciencia e inagotable conocimiento paleontológico. Gracias por encender esa chispa que aún sigue cautivando a todos los paleontólogos. A mi asesor, M.C. Ismael Minjárez Sosa por su paciencia ante mi inconsistencia, sus comentarios en todo el proceso de elaboración de tesis y atinadas correcciones. Al Dr. Rogelio Monreal Saavedra por la atenta lectura y revisión del escrito, haciendo grandes aportaciones a su versión final.

I have no words to thank the eminent Ph.D. Fred Sundberg. Thank you for your help, patience and commitment; for all the wrong that you made right and because you made this dream come true. Thank you for being such a great Cambrian researcher and for sharing your knowledge. Now, you're part of my inspiration.

To my friend, Biol. Peter Scholten, thank you for being my teacher and for pushing me to be the best I can be. I won't forget your interesting conversations about echinoderms, mollusks and spiders.

Al Ing. Miguel Ángel Soto, Vicepresidente de Exploración de Timmins Gold Corp México S.A. de C.V. por su incansable impulso e interés a lo largo de mi formación profesional, gracias por apoyarme en todas mis metas. Agradezco las significativas facilidades proporcionadas para la realización del presente trabajo.

A los maestros Dr. Lucas Ochoa, M.C. Francisco Grijalva, M.C. Patricia Sámano, M.C. Margarita de la O, Dra. Diana Meza, Dr. Miguel Rangel, Dra. Silvia Martínez y M.C. Mariano Morales por su gran apoyo e impulso a lo largo de mi estancia en la Universidad.

Al M.C. Alfredo Ochoa, Griselda Minjárez y Grissita. Gracias por siempre estar ahí para ayudarme cuando más los necesito.

A mis grandes amigos que siempre estuvieron a un lado mío para ayudarme, escucharme, aconsejarme y en muchas ocasiones guiarme. Al Ing. Román Solís, Leonel Parra, Guadalupe Navarro e Ismael Minjárez Montijo quiénes sin dudarlo me apoyaron notablemente con la cartografía. A Ignacio Muñiz, Héctor Villa, Alejandra Urias, Elia Tapia, Carlos Cons, Enrique Carrillo, Adelaida y Esperancita. Gracias por su amistad.

## ÍNDICE

1. Resumen .....	X
2. Abstract .....	XIII
3. Introducción .....	16
4. Generalidades .....	17
4.1. Objetivos .....	17
4.2. Antecedentes y trabajos previos .....	18
4.3. Fisiografía .....	21
4.4. Hidrografía .....	22
4.5. Geomorfología.....	23
4.6. Clima.....	24
4.7. Edafología.....	24
4.8. Vegetación .....	25
4.9. Fauna.....	25
4.10. Localización del área de estudio .....	25
4.11. Vías de comunicación .....	26
5. Metodología .....	27
6. Marco Geológico regional.....	28
7. Estratigrafía regional del Cámbrico .....	34
7.1. Caborca .....	34
7.1.1. Formación Puerto Blanco .....	35
7.1.2. Formación Proveedora.....	38

7.1.3. Formación Buelna.....	39
7.1.4. Formación Cerro Prieto .....	41
7.1.5. Formación Arrojos .....	42
7.1.6. Formación El Tren .....	44
7.2. Mazatán .....	46
7.2.1. Formación Provedora.....	46
7.2.2. Rancho Sobechi .....	47
7.3. Arivechi .....	48
7.3.1. Formación La Sata .....	48
7.3.2. Formación El Mogallón.....	49
7.3.3. Formación La Huerta .....	51
7.3.4. Formación Milpillas.....	52
7.4. Cananea.....	53
7.4.1. Cuarcita Bolsa.....	54
7.4.2. Caliza Abrigo .....	55
7.5. Arizona, USA.....	56
7.5.1. Cuarcita Bolsa.....	57
7.5.2. Caliza Abrigo .....	59
7.6. Nevada y California, USA.....	61
7.6.1. Formación Zabriskie .....	61
7.6.2. Formación Carrara.....	62
8. Estratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia .....	68

8.1. Formación Proveedora .....	73
8.2. Formación Buelna.....	81
8.3. Formación Cerro Prieto .....	87
8.4. Formación El Gavilán (informal) .....	91
9. Bioestratigrafía.....	97
9.1. San José de Gracia.....	97
9.1.1. Formación Proveedora.....	97
9.1.2. Formación Buelna.....	97
9.1.3. Formación Cerro Prieto .....	99
9.1.4. Formación El Gavilán (Informal).....	100
10. Bioestratigrafía del Cámbrico de la región.....	105
10.1. Mazatán .....	105
10.1.1. Formación Proveedora.....	105
10.1.2. Rancho Sobechi .....	105
10.2. Arivechi .....	107
10.2.1. Formación La Sata .....	107
10.2.2. Formación El Mogallón .....	108
10.2.3. Formación La Huerta .....	111
10.2.4. Formación Milpillas.....	111
10.3. Cananea.....	113
10.3.1. Cuarcita Bolsa.....	113
10.3.2. Caliza Abrigo .....	114

11. Paleontología sistemática.....	116
12. Consideraciones Paleogeográficas.....	125
13. Consideraciones Paleoecológicas .....	129
14. Discusiones.....	132
15. Conclusiones.....	133
16. Bibliografía .....	135

## 1. RESUMEN

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior se encuentran escasamente representadas en México, localizándose la mayoría en los estados de Sonora, Chihuahua, Tamaulipas y Oaxaca (Buitrón, 1992; Cuen, 2012). De manera general, el Sistema Cámbrico se encuentra pobremente distribuido en Sonora, en afloramientos aislados y esporádicos, siendo éste y el Sistema Silúrico los menos conocidos desde el punto de vista estratigráfico.

Los afloramientos cámbricos aquí documentados han sido estudiados por diversos autores desde mediados de siglo pasado, y se encuentran ubicados principalmente en la parte noroeste y centro del estado; en las localidades de Caborca, San José de Gracia, Arivechi, Cananea y Mazatán.

Las rocas del área de Caborca, fueron divididas por Cooper *et al.* (1952), en seis formaciones litoestratigráficas: Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren.

Las rocas del área de San José de Gracia, han sido sugeridas como secciones de referencia para el Cámbrico de Caborca (Cuen, 2012) con las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos. En este trabajo se propone de manera informal la formación El Gavilán, en lugar de la Formación Arrojos para esta área, debido a que la litoestratigrafía del área de San José de Gracia es diferente. La Formación Proveedora consiste en cuarzoarenita de grano fino con alta bioturbación e icnofósiles. La Formación Buelna está compuesta por una secuencia de caliza y arenisca intercaladas, con abundante fauna del Cámbrico temprano (Serie 2, Piso 4) asignadas a la Zona de ?*Bristolia mohavensis* o ?*Bristolia insolens* (Webster, 2011). La Formación Cerro Prieto es una caliza oolítica fuertemente recristalizada, y finalmente la formación El Gavilán, consiste en una intercalación de caliza y lutita roja muy fracturada, con abundante fauna del Cámbrico

medio (Serie 3, Piso 5) asignada a la parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis* (McCollum & Sundberg, 2007; Sundberg, 2011), Zona de *Ptychagnostus praecurrens* (plataforma abierta).

En el presente trabajo se asigna edad a los principales afloramientos del Cámbrico de la región, acorde a la nueva división del Cámbrico propuesta por la International Commission on Stratigraphy (Webster, 2011; Peng *et al.*, 2012 *in* Gradstein *et al.*, 2012; ICS, 2013); también se elabora un análisis bioestratigráfico, en base a la bibliografía disponible, de las rocas del Cámbrico de Arivechi (Almazán – Vázquez, 1989), Mazatán (Vega, 1996) y Cananea (González – León, 1986). Para el área de Arivechi, el contenido faunístico de la Formación La Sata, miembro B, es asignado a la Zona de *Poliella denticulata* (Serie 3, Piso 5); para la Formación El Mogallón, miembro A, se considera la parte inferior de la Zona de *Ptychagnostus atavus* (Serie 3, Drumiano), el miembro C, posee fauna representativa de la Zona de *Bolaspidella*, Zona de *Ptychagnostus atavus* – plataforma abierta (Serie 3, Drumiano), el miembro D, puede ser asignado de manera imprecisa a cualquiera de las siguientes zonas ?*Goniagnostus narthorsti*, ?*Lejopyge armata*, ?*Lejopyge laevigata* (Serie 3?, Drumiano); la Formación La Huerta no proporcionó fósiles indicadores de edad y finalmente, la Formación Milpillas, corresponde a la Zona de *Elvinia* (Furongiano, Paibiano).

Las rocas del área de Mazatán y alrededores son asignadas a la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella* (Serie 3, Piso 5).

En el área de Cananea afloran rocas cámbricas correlacionales con la Formación Bolsa y Abrigo (González – León, 1986). Las rocas del miembro 2 de esta última, son asignadas a la Zona de *Cedaria* / *Cedarina dakotaensis* y el miembro 4 se considera pertenece a la Zona de *Crepicephalus* (Serie 3, Guzhangiano).

Los afloramientos del Cámbrico de Sonora corresponden a depósitos ocurridos en la parte occidental del cratón norteamericano durante el Cámbrico inferior y medio; durante este periodo Laurentia debió constituir masas terrestres cercanas al ecuador alineadas en dirección este – oeste, estas condiciones propiciaron una abundante fauna de invertebrados marinos.

## 2. ABSTRACT

Lower Paleozoic sedimentary rocks are poorly represented in México. The majority of them are located in the states of Sonora, Chihuahua, Tamaulipas and Oaxaca (Buitrón, 1992; Cuen, 2012). The Cambrian System in Sonora is poorly distributed, showing isolated and sporadic outcrops; as a consequence, the Cambrian and Silurian systems are the lesser known from the stratigraphic viewpoint.

The Cambrian outcrops here documented have been studied since the middle of last century by several authors; these outcrops are mainly located in the northwest and central portion of the state, near of the towns of Caborca, San José de Gracia, Arivechi, Cananea and Mazatán.

The rocks of Caborca area were divided by Cooper *et al.* (1952) in six lithostratigraphic formations: Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos and El Tren.

The rocks of San José de Gracia region were suggested as reference sections for the Cambrian of Caborca (Cuen, 2012) with Proveedora, Buelna, Cerro Prieto and Arrojos Formation. In this paper the formation El Gavilán is proposed no formally, replacing the Arrojos Formation for this area, because the lithostratigraphy of San José de Gracia area is different.

The Proveedora Formation is composed by quartzarenite of fine grained with bioturbation and icnofossils. The Buelna Formation consists of interbedded limestone and sandstone, with abundant fauna of Early Cambrian (Series 2, Stage 4) assigned to the ?*Bristolia mohavensis* or ?*Bristolia insolens* Zone (Webster, 2011).

The Cerro Prieto Formation is an oolitic limestone strongly recrystallized. Finally, El Gavilán formation, consists in interbedded limestone and intensively fractured red

shale, with abundant fauna of middle Cambrian (Series 3, Stage 5) assigned to the upper part of the *Mexicella mexicana* Zone, *Albertella highlandensis* Subzone (McCollum & Sundberg, 2007; Sundberg, 2011). *Ptychagnostus praecurrens* Zone (open shelf).

In this study an age is assigned to the main Cambrian outcrops of the region, according to the new division for the Cambrian and proposed by International Commission on Stratigraphy (Webster, 2011; Peng *et al.*, 2012 in Gradstein *et al.*, 2012; ICS, 2013). A biostratigraphic analysis is elaborated, based in the available bibliography for the Cambrian rocks in the areas of Arivechi (Almazán – Vázquez, 1989), Mazatán (Vega, 1996) and Cananea (González – León, 1986). For the Arivechi region, the faunistic content in La Sata Formation, member B, is assigned to the *Poliella denticulata* Zone (Series 3, Stage 5); El Mogallón Formation, member A, is considered the lower part of the *Ptychagnostus atavus* Zone (Series 3, Drumian); member C, has representative fauna of *Bolaspidella* Zone, *Ptychagnostus atavus* Zone, open shelf (Series 3, Drumian). Member D, can be imprecisely assigned to the next zones ?*Goniagnostus narthorsti*, ?*Lejopyge armata*, ?*Lejopyge laevigata* (Series 3, Drumian); La Huerta Formation didn't provide index fossils, and finally, the Milpillas Formation, belongs to *Elvinia* Zone (Furongian, Paibian).

The rocks near of Mazatán are assigned to the *Altiocculus* Subzone, upper part of *Ehmaniella* Zone (Series 3, Stage 5).

The rocks of Cananea area can be correlated with the Bolsa and Abrigo formations (González – León, 1986); member 2 of the Abrigo Formation is assigned to the *Cedarial Cedarina dakotaensis* Zone, while member 4 belongs to the *Crepicephalus* Zone (Series 3, Guzhangian).

The Cambrian rocks of Sonora where deposited in the occidental part of the north american craton, during the lower and middle Cambrian; in this period Laurentia

constituted terrestrial masses near to the equator, aligned in east–west direction, those conditions favor an abundant invertebrate marine fauna.

### 3. INTRODUCCIÓN

La presencia de rocas cámbricas en el estado de Sonora, México, es conocida desde mediados de siglo pasado (Lochman, 1948; Álvarez, 1949; Cooper *et al.*, 1952; 1956), y éstas han sido objeto de numerosos estudios estratigráficos, paleontológicos y en menor proporción sedimentológicos. Las rocas cámbricas son diversas en composición y secuencia, se encuentran en diferentes localidades, siendo generalmente afloramientos esporádicos y aislados, pero con fauna en buen estado de conservación.

Los estudios realizados en el área de Caborca (Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952; 1956) han tenido relevancia fundamental para la estratigrafía del país, debido a que los afloramientos localizados en esta región, son los descubridores del Cámbrico en México (Álvarez, 1949).

Tradicionalmente se han distinguido seis unidades litoestratigráficas del Cámbrico en el área de Caborca, Sonora, ordenadas de la base a la cima, Formación Puerto Blanco, Formación Provedora, Formación Buelna, Formación Cerro Prieto, Formación Arrojitos y Formación El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956) las cuales constituyen la parte basal del Paleozoico en la región.

El Cámbrico de San José de Gracia, Sonora central, ha sido estudiado por diversos autores (Almazán, 2002; Stewart *et al.*, 2002; Cuen *et al.*, 2009; Nardin *et al.*, 2009; Buitrón *et al.*, 2011; Huerta–Ruiz, 2011; Cuen, 2012; Cuen *et al.*, 2012), principalmente enfocados a su contenido fosilífero. Nardin *et al.*, 2009, dividieron informalmente la secuencia sedimentaria en siete miembros (A–G) en base a marcadas diferencias litológicas.

Cuen (2012) en un intento por la unificación del léxico estratigráfico y uniformidad de la nomenclatura cámbrica, establece estas rocas como secciones de referencia a las formaciones cámbricas del área de Caborca, reconociendo la Formación

Provedora, Formación Buelna, Formación Cerro Prieto y Formación Arrojos; sin embargo, debido a que la litología de la secuencia estratigráfica que correspondería cronoestratigráficamente con la Formación Arrojos es diferente en esta área, se sugiere la introducción de una nueva unidad, formación El Gavilán, la cual sustituye la Formación Arrojos en esta área.

Las rocas cámbricas del área de Arivechi fueron estudiadas a finales de la década de los ochenta por [Almazán-Vázquez \(1989\)](#) proponiendo la existencia de cuatro unidades litoestratigráficas, identificadas como Formación La Sata, Formación El Mogallón, Formación La Huerta y Formación Milpillás. La información bioestratigráfica de estas unidades no es precisa, sugiriendo en este trabajo algunas zonaciones basadas en trilobites.

Dos aspectos fundamentales son la motivación del presente trabajo: a) Los contrastes litológicos entre las secuencias cámbricas en el estado, así como el estudio más detallado de estas, han requerido la utilización de nomenclatura nueva, incluyendo la modificación en el uso de nombres formales propuestos con anterioridad. b) Una nueva propuesta en la distribución y calibrado de la escala de tiempo geológico para el Cámbrico ([Peng \*et al.\*, 2012](#) *in* [Gradstein \*et al.\*, 2012](#); [ICS, 2013](#)) hace que se requiera un reajuste y actualización de la información existente de estudios bioestratigráficos.

#### **4. GENERALIDADES**

##### **4.1. OBJETIVOS**

Los objetivos de esta tesis son:

- Describir y analizar la bioestratigrafía del Cámbrico (basada en trilobites) de San José de Gracia.

- Describir las relaciones estratigráficas existentes entre las rocas cámbricas de San José de Gracia, Caborca, Mazatán, Cananea y Arivechi. Lo anterior conlleva la discusión bibliográfica de las zonaciones propuestas por otros autores en estas localidades.
- Realizar un reajuste bioestratigráfico, así como la proposición de nuevas biozonas, en los afloramientos de Arivechi, Mazatán y Cananea, según los cambios en la escala de tiempo geológico para el Cámbrico.
- Establecer nuevas zonaciones bioestratigráficas (basadas en trilobites) para las localidades de Arivechi, Mazatán y Cananea.
- Entender de manera general el contexto paleogeográfico de Sonora durante el Cámbrico.

#### 4.2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

Desde mediados de siglo pasado, los sedimentos del Paleozoico inferior en México han sido ampliamente estudiados, sin embargo, existe dentro de la literatura geológica escasa referencia al Sistema Cámbrico, por sus esporádicos y aislados afloramientos, localizados principalmente en la parte norte y sur del país, en los estados de Sonora y Oaxaca.

En el estado de Oaxaca se tiene referencia al Sistema Cámbrico en el área de Nochixtlán, sureste de la región mixteca, donde afloran rocas sedimentarias del Cámbrico superior y Ordovícico Inferior (Tremadociano), asignadas a la Formación Tiñú. La Formación Tiñú tiene su localidad tipo 09 km al sureste de Nochixtlán (Robison & Pantoja–Alor, 1968) constituida por lutita, pedernal, arenisca y conglomerado fino. La fauna fósil documentada para el Cámbrico consiste principalmente de trilobites, mencionándose la presencia de *Koldinioidea* sp. (= *Eoshumardia* Hupé, 1953), *Richardsonella* sp., y *Saukia* sp. (Pantoja–Alor & Robison, 1967).

Las rocas cámbricas del noroeste de Sonora, son las rocas descubridoras del Cámbrico en México, las cuales fueron relativamente bien identificadas desde 1941, en los municipios de Altar, Magdalena y Arizpe, asignadas entonces a las formaciones caborca, arrosos y cananea, por los geólogos Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal (Lochman, 1948; Álvarez, 1949; Cooper *et al.*, 1956; McMenamin, 1987).

Los geólogos G. Arthur Cooper y Alberto R. Arellano, colectaron en 1946 fósiles de *Olenellus* sp., y *Girvanella* en la cima de Cerro Prieto al sur de Caborca (Álvarez, 1949). En ese mismo año empieza a incrementarse el interés por las rocas cámbricas del estado, como lo demuestran las primeras publicaciones realizadas por Cooper & Arellano (1946) quienes realizan los primeros estudios formales del área de Caborca.

Lochman (1948), describe siete géneros y siete especies nuevas del Cámbrico temprano y medio tradicional del área de Caborca, identificadas como *Sombrerella mexicana*, *Mexicaspis stenopyge*, *Mexicella mexicana*, *Provedoria starquistae*, *Arellanella caborcana*, *Caborcella arrososensis* y *Kistocare corbini*. Actualmente, *M. mexicana* representa una zona faunística del Cámbrico medio en norteamérica (McCollum & Sundberg, 2007; Webster, 2011).

En 1952, en un estudio detallado de la estratigrafía de las rocas cámbricas de Caborca, dirigido por Arthur G. Cooper, se establecen las siguientes unidades para el Cámbrico inferior, Formación Puerto Blanco, Formación Proveedora, Formación Buena y Formación Cerro Prieto, ésta última de edad incierta; para el Cámbrico medio se considera la Formación Arrosos y la Formación El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956).

González-León (1986) describe en el área de la sierra del Tule, municipio de Cananea, Sonora, una secuencia de rocas sedimentarias del Cámbrico medio y superior (Dresbachiano); constituida principalmente por arenisca, caliza y capas de lodolita, limolita y arenisca de grano muy fino.

A través de los trabajos de Rivera–Carranco (1988a; 1988b) realizados en el área de Caborca, se tiene conocimiento más claro de los ambientes de depósito de las rocas cámbricas ahí existentes; la mayor parte de estas rocas representan medios de aguas someras, tranquilas y en ocasiones de carácter lagunar, además de existir depósitos de intermarea y submarea.

En el área de Arivechi, este de Sonora, aflora un paquete sedimentario del Cámbrico medio y superior, constituido por lutita, arenisca, caliza oolítica y caliza oncolítica, distribuido entre las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas (Almazán–Vázquez, 1989).

Stewart *et al.* (1984), realizaron un estudio estratigráfico de las rocas sedimentarias del Proterozoico superior y Cámbrico en el área de Caborca, identificando catorce formaciones, y considerando estas como parte del miogeoclinal cordillerano en el noroeste de México. En este mismo estudio realizan una reevaluación de la fauna fósil identificada por autores anteriores (Stewart *op cit.*).

Cirett & Aguilar (1989), son los descubridores del Cámbrico del área de San José de Gracia, quienes estudian la estratigrafía de las rocas de la región, identificando para el Cámbrico las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto, estas unidades las incluyen dentro del Grupo San José.

Bartolini *et al.* (2001), realizaron un estudio estratigráfico y geocronológico (K–Ar) en rocas del terciario en San José de Gracia, donde también afloran rocas cámbricas, definiendo conglomerados terciarios y rocas volcánicas como un conjunto de mesas orientadas norte – sur y bloques inclinados; estas secuencias volcanoclásticas sobreyacen discordantemente a las secuencias paleozoicas.

Stewart *et al.* (2002), en un estudio de la estratigrafía de las secuencias neoproterozoicas y cámbricas las divide en cuatro principales asociaciones: 1) La secuencia neoproterozoica, ubicada al noreste de Hermosillo, por rocas que conforman a los grupos Las Víboras y El Águila, que se consideran parte del supercontinente Rodinia. 2) La secuencia que constituye el Grupo Las Bolas, ubicado al oeste de Sahuaripa, que contiene depósitos glaciales en la parte superior de la secuencia. 3) Hacia la porción norte – noreste, estratos neoproterozoicos y cámbricos del miogeoclinal cordillerano, que fueron depositados a lo largo del margen continental de Laurentia, cuyo depósito se inició después de la fragmentación del supercontinente Rodinia. 4) Hacia el sureste, la cubierta cratonal del Cámbrico medio y superior dentro del miogeoclinal cordillerano.

#### 4.3. FISIOGRAFÍA

Según la clasificación de CONABIO (1990), el área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses, 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 1). De las anteriores, la más extensa es Llanuras Sonorenses, que se prolonga 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. 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.

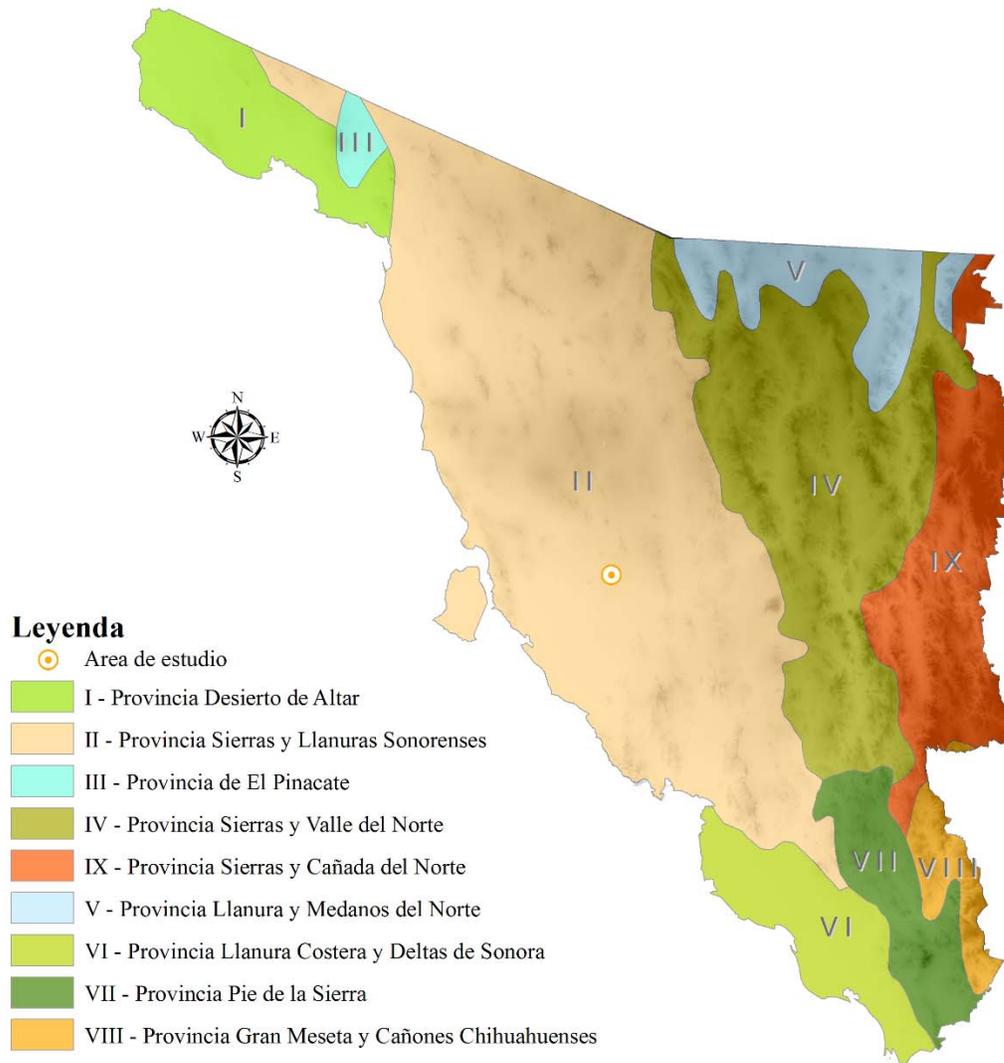


Figura 1 – Provincias fisiográficas del estado de Sonora, según la clasificación de CONABIO (1990).

#### 4.4. HIDROGRAFÍA

El drenaje desarrollado en el área pertenece a la cuenca del río Sonora, el cual nace en Arizpe, producto de la confluencia del río Bacamuchi y el río Bacoachi, desembocando en Bahía de Kino. Durante su curso atraviesa las poblaciones de Bacoachi, Aconchi, Huepac, Baviacora, Ures, Banámichi y Hermosillo.

El río Sonora posee una longitud de 420 km y se considera que la superficie de su cuenca es de 28,950 km<sup>2</sup>, presentando un patrón dendrítico exorreico y se manifiesta

controlado estructuralmente. Presenta corrientes intermitentes, así como un manantial de tipo perenne (INEGI, 1985).

En el área de estudio, el arroyo principal es el de San José de Gracia, el cual se convierte en tributario del río Sonora, es de tipo intermitente, encontrándose seco la mayor parte del año.

#### 4.5. GEOMORFOLOGÍA

Desde el punto de vista geomorfológico, dentro del área de estudio existe un conjunto de altos topográficos, referidos como cerros, los cuales se encuentran orientados y dispuestos sobre una franja norte – sur. La parte más baja del valle corresponde a 300 msnm y la parte más alta, corresponde a la cima de la loma El Chihuarruita, 470 msnm.

En el área de estudio afloran ocho unidades geomorfológicas principales, entre las que destacan:

Lomerío estable de origen denudativo: comprende lomeríos de pendiente estable, formado por conglomerado polimíctico del Cuaternario, Pleistoceno.

Lomerío estable de origen kárstico denudativo: compuesto por lomerío de pendiente estable, formado por caliza y arenisca del Paleozoico inferior.

Piedemonte estable de origen denudativo: piedemonte de pendiente estable, formado por gravas, arenas, limos y arcillas del Cuaternario, Pleistoceno.

Lomerío estable de origen volcánico denudativo: se observan principalmente hacia el norte del área de estudio, está compuesto por lomerío de pendiente estable, formado por rocas volcánicas ácidas a intermedias del Terciario inferior.

Planicie con patrón divergente superior de origen fluvial: planicie aluvial divergente superior, formada por gravas, arenas, limos y arcillas del Cuaternario – Holoceno.

Zona cultivada de origen antropogénico: planicie con actividad antrópica, formada por gravas, arenas, limos y arcillas del Cuaternario – Holoceno.

Finalmente se puede decir que es un área en estado de juventud, puesto que son pendientes abruptas y escarpes repentinos.

#### 4.6. CLIMA

El clima se caracteriza por ser de tipo seco, semiseco y muy seco, esto en base a la clasificación INEGI (2011). La temperatura media anual es de alrededor de 22°C, la temperatura máxima promedio es de 38°C y se presenta en los meses de junio y julio; la temperatura mínima promedio es de 5°C y se presenta en el mes de enero.

Para esta área las precipitaciones pluviales son del orden de 200 mm, los tipos de lluvias que se presentan, por lo general, son lluvias torrenciales de verano y en el invierno las equipatas, las cuales son muy esporádicas.

#### 4.7. EDAFOLOGÍA

El área de estudio, según la información obtenida de la carta edafológica de INEGI (2011), está conformada por un 30% de material clasificado como litosol, el cual corresponde a suelos someros, menores a 10 cm de profundidad, constituidos por materiales finos, gravas y fragmentos de rocas de diferente composición. Un 50% de regosol, el cual es un suelo con poco desarrollo que se tiene sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina; aparece en cualquier zona climática sin permafrost y a cualquier altitud, pero son más comunes en zonas áridas, en los trópicos secos y en las regiones montañosas. También se tiene un 10% de rendzina, que es un tipo

de suelo oscuro rico en humus, el cual se forma principalmente sobre una roca madre carbonatada. El uso principal del suelo es para agricultura de riego.

#### 4.8. VEGETACIÓN

Según la carta de usos del suelo y vegetación, INEGI (2011), el área está caracterizada por la presencia de matorral espinoso, *Prosopis velutina* – mezquite, *Parkinsonia microphylla* – palo verde, *P. aculeata* – bagote, *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* – uña de gato, *Fouquieria splendens* – ocotillo, pero principalmente la abundancia de una variedad de arbustos, la mayoría espinosos, y cactáceas, entre las que se menciona *Cylindropuntia thurberi* – siviri, y *Opuntia* spp. – nopales.

#### 4.9. FAUNA

En la región habita gran variedad de especies de animales, entre las que se menciona *Canis latrans* – coyote, *Vulpus cinereo-argentatus* – zorra, *Caracus virginianus* – venado cola blanca, *Procyon lotor* y *Nasua narica* – tejón, *Mephitis macrura* – zorrillo, *Lepus sylvaticus* – conejo, *Spermophilus variegatus* – ardilla de tierra, *Sciurus variegatus* – ardilla de árbol, así como víbora de cascabel *Crotalus viridis* y *C. tigris*; también es posible encontrar representantes de *Felix concolor* – puma, *F. onca* – onza real, y *Felixna* sp. – tigrillo.

#### 4.10. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

San José de Gracia se ubica en la parte central del estado de Sonora, México; en las coordenadas geográficas 29°17'19" N y 110°36'44" W (Figura 2). El área de interés aflora en la carta topográfica H12–D32, escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2001); y en la carta Geológico – Minera H12–D32, escala 1:50,000 del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2002).

La loma El Chihuarruita, correspondiente a los afloramientos cámbricos, se encuentra localizada a 2 km al sureste del poblado de San José de Gracia, en las coordenadas geográficas 29°17'06"N y 110°35'05"W (Figura 3).



Figura 2 – Localización del área de estudio.

#### 4.11. VÍAS DE COMUNICACIÓN

El acceso principal es por la carretera Federal No. 15 y la carretera Federal No. 21, en el tramo Hermosillo–Ures. La distancia aproximada a la capital del estado, Hermosillo, es de 36 kilómetros.

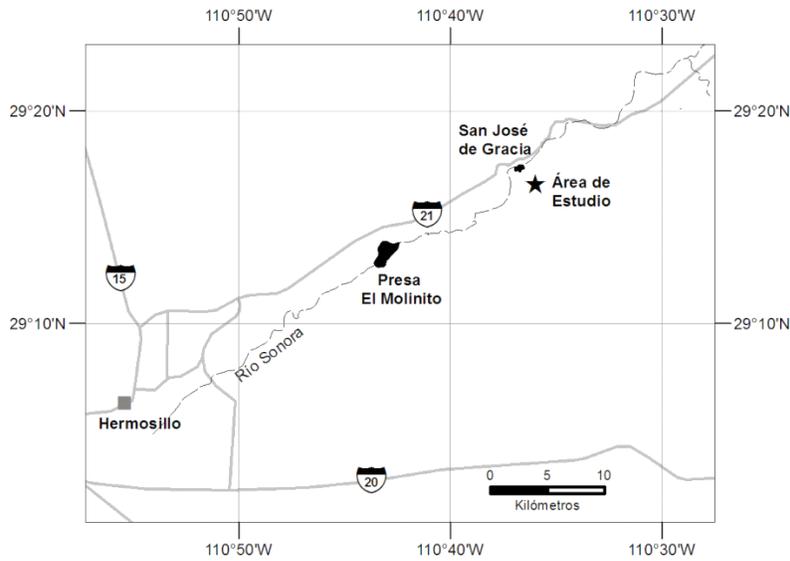


Figura 3 – Mapa de carreteras y localización del área de estudio.

## 5. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo se llevaron a cabo diferentes etapas, las cuales se describen a continuación:

**Recopilación bibliográfica:** Ésta etapa consistió en la recopilación de información bibliográfica e investigaciones existentes, las cuales fueron llevadas a cabo previamente en el área de estudio por diversos investigadores e instituciones. Estos trabajos fueron resumidos y examinados para identificar las principales áreas de interés a tratar, sobre todo con fines estratigráficos y paleontológicos. Durante esta etapa también se elaboraron diferentes fichas bibliográficas que permitieran ordenar el conjunto de datos.

**Visitas al área de estudio:** Se hicieron visitas al área de estudio, San José de Gracia, primero con fines logísticos para determinar los accesos, mejores afloramientos y secuencias más completas; lo anterior con el fin de elaborar secciones estratigráficas continuas y que no estuvieran afectadas por eventos tectónicos – estructurales, dificultando de esta manera el análisis estratigráfico o bien invalidarán la secuencia estratigráfica. Posteriormente se visitó el área de estudio de nuevo para la elaboración de

secciones, recolección sistemática de muestras de roca y material paleontológico. También se hicieron visitas a Groom Range, Área 51, Tonopah y Split Mountain (Nevada); Horse Thief Canyon y Death Valley (California), para de esta manera entender de una mejor manera las facies de estas secciones, las cuales son correlacionables en algunos niveles con las de San José de Gracia. También se recolectaron muestras paleontológicas en estas áreas.

Se hizo el análisis petrográfico de láminas delgadas, procesadas a partir del muestreo en las diferentes unidades de roca, esto con el fin de: a) determinar el tipo de roca, b) búsqueda de taxones que no son visibles a simple vista, c) determinar el ambiente de depósito tomando en cuenta minerales o restos orgánicos.

**Análisis paleontológico:** Diverso material paleontológico recolectado en este estudio fue procesado y analizado para determinar especies, principalmente trilobites, de esta manera se podría realizar una correlación bioestratigráfica más precisa, obtener edades relativas y ambiente de depósito. El material paleontológico fue curado utilizando agujas y pegamento en base a resina. También se blanqueó con cloruro de amonio y fue fotografiado bajo el microscopio leica petrológico y petrográfico.

**Integración de datos:** Se realizó la integración, análisis y procesamiento de los datos obtenidos anteriormente, de esta manera se puede realizar una interpretación, obtener conclusiones y resultados.

## 6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las rocas que afloran en el área de estudio comprenden unidades litológicas del Paleozoico al Reciente. A continuación se hace una breve descripción de ellas, en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente, cuya distribución se observa en la Figura 4 y la Tabla 1.

**Unidad caliza, dolomía y arenisca (€iPcpCz, Do, Ar).** Formaciones Provedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren. Esta unidad engloba rocas del Paleozoico (Cámbrico inferior – Pérmico), compuestas principalmente de caliza, dolomía y arenisca. Estas rocas se depositaron en un mar somero, cálido, generalmente tranquilo, posiblemente de plataforma o banco calcáreos. Las rocas que constituyen esta unidad fueron definidas por Cooper & Arellano (1946; 1956). En el área de estudio se observan afloramientos al norte, sur, oeste y suroeste.

**Unidad de andesita y toba andesítica (KsTpaA-TA) y la unidad de riolitas y tobas riolíticas (KsTpaR-TR).** Formación Tarahumara. Esta unidad consiste de toba y derrames de composición andesítica y toba riolítica con niveles sedimentarios intercalados (KsTpaA-TA, KsTpaA-Ar, KsTpaA-Tq, Ks Tpa Cgp-Ar, KsTpaR-TR) de la Formación Tarahumara con edades entre 70 y 90 Ma del Cretácico Superior – Paleoceno (McDowell *et al.*, 1994). En estas rocas también se incluyen otras unidades formales e informales como la Formación El Chanate, la formación Mesa, y la formación El Tuli. Se observan afloramientos de estas unidades en el centro y noroeste del área de estudio.

**Unidad ignimbrita – toba riolítica (ToIg-TR).** Grupo Yécora (informal). Esta unidad pertenece al grupo Yécora (informal) propuesto por Grijalva-Noriega & Roldán-Quintana (1998) para agrupar a todas las rocas volcánicas y piroclásticas de composición ácida con basaltos que afloran principalmente en la porción superior de la Sierra Madre Occidental en Sonora. Está constituida por ignimbritas, tobas, brechas riolíticas, riolitas, aglomerados, riolacitas y dacita, con edades de:  $24 \pm 0.4$ ,  $27.1 \pm 0.9$ ,  $31.2 \pm 0.7$ , a  $39.2$  Ma. Damon *et al.* (1983), McDowell (1997), Kunk (1994), que la ubica en el Oligoceno. Esta unidad aflora en la porción sur y norte del área de estudio.

**Unidad andesita (ToA).** Consiste de andesitas con espesor aproximado de 200 m que afloran hacia la parte suroeste de la carta. Su contacto inferior es discordante con las

unidades JimR –Ar–A y KsTpaAr–Lu–CZ, el contacto superior también es discordante con las unidades Qhoal y Qptcgp. Se le asigna una edad tentativa con base en sus relaciones estratigráficas del Oligoceno (carta geológica H12-5, SGM 1999). Se observa un pequeño afloramiento en el noroeste del área.

**Unidad basalto-andesita (TmB–A).** Grupo Yécora (informal). Esta unidad corresponde a flujos de basalto intercalados con aglomerados basálticos sobre los que descansa el conglomerado Báucarit. Esta unidad fue denominada “basaltos antiguos” por Johnpeer (1977). Las edades radiométricas de K/Ar realizadas en esta unidad van de 30.4 a 25.3 Ma. Esta unidad aflora en la parte central, norte y noreste del área de estudio.

**Unidad conglomerado polimíctico-arenisca (TmCgp–Ar).** Formación Báucarit. 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± 0.4 Ma lo cual sitúa a esta unidad en el Mioceno. Esta unidad aflora en la parte noroeste del área.

**Unidad Toba riolítica, dacita, andesita (TmTR, Da, A).** Formación Lista Blanca, Grupo Yécora (informal). Esta unidad corresponde a la parte superior del grupo Yécora (informal). Consiste de una secuencia de toba riolítica, riolita, ignmbrita, andesita, dacita, aglomerado andesítico, ocasionales capas de basalto, traquita y algunos domos andesíticos y riolíticos, brecha lahárica y presenta horizontes zeolitizados y perlíticos, con espesores variables de 100 a 500 m. Se tienen edades de radiométricas de K/Ar 10.4±0.2 Ma (Bartolini *et al.*, 1991), de 10.3±0.3 a 23.5±0.8 Ma (Cochemé, 1985; Montigni, 1987; Demant, 1991; Kunk, 1994; Mora, 1993; Gans, 1997; Gastil & Krummenacher, 1977). Esta unidad aflora en la parte oeste, noroeste y sureste del área de estudio.

**Conglomerado polimíctico (QptCgp).** Grupo Sonora (informal). Consiste de conglomerado polimíctico semiconsolidado y consolidado, con fragmentos de rocas

riolíticas, andesíticas, graníticas, metamórficas y calcáreas contenidos en una matriz arenosa, formando depósitos de talud y terrazas con espesores variables de 20 a 50 m. Descansan discordantemente sobre todas las unidades y solo está cubierta por depósitos sin consolidar aluviales, lacustres y eólicos. Por su posición se le ubica en el Pleistoceno. 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, Demant, Cochemé, Dostal & Montigny, 2003). La unidad se depositó en cuencas someras formando abanicos aluviales. Se presenta principalmente en los amplios valles y bordes de elementos orográficos.

**Unidad aluvi3n (Qhoal).** Esta unidad est3 compuesta por sedimentos no consolidados, principalmente gravas, arenas, limos y arcillas con espesores variables de m3s de 50m. Aflora en los valles y en los arroyos del 3rea de estudio. Cubre a todas las unidades desde las prec3mbricas hasta las pleistoc3nicas. El ambiente de dep3sito son lechos de arroyos, r3os y planicies.

#### **Rocas intrusivas:**

**Unidad granito-granodiorita (KsTpaGr-Gd), TpaPqMz-PMz P3rfido cuarzomonzonitico – P3rfido Monzon3tico.** Batolito Laramide (informal), suite intrusiva El Jaralito (informal). Esta unidad forma parte del batolito Laramide que aflora ampliamente en el noroeste de M3xico y fue ampliamente estudiado por Damon *et al.*, (1983). Posteriormente fue informalmente propuesto el nombre de suite intrusiva El Jaralito por Grijalva-Noriega & Rold3n-Quintana (1998), esta unidad litod3mica trata de agrupar aquellos afloramientos de rocas intrusivas de composici3n principalmente 3cida a intermedia, cuyas edades var3an desde el Cret3cico Temprano al Eoceno, los cuales son muy abundantes a lo largo de toda la geograf3a del estado de Sonora. En el 3rea de estudio solo se observan afloramientos en el sur, centro y noroeste.

BIOESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA.  
CONSIDERACIONES PALEO GEOGRÁFICAS.

Clave	Litología	Grupo/Formación	Edad
€iPcpCz,Do,Ar.	Caliza, Dolomía y Arenisca.	Fm. Puerto Blanco, Provedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos, El Tren.	Cámbrico temprano– Pérmico
KsTpaA-TA	Andesita – Toba andesítica	Formación Tarahumara	Cretácico Tardío– Paleoceno
KsTpaR-TR.	Riolita- Toba Riolítica	Formación Tarahumara	
ToIlg-TR.	Ignimbrita-Toba Riolítica	Grupo Yécora	Oligoceno
ToA	Andesita	Grupo Yécora	Oligoceno
TmB-A	Basalto-Andesita	Grupo Yécora	Mioceno
TmCgp-Ar.	Conglomerado Polimíctico - Arenisca	Formación Báucarit	Mioceno
TmTR, Da, A	Toba riolítica, Dacita, Andesita.	Formación Lista Blanca	Mioceno
QptCgp.	Conglomerado Polimíctico.	Grupo Sonora	Pleistoceno
Qhoal	Gravas, arenas, limos y arcillas	Aluvión.	Holoceno

Tabla 1 – Principales unidades geológicas del área de estudio.

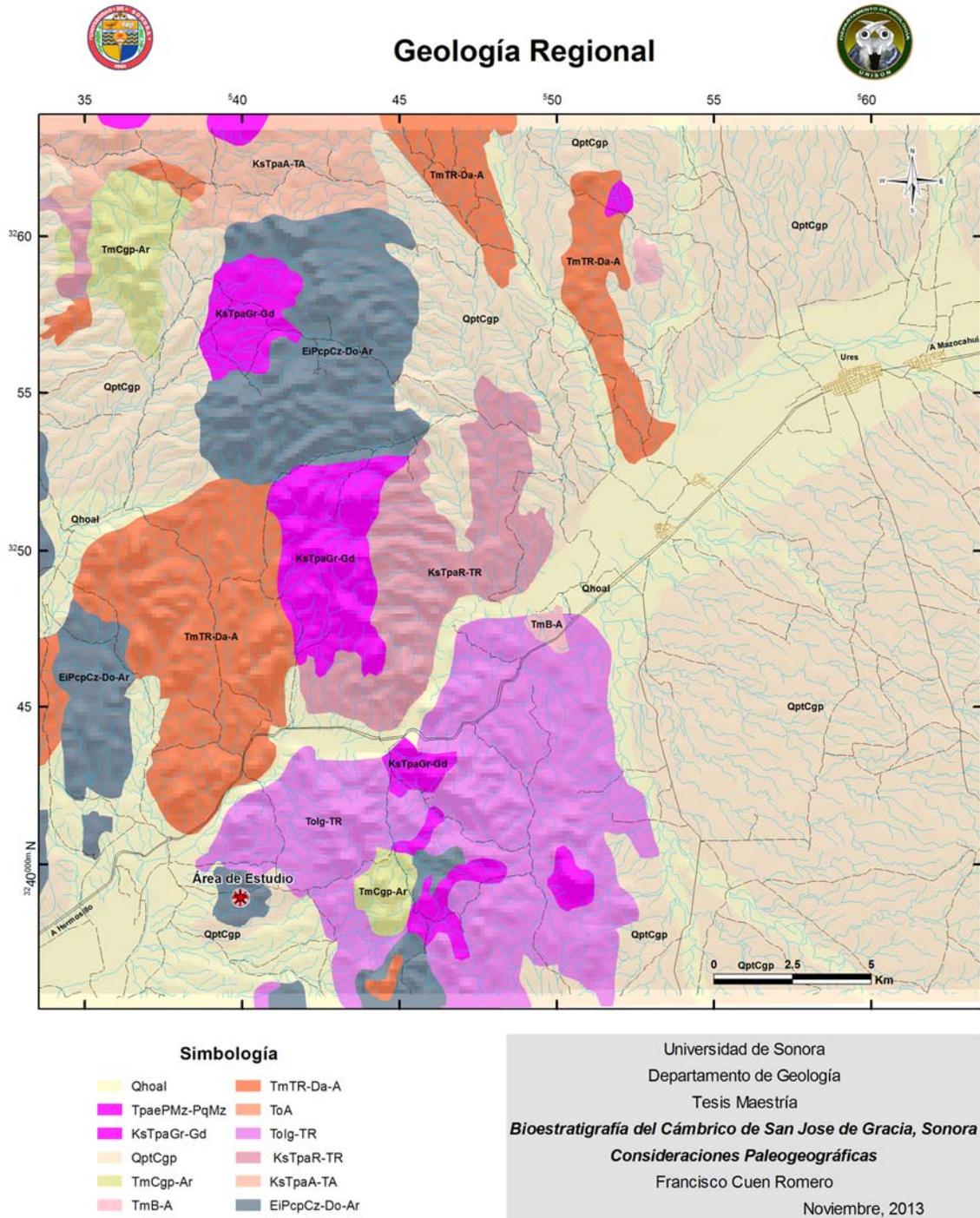


Figura 4 – Mapa Geológico regional. Modificado de SGM (2002)

## 7. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL DEL CÁMBRICO

### 7.1. CABORCA

Los primeros estudios del Cámbrico en Sonora, se llevaron a cabo en las rocas del área de Caborca, ya que estas son las descubridoras del Cámbrico en México, por los geólogos Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal en 1941. El material paleontológico colectado por los anteriores fue enviado al Dr. Alexander Stoyanow de la Universidad de Arizona, quién lo identificó como correspondiente al Cámbrico medio. En 1942, Stoyanow, en una reconstrucción paleogeográfica del Paleozoico de Arizona, publica el primer trabajo formal del área, considerando la fauna del Cámbrico medio de Sonora (Stoyanow, 1942; Cooper & Arellano, 1946).

Cooper & Arellano (1946), realizan el estudio de la estratigrafía de las rocas cámbricas del área de Caborca, pero sin referirse aún a ninguna unidad litológica formal, mencionando además faunas que no serían retomadas en trabajos posteriores como sucede con *Clavaspidella* sp.; posteriormente Lochman (1948) describe siete especies nuevas de la misma área. En un estudio multidisciplinario llevado a cabo por Cooper *et al.* (1952), se designan las formaciones: Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren, para las cuales también es descrita su fauna fósil a detalle. En 1956, se publica la versión en español de esta edición a cargo del Instituto de Geología de la UNAM (Cooper *et al.*, 1956).

Arellano (1956), realiza un estudio enfocado principalmente a las relaciones estructurales del Cámbrico de Caborca con las formaciones subyacentes, tomando en especial consideración la presencia del alga *Collenia*, la cual no puede ser utilizada como fósil índice (Cuen & Radelli, 2007). Lochman (1956), realiza una correlación entre las rocas cámbricas de Sonora y las rocas cámbricas de Arizona y Nuevo México.

### 7.1.1. FORMACIÓN PUERTO BLANCO

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Originalmente fue propuesta por Cooper *et al.* (1952), en los cerros La Proveedora, área de Caborca, donde tiene su localidad tipo (Rivera–Carranco, 1988a). El contacto basal no aflora en la localidad tipo, sin embargo, en los cerros Calaveras y de la Ciénega, aproximadamente a 50 y 60 km al sur de Caborca, fue definida la base de esta formación en la cima de una unidad volcanoclástica (Elles, 1972, citado por Rivera–Carranco, 1988a). McMenemy (1987), reporta la presencia de los trilobites *Nevadia ovalis* y *Judomia orbis*, identificando las zonas de *Nevadella* y sugiere la posible presencia de la Zona de *Fallotaspis* en la parte media de la unidad.

Está constituida por lutita, arenisca y calcarenita con fósiles abundantes del Cámbrico inferior.

**Litología y espesor:** La secuencia litológica de la Formación Puerto Blanco se inicia con una lutita calcárea de color verde de 45 metros, posteriormente aflora una intercalación de caliza y arenisca, encontrándose en la primera abundantes fósiles del Cámbrico inferior. Después afloran lutitas de color rojo y arenisca calcárea, seguida por una caliza de estratos delgados con abundantes olenélidos. Finalmente aflora una intercalación de caliza, lutita y mármol (Cooper *et al.*, 1956).

Las lutitas son deleznales y laminadas, se encuentran principalmente hacia la parte inferior de la unidad. Las areniscas están intercaladas a lo largo de toda la formación y presentan diastratificación. En la cima se presentan calcarenitas de gran espesor que abarcan la mayor parte de esta unidad, cuya característica principal es la bioturbación abundante que le confiere un aspecto moteado. En la parte media de la unidad se encuentra un paquete de calcarenitas oolíticas (Rivera–Carranco, 1988a).

La Formación Puerto Blanco posee un espesor total de 281 metros en su localidad tipo.

**Distribución:** La Formación Puerto Blanco aflora también en el cerro Las Calaveras, así como en los cerros La Proveedora y Cañedo, área de Caborca.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior es discordante con una unidad volcanoclástica y el contacto superior es concordante con la Formación Proveedora del Cámbrico inferior.

**Sección y área tipo:** La localidad tipo de la Formación Puerto Blanco se encuentra en los cerros de La Proveedora a 10 km al oeste de Caborca, Sonora (Rivera–Carranco, 1988a).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** El contenido de fósiles de la Formación Puerto Blanco es abundante, aunque con poca variedad de especies. En la parte media – superior de la unidad, aproximadamente a 176 metros de la base a la cima, afloran fósiles de trilobites, braquiópodos, agmatos y moluscos.

En esta unidad se recolectaron fósiles de *Lochmanolenellus mexicana* Lieberman, 1998 (= *Wanneria mexicana prima* Lochman in Cooper et al., 1952; *Wanneria mexicana* Lochman in Cooper et al., 1952; *Laudonia mexicana* Lochman in Cooper et al., 1952), *Olenellus* sp., *O. puertoblancoensis* Lochman in Cooper et al., 1952; *Mesonacis fremonti* (= *Olenellus fremonti* Walcott), *Elliptocephala walcotti* Lieberman, 1998 (= *Olenellus truemani* Lochman in Cooper et al., 1952), “*Antagmus*” *solitarius* Lochman in Cooper et al., 1952; *Onchocephalus mexicanus* Lochman in Cooper et al., 1952; *Hyolithes* aff. *H. princeps* Billings, 1872; *Salterella* sp., *Linguella proveedorensis* Cooper in Cooper et al., 1952; *Obolella mexicana* Cooper in Cooper et al., 1952; *Ajacyathus rimouski* Okulitch,

1943; *A. nevadensis* (Okulitch), 1935; *Etmophyllum whitneyi* Meek, 1868; *E. cooperi* Okulitch in Cooper *et al.*, 1952; *E. americanum* Okulitch in Cooper *et al.*, 1952.

Según los estudios estratigráficos realizados por Hollingsworth (2011), la Formación Puerto Blanco contiene las siguientes biozonas, de la más antigua a la más joven *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria*, indicando una edad de Piso 3, Waucobiano o bien Montezumano para la cronología de Laurentia.

**Ambiente de depósito:** Según el trabajo realizado por Rivera–Carranco (1988b), la Formación Puerto Blanco posee una gran variedad de facies en el área de Caborca, entre las que se menciona la presencia de coquinas, capas oolíticas, estratificación cruzada en areniscas, así como capas de lutita con estratos gruesos de calcarenitas bioturbadas, indicando condiciones de depósito muy someros. La presencia de arqueociátidos indica parches arrecifales de aguas limpias. En general asigna un ambiente lagunar bien oxigenado, semejante a la facies de plataforma marina abierta de Wilson (1975).

**Correlación regional:** La Formación Puerto Blanco del área de Caborca puede ser biocorrelacionada con la Formación Sekwi (Artic Red River, Mackenzie Mountains, Canadá), Formación Poleta y Formación Campito, en base a la presencia de las zonas de *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria*.

La Formación Mural y Formación Donald, en el sureste de la Columbia Británica presentan la Zona de *Avefallotaspis maria*, como sucede en la Formación Puerto Blanco del área de Caborca (Hollingsworth, 2011)

Según los estudios estratigráficos llevados a cabo por Stewart *et al.*, 1984, la Formación Puerto Blanco puede ser correlacionada también con el Miembro Medio de la Formación Wood Canyon (Nopah Range, Death Valley, California).

### 7.1.2. FORMACIÓN PROVEEDORA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Toma su nombre de la antigua mina «La Proveedora» (Cooper & Arellano, 1946; Cooper *et al.*, 1956). Consiste de 225 – 226 metros de cuarcita de color blanco con manchas de óxido, intercalada con lutita de color gris – oscuro a verde.

Lochman *in* Cooper *et al.* (1956), identifica dentro de esta unidad fragmentos de olenélidos asignados de manera dudosa al género ?*Wanneria* Walcott, 1910 (Olenelloidea – “Wanneridae”) y fragmentos de *Lingulella* sp., además de abundantes icnofósiles de *Skolithos* isp. (Stewart *et al.*, 1984)

**Litología y espesor:** En la base aflora una cuarcita blanca, con manchas de óxidos de fractura de 04 metros de espesor, posteriormente aflora una intercalación de arenisca de color verde de grano fino intercalada con cuarcita variando en color café y blanco. En la parte superior existe un paquete de 100 metros de arenisca verdosa, intercalada con cuarcita café – rojiza.

Las capas de cuarcita generalmente forman crestas bajas. Su contenido de fósiles es muy bajo, pero se encontraron sobre algunas capas de las superficies intemperizadas fragmentos de olenélidos (Redlichiida – Olenellina) y braquiópodos lingúlidos no identificables.

**Distribución:** Aparte de la localidad tipo, ésta formación se encuentra representada los cerros de los Arrojos, Buelna y Cerro Prieto, variando su espesor entre 225 a 260 m.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior con la Formación Puerto Blanco es concordante y el contacto superior con la Formación Buelna es concordante.

**Sección y área tipo:** Posee su localidad tipo en los cerros La Provedora a 10 km al oeste de Caborca (Rivera–Carranco, 1988a).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Esta unidad solamente proporcionó fósiles de ?*Wanneria* sp., *Lingulella* sp., así como *Skolithos* isp., la cual es muy abundante.

**Ambiente de depósito:** Según Rivera–Carranco (1988a), la Formación Provedora representa depósito de tipo intermareas y submareas, como demuestran los estratos formados por intercalaciones de láminas de materiales finos y gruesos. Los depósitos de arenitas de cuarzo muy maduras con laminaciones paralelas, que en conjunto muestran diastratificación muy poco inclinada, muestran alguna influencia eólica.

**Correlación regional:** La Formación Provedora ha sido identificada en el área de San José de Gracia (Cuen, 2012) y en el área de Mazatán (Stewart, 1984). La Formación Provedora puede ser correlacional con la Formación Zabriskie de Arizona.

Según los estudios de Stewart *et al.* (1984), la Formación Provedora del área de Caborca puede ser correlacionada con la Formación Zabriskie del área de San Bernardino Mountains y Nopah Range, Death Valley, California.

### 7.1.3. FORMACIÓN BUELNA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Toma su nombre de los cerros Buelna, ubicados en el área de Caborca. Su litología consiste de caliza color gris claro, con gran cantidad de vetillas de calcita y arenisca calcárea.

**Litología y espesor:** Según sus descriptores originales (Cooper *et al.*, 1956) consiste principalmente de caliza granular que pasa gradualmente a arenisca calcárea en algunas capas. En la parte inferior de la unidad se observa caliza de estratificación masiva, aflorando en la parte intermedia un crestón de 07 metros de espesor compuesto por caliza

gris – oscuro. La parte superior de la unidad corresponde a arenisca en capas delgadas y fósiles. Esta unidad posee un espesor de 70 a 100 metros.

**Distribución:** La Formación Buelna también aflora en el cerro los Arrojos, La Provedora, Cerro Prieto y Los Difuntos, área de Caborca.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior con la Formación Provedora es concordante, mientras que el contacto superior con la Formación Cerro Prieto es transicional.

**Sección y área tipo:** La Formación Buelna tiene su localidad tipo en los cerros Buelna al margen de la vía del ferrocarril Benjamín Hill – Baja California, a 15 km al noroeste de Caborca.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Según los datos proporcionados por Cooper *et al.* (1956), en la parte basal de la unidad se recolectaron fósiles de *Salterella* sp. y fragmentos de olenélidos. En los estudios posteriores realizados por Lochman *in* Cooper (1952; 1956), se menciona la presencia del siguiente conjunto faunístico para la Formación Arrojos: *Bonnia sonora* Lochman, 1952; *Onchocephalus buelnaensis* Lochman, 1952; *O. mexicanus* Lochman, 1952; “*Antagmus*” *buttsi* Resser, 1938; *Sombrellera mexicana* Lochman, 1952; *Hyolithes whitei* Resser, 1938; *Orthoteca buelna* Lochman, 1952; *Scenella* sp. cf. *S. reticulata* Billings, 1872; *Salterella mexicana* Lochman, 1952; *Salterella* sp. cf. *S. pulchella* Billings, 1861; *Obolus labradoricus* Billings, 1861; *Paterina* sp., *Girvanella mexicana* Johnson, 1952; *Coscinocyathus* sp., *Archaeocyathus yavaroskii* (Vologdin), 1931; *Protopharetra* sp., *Cambrocyathus* sp. cf. *C. occidentalis* Okulitch, 1943 y ?*Syringocnema* sp., *Girvanella mexicana* Johnson, 1952.

**Ambiente de depósito:** Según Rivera–Carranco (1988a), indica aporte de terrígenos en condiciones de depósito tranquilas, de acuerdo con el tamaño fino de los

granos, aunque en algunas ocasiones el fondo fue afectado por el oleaje, como lo demuestran las acumulaciones de fósiles y los estratos con oncolitos y oolitas, que debieron formar bancos móviles submarinos. Esta unidad presenta dos medios, uno tranquilo netamente lagunar, que refleja facies de plataforma abierta, con otro turbulento de características similares a la facies de arenas agitadas de borde de plataforma.

**Correlación regional:** La Formación Buelna ha sido identificada en el área de San José de Gracia (Cuen, 2012), puede ser correlacionada con la parte inferior de la Formación Carrara de San Bernardino Mountains y Nopah Range, Death Valley.

#### 7.1.4. FORMACIÓN CERRO PRIETO

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida en Cerro Prieto, como una caliza maciza, color negro – oscuro, con gran resistencia al intemperismo de forma homogénea (Cooper *et al.*, 1956).

**Litología y espesor:** Consiste en caliza con un alto grado de recalcificación, de color negro – oscuro, y con gran resistencia que le hace constituir eminencias conspicuas y escarpadas. Posee gran cantidad de vetillas de calcita. Es posible observar en algunas ocasiones mármol debido a la proximidad de un complejo granítico, metamorfismo de contacto (Cooper *et al.*, 1956). Los autores originales mencionan la presencia en esta unidad de «incontables cuerpecitos redondos oscuros, con estructura más o menos concéntrica, que tienen un parecido con *Girvanella*» pero que no fueron estudiados formalmente. Posee un espesor de 85 a 125 metros.

**Distribución:** La Formación Cerro Prieto también aflora en los cerros de los Arrojos, Provedora, Buelna y Difuntos, área de Caborca.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior con la Formación Buelna es transicional, mientras que el contacto superior con la Formación Arrojos es concordante.

**Sección y área tipo:** La Formación Cerro Prieto Posee su localidad tipo en el Cerro Prieto a 03 km al suroeste de Caborca.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles, sin embargo por su posición estratigráfica, los autores originales la consideraron como la transición Cámbrico inferior – Cámbrico medio (Cooper *et al.*, 1952; 1956)

**Ambiente de depósito:** Para Rivera–Carranco (1988a), la Formación Cerro Prieto muestra aguas muy someras y más bien tranquilas. Los horizontes oncolíticos pudieron originarse como resultado de movimientos oscilatorios de las olas, localizándose siempre bajo el nivel del mar.

**Correlación regional:** La Formación Cerro Prieto ha sido identificada en el área de San José de Gracia, sólo que con leves variaciones en el espesor. Los estudios estratigráficos llevados a cabo por Stewart *et al.* (1984), indican que esta formación es correlacionable con la parte inferior de la Formación Carrara de San Bernardino Mountains y Nopah Range, California.

#### 7.1.5. FORMACIÓN ARROJOS

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida en los cerros de Los Arrojos, suroeste de Caborca por Stoyanow (1942), posteriormente Cooper *et al.* (1952) la describieron de manera precisa. Está compuesta principalmente por lutita intercalada con caliza y en la parte superior aflora arenisca. El material calcáreo predomina a través de toda la formación, sin embargo son más comunes en la parte superior.

**Litología y espesor:** En la parte inferior de la unidad aflora una lutita de color rojo intercalada con capas delgadas de caliza, la cual es gris, arenosa conteniendo *Girvanella*. Posteriormente aflora un paquete de caliza con diferentes tonalidades a diferentes niveles, siendo generalmente de color verde y amarillo. Posterior a la caliza se presentan

nuevamente intercalaciones de caliza con lutita roja y finalmente una potente capa de arenisca de aproximadamente 125 metros. El espesor de la unidad varía en diferentes localidades donde aflora, sin embargo, en la localidad tipo posee un espesor de 160 – 190 metros.

**Distribución:** Cerro Los Arrojos, cerros Los Difuntos, área de Caborca.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior con la Formación Cerro Prieto es concordante, mientras que el contacto superior con la Formación El Tren no fue observado por sus autores originales (Cooper *et al.*, 1956) sin embargo estos lo asumen como concordante.

**Sección y área tipo:** La Formación Arrojos posee su localidad tipo en el cerro de los Arrojos, ubicado a 08 km al suroeste de Caborca (Rivera–Carranco, 1988a).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Está unidad proporcionó abundantes fósiles del Cámbrico medio, como lo son *Athabaskia bela* (Walcott, 1916) Raymond, 1928, *Ptarmigania* (*Ptarminagoides*) *bispinosa* Lochman, 1952; *Glossopleura* sp., *Glossopleura leona* (= *Sonoraspis* Stoyanow, 1952; *Sonoraspis torresi* Stoyanow, 1952; *Sonoraspis gomezi* Stoyanow, 1952), *Albertella proveedora* Lochman, 1952; *Albertella* aff. *A. proveedora* Lochman, 1952; *Mexicaspis stenopyge* Lochman, 1948; *Mexicaspis difuntoensis* Lochman, 1952; *Zacanthoides* aff. *Z. holopygus* Resser, 1939; *Kootenia exilaxata* Deiss, 1939; *Amecephalus arrojosensis* Lochman, 1952; *Amecephalus* sp. cf. *A. piomensis* Walcott, 1925; *Arellanella* sp., *Arellanella caborcana* Lochman, 1948; *Arellanella sonora* Lochman, 1952; *Alokistocare* sp., *Alokistocare althea* Walcott, 1916; *Alokistocare modestum* Lochman, 1952; *Alokistocarella mexicana* Lochman, 1952; *Kistocare corbini* Lochman, 1948; *Kistocare tontoensis* (Resser, 1945); *Inglefieldia imperfecta* Lochman, 1952; ?*Inglefieldia* sp., *Mexicella mexicana* Lochman, 1948; *Pachyaspis isabella* Lochman, 1952; *Pachyaspis* sp., *Provedoria starquistae* Lochman,

1948; *Caborcella arrosensis* Lochman, 1948; *Ptychoparia* aff. *P. clusia* Walcott, 1917; *Kochaspis cooperi* Lochman, 1952; *Kochaspis* sp., *Hyolithes sonora* Lochman, 1952; *Acrothele concava* Cooper, 1952; *Linnarssonina* sp. (= *Pegmatreta rara* Cooper, 1952), *Micromitra* sp., *Nisusia* sp., *Wimanella* sp., *Diraphora arrosensis* Cooper, 1952; *Chancelloria eros* Walcott, 1920; *Girvanella* sp. cf. *G. sinensis* Yabe, 1912.

**Ambiente de depósito:** Refleja medios similares a las Formaciones Puerto Blanco y Buelna, aunque con mayor contenido de material terrígeno. Ambiente marino somero de plataforma.

**Correlación regional:** La Formación Arros puede ser correlacionada con algunos tramos de la formación El Gavilán del área de San José de Gracia. En base a los estudios realizados por Stewart *et al.* (1984), esta unidad puede ser correlacionada con la Formación Carrara de San Bernardino Mountains y Nopah Range, Nevada.

#### 7.1.6. FORMACIÓN EL TREN

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida en el extremo septentrional de los cerros Los Arros. Está constituida en la base por un conjunto de calizas de aspecto moteado, que gradúan hacia la cima a calizas dolomitizadas y a una alternancia entre estratos de dolomías pardas y negras. También es posible encontrar en algunas partes de la formación capas muy delgadas de anhidrita con estructura enterolítica (Rivera – Carranco, 1988a)

**Litología y espesor:** Está compuesta principalmente por caliza dolomítica de color gris oscuro a negro, en capas de estratificación gruesa a masiva, de forma homogénea. Posee vetillas de calcita secundaria que miden aproximadamente 1 cm de ancho. En ocasiones es posible observar bancos de mármol en la parte inferior de la unidad. Esta unidad posee un espesor de 420 – 490 metros.

**Distribución:** Cerro de Los Arrojos, cerros La Proveedora y cerro Los Difuntos, área de Caborca.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior con la Formación Arrojos es concordante, mientras que el contacto superior no se observa, en la localidad tipo. En otras localidades se observan inmediatamente sobre esta unidad capas del Devónico, asignadas a la Formación Bísani.

**Sección y área tipo:** Tiene su localidad tipo 18 km al oeste suroeste de Caborca, en el cerro de Los Arrojos, los cuales también son conocidos como El Tren y La Confitura.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Los fósiles encontrados en la Formación El Tren corresponden a *Athabaskia minor* Resser, 1938; *Linnarssonina* sp. (= *Pegmatreta arellanoi* Cooper, 1952) y *Dictyonina* sp.

**Ambiente de depósito:** Debido a su contenido litológico, es probable que se originará por dolomitización de los carbonatos de calcio, poco después de su depósito, por el efecto del reflujo de aguas sobresaturadas de magnesio (Rivera – Carranco, 1988a)

**Correlación regional:** Es posible que esta unidad sea correlacional con la base de la Formación Bonanza King de San Bernardino Mountains y Nopah Range, California.

## 7.2. MAZATÁN

En la sierra de Mazatán y sus alrededores se han encontrado rocas sedimentarias asignadas al Cámbrico, las cuales han sido estudiadas por diversos autores (Stewart, 1982; Stewart *et al.*, 1983; 1984; Ochoa–Granillo & Sosa–León, 1993; Minjárez–Sosa *et al.*, 1993; Vega, 1996; Stewart *et al.*, 1999) desde principios de la década de los ochentas.

### 7.2.1. FORMACIÓN PROVEEDORA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Los primeros estudios llevados a cabo en las rocas cámbricas de sierra Agua Verde son los hechos por Stewart, 1982, asignando un paquete de cuarcitas de grano fino y grueso a la Formación Proveedora (Stewart *et al.*, 1999)

**Litología y espesor:** La Formación Proveedora de la sierra Agua Verde, Mazatán, Sonora, consiste en 120 m de espesor y está compuesta por cuarcita de grano fino a grueso. La parte superior de la unidad contiene pequeños conglomerados, así como alta bioturbación (Stewart *et al.*, 1999)

**Distribución:** Esta unidad aflora en la parte inferior de la sierra Agua Verde, Mazatán, Sonora.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace concordantemente a la Formación ?Puerto Blanco y es sobreyacida por la ?Formación Buelna.

**Sección y área tipo:** Posee su localidad tipo en los cerros La Proveedora a 10 km al oeste de Caborca.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo, posee abundante bioturbación, siendo común la presencia de *Skolithos* isp. Según Stewart *et al.* (1999), *Olenellus gilberti* es encontrado en

limolitas en la parte superior de la Formación Proveedora, 450 metros al norte de la sección medida.

Según los estudios de Lieberman (1999), *Olenellus gilberti* (Meek) corresponde a una sinonimia de *Bristolia bristolensis*, considerando lo anterior es posible que los ejemplares colectados por Stewart *et al.* (1999), sean colocados dentro del género *Bristolia* pudiendo biocorrelacionar la unidad superior de Sierra Agua Verde con San José de Gracia y Caborca (Formación Buelna?)

**Ambiente de depósito:** El ambiente de depósito es marino, somero, de aguas tranquilas con aporte de terrígenos.

**Correlación regional:** La Formación Proveedora ha sido localizada en el área de Caborca y San José de Gracia. Los estudios realizados por Stewart *et al.* (1984), indican que puede ser correlacional con la Formación Zabriskie de California.

### 7.2.2. RANCHO SOBECHI

Las rocas cámbricas que afloran en las cercanías del Rancho Sobechi fueron estudiadas por Vega (1996), en los cerros La Feliciano, La Poza, El Jomudo, Cerro Prieto, Las Milpas y Quizuani; en las partes bajas de la sierra de Mazatán.

**Litología y espesor:** La litología consiste principalmente en limolitas intercaladas con caliza, sobreyaciendo mediante fallas normales de bajo ángulo a rocas graníticas y volcánicas más jóvenes. Secuencias similares afloran como cordones discontinuos en dirección noroeste – sureste al oriente de la sierra de Mazatán.

Vega (1996), definió una unidad del Cámbrico medio cerca del Rancho Sobechi, la cual aflora parcialmente en el cerro La Poza.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Según los estudios realizados por Vega (1996), en esta unidad se encontraron los trilobites *Tonkinella valida* Tchernysheva,

1962, *Peronopsis depressa*, *Tomagnostus* sp. y *Syspacephalus* sp., los cuales asigna a la parte inferior de la Zona de *Ehmaniella*. En el presente trabajo el contenido faunístico mencionado anteriormente es asignado a la parte superior de la Zona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus* (Serie 3, Piso 5).

### 7.3. ARIVECHI

#### 7.3.1. FORMACIÓN LA SATA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida en el cerro La Sata, área de Arivechi, del cual toma su nombre; está compuesta por cuarcita, lutita, arenisca, caliza oolítica y caliza oncolítica. Su descriptor original le asignó una edad del Cámbrico medio y la dividió en tres miembros (A, B y C), en base a sus facies litológicas (Almazán–Vázquez, 1989)

**Litología y espesor:** El Miembro A corresponde a la parte basal de la Formación La Sata y está constituido por 25 m de cuarcita blanca, de grano grueso, la cual contiene estructuras de diastratificación de ángulo bajo. Posteriormente aflora el Miembro B, compuesto por 25 m de arenisca de color verde – amarilla, lutita masiva y hacia la cima lutita calcárea intercalada con caliza arcillosa, que presentan estructuras de grieta de desecación, huellas de oleaje, diastratificación y cristales de pirita, con abundante fauna fósil representada por trilobites, braquiópodos inarticulados y moluscos. Finalmente, el Miembro C corresponde a la cima de la formación, y está compuesto por 50 m de caliza oolítica de color gris, con estratificación masiva; también afloran calizas oncolíticas de color gris – oscuro y recristalizadas (Almazán–Vázquez, 1989)

**Distribución:** Se sitúa como un cinturón delgado, a lo largo del margen oriental del cañón labrado por el arroyo Milpillás y en la ladera meridional del cerro La Sata.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior no se observa mientras que el contacto superior con la Formación El Mogallón es concordante.

**Sección y área tipo:** Según [Almazán–Vázquez \(1989\)](#), la localidad tipo de la Formación La Sata se localiza en las coordenadas 25°54'40"N y 109°16'20"W, a 900 metros al nororiente del cerro La Sata.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** En la parte media de la Formación La Sata, Miembro B, se colectaron abundantes fósiles de trilobites como *Amecephalus* sp. y *?Fielaspis* sp., así como representantes del Orden Corynexochida [Kobayashi, 1935](#) no identificados por el autor original. En el mismo miembro también es posible encontrar moluscos como *Hyolithes* sp. y *Scenella* sp. Las rocas carbonatadas del Miembro C contienen fragmentos de equinodermos, braquiópodos y trilobites, cuyo mal estado de conservación impide su identificación. En base al estudio de la fauna encontrada en el Miembro B, [Almazán–Vázquez \(1989\)](#), indica que este representa la base del Cámbrico medio, y probablemente constituya la zona de pre-*Glossopleura*. En este trabajo es asignado a la Zona de *Poliella denticulata* (Serie 3, Piso 5)

**Ambiente de depósito:** Marino somero.

### 7.3.2. FORMACIÓN EL MOGALLÓN

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** La Formación El Mogallón está conformada por un paquete de rocas sedimentarias, constituidas principalmente por caliza delgada de estructura laminar. Fue dividida en cuatro miembros (A, B, C y D) por su descriptor original ([Almazán–Vázquez, 1989](#)).

**Litología y espesor:** El Miembro A constituye la parte basal de la Formación El Mogallón, y consta de 180 metros de rocas calcáreas, en estratos delgados de 2 a 30 cm de color gris – oscuro. Ocasionalmente el miembro presenta horizontes delgados de brechas y conglomerados intraformacionales. En ésta unidad se colectaron fósiles de trilobites, braquiópodos, espículas de esponjas y coprolitos. Posteriormente aflora el Miembro B, con un espesor de 50 metros y constituido por caliza de estructura laminar

de color gris – oscuro. Las rocas se encuentran parcialmente dolomitizadas. El Miembro C, es una interestratificación de horizontes delgados – calcáreos y caliza arcillosa, las cuales poseen un espesor de 65 metros. En la parte superior de los horizontes carbonatados se observan estructuras de bioturbación. Este miembro proporcionó fósiles de trilobites, braquiópodos, moluscos, espículas de hexactinélidos e icnofósiles. Finalmente, el Miembro D, corresponde a la parte superior de la Formación El Mogallón, posee un espesor de 100 metros de rocas carbonatadas de color gris – oscuro, las cuales alternan con bandas delgadas de sedimentos arcillosos de color rojo. La caliza se caracteriza por tener frecuentemente estructuras de bioturbación, rellenas de calcita fibrosa o sedimento arcilloso – calcáreos oxidados. Estas rocas contienen trilobites, braquiópodos y espículas de esponja (Almazán–Vázquez, 1989)

**Distribución:** Constituye los afloramientos cámbricos de mayor distribución en toda la zona y constituye, prácticamente, los cerros La Sata y El Mogallón.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace de manera concordante a la Formación La Sata y Según Almazán–Vázquez (1989), se infiere que el contacto superior con la Formación La Huerta es concordante, ya que este no fue posible situarlo debido a movimientos de desplazamiento vertical en este paquete sedimentario.

**Sección y área tipo:** La localidad tipo se ubica en las coordenadas 28°54'30"N y 109°16'30"W, en la parte occidental del cerro El Mogallón.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Entre los fósiles recolectados en el Miembro A se encuentran los trilobites *Ptychagnostus atavus* (Tullberg), *Hypagnostus parvifrons* (Linnarsson), *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* sp. cf. *O. marjumensis* y *Modocia* sp., así como los braquiópodos *Prototreta attenuata* (Meek), *Prototreta* sp., *Acrothele subsidua* (White), *Micromitra* sp., *Pegmatreta bellatula* y *Linnarssonia ophirensis*. También se reportan para este miembro espículas de esponja de hexactinélidos. La fauna

mencionada anteriormente es asignada en este trabajo a la parte inferior de la Zona de *Ptychagnostus atavus* (Serie 3, Drumiano). El Miembro B no aportó fósiles, mientras que el Miembro C, aportó las especies *Hypagnostus parvifrons* (Linnarsson), *?Modocia typicalis*, *?Utaspis* sp. y marjumiidos indeterminados; de los braquiópodos se logró identificar a *Lingulella* sp., *Prototreta attenuata*, *Prototreta* sp., *Acrothele subsidua*, *Lingulella* sp., mientras que para los moluscos *Hyolithes* sp. fue la única especie determinada. El Miembro C, no fue asignado a ninguna biozona por su autor original (Almazán-Vázquez, 1989), sin embargo en el presente documento es asignado a la Zona de *Bolaspidella*, Zona de *Ptychagnostus atavus* para plataforma abierta (Serie 3, Drumiano). Finalmente el Miembro D proporcionó los trilobites *?Onymagnostus hybridus*, *?Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus michaeli*, *Bathyriscus* sp., así como los braquiópodos *Lingulella* sp., *Prototreta flabellata* Bell, *Linnarssonia* sp. cf. *L. ophirensis* (Walcott) y *Linnarssonia* sp.

Las asociaciones faunísticas de los fósiles de la Formación El Mogallón permiten precisar que las rocas pertenecen a la parte media del Cámbrico medio (Almazán-Vázquez, 1989). En este trabajo la fauna es asignada de manera imprecisa a cualquiera de las siguientes zonas *?Goniagnostus narthorsti*, *?Lejopyge armata*, *?Lejopyge laevigata* (Serie 3?, Drumiano).

**Ambiente de depósito:** Marino de plataforma abierta.

### 7.3.3. FORMACIÓN LA HUERTA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** La Formación La Huerta toma su nombre del arroyo La Huerta, área de Arivechi, y consiste principalmente en caliza con estratos delgados y con estructuras de bioturbación.

**Litología y espesor:** Se caracteriza por horizontes delgados de caliza de color gris – oscuro y textura fina, interrumpidos por capas de arcilla de unos cuantos centímetros de espesor. Esta unidad posee un espesor de 250 metros.

**Distribución:** La unidad está distribuida en una franja de unos 500 metros de anchura por 03 kilómetros de longitud promedio, constituyendo los afloramientos australes del Cámbrico en el área.

**Relaciones estratigráficas:** Debido a que la unidad se presenta como un bloque hundido no fue posible establecer las relaciones estratigráficas con la unidad inferior, Formación El Mogallón (Almazán–Vázquez, 1989).

**Sección y área tipo:** Presenta su sección tipo en la entrada oriental del cañón labrado por el arroyo del mismo nombre, donde las rocas cámbricas están expuestas en paredes cercanas a la vertical, cuya altura es de 40 metros (Almazán–Vázquez, 1989).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Para esta unidad se recolectaron trilobites no identificables, pero que el autor original posiciona dentro del Orden Ptychopariida. De la misma manera se colectaron braquiópodos como *Micromitra* sp., *Acrothele* sp., *Prototreta attenuata* (Meek) y lingúlidos indeterminados.

El autor original (Almazán–Vázquez, 1989) asigna dudosamente estas rocas a la parte superior del Cámbrico medio, aunque los taxa no son precisamente característicos de la edad mencionada.

**Ambiente de depósito:** Marino somero.

#### 7.3.4. FORMACIÓN MILPILLAS

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** La Formación Milpillas toma su nombre del arroyo del mismo nombre, y consiste en una alternancia de lutita calcárea y caliza arcillosa (Almazán–Vázquez, 1989).

**Litología y espesor:** Está constituida por horizontes de lutita calcárea muy intemperizada, de color café claro intercalada con caliza arcillosa, de color amarillo y café. Teniendo un espesor total de 200 metros. En la parte superior de la unidad, en horizontes

carbonatados, se colectaron fósiles de braquiópodos bien conservados, de igual manera algunos horizontes poseen fragmentos de trilobites, braquiópodos inarticulados, colonias de filocáridos y conodontes.

**Distribución:** La Formación Milpillas constituye una colina pequeña, la cual se eleva 60 metros sobre el nivel del valle adyacente.

**Relaciones estratigráficas:** La Formación Milpillas es sobreyacida discordantemente por rocas del Ordovícico Inferior.

**Sección y área tipo:** La localidad tipo de la Formación Milpillas se localiza en las coordenadas 28°54'15"N y 109°16'45"W.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Entre las especies de trilobites identificadas se tiene ?*Aphelotoxon*, *Elviniella* sp. (o *Elvinia*), *Homognostus* sp., *Pseudoagnostus* sp., ?*Pterocephalia* sp., y ptychopariidos no identificados. También se tiene filocáridos como *Caryocaris* sp. cf. *C. curvilata*, y los braquiópodos *Angulotreta* sp., *Micromitra* sp. y *Quadrisonia* sp. Moluscos como *Pelagiella* sp., *Hyolithes* sp. e *Hypseloconus* sp. Finalmente también se encontraron los conodontes *Westergaardodina* sp. y escleritos de *Chancelloria* sp. El autor original asigna estas rocas a la Zona de *Dunderbergia* o *Elvinia* (Almazán-Vázquez, 1989) En el presente documento la fauna es asignada a la Zona de *Elvinia* (Furongiano – Paibiano).

**Ambiente de depósito:** Marino somero.

#### 7.4. CANANEA

En el área de la sierra del Tule, localizada 40 km al norte de Cananea, aflora una serie de rocas sedimentarias del Cámbrico medio y superior, con un espesor de 235 metros, las cuales descansan discordantemente sobre un granito precámbrico y son

litológicamente correlacionales con la Formación Cuarcita Bolsa y Formación Abrigo del sureste de Arizona (González–León, 1986).

#### 7.4.1. CUARCITA BOLSA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida en Bolsa Canyon, Arizona (Ransome, 1904), consiste básicamente en arenisca de cuarzo con estratificación cruzada y paralela, conteniendo en su base un conglomerado con fragmentos de arenisca de cuarzo. González–León (1986), dividió las rocas cámbricas del área de la sierra del Tule en 04 miembros en base a su litología. Las rocas que engloba dentro del Miembro 1 son correlacionales con la Formación Cuarcita Bolsa.

**Litología y espesor:** Consiste en arenisca que alcanza un espesor de 65 metros. La arenisca se presenta en estratos delgados y medianos. En muestra macroscópica se observan grandes granos de cuarzo cementados por sílice. Las rocas han sido clasificadas en subarcosas y cuarzoarenitas, variando en tamaño de arena gruesa a fina, mal clasificados y varían de subredondeados a redondeados (González–León, 1986).

**Distribución:** Sierra del Tule, Cananea, Sonora y Sur de Arizona.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace discordantemente al esquisto Pinal y es sobreyacida concordantemente por la Formación Abrigo.

**Sección y área tipo:** Mule Mountains, Arizona.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles, sin embargo, debido a su posición estratigráfica debajo de la Formación Abrigo es considerada del Cámbrico medio.

**Ambiente de depósito:** Marino somero con influencia hídrica del continente, como lo demuestra la abundancia de cuarzo con feldespatos.

#### 7.4.2. CALIZA ABRIGO

González–León (1986), incluye dentro de los Miembros 2 – 4, rocas correlacionales con la Formación Abrigo (Ransome, 1904), las cuales en su mayoría son de carácter carbonatado.

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida por Ransome (1904) en Abrigo Canyon, 05 km al suroeste de Bisbee, Arizona. Está constituida principalmente por caliza de color gris con intercalación de capas de pedernal.

**Litología y espesor:** La parte basal de la unidad representa una sedimentación de carácter carbonatada, teniendo un espesor de 110 metros. Está constituida por caliza de estratificación delgada a muy delgada, siendo de color café a gris claro. Existen niveles donde se presentan estructuras oncolíticas que pudieran corresponder a *Girvanella*. En la parte superior de este nivel afloran calizas de color café y azul claro – gris, interestratificadas con lentes y capas delgadas de lodolitas, limolitas y areniscas de grano muy fino y bioclásticas con abundantes restos de trilobites de los cuales se identificó *Arapahoia* sp., que es característica de la Zona de *Cedaria* de la secuencia cámbrica del suroeste de Arizona (González–León, 1986).

Posteriormente aflora un paquete de caliza oolítica de estratificación media a gruesa y de color gris, con un espesor de 15 metros. Finalmente, afloran 45 metros de calizas de color azul claro, en estratos muy delgados, que presentan intercalaciones y lentes de limolita de color rojo. En su cima la caliza es intraclásticas y contiene abundantes restos de trilobites que se identificaron *Tricrepicephalus* sp., *Llanoaspis* sp., *Coosella* sp. y *Coosia* sp., las que representan un asociación típica de la Zona de *Crepicephalus* de la Formación Abrigo del sureste de Arizona (González – León, 1986).

**Distribución:** Sierra del Tule y sureste de Arizona (Ransome, 1904).

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior con la Formación Bolsa es concordante, mientras que el contacto superior con la Formación Martín es discordante.

**Sección y área tipo:** Mule Mountains, Arizona.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** En la parte basal de la unidad se recolectaron fósiles de *Arapahoia* sp. y *Cedaria* sp., esta asociación faunística es distintiva de la Zona de *Cedaria/Cedaria dakotaensis*, correspondiéndole una edad de Serie 3, Guzhangiano. En la parte superior de la unidad se recolectaron fósiles de *Tricrepicephalus* sp., *Llanoaspis* sp., *Coosella* sp. y *Coosia* sp., confiriéndolos a la Biozona de *Crepicephalus*, de edad Serie 3, Guzhangiano.

**Ambiente de depósito:** Los sedimentos de los miembros 2 y 4 se consideran como depósitos formados en un ambiente de intermarea, tomando en cuenta el conjunto de características litológicas y estructuras primarias que presentan (estratificación delgada suavemente ondulante, lentes de terrígenos, lodos calcáreos intraclásticos, dolomitización, entre otros). Por la posición que ocupa entre los sedimentos de intermarea se infiere que, el miembro 3 es producto de un delta de marea, tidal delta (González – León, 1986).

De esta manera, se puede observar que, la transición desde depósitos de mar muy somero o de playa representados por el miembro 1, hasta de depósitos de intermarea, representados por el miembro 4, indica claramente un transgresión marina, cuyos sedimentos están truncados por la discordancia regional pre – devónica.

## 7.5. ARIZONA, USA

En la parte sur de Arizona y Nuevo México, EUA, y noreste de Sonora, México, afloran rocas que varían en edad del precámbrico al reciente. Las rocas paleozoicas han sido estudiadas a profundidad por diversos autores, desde principios de siglo pasado (Dumble, 1902; Ransome, 1904; Stoyanow, 1936; Gilluly, 1956; Wilson, 1962; Hayes

& Landis, 1965; Hayes, 1978; González–León, 1986; Labaj & Pratt, 2013). Las rocas más antiguas que afloran en el área pertenecen al precámbrico y han sido asignadas al Esquisto Pinal (Ransome, 1904) el cual contiene gran cantidad de pequeños intrusivos, variando en su mineralogía (Gilluly, 1956, p. 01)

Las rocas del Sistema Cámbrico son divididas en dos formaciones, ordenadas como Formación Bolsa – Cámbrico medio, y Formación Abrigo – Cámbrico superior. En algunas localidades como las montañas Swisshelm y Pedregosa, estas rocas son sobreyacidas por rocas del Ordovícico inferior, asignadas a la Formación El Paso, mientras que en otros lugares las rocas del Ordovícico están ausentes. En la parte suroeste de Arizona y en la frontera oeste de Nuevo México, el Cámbrico está representado por la Formación Coronado, la cual es sobreyacida por el miembro inferior de la Formación El Paso (Hayes, 1978, p. 166).

#### 7.5.1. CUARCITA BOLSA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Los primeros estudios estratigráficos llevados a cabo en las rocas cámbricas del sureste de Arizona, fueron hechos por Dumble, 1902, quién nombró inicialmente la «Cuarzita Dragon» (Quartzite Dragoon) para referirse a una sucesión de rocas de aproximadamente 122 metros de espesor, consideradas de edad pre – devónicas, y posteriores a esquistos precámbricos (Esquisto Pinal) que afloran en la región de Dragoon Mountains. Posteriormente, Ransome (1904, p. 28) en estudios estratigráficos detallados de la región, abandona la terminología propuesta por Dumble, 1902 y propone el nombre de Cuarcita Bolsa para tales rocas, tomando como referencia la localidad de Bolsa Canyon, en el sureste de Escabrosa Ridge, Bisbee, Arizona.

**Litología y espesor:** La secuencia de la Cuarcita Bolsa se inicia con un conglomerado basal de aproximadamente 15 a 30 cm de espesor, el cual descansa sobre

el Esquisto Pinal, considerado de edad precámbrica. La mayoría de los clastos de este conglomerado están compuestos por cuarzo blanco, y no sobrepasan los 08 cm de grosor. Posteriormente, el conglomerado es cubierto por una arenisca en capas de 03 a 06 metros de espesor. Los clastos son usualmente cuarzo blanco, pero la matriz frecuentemente contiene abundantes fragmentos de feldespatos rosa mezclados con los granos de cuarzo. En la cima de la unidad se observa una cuarcita de grano fino, la cual no muestra feldespatos, y que es sobreyacida por la Formación Abrigo (Ransome, 1904); en la parte inferior de la unidad es común observar estratificación cruzada. Según los estudios de Hayes (1978), esta unidad puede variar localmente en espesor, encontrándose entre los 100 y 200 metros de grosor.

**Distribución:** Según Ransome (1904) los principales afloramientos de la Cuarcita Bolsa, ocurren en Escabrosa Ridge al oeste de Bisbee. En la parte noroeste de esta área está representada por pequeños afloramientos aislados que descansan sobre el Esquisto Pinal; estos afloramientos se hacen más potentes hacia el sureste, y cerca de Bisbee la Cuarcita Bolsa se observa como una parte considerable de Escabrosa Ridge. La unidad se encuentra muy fallada y no se observa continuamente en áreas mayores a 1.7 km. En un principio, Ransome (1904) indica que todos los afloramientos de la Cuarcita Bolsa ocurrían en la parte noroeste de la parte de Bisbee.

**Relaciones estratigráficas:** La Cuarcita Bolsa descansa discordantemente sobre el Esquisto Pinal y es sobreyacida de manera concordante por la Formación Abrigo.

**Sección y área tipo:** Mule Mountains, Mount Martin, Arizona (Hayes, 1978).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** La Formación Cuarcita Bolsa no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo se encuentra debajo de la Formación Caliza Abrigo, la cual contiene fósiles del Cámbrico medio.

**Ambiente de depósito:** Según [Ransome \(1904\)](#) la Cuarcita Bolsa se depositó durante una transgresión marina sobre el basamento de rocas precámbricas cristalinas (Esquisto Pinal), las cuales fueron erosionadas hasta lograr una llanura, depositándose posteriormente la Cuarcita Bolsa. El conglomerado basal es un depósito de litoral, el cual está compuesto por fragmentos del Esquisto Pinal, mientras que las partículas más finas de cuarzo y micas fueron probablemente transportadas por corrientes en aguas más profundas. Los clastos y estratificación cruzada (base) indican que la depositación tomó lugar en aguas someras, con un incremento gradual de profundidad conforme las capas superiores fueron depositadas. [Ransome \(op. cit.\)](#).

**Correlación regional:** La Cuarcita Bolsa puede ser reconocida en French Joe Canyon, Mount Martín y en la parte norte de Swisshelm Mountains.

#### 7.5.2. CALIZA ABRIGO

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Fue definida por [Ransome \(1904\)](#) en Abrigo Canyon, 5 kilómetros al suroeste de Bisbee, Arizona.

**Litología y espesor:** La Caliza Abrigo se distingue de otras formaciones calcáreas del Paleozoico local por su laminación delgada prevalente, y particularmente por su notable estructura laminada producida por la alteración de delgadas hojas de pedernal con capas de caliza gris. Las capas de la caliza pueden ser de 05 a 08 cm de espesor, mientras que las de pedernal son menores. La laminación de pedernal es eminentemente un rasgo de la Caliza Abrigo en las montañas Mule y sirve como punto de identificación, aunque posee muchas fallas donde se llevó a cabo la sección.

En la sección tipo de Mount Martin, la Cuarcita Bolsa es sobreyacida por calizas con pedernal, después ocurre una caliza gris de aproximadamente 60 cm de espesor, alternando con lutita calcárea amarilla y con laminaciones de pedernal. Los 30 metros superiores de la formación están constituidos por arenisca, caliza de color gris en estratos

delgados con una capa de caliza gris de dos metros de espesor en la cima. El límite superior de la Formación Abrigo está definido en la sección de Mount Martin por una capa de cuarcita blanca de 2.5 metros de espesor. La Formación Caliza Abrigo posee un espesor de 235 metros (Ransome, 1904). Posteriormente la unidad fue dividida en cuatro miembros, identificados como miembro inferior, miembro medio, Miembro Upper Sandy y Miembro Copper Queen (Hayes, 1978).

**Distribución:** Al igual que la Formación Bolsa, la Caliza Abrigo ocurre principalmente en el noroeste de Bisbee, aunque es posible encontrar afloramientos en la Gold Hill y Glance Creek. La sección más completa es la que se encuentra en Mount Martin, 02 km al oeste de Bisbee.

**Relaciones estratigráficas:** Descansa concordantemente sobre la Formación Cuarcita Bolsa y es sobreyacida discordantemente por la Caliza Martin (Devónico).

**Sección y área tipo:** Mule Mountains, Mount Martin, Arizona (Hayes, 1978, p. 168).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Según Ransome, la unidad posee trilobites, braquiópodos lingúlidos, pteropodos y otras formas tempranas. Los fósiles fueron examinados por Charles D. Walcott, quién les asignó una edad del Cámbrico medio, comparándolos con la fauna cámbrica de Texas. Según los estudios de Hayes (1978), el miembro medio de la unidad ha proporcionado fósiles indicadores de la Zona de *Cedaria*, mientras que el Miembro Upper Sandy ha proporcionado fósiles de la Zona de *Crepicephalus*. Para el miembro Cooper Queen se han recolectado fósiles de la Zona de *Ptychaspis* así como el braquiópodo *Billingsella*.

**Ambiente de depósito:** Según los estudios realizados por Labaj & Pratt (2013), el ambiente de depósito de la Caliza Abrigo puede ser dividido en ocho facies o asociaciones,

las cuales están dominadas por mareas y fuertemente influenciados por procesos eólicos. De manera general se interpreta como depositada en un ambiente de línea de costa bajo el nivel del mar, seguida por una transgresión. Ambiente marino somero con influencia hídrica del continente.

**Correlación regional:** El miembro inferior y el miembro intermedio de la Caliza Abrigo puede ser reconocido en Slate Mountains, mientras que en Nugget Canyon y Brandeburg Mountain además de los anteriores es posible encontrar el Miembro Upper Sandy Member (Hayes, 1978).

## 7.6. NEVADA Y CALIFORNIA, USA

### 7.6.1. FORMACIÓN ZABRISKIE

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** La Formación Zabriskie originalmente fue nombrada y descrita como un miembro de la Formación Wood Canyon por Hazzard (1937). Consiste de cuarcita blanca en capas de que alcanzan hasta los 30 cms intercalada con lutita de color morado, arenisca y limolita.

**Litología y espesor:** Consiste en cuarcita de color blanco intercalada con lutita de color morado, arenisca y limolita. Las capas de cuarcita presentan estratificación cruzada y laminar. La cuarcita contiene manchas de oxidación de color rojo. Según Hunt & Mabey (1966) esta formación presenta cierta deformación evidenciada por zonas de cizalla paralelas a la estratificación, presentando también un aspecto brechado en ocasiones.

El espesor reportado para la Formación Zabriskie en Aguerberry Point es de aproximadamente 22 metros, mientras que en Funeral Mountains la formación posee alrededor de 275 metros. Cuarcitas de color gris en la base de la formación contienen abundantes ejemplares de *Skolithos* isp. (Hunt & Mabey, 1966)

**Distribución:** Arizona, San Bernardino Mountains y Nopah Range, California.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace concordantemente a la Formación Wood Canyon y es sobreyacida concordantemente por la Formación Carrara.

**Sección y área tipo:** Nopah Range, Death Valley, California.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Está unidad no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo debido a su posición estratigráfica es considerada del Cámbrico inferior. En la base existen abundantes ejemplares de *Skolithos* isp.

**Ambiente de depósito:** Marino somero.

**Correlación regional:** La Formación Zabriskie ha sido reconocida en Nopah Range, Death Valley, San Bernardino Mountains, California.

#### 7.6.2. FORMACIÓN CARRARA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** La Formación Carrara fue definida por Cornwall & Kleinhampl, 1961, en la montaña Bare, Nevada; y ésta fue nombrada en honor del pueblo fantasma Carrara, ubicado a 13 kilómetros al este de Beatty, Nevada, el cual funcionó como cantera de mármol a principios de siglo (Cornwall & Kleinhampl, 1961; Palmer & Halley, 1979).

Básicamente fue definida por sus autores originales, como una interestratificación de lutita con caliza, y en menor cantidad cuarcita, arenisca y limolita; fue dividida en mitad inferior y mitad superior, como a continuación se resume: en la mitad inferior tres subdivisiones fueron descritas 1) Una mitad inferior de cuarcita, arenisca, limolita y lutita filítica, conteniendo menor cantidad de caliza; 2) Una unidad intermedia de caliza alternando con lutita y coronada por una caliza «algal» de 46 metros de espesor; 3) Una unidad superior de rocas clásticas de grano fino. La mitad superior, de carácter carbonatado, fue subdividida en dos unidades, 1) Caliza variando en color de naranja, blanco y rosa; 2) En la parte superior, caliza gris – oscura. En la parte basal de la

Formación Carrara aflora un paquete de cuarcita, el cual fue interpretado como la transición con la Formación Zabriskie, a la cual sobreyace.

En estudios posteriores, [Palmer & Halley \(1979\)](#), dividieron la Formación Carrara en nueve miembros, ordenados estratigráficamente como Lutita Eagle Mountain Member, Caliza Thimble Member, Lutita Echo Member, Caliza Gold Ace Member, Lutita Pyramid Member, Caliza Red Pass Member, Lutita Pahrump Hills Member, Caliza Jangle Member y Caliza Desert Range Member; abandonando de esta manera la división propuesta por Cornwall & Kleinhampl en trabajos anteriores, y reconociendo más afloramientos distribuidos en el sureste de Nevada y suroeste de California.

**Litología y espesor:** La Formación Carrara posee 400 metros de espesor distribuidos, como ya se mencionó antes, en nueve miembros, los cuales se describen a continuación:

**Miembro Lutita Eagle Mountain:** Corresponde a la parte basal de la Formación Carrara, teniendo su localidad tipo en el lado oeste de la montaña Eagle, Inyo County, California. Consiste en lutita de color gris y café, con zonas de oxidación en fracturas, intercalada con capas delgadas de sedimentos carbonatados y arenisca. La arenisca es de cuarzo, formando lentes de varios metros de longitud. En la parte superior del Miembro existen intercalaciones con carbonatos, los cuales son lenticulares y poseen fragmentos de trilobites y equinodermos en una matriz terrígena ([Palmer & Halley, 1979, p. 09](#))

**Miembro Caliza Thimble:** Sobreyace concordantemente al miembro anterior, y es sobreyacido por el Miembro Lutita Echo, teniendo su localidad tipo en la parte oeste de Titanother Canyon, al sur de Thimble Peak, Grapevine Mountains, California. Este miembro está compuesto de caliza dolomítica arcillosa de color negro – café y naranja, con estratificación delgada (1 – 10 cm), variando en el contenido de arcilla en diferentes localidades. Cada una de las capas de este miembro presenta en la parte inferior caliza de

color gris – oscuro con fragmentos de trilobites, granos de cuarzo y fragmentos de dolomita y caliza; mientras que en la parte superior es dolomítica o arcillosa de color naranja. En el área de Striped Hills y Resting Springs Range, cada capa presenta gradación en la parte inferior, consistiendo de calcarenita que sobreyace una superficie de erosión. En las secciones de la parte este las calizas poseen escasos fósiles, pero en la parte norte, oncolitos, hiolítidos, equinodermos y fragmentos de trilobites son muy abundantes. En Echo Canyon, en las montañas Funeral, este miembro posee una capa de estromatolitos.

Miembro Lutita Echo: Corresponde a una lutita micácea laminar de color verde, la cual separa el Miembro Caliza Thimble del Miembro Caliza Gold Ace. Posee su localidad tipo en Echo Canyon. Esta unidad es muy similar al Miembro Lutita Eagle Mountain, aunque es más calcárea y en algunas localidades consiste de caliza y lutita intercalada. Los intervalos más calcáreos son de color café o naranja.

Miembro Caliza Gold Ace: Representa una caliza «algal» de color gris – oscuro, la cual aflora cerca de la mina Gold Ace (Carrara Canyon). El contacto inferior es gradacional con el Miembro Lutita Echo, el cual ocurre a través de unas calizas arcillosas. El contacto superior con el Miembro Caliza Pyramid es brusco. El Miembro Caliza Gold Ace es una caliza microesparítica, interpretada como una caliza arcillosa o lutita calcárea cuando se depositó. Este miembro presenta oncolitos recristalizados, así como partes esqueléticas, representando wackstones y mudstones.

Miembro Lutita Pyramid: Posee su localidad tipo en la base oeste de Pyramid Peak, en las montañas Funeral, California. Sobreyace el Miembro Caliza Gold Ace y es sobreyacida por el Miembro Caliza Red Pass. Consiste de lutita de color verde, intercalada con limolita de color café y marrón, con menor cantidad de cuarcita y caliza. La base es una lutita micácea fisil de color café y verde altamente fosilífera. Los fósiles predominantes son trilobites desarticulados. Algunas capas de fragmentos bioclásticos ocurren en la parte

superior. Los fragmentos de trilobites forman packstones o grainstones. En la parte superior del miembro afloran limolitas de color marrón y marrón, las cuales son muy abundantes y poseen bioturbación.

Miembro Caliza Red Pass: Sobreyace de manera concordante al Miembro Lutita Pyramid. Fue nombrado por Reynolds, 1971, en Red Pass, 01 km al este de Canyon Titanothera, teniendo su localidad tipo en Grapevine Mountains, California. Este miembro consiste principalmente de caliza formando acantilados, la cual en ocasiones es oncolítica y oolítica. La base del miembro es localizada sobre una caliza de 50 cm de espesor sobre el Miembro Lutita Pyramid.

Miembro Lutita Pahrump Hills: Posee su localidad tipo en Pahrump Hills, Pahrump, Nye County, Nevada. Consiste en una sedimentación predominantemente clástica, en comparación con los miembros anteriores, los cuales son carbonatados. Este miembro consiste de limolitas y lutitas de color rojo y verde, con menor cantidad de caliza y arenisca de grano fino. El contacto inferior con el Miembro Caliza Red Pass es abrupto. El contacto superior con el Miembro Caliza Jangle es gradacional y se encuentra posicionado sobre un banco de caliza oolítica. La litología más común en la mitad inferior del miembro es una limolita de color naranja y café cementada con carbonatos. Estas capas de limolitas son delgadas y están intercaladas con finas capas de arena.

La mitad superior del miembro consiste en una secuencia de limolitas y lutitas de color rojo, café y verde, intercaladas con capas de caliza. La lutitas rojas forma una distintiva serie de color rojo que se torna más gruesa hacia el sureste de Echo Canyon.

Miembro Caliza Jangle: Sobreyace concordantemente el Miembro Lutita Pahrump Hills, fue nombrado por Johnson & Hibbard (1957, p. 339) en Jangle Ridge, Halfpint Range, Nevada. Consiste en una caliza formando cantiles, la cual se encuentra

intercalada con lutita calcárea. Posee una abundante fauna en la que sobresalen trilobites y equinodermos.

**Miembro Caliza Desert Range:** Es el miembro superior de la Formación Carrara. Posee su localidad tipo en Desert Range, 64 km al noroeste de Las Vegas, Nevada. Consiste básicamente en caliza intercalada con capas de dolomita. El contacto inferior con el Miembro Caliza Jangle es concordante y el contacto superior con la Formación Bonanza King es gradacional.

**Distribución:** California, Nevada, USA.

**Relaciones estratigráficas:** La Formación Carrara sobreyace a la Formación Cuarcita Zabriskie y es sobreyacida por la Formación Bonanza King.

**Sección y área tipo:** Death Valley, California (Palmer & Halley, 1979).

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** El Miembro Lutita Eagle Mountain no proporcionó abundantes fósiles, sin embargo, en la colección original de Palmer & Halley, se menciona la presencia de *Olenellus arcuatus* y *O. cylindricus*. El Miembro Caliza Thimble proporcionó las especies *Bristolia anteros*, *B. bristolensis*, *B. fragilis*, *Olenellus clarki*, *O. euryparia*, *O. fremonti?*, *O. howelli?*, *O. puertoblancoensis*, *Peachella brevispina*, *P. iddingsi*, y fragmentos de ptychopariidos indeterminados. La fauna recolectada en el Miembro Lutita Echo es escasa, sin embargo se han identificado fósiles de *Olenellus clarki* y *Olenellus* sp. El Miembro Caliza Gold Ace proporcionó fósiles de *Olenellus puertoblancoensis* (Lochman) y *O. howelli?* (Meek), así como fragmentos de olenélidos indeterminados. El Miembro Lutita Pyramid en su base abundantes fósiles de *Olenellus clarki*, *O. fremonti*, *O. gilberti*, *O. multinodus* y *O. brachyomma*. El Miembro Caliza Red Pass es considerado pobremente fosilífero. En la parte inferior de la unidad se recolectaron ejemplares de *?Fieldaspis* sp., *Kochaspis augusta*, *K. liliana*, *Kochiellina groomensis*, *K.*

*janglensis*, *Plagiura extensa*, *P. retracta*, *P. sp. cf. P. cercops*, *Schistometopus sp.*, así como trilobites ptychopariidos indeterminados. En la parte superior de la unidad se recolectaron fósiles de *Albertelloides mischi*, *Kootenia germana*, *Nyella granosa*, *N. clinolimbata*, *N. immoderata*, *Oryctocephalina maladensis*, *Oryctocephalites typicalis*, *Pachyaspis gallagari*, *Pagetia resseri*, *Paralbertella bosworthi*, *Peronopsis lautus*, *Poliella germana*, *Ptarmiganoides crassaxis*, *P. hexacantha*, *Zacanthoides sp. cf. Z. alatus*, *Z. variacantha*, así como ptychopariidos indeterminados. Para el Miembro Lutita Pahrump Hills se recolectaron ejemplares de *Albertelloides rectimarginatus*, *Caborcella pseudaulax*, *C. reducta*, *Chancia sp. cf. C. venusta*, *Kootenia germana*, *Pachyaspis gallagaria*, *Pagetia resseri*, *Syspacephalus obscurus*, *Volocephalina connexa*, *Zacanthoides? sp.*, *Albertella longwelli*, *A. spectrensis*, *Albertellina aspinosa*, *Mexicella grandoculus*, *M. mexicana*, *Nyella granosa*, *Plagiura minor*. El Miembro Caliza Jangle, proporcionó fósiles de *Albertella longwelli*, *A. spectrensis*, *Albertelloides sp.*, *Mexicaspis radiatus*, *Plagiura minor* y *Volocephalina contracta*. Finalmente, el Miembro Caliza Desert Range, proporcionó fragmentos de *Glossopleura walcotti*, *G. lodensis*, y *?Alokistocarella sp. cf. A. brighmensis*.

## 8. ESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE SAN JOSÉ DE GRACIA

Los primeros estudios llevados a cabo en las rocas cámbricas de San José de Gracia, son los realizados por [Maytorena–Silva \*et al.\* \(1990\)](#), quienes mencionan la presencia de rocas cámbricas en la parte central del estado de Sonora, estudiando principalmente sus implicaciones tectónicas.

[Almazán–Vázquez \(2002\)](#), realiza los primeros estudios paleontológicos de las rocas cámbricas de esta región, tal como lo demuestran algunos resúmenes cortos publicados en memorias. Este mismo autor menciona la presencia de una abundante fauna del Cámbrico temprano y medio, dividiendo la secuencia sedimentaria de la loma El Chihuarruita en 07 miembros (A–G), Tabla 1. [Stewart \*et al.\* \(2002\)](#), colectaron fósiles de *Oryctocara* sp., *Peronopsis* sp., *P. bonnerensis?*, *P. brighamensis*, *Oryctocephalus* sp., *Pagetia* sp., *Ehmaniella* sp., entre otros identificados por el Dr. Allison Palmer. Posteriormente, [Buitrón \*et al.\*, 2004](#), mencionan la presencia del eocrinoide *Gogia spiralis* [Robison, 1965](#), así como la presencia de los trilobites índice *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* en el Cámbrico inferior y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* en el Cámbrico medio. [Cuen \*et al.\* \(2009\)](#), asigna las rocas del Cámbrico inferior de esta área a la Zona de *Olenellus* y las relaciona con otras rocas del sur de los Estados Unidos de América. [Nardin \*et al.\* \(2009\)](#), en una reevaluación del material fósil propuesto por [Buitrón, \*op cit.\*](#), realizan un estudio paleoecológico y sistemático de *Gogia granulosa* [Robison, 1965](#); así como una descripción detallada de los miembros litológicos propuestos por autores anteriores (Tabla 2). [Buitrón \*et al.\* \(2011\)](#), mencionan la presencia de los moluscos hiolítidos *Hyolithes sonora* [Lochman, 1952](#) y *Haplophrentis reesei* [Babcock & Robison, 1988](#). Posteriormente [Huerta–Ruiz \(2011\)](#), en su tesis de Licenciatura, realiza el estudio detallado, así como la descripción sistemática de estas dos especies.

Cuen (2012), realiza un estudio detallado de la estratigrafía y paleontología de estas rocas cámbricas y las establece como secciones de referencia del Cámbrico del área de Caborca, identificando las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos, con cambios de facies hacia ambientes más externos (Tabla 2). El mismo autor realiza una reevaluación del material fósil e identifica la presencia de *Ogygopsis* sp., *Pagetia* sp., *Lingulella* sp., y escleritos aislados de *Chancelloria* sp., mencionando además la posible presencia de *Salterella* sp. Cuen *et al.* (2012), hablan de la presencia de la Zona de *Albertella* en la Formación Arrojos, debido a la presencia de los trilobites *Oryctocephalus* sp., *Ogygopsis typicalis*, *Elrathina antiqua*, *Bathyriscus* sp., *Peronopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri* (identificadas por el Dr. Frederick Sundberg) y escleritos aislados de *Chancelloria* sp. cf. *C. eros* Walcott, 1920; confiriendo estas rocas a un ambiente marino de plataforma externa, posiblemente del cinturón detrítico exterior.

Estratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora.				
Almazán, 2002	Nardin <i>et al.</i> , 2009	Cuen, 2012	Presente trabajo	Serie
Miembro G	Miembro G	Formación Arrojos	Formación El Gavilán	Cámbrico medio
Miembro F	Miembro F			
Miembro E	Miembro E	Formación Cerro Prieto	Formación Cerro Prieto	
Miembro D	Miembro D	Formación Buelna	Formación Buelna	
Miembro C	Miembro C	Formación Proveedora	Formación Proveedora	
Miembro B	Miembro B			
Miembro A	Miembro A			

Tabla 2 – Unidades estratigráficas del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora.

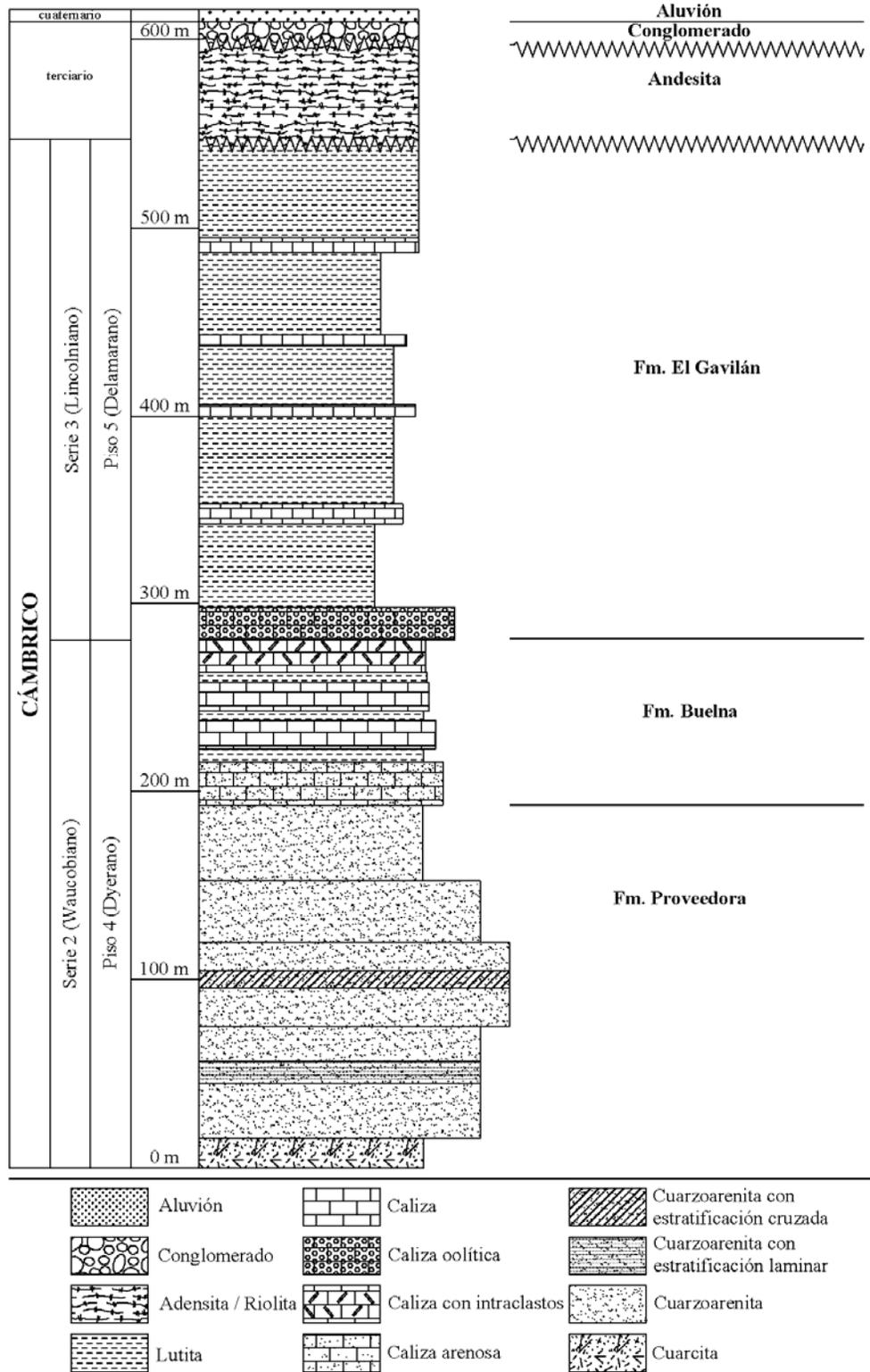


Figura 5 – Columna estratigráfica del área de estudio, San José de Gracia, con énfasis en las rocas cámbricas.

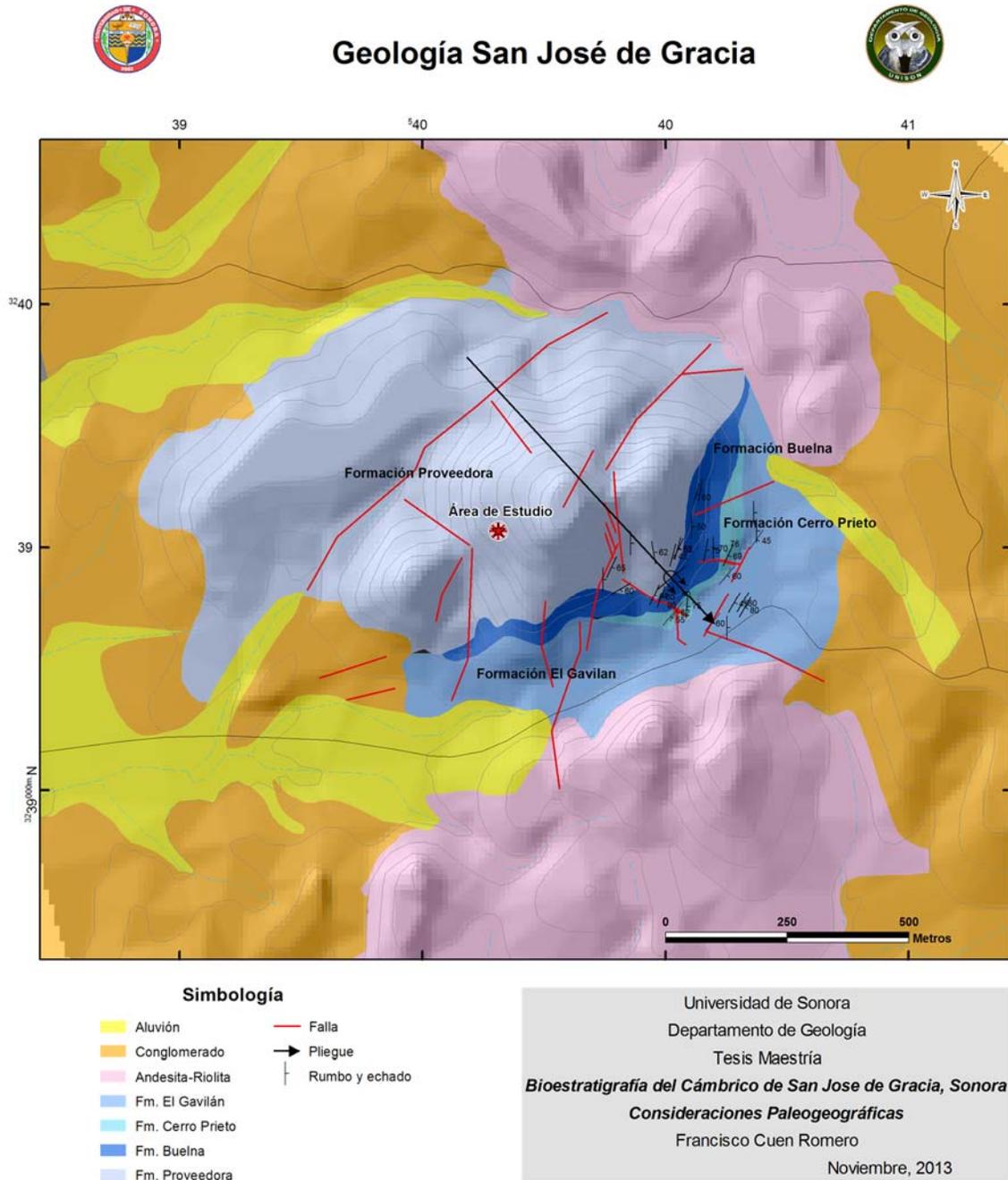


Figura 6 – Mapa Geológico del área. Loma El Chihuarruita, San José de Gracia.

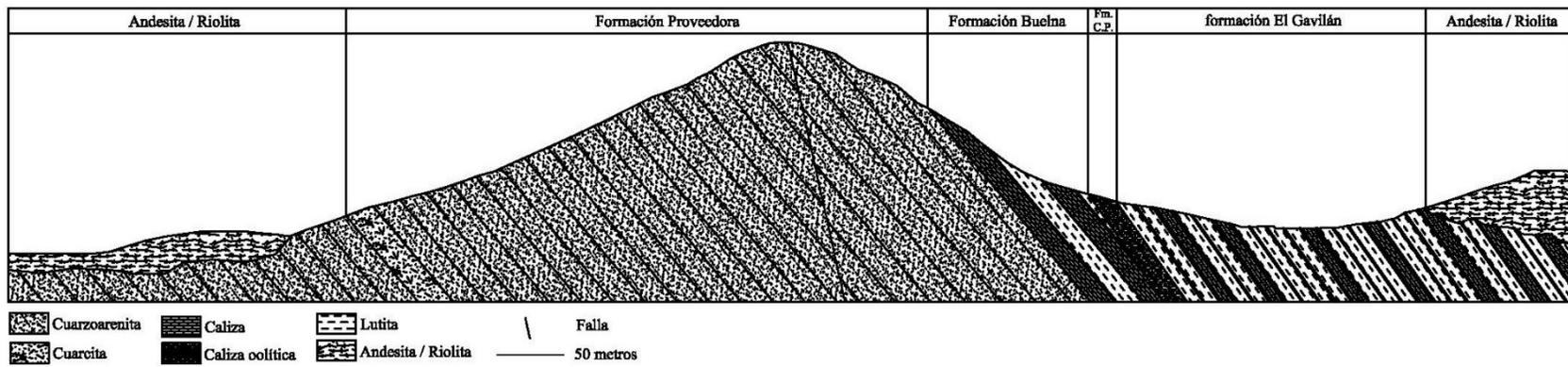


Figura 7 – Perfil esquemático del Cerro El Chihuarruita. Sección en dirección NW – SE.

### 8.1. FORMACIÓN PROVEEDORA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** La Formación Proveedora fue definida en los cerros del mismo nombre en el área de Caborca, Sonora. Está compuesta por intercalaciones de cuarcita y arenisca. La cuarcita aflora en la base y es de color blanco con tonalidades grises y manchas de óxidos de fierro. La arenisca es de color café oscuro, verde y de grano fino, observándose en algunas ocasiones muy silicificada. En la cima se encuentra un horizonte de 37 metros de cuarcita, aparentemente menos metamorfoseada, con fragmentos de trilobites, los cuales no pudieron ser identificados con certeza por sus descriptores originales, así como alta bioturbación. La unidad posee un espesor de 226 metros (Cooper *et al.*, 1956).

Nardin *et al.* (2009), realiza la primera publicación detallada de la estratigrafía de las rocas cámbricas de San José de Gracia, dividiendo éstas rocas detríticas en tres miembros (A, B, C) en base a su litología, compuesta por cuarcita y arenisca. Cuen (2012), asigna éstas rocas a la Formación Proveedora (Cooper *et al.*, 1952) estableciéndolas como sección de referencia del área de Caborca (CNNE, 2010).

En el área de San José de Gracia, la Formación Proveedora, se observa como un paquete de cuarzoarenita, de coloración rosa, con manchas de óxido. Se encuentra coronando la loma El Chihuarruita, y la fuerte fracturación y contacto con capas de roca menos competente (caliza), le confiere un aspecto fallado (Figuras 6, 7 y 8).

**Litología y espesor:** En la base de la unidad aflora un paquete de cuarcita de color café – oscuro, con granos de cuarzo que no sobrepasan el milímetro de espesor, siendo granos subredondeados y de manera general con una buena clasificación granulométrica. Estas capas poseen estratos menores a 1 metro en espesor y es posible observar abundantes manchas de óxidos de fierro. En este nivel es posible encontrar estratificación laminar y estratificación cruzada, la cual nos habla de cambios en la mecánica de fluidos.

Posteriormente aflora un paquete de arenisca gruesa de cuarzo de color café y amarillo, el cual al parecer posee una estructura conglomerática, con clastos del tamaño de gravas, los cuales son subangulosos – subredondeados y con un diámetros de 02 a 03 mm.

Después aflora un paquete de cuarzoarenita de grano fino, de color guinda y café oscuro, seguido por arenisca de color rosa y en ocasiones de color café rojizo, presentando también manchas de óxidos de fierro. Posee estratificación laminar y cruzada, así como también abundante fracturamiento. Por último se presenta cuarzoarenita de forma masiva. En muestra de mano el tamaño de los clastos se observa de manera uniforme, no sobrepasando el milímetro, pero en lámina delgada muestra variaciones que van desde grano medio a grueso. También es posible observar cristales de pirita de tamaño de 01 mm, los cuales se encuentran oxidados. Estas rocas están compuestas por más del 95% de granos de cuarzo, variando en tamaño de 0.40 a 0.150 mm observándose en algunas ocasiones sobrecrecimiento de cuarzo rellenando espacios porosos, siendo el cementante principal sílice. Se considera bien clasificada, con redondez subangulosa – subredondeada y madura. El contacto entre los clastos varía entre cóncavo – convexo a recto, pudiéndose observar también muy pocos granos suturados (Figura 10). El contenido de feldespato es poco o ausente, observándose restos de plagioclasa alterada, así como alteración arcillosa, tomando coloraciones verde y amarilla; respecto a los fragmentos de roca, únicamente se observan clastos de pedernal (cuarzo microcristalino), los cuales son escasos.

La mayoría de las capas presenten un rumbo preferencial 30 NE. Para esta unidad se considera un espesor total de 225 metros.

**Distribución:** La sección de referencia de la Formación Proveedora aflora únicamente en la loma El Chihuarruita, encontrándose topográficamente en la cima de la misma.

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior no se observa, ya que se encuentra cubierto por rocas volcánicas del terciario, mientras que es sobreyacida en forma concordante por la Formación Buelna del Cámbrico inferior.

**Sección y área tipo:** La sección tipo de la Formación Proveedora se encuentra en los cerros La Proveedora, área de Caborca, mientras que la sección de referencia de San José de Gracia se encuentra en las coordenadas geográficas 29°17'05"N y 110°34'60"W, para la cual se midió una sección aproximada de 225 metros en dirección NW – SE.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo, en la parte superior de la unidad, en los horizontes de arenisca de grano grueso, existe gran cantidad de icnofósiles identificados como *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, *Thalassinoides* isp. (Figura 9 y 11), *Diplocraterion* isp., *Planolites* isp., *Arenicolites* isp. y *Palaeophycus* isp. Aunque para el área de estudio no se encontraron fósiles índices, por correlación con la Formación Proveedora del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1956) se le asigna una edad de Cámbrico temprano.

**Ambiente de depósito:** La icnofacies de *Skolithos*, propuesta por Seilacher (1964), corresponde a medios depositacionales de elevada energía hidrodinámica, habitualmente donde se llevan a cabo de manera frecuente fenómenos erosivos, los cuales eliminan posibles estructuras biogénicas, producidas por organismos bentónicos y/o filtradores. El resultado es una asociación con baja diversidad dominada por abundantes estructuras más profundas que incluyen tubos verticales (*Skolithos* isp., *Ophiomorpha* isp., *Arenicolites* isp.) así como estructuras de equilibrio (*Diplocraterion* isp. y *Conichnus* isp.). La icnofacies de *Skolithos* es representativa de ambientes arenosos, tales como zonas de litorales y sublitorales de playa, barras de arena o frentes deltaicos (Gibert *et al.*, 1998). La icnofacies de *Arenicolites* (Bromley & Asgaard, 1991) es muy similar a la icnofacies de *Skolithos*, sin embargo, ambas corresponden a condiciones ambientales muy diferentes. Mientras la

icnofacies de *Skolithos* representa la actividad de comunidades bentónicas adaptadas a energía elevada y substratos móviles, la icnofacies de *Arenicolites* es producida por la colonización bajo condiciones energéticas tranquilas de substratos arenosos depositados en eventos depositacionales de alta energía. Por otra parte, algunas asociaciones correspondientes a la colonización de depósitos tempestivos por organismos sedimentívoros vágiles que daría lugar a trazas de pastoreo tipo *Planolites* isp. o *Scalarituba* isp., no tendría lugar en la icnofacies de *Arenicolites*, mientras que en la icnofacies de *Skolithos* sí (Gibert *et al.*, 1998). En base a lo anterior y teniendo en cuenta la presencia de *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, *Arenicolites* isp. y *Planolites* isp., se considera a la Formación Proveedora de San José de Gracia de un ambiente marino somero, de intermarea y submarea de la icnofacies de *Skolithos*. Lo anterior es congruente con lo propuesto por Rivera-Carranco (1988a), quien supone a la Formación Proveedora del área de Caborca depositada en un medio somero de inframareas e intermareas, es decir, por la actividad del oleaje cerca de la línea de costa.

**Correlación regional:** La Formación Proveedora del área de Caborca y San José de Gracia son muy similares litológicamente. Las principales características en común y similitudes presentes en ambas localidades se pueden resumir de la siguiente manera:

Ambas unidades, poseen en mayor o menor proporción contenido litológico similar, correspondiente a cuarcita y arenisca. Según la información estratigráfica proporcionada por los estudios de Cooper *et al.* (1956), la Formación Proveedora del área de Caborca posee potentes capas de cuarcita de hasta 82 m, intercaladas con capas de arenisca menos masiva, indicando que en la parte superior de la unidad aflora un paquete de arenisca de 100 m de espesor. Las rocas de San José de Gracia son similares, aunque el contenido de cuarcita es menor, siendo más común la presencia de cuarzoarenita masiva.

Los estudios petrológicos llevados a cabo por Cooper *et al.* (*op cit.*), permiten cierta flexibilidad al momento de realizar una correlación litológica, ya que en sus descripciones es común mencionar cuarcita o arenisca «aparentemente menos metamorfoseada», considerando lo anterior, es posible que se trate de areniscas y requieren ser determinadas nuevamente con mayor precisión. Las actitudes de estas rocas son similares en ambas localidades, presentando diaclasas, manchas de óxidos, entre otros.

Las dos unidades poseen el mismo orden y posición estratigráfica. La Formación Proveedora del área de Caborca se encuentra sobreyaciendo de manera concordante a la Formación Puerto Blanco y es sobreyacida de la misma manera por la Formación Buelna, sin embargo, en el área de San José de Gracia, el contacto inferior de la Formación Proveedora no se observa, ya que se encuentra cubierto por rocas volcánicas del terciario, mientras que el contacto superior, con la Formación Buelna es concordante.

El espesor de ambas formaciones es muy similar. La Formación Proveedora del área de Caborca, según sus descriptores originales puede variar de 225 – 260 metros en su localidad tipo, midiéndose en cerro Prieto solamente 45 metros. En el área de San José de Gracia posee un espesor de 225 metros.

La Formación Proveedora del área de Caborca contiene fragmentos de olenélidos y lingúlidos en mal estado de conservación, así como también gran abundancia de *Skolithos* isp., sin embargo, la Formación Proveedora del área de San José de Gracia, únicamente se han observado icnofósiles, principalmente *Skolithos* isp. cf. *S. linearis* (Figura 8), *Planolites* isp. y *Arenicolites* isp., no encontrándose invertebrados complejos. En base a lo anterior, se infiere que la Formación Proveedora del área de Caborca pudiera corresponder a la icnofacies de *Skolithos* o *Arenicolites*, debido a la presencia de estos invertebrados (olenélidos y lingúlidos), lo cual es mayormente posible en la icnofacies de *Arenicolites*, pero que también pudieron ser transportados, como lo demuestra el mal

estado de conservación, dificultando inclusive su identificación genérica. Como ya se discutió antes, la icnofacies de *Arenicolites*, refleja una colonización en condiciones climáticas tranquilas y en la cual también es posible encontrar la presencia de *Skolithos* isp. solo que esta icnofacies representa un ambiente más tranquilo con cambios violentos repentinos, como lo podría argumentar la existencia de trilobites y braquiópodos no sometidos a altas condiciones de estrés, para después ser acumulados mecánicamente durante el cambio de condiciones ambientales repentinas. Los estudios de Rivera–Carranco, (1988a, 1988b), en las rocas cámbricas de la Formación Provedora de Caborca, presentan más tendencia hacia la icnofacies de *Skolithos*, es decir, depositadas en un medio muy somero de inframareas e intermareas, inclusive con la influencia de un delta, debido a la presencia de feldespatos. Lo anterior no sucede en la Formación Provedora de San José de Gracia, al no proporcionar fósiles de invertebrados y encontrarse en asociación *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, *Arenicolites* isp. y *Planolites* isp. Por lo tanto se infiere que las dos formaciones son equivalentes y/o correlacionales, pero con un cambio de facies notorio.



Figura 8 – Fotografía panorámica de la Formación Provedora viendo al NW.



Figura 9 – *Skolithos* isp. cf. *S. linearis* de la Formación Provedora, San José de Gracia.

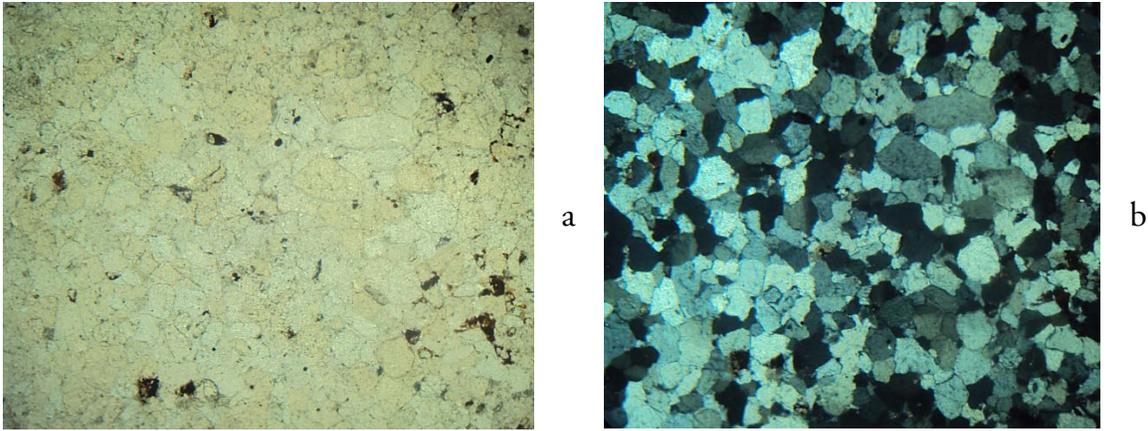


Figura 10 – Cuarzoarenita de la Formación Provedora. Clastos con tamaño menor a 2 mm (grano medio), de forma subangulosa – subredondeada, bien clasificada, texturalmente madura. Contacto entre los granos es recto. Compuesta de cuarzo mayor al 95% presentando sobrecrecimiento de cuarzo secundario (cemento), los feldespatos y los fragmentos de rocas son escasos. Fig. a, luz natural. Fig. b, luz polarizada.



Figura 11 – *Thalassinoides* isp. de la Formación Provedora, San José de Gracia.

## 8.2. FORMACIÓN BUELNA

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Su localidad tipo fue definida en el cerro Buelna, área de Caborca. Consiste principalmente de caliza granular que pasa a arenisca calcárea en algunas capas. La arenisca es de color café de grano fino, delgada, pasando a fisil en la parte baja y con lutita roja lenticular en contacto con la Formación Cerro Prieto. La caliza es gris, arenosa y en algunas ocasiones de color verde. En la base existen coquinas de *Salterella* sp. y trilobites acumulados aparentemente por acción mecánica. En la parte media de esta formación hay dos bancos de caliza muy resistentes a la erosión, formados exclusivamente por oncolitos de *Girvanella*. La parte superior de la formación está constituida por lutita, arenisca calcárea y caliza en capas delgadas que contienen bancos oolíticos o conglomeráticos con clastos de caliza, con gran cantidad de trilobites. En la mitad superior se encontraron los trilobites índices *Onchocephalus*, “Antagmus” y *Bonnia* (Cooper *et al.*, 1956; Rivera–Carranco, 1988a). El espesor de la formación es de 70 metros, su base y su cima son concordantes con la Formación Provedora y la Formación Cerro Prieto respectivamente.

En el área de San José de Gracia, Nardin *et al.* (2009), engloba las rocas de esta formación en el miembro D, confiriendo estas rocas al Piso 4, a la Zona de *Bonnia* – *Olenellus*, la cual actualmente se encuentra en desuso, como se verá más adelante. Cuen (2012), asigna estas rocas a la Formación Buelna del área de Caborca.

En el área de estudio se presenta como intercalaciones de caliza y lutita, con gran cantidad de fósiles, aflorando en la parte sureste de la loma El Chihuarruita.

**Litología y espesor:** De la base a la cima, consiste en caliza arenosa intercalada con lutita. En la base aflora una caliza arenosa de color morado – oscuro, en estratos de hasta 01 m, la cual presenta granos de cuarzo en una matriz calcárea muy alterada con óxidos;

los granos de cuarzo varían en tamaño de 150 a 300  $\mu\text{m}$ , siendo en general angulosos a subangulosos, mal clasificados. Esta capa posee un grosor de 19 metros (Figura 12).

Sobre la secuencia anterior se encuentran intercalaciones de lutita y caliza (esta última presenta una matriz de micrita con contenido de fósiles mayor al 50%, los cuales corresponden a hiolítidos y fragmentos de trilobites no identificables)(Figura 13 y 14). Según la clasificación de Dunham (1962) y Folk (1965), se considera como packstone y biomicrita. Estas intercalaciones poseen un total de 40 metros. Después aflora una capa de lutita de 06 metros, aparentemente sin fósiles, observándose muy erosionada y parcialmente cubierta. Seguido se encuentra una capa de caliza de color amarillo y café, con un espesor de 9.10 metros y con alto contenido de algas oncolíticas. Los oncolitos son muy abundantes y miden de 5 a 25 mm de diámetro, poseen laminaciones concéntricas de 0.2 – 1.0 mm de espesor; son de color gris a negro en una matriz tipo packstone muy hematizada, no observándose filamentos tipo *Girvanella* (Beraldi–Campesi *et al.*, 2013).

Finalmente se encuentra una capa de caliza gris–oscuro, con clastos arenosos de color amarillo en forma tabular que varían en tamaño de 10 a 15 cm. El espesor de esta unidad es de 74 metros.

**Distribución:** La sección de referencia de la Formación Buelna en el área de San José de Gracia, aflora únicamente en la parte sureste de la loma El Chihuarruita.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace de manera concordante a la Formación Provedora y es sobreyacida concordantemente por la Formación Cerro Prieto.

**Sección y área tipo:** Toma su nombre del cerro Buelna, donde se encuentra su localidad tipo. En el área de San José de Gracia se midió una sección de referencia NW – SE de aproximadamente 74 metros.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** En la parte media de la unidad se encuentran abundantes fósiles de moluscos, identificados como *Hyolithes sonora* Lochman, 1952 y *Haplophrentis reesei* Babcock & Robison, 1988, así como ?*Salterella* sp. en asociación con abundantes olenéllidos y biceratópsidos, identificados como *Olenellus* sp. y *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* Resser, 1928. La presencia de *Haplophrentis reesei*, *Hyolithes sonora* y ?*Salterella* sp., así como los fósiles colectados por Nardin *et al.*, 2009, y Cuen *et al.*, 2012, como es *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y ?*Olenellus* sp. indican una edad Serie 2, Piso 4. El contenido faunístico es asignado a la Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens*.

**Ambiente de depósito:** 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; lo anterior nos habla de posibles tormentas o aportes repentinos de material proveniente del exterior. También es posible una acumulación mecánica de fósiles, ya que la mayoría se encuentran fragmentados. La mayoría de los hiolítidos han sido reportados en ambientes submareales y arrecifales poco profundos, presentando a partir del Cámbrico tardío una marcada tendencia hacia aguas muy someras. En general se consideran organismos suspensívoros – filtradores, adaptados a un amplio rango de energía en el medio marino somero.

Por otra parte, la depositación de *Salterella* sp. en rocas carbonatadas del Paleozoico temprano sugiere que habitó aguas someras, abarcando desde aguas tranquilas hasta ambientes de marea, considerándose como un organismo bentónico (Yochelson, 1977).

Las muestras analizadas en lámina delgada son en su mayoría packstones, con aportes de detritos, lo que indica según el modelo de facies de Wilson (1975) facies lagunares de circulación abierta.

**Correlación regional:** La Formación Buelna del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952) es correlacional con la Formación Buelna del área de San José de Gracia en base a lo siguiente:

Ambas unidades poseen una composición litológica muy similar, la Formación Buelna del área de Caborca posee en su base una caliza gris arenosa, intercalada con capas de arenisca, las cuales contienen fragmentos de *Olenellus*. En la parte intermedia de la unidad aflora una caliza gris oscura con *Girvanella*, y en la parte superior es posible encontrar trilobites y *Salterella*. La Formación Buelna del área de San José de Gracia posee el mismo contenido litológico en menor o mayor proporción. Como ya se mencionó, la Formación Buelna del área de Caborca posee en la parte media de la unidad un banco de *Girvanella*, mientras que la Formación Buelna del área de San José de Gracia posee en la mitad superior un banco de algas oncolíticas, las cuales no fueron asignadas al género *Girvanella*, siendo éstas muy similares.

La posición estratigráfica de la Formación Buelna del área de Caborca es muy similar a la Formación Buelna de San José de Gracia. Sobreyacen a la Formación Provedora y son sobreyacidas por la Formación Cerro Prieto, siendo ambos contactos (inferior y superior) concordantes.

El espesor de ambas unidades es muy similar. La Formación Buelna del área de Caborca posee un espesor de 70 metros, mientras que la Formación Buelna del área de San José de Gracia posee un grosor de 74 metros.

El contenido faunístico de ambas unidades es muy similar, conteniendo principalmente trilobites olenéllidos y biceratópsidos, aunque cada una de las formaciones presenta organismos adaptados a diferentes ambientes.

La Formación Buelna del área de San José de Gracia puede ser biocorrelacionada con el Miembro Caliza Thimble, de la Formación Carrara (California). Este Miembro está compuesto por caliza arcillosa, intercalada con dolomita. El contenido faunístico es muy similar al de la Formación Buelna de San José de Gracia, siendo abundante la presencia de *Bristolia bristolensis* y fragmentos de *Olenellus*. El Miembro Caliza Thimble fue asignado por Palmer & Halley (1979), a la Zonula de *Bristolia*, sin embargo, según las zonaciones propuestas por Webster (2011), este miembro pertenece a la Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens*, lo mismo ocurre con la Formación Buelna de San José de Gracia.



Figura 12 – Caliza arenosa de color morado, Formación Buelna, San José de Gracia.

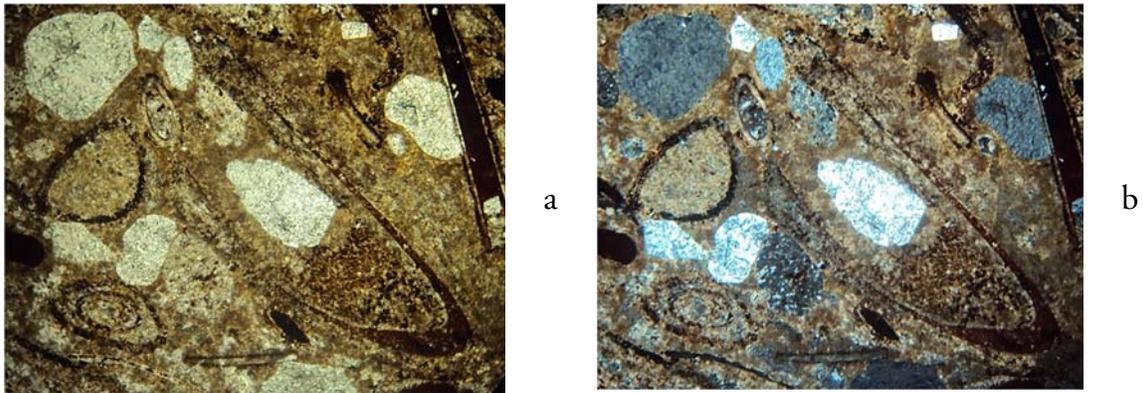


Figura 13 – Caliza muy alterada con aporte de detritos. Se observa una matriz de micrita, así como fósiles de hiolítidos y aporte de detritos. Dunham (1964) Packstone, Folk (1964) biomicrita. Fig. a, luz natural. Fig. b, luz polarizada.



Figura 14 – Fragmentos de trilobites en una matriz de esparita.

### 8.3. FORMACIÓN CERRO PRIETO

**Definición e historia nomenclatural de la unidad:** Consiste en caliza negra masiva con algunos horizontes oncolíticos, posiblemente de *Girvanella* sp., así como algunas muestras de bioturbación que le da un ligero aspecto moteado. A ésta formación se le asignó una edad del Cámbrico inferior? por sus descriptores originales, sin embargo, en discusiones posteriores la consideran como la transición del Cámbrico inferior al Cámbrico medio (Cooper *et al.*, 1956). El contacto inferior con la Formación Buelna es concordante, mientras que el contacto superior con la Formación Arrojos es normal. Posee un espesor de 110 metros.

En el área de San José de Gracia, Nardin *et al.* (2009), considera estas rocas en el miembro E, mientras que Cuen (2012), las interpreta como la Formación Cerro Prieto, debido a su posición estratigráfica y similitud con las rocas del área de Caborca. En el área de estudio aflora como una caliza masiva oolítica de color gris – oscuro y formando crestones que sobresalen al terreno. Se encuentra distribuida en la parte sureste de la loma El Chihuarruita (Figura 15).

**Litología y espesor:** La unidad se encuentra representada por caliza oolítica masiva, de color gris – oscuro, con un espesor de 17.30 metros, la cual se encuentra ligeramente dolomitizada y formando cantiles, con un fuerte intemperismo cárstico.

En muestra de mano las oolitas se observan oxidadas, de color naranja, y con un diámetro menor a 01 mm. En algunas ocasiones es posible observar vetillas de calcita con un espesor de 01 mm, las cuales son de color blanco. La presencia de cristales de hematita y pirita oxidada es común.

En lámina delgada se describe con una matriz micrítica con oolitos recristalizados, con un diámetro aproximado de 100  $\mu$ m. Según la clasificación de Folk (1965) se trata de una oomicrita (Figura 16).

**Distribución:** Sureste de la loma El Chihuarruita.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace de manera concordante a la Formación Buelna del Cámbrico inferior y es sobreyacida de manera concordante por la formación El Gavilán del Cámbrico medio.

**Sección y área tipo:** La Formación Cerro Prieto posee su localidad tipo en el cerro Prieto a 03 km al suroeste de Caborca. En el área de estudio se midió una sección de 17.30 metros.

**Fósiles y posición cronoestratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles, sin embargo, por relaciones estratigráficas se considera del Cámbrico inferior? o bien es parte de la transición Cámbrico inferior – Cámbrico medio (Cooper *et al.*, 1956; Lochman *in* Cooper *et al.*, 1956).

**Ambiente de depósito:** El depósito y formación de oolitas se encuentra relacionado con aguas marinas altamente agitadas, someras y supersaturadas. Por lo anterior comúnmente se forman en zonas de alta actividad de las mareas, en un ambiente submareal o intermareal inferior. Lo anterior sugiere que la Formación Cerro Prieto se depositó en un ambiente marino somero de alta energía, cercano a la línea de costa.

**Correlación regional:** Se correlaciona con la Formación Cerro Prieto del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1956).

En el área de Caborca, la Formación Cerro Prieto aflora como una caliza gris – oscura, formando crestones que sobresalen del terreno y con alto intemperismo tipo karst. En el área de San José de Gracia aflora con la misma actitud (Figura 17). La unidad en el área de Caborca posee estructuras circulares que no fueron estudiadas por los autores originales (Cooper *et al.*, 1956), y que son asignadas dudosamente a *Girvanella*, en el área de San José de Gracia posee gran cantidad de oolitas. Es posible que las estructuras

redondeadas del área de Caborca correspondan a oolitas y necesiten ser estudiadas a detalle.

La posición estratigráfica de ambas unidades es similar, ambas sobreyacen de manera concordante a la Formación Buelna y son sobreyacidas por la Formación Arrojitos de manera concordante.

El espesor de ambas unidades es diferente, en el área de Caborca la Formación Cerro Prieto posee un espesor de 85 – 125 metros, variando en el cerro Los Arrojitos a 100 – 110 metros. En el área de San José de Gracia se midió un espesor de 17.30 metros.



Figura 15 – Formación Cerro Prieto, San José de Gracia.

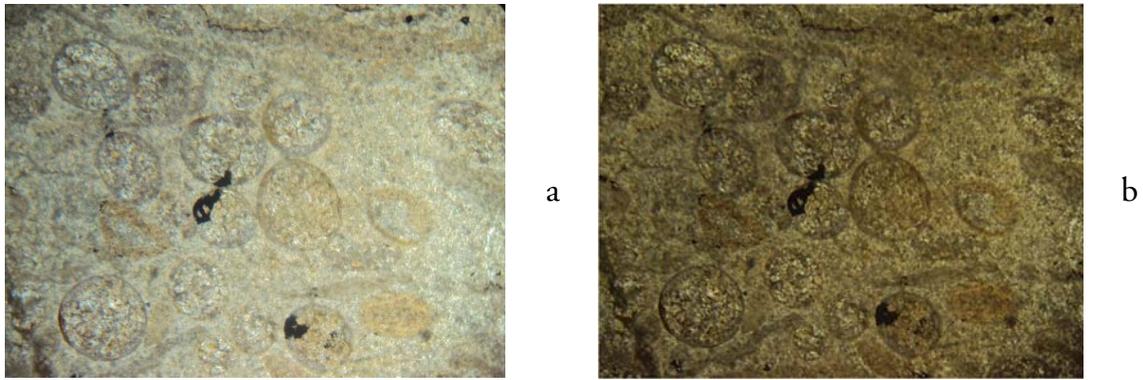


Figura 16 – Oolitos recristalizados, Formación Cerro Prieto, San José de Gracia. Se observa una matriz de micrita. Folk (1964) oomicrita. Fig. a, luz natural. Fig. b, luz polarizada.



Figura 17 – Caliza cárstica. Formación Cerro Prieto, San José de Gracia.

#### 8.4. FORMACIÓN EL GAVILÁN (INFORMAL)

La formación El Gavilán se pretende definir para englobar al conjunto de materiales detríticos y carbonatados, principalmente lutita de color rojo y caliza de color gris – oscuro, con abundantes fósiles de edad Serie 3, Piso 5 (Cámbrico medio tradicional) que afloran en la parte superior de la secuencia Cámbrica de San José de Gracia, Sonora, y que litológicamente son diferentes a la Formación Arrojos de Caborca.

Los estudios realizados por autores anteriores en el área de la loma El Chihuarruita no establecen satisfactoriamente una terminología adecuada para las unidades litoestratigráficas del Cámbrico que ahí afloran. La terminología propuesta por *Nardin et al.* (2009), que divide a toda la secuencia en miembros (A – G), resulta inadecuada debido a que no proporciona los datos necesarios para su utilización como nomenclatura estratigráfica nueva, tal como lo establece el *Código Estratigráfico Norteamericano* (NACSN, 2005), para la definición de unidades formales (Arts. 3–16); Aunado a lo anterior el establecimiento de nuevas unidades o miembros, al menos en los niveles inferiores de la secuencia, no es justificable, debido a que son correlacionales en base a su litología y contenido faunístico con las unidades Proveedora, Buelna y Cerro Prieto del área de Caborca propuestas por *Cooper et al.*, 1952, siendo aceptadas como secciones de referencia a estas (*Cuen*, 2012).

Por lo anterior informalmente se propone una nueva unidad, que resulta adecuada debido a que no presenta características litológicas similares a la Formación Arrojos o a ninguna otra unidad formal.

**Descripción:** La formación El Gavilán está compuesta por intercalaciones de lutita de color rojo con caliza de color gris – oscuro, con abundantes fósiles (Figura 18). La litología predominante es lutita de color rojo, la cual está intensamente fracturada formando delgadas láminas menores a 03 cm de espesor. Las capas de caliza, varían en

espesor desde 30 hasta 50 cm, siendo menos frecuente y con un contenido faunístico menor. Esta formación posee un espesor de 233.70 metros.

Esta unidad posee una abundante fauna fósil, compuesta por trilobites, braquiópodos inarticulados, espículas de esponja, chancellóridos, hiolítidos, entre otros. En la parte basal de la unidad, se encuentran horizontes de lutita donde son muy abundantes los braquiópodos *Acrothele* sp. (Figura 19) y *Linnarssonina* sp.

Posteriormente, en los horizontes de lutita superiores la fauna se torna muy abundante, identificándose los trilobites *Peronopsis* sp., *P. bonnerensis*, *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Elrathina antiqua*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp. y *Pagetia resseri*. Entre los braquiópodos se encuentran *Acrothele* sp., *Prototreta* sp., *Dictyonina* sp. (Figura 21), *Linnarssonina* sp., y *Lingulella* sp. (Figura 20), así como otros no identificados debido a su mal estado de conservación. En la cima de la unidad se colectaron espículas de esponjas hexactinélidas así como escleritos aislados de *Chancelloria eros* Walcott, 1920 (Figura 22) y *Diagoniella* sp. (Beresi *et al.*, 2013).

El contacto inferior de la unidad es concordante con la Formación Cerro Prieto, el contacto superior es discordante con rocas volcánicas del terciario.

**Antecedentes históricos:** Nardin *et al.* (2009), incluye las rocas de esta unidad en los miembros F y G, mencionando una gran cantidad de fauna representada por trilobites y braquiópodos, asignándoles un rango bioestratigráfico comprendido entre la Zona de *Albertella* y *Glossopleura*. Cuen (2012), asigna estas rocas como parte de la Formación Arrojos y las incluye dentro de la Zona de *Oryctocephalus*. Cuen (2012), sugiere estas rocas como sección de referencia a la Formación Arrojos del área de Caborca, sin embargo estudios posteriores, sugiere la creación de una nueva unidad litoestratigráfica, la cual sustituye lo establecido por autores anteriores.

**Dimensiones, forma y aspecto regionales:** La unidad puede ser fácilmente reconocida ya que forma una potente secuencia de lutitas de color rojo, generalmente muy fracturadas. Se encuentra intercalada con esporádicas capas de caliza de color verde claro.

**Edad:** En base al contenido faunístico de la unidad, se le asigna una edad de la Serie 3, Piso 5 (Cámbrico medio tradicional). Biozona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta (Sundberg, 2011).

**Correlación regional:** La formación El Gavilán (informal) puede ser biocorrelacionada con la parte superior del Miembro Caliza Red Pass de la Formación Carrara (Palmer & Halley, 1979) y la Formación Emigrant ubicada en Groom Range, Nevada. Ambas poseen la Zona de *Mexicella mexicana* y fueron depositadas en un ambiente de plataforma abierta. También puede ser biocorrelacionada con el Miembro Grassy Springs de la Formación Pioche, Oak Springs, Delamar Mountains (Sundberg, 2011).

**Ambiente de depósito:** Según los estudios realizados por Sundberg (2011), en el área del sureste de Nevada, los depósitos delamaranos, en dirección oeste – este, muestran cambios litológicos y paleontológicos desde un depósito de plataforma interior hasta plataforma exterior.

La plataforma interior está dominada por aguas someras, incluyendo bioturbación, oolitas, areniscas, oncolitos y limolita, esta zona también muestra gran cantidad de trilobites que pueden ser divididas en muchas biozonas. La rocas de la plataforma exterior, está dominada principalmente por aguas profundas conteniendo lutita, caliza con bandas de lutita, perdenal y limolita laminar, los trilobites son menos comunes en esta región. La plataforma abierta o intermedia se encuentra entre las dos zonas mencionadas

anteriormente y se caracteriza por una mezcla litológica de ambas facies (Sundberg, 2011).

Los estratos delamaranos en el sur – centro de Nevada, representan un ambiente de aguas un poco más profundas que el de la plataforma intermedia. Esos estratos incluyen lutita, lutita negra, y caliza laminar, con abundante caliza oncolítica y oolítica en la parte superior e inferior de la secuencia. Sundberg (*op cit.*), reconoce dentro de este ambiente la presencia de los trilobites *Peronopsis bonnerensis*, *Ogygopsis typicalis*, *Pagetia resseri*, *Elrathia antiqua*, *Pagetia rugosa*, *Oryctocephalus maladensis*, entre otros. La asociación faunística anterior es indicativa de la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*, tal como sucede en la formación El Gavilán de San José de Gracia. En base a lo anterior y considerando la abundancia de agnóstidos, el ambiente de depósito de estas rocas es considerado de un ambiente de plataforma abierta (intermedia).



Figura 18 – Capas de lutita roja. Formación El Gavilán. San José de Gracia.



Figura 19 – *Acrothele* sp. (23X) de la formación El Gavilán, San José de Gracia.



Figura 20 – *Lingulella* sp. (13X) de la formación El Gavilán, San José de Gracia.

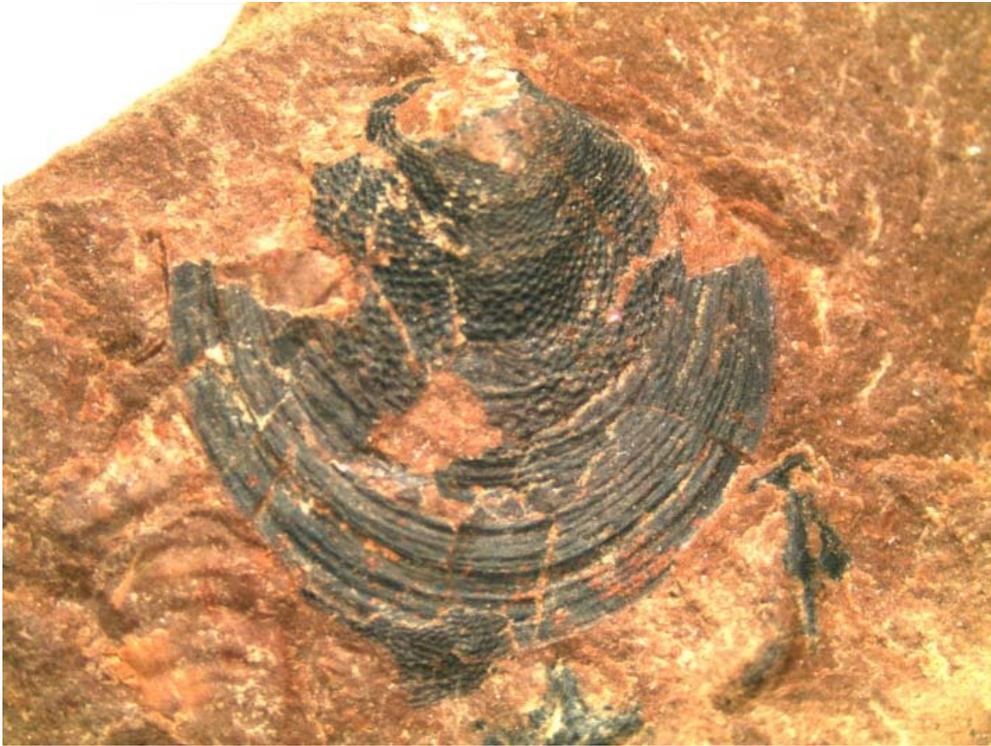


Figura 21 – *Dictyonina* sp. (8X) formación El Gavilán, San José de Gracia.



Figura 22 – Esclerito de *Chancelloria eros* (30X) de la formación El Gavilán, San José de Gracia.

## 9. BIOESTRATIGRAFÍA

Las zonas faunísticas del presente capítulo se encuentran basadas en trilobites, debido a que estos representan las faunas marinas dominantes durante el Cámbrico, y los principales indicadores bioestratigráficos para el Paleozoico inferior. Lo anterior se debe a que la mayoría de los microfósiles útiles en bioestratigrafía se encuentran ausentes cerca de la base del Cámbrico.

Las zonaciones han sido establecidas en este estudio conforme a las propuestas por Webster (2011) y las propuestas por Peng *et al.*, 2012; así como las establecidas por la International Commission on Stratigraphy (ICS, 2012). Para las zonaciones del Cámbrico medio, se han considerado las propuestas por Sundberg, 1994; Sundberg & McCollum (2003); McCollum & Sundberg (2007). Para las zonaciones de agnóstidos se han considerado las propuestas por Robison (1984).

### 9.1. SAN JOSÉ DE GRACIA

#### 9.1.1. FORMACIÓN PROVEEDORA

La Formación Proveedora del área de San José de Gracia no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo, es considerada del Cámbrico inferior, debido a sus relaciones estratigráficas.

#### 9.1.2. FORMACIÓN BUELNA

##### Trilobites:

1. *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis*
2. *Olenellus* sp.

**Fauna asociada:** *Obolella* sp., *Hyolithes sonora*, *Haplophrentis reesei*.

**Biozona:** ?*Bristolia mohavensis* o ?*Bristolia insolens*.

**Edad:** Serie 2, Piso 4 (El límite no ha sido definido y es posible que el límite de la Serie 2 y 3, Piso 4 y 5, puedan ser desplazados debajo de las biozonas mencionadas anteriormente)(Figura 23).

**Regional (Laurentia):** Waucobiano, Dyerano.

**Comentarios:** El objetivo de zonaciones bioestratigráficas de alta resolución ha requerido que la zona de *Olenellus* o *Bonnia–Olenellus* sea abandonada (Webster, 2011). Seis nuevas zonaciones bioestratigráficas son establecidas en la parte superior del Dyerano, sustituyendo la zona de *Olenellus*, de la más antigua a la más joven: *Arcuolenellus arcuatus*, *Bristolia mohavensis*, *Bristolia insolens*, *Peachella iddingsi*, *Bolbolenellus euryparia* y *Nephrolenellus multinodus*. La base de cada zona se encuentra definida por la primera aparición (FAD) de la especie del mismo nombre.

La Zona de *Bristolia mohavensis* está definida por la primera aparición (FAD) de *B. mohavensis* y el límite superior está delimitado por la primera aparición de *B. insolens*. La Zona de *B. mohavensis* ocurre 18 metros sobre la base de la Formación Carrara en Emigrant Pass; 48 metros sobre la base del Miembro Delamar de la Formación Pioche en Klondike Gap, y 2.5 metros sobre la base de Latham Shale en Marble Moutains. También ocurre en la parte superior de la Formación Harkless en Split Mountain y en la caliza Mule Spring.

La Zona de *B. mohavensis* contiene al menos ocho especies de olenélidos, aunque no todos co–ocurren temporalmente. La parte inferior de la zona está caracterizada por la presencia de *B. mohavensis*, la parte intermedia la caracteriza *B. harringtoni* Lieberman (1999), y la parte superior *B. bristolensis*. La fauna presente a través de toda la zona corresponde a *Olenellus* sp., *O. clarki*, *O. nevadensis* y *Mesolenellus fremonti* (Webster, 2011).

La Zona de *B. insolens* es definida en base a la primera aparición de *B. insolens* y la cima está delimitada por la primera aparición de *Peachella iddingsi*, la cual es característica de la zona sobreyacente. La Zona de *B. insolens* ocurre 34 metros sobre la base de la Formación Carrara en Emigrant Pass; 62 metros sobre la base del Miembro Delamar de la Formación Pioche en Klondike Gap y 10 metros sobre la base de Latham Shale en Marble Mountains (Webster, 2011).

La Zona de *B. insolens* contiene al menos trece especies de olenélidos, encontrándose *B. insolens* restringida a la parte inferior de la biozona. La última aparición (LAD) de *B. bristolensis* también ocurre en la parte inferior de esta zona. *B. anteros* es abundante en la parte superior de la zona. La ocurrencia de *Paranephrolenellus klondikensis* y *P. inflatus* es restringida a la Zona de *B. insolens*. La presencia de *Mesonacis fremonti*, *Olenellus clarki* y *O. nevadensis* se encuentra en toda la biozona (Webster, 2011).

*Bristolia bristolensis* ocurre 05 metros sobre la base de la Formación Buelna en San José de Gracia, estando asociada a fragmentos de *Olenellus* sp. Como ya se mencionó antes *Olenellus* sp. posee un rango estratigráfico muy amplio, estando presente en la Zona de *B. mohavensis* y *B. insolens*.

Por otro lado, *B. bristolensis* se encuentra restringida a la parte superior de la Zona de *B. mohavensis* y la parte inferior de la Zona de *B. insolens*, siendo esta la máxima precisión bioestratigráfica que se puede obtener debido a la asociación faunística (*B. bristolensis* y *Olenellus* sp.) que se tiene en San José de Gracia.

### 9.1.3. FORMACIÓN CERRO PRIETO

La Formación Cerro Prieto del área de San José de Gracia, al igual que en el área de Caborca, no proporcionó fósiles, por lo tanto no es posible determinar su edad. En base a su posición estratigráfica se interpreta como la parte basal del Cámbrico medio en el área de San José de Gracia.

#### 9.1.4. FORMACIÓN EL GAVILÁN (INFORMAL)

##### Trilobites:

1. *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*
2. *Peronopsis* sp.
3. *Pagetia resseri*
4. *Oryctocephalus* sp.
5. *Oryctocephalites walcotti*
6. *Elrathina antiqua*
7. *Ogygopsis typicalis*
8. *Bathyuriscus* sp.

**Fauna asociada:** *Dictyonina* sp., *Linnarssonina* sp., *Lingulella* sp., *Haplophrentis reesei*, *Allonia* sp., *Diagoniella* sp. y *Chancelloria eros*.

**Biozona:** Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Edad:** Serie 3, Piso 5.

**Regional (Laurentia):** Lincolniano, Delamarano tardío.

**Comentarios:** La Zona de *Mexicella mexicana* sobreyace la Zona de *Poliella denticulata* en regiones de plataforma interior y plataforma intermedia. La base está definida por la primera aparición (FAD) de *Mexicella mexicana* Lochman, 1952, del Miembro Grassy Springs de la Formación Pioche, Delamar Range, Nevada. (Sundberg, 2011, p. 180). Esta zona es dividida en tres unidades, la Subzona de *Albertella aspinosa*, Subzona aún sin nombre (intermedia) y la Subzona de *Albertella highlandensis* (Sundberg, 2011).

La Subzona de *Albertella highlandensis* en sus facies de plataforma abierta contiene la siguiente fauna, *Kootenia germana*, *Pachyaspis gallagari*, *Paralbertella bosworthi*, *Ptarmiganoides crassaxis*, *Zacanthoides variacanta*, *Oryctocephalus maladensis*, *Peronopsis bonnerensis*, *Nyella clinolimbata*, *Nyella immoderata*, *Albertelloides mischi*, *Oygopsis typicalis*, *Pagetia resseri*, *Elrathina antiqua*, *Macannaia maladensis*, *Pagetia rugosa*, *Chancia? maladensis*, *Thoracocare idahoensis*, *Caborcella pseudaulax*, *Volocephalina connexa*, *Albertelloides rectimarginatus*, *Chancia* sp. cf. *C. venusta* y *Caborcella reducta*.

La abundancia y amplia distribución geográfica de los trilobites agnóstidos les confiere un valor irrefutable como los mejores índices globales para la correlación de estratos cámbricos.

La Zona de *Ptychagnostus praecurrens* fue propuesta por Robison (1984). La parte inferior de la zona está basada en la primera aparición (FAD) de la especie del mismo nombre, mientras que el límite superior está marcado por la aparición de *P. gibbus*. La diversidad de especies de agnóstidos en esta zona es baja. *P. praecurrens* (= *P. burgessensis*) aparece asociada a *Peronopsis columbiensis* y *Peronopsis montis* en la Formación Stephen, Columbia Británica, siendo común la presencia de *Peronopsis fallax* y *Ptychagnostus praecurrens* (Robison, 1984).

El contenido faunístico de la Subzona de *Albertella highlandensis* es muy parecido al contenido faunístico que se tiene en la Formación El Gavilán del área de San José de Gracia.

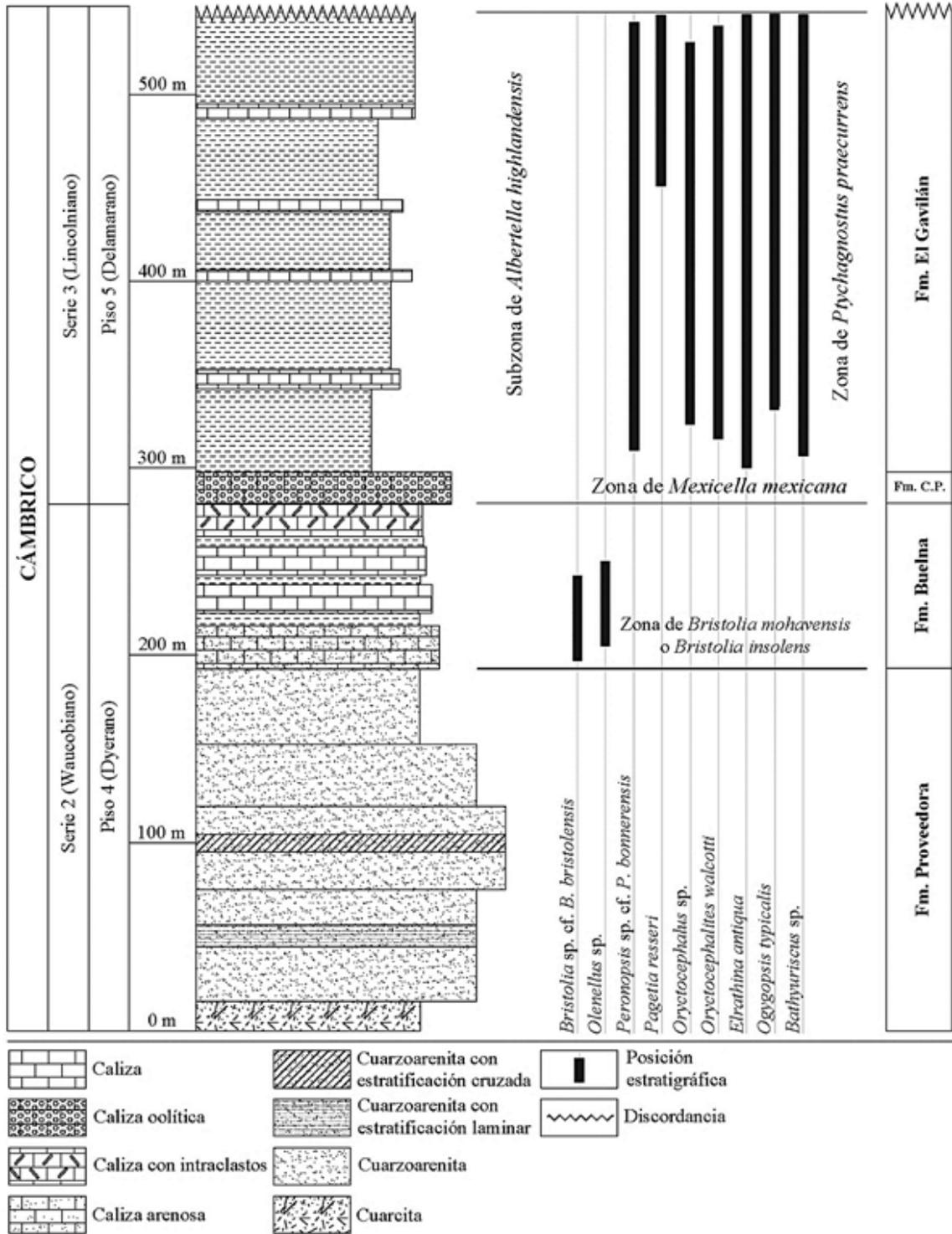


Figura 23 – Columna bioestratigráfica (basada en trilobites) del Cámbrico del área de San José de Gracia.

BIOESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA.  
CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.

Global	Serie	Piso	LAURENTIA		Cámbrico de Sonora, México					
			Zonas de Trilobites	Conodontos y trilobites (plataforma abierta)	San José de Gracia	Caborca	Mazatán	Cananea	Arivechi	
CÁMBRICO	Ordovícico	Ibexiano	Skullrockiano	<i>Symphysurina bulbosa</i>	<i>Iapetognathus</i>					
				<i>Symphysurina brevispicata</i>	<i>Clavohamulus hirtus</i> <i>Harpagodus sinuatus</i> <i>Clavohamulus elongatus</i>					
	Piso 10			<i>Parakolimonoida stitti</i>	<i>Cordylodus</i>					
				<i>Parakolimonoida depressa</i>	<i>pyramicoccus</i> <i>proavus</i>					
	Piso 9	Sunwaptano		<i>Eurekia apopsis</i>	<i>Hirudodontus hirtus</i>					
				<i>Saukia</i>	<i>Saukiella serotina</i> <i>Saukiella junia</i> <i>Saukiella pyrene - Kasetta magna</i>	<i>Boconodontus</i> <i>Cambrosidulus minutus</i> <i>Boconodontus notchpalareus</i>				
	Piso 9	Millardano		<i>Ptychaspis - Ellipsocephaloides</i>	<i>Proconodontus muelleri</i>					
				<i>Prosaukia</i>	<i>Proconodontus posteroceolatus</i>					
	Piso 9			<i>Taenicephalus</i>	<i>Lejopyge</i>					
				<i>Elvinia</i>	<i>Cliffia lataequeana</i> <i>Pseudosaratostia magna</i>					
	Piso 9	Paibiano	Steptoeano	<i>Dunderbergia</i>						
				<i>Prehousia</i>						
	Piso 9			<i>Dicanthopyge</i>						
				<i>Aphelaspis</i>	<i>Coozella perplexa</i>					
	Piso 9			<i>Crepicephalus</i>	<i>Glyptagnostus reticulatus</i> <i>Glyptagnostus stolidatus</i> <i>(Languagnostus reconatus)</i>					
				<i>Cedaria / Cedarina dakotaensis</i>	<i>(Agnostus pisiformis)</i>					
	Piso 9	Guzhangiano	Marjumano	<i>Boiaspidella</i>	<i>Lejopyge laevigata</i> <i>(Goniagnostus nathorsti)</i> <i>Ptychagnostus punctuosus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>					
					<i>Ptychagnostus gibbus</i>					
Piso 9	Drumiano	Lincolniario	<i>Ehmaniella</i>	<i>Ptychagnostus praecurrens</i>						
			<i>Altiocculus</i> <i>Ehmaniella</i> <i>Rirathuella</i> <i>Proehmaniella</i>	<i>Peronopsis bonnerensis</i>						
Piso 9	Piso 5	Topazano	<i>Glossopleura walcotti</i>	<i>Oryctocephalus indicus</i>						
			<i>Albertella highlandensis</i> <i>Mexicella mexicana</i> <i>Albertella aspinoana</i>							
Piso 9			<i>Pohella denticulata</i>							
			<i>Amecephalus arrojosensis</i> <i>Eokocephalus nodosa</i> <i>Nepirocephalus multiaxialis</i> <i>Hololeptus curvatus</i> <i>Quachia lidaque</i> <i>Rictolia lusiense</i> <i>Protolusius pedunculatus</i> <i>Aracanthella sinuatus</i>							
Piso 9	Piso 4	Waucobano	No definido							
			<i>Aracanthella sinuatus</i> <i>Nepirocephalus multiaxialis</i> <i>Hololeptus curvatus</i> <i>Quachia lidaque</i> <i>Rictolia lusiense</i> <i>Protolusius pedunculatus</i> <i>Aracanthella sinuatus</i>							
Piso 9	Piso 3	Montezumano	<i>Aracanthella sinuatus</i>							
			<i>"Fallotaspis"</i>							
Piso 9	Piso 2	Begadeano	<i>Fritaspis</i>							
Piso 9	Fortuniano		Pre - trilobite							

Figura 24 – Zonaciones de los principales afloramientos del Cámbrico del estado de Sonora.  
Modificada de Webster (2011).

BIOESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA.  
CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.

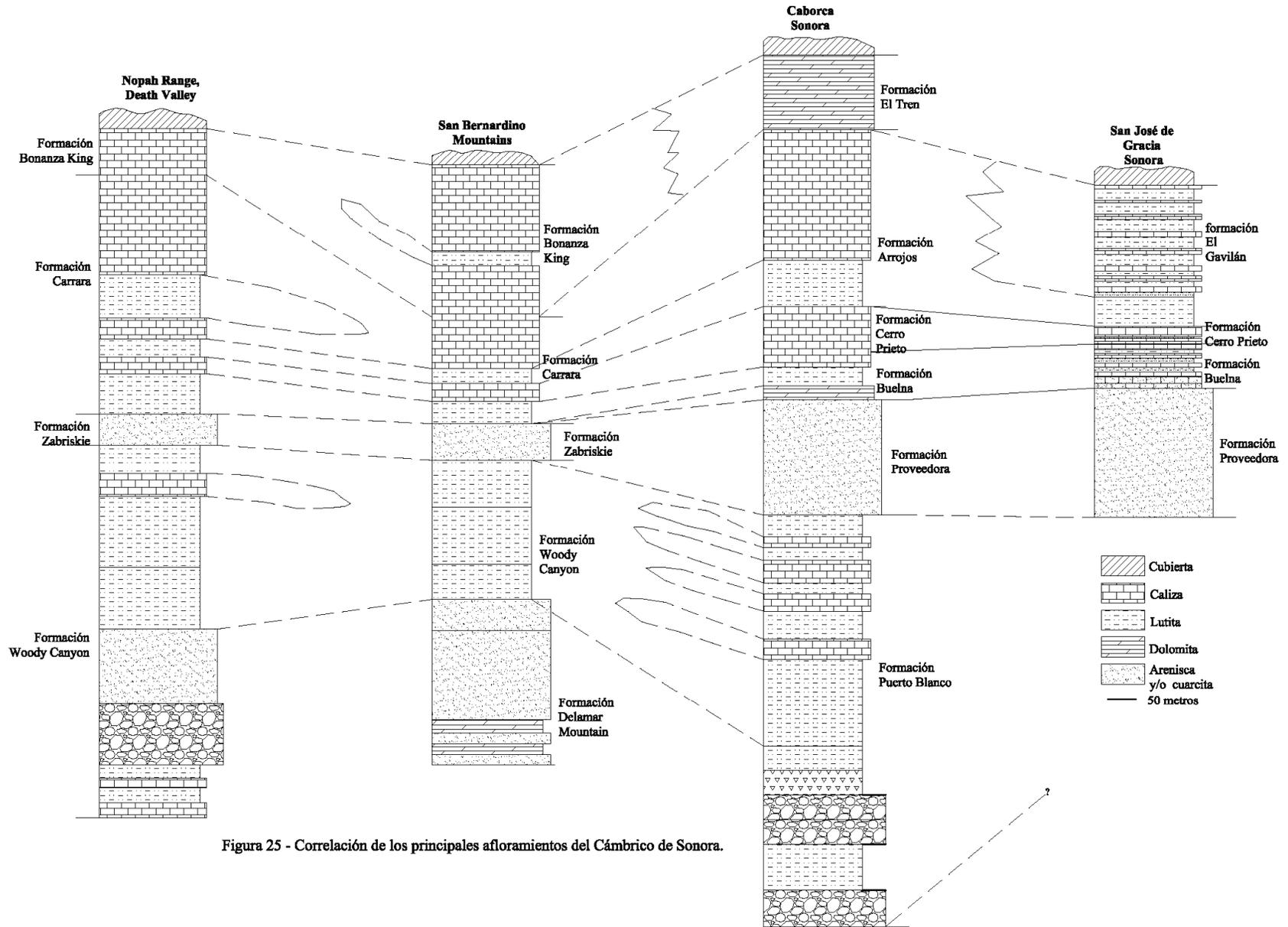


Figura 25 - Correlación de los principales afloramientos del Cámbrico de Sonora.

## 10. BIOESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE LA REGIÓN

### 10.1. MAZATÁN

#### 10.1.1. FORMACIÓN PROVEEDORA

La Formación Proveedora del área de Mazatán no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo, debido a su posición estratigráfica es asignada al Cámbrico inferior.

#### 10.1.2. RANCHO SOBECHI

##### Trilobites:

1. *Tonkinella valida*
2. *Peronopsis depressa*
3. *Tomagnostus* sp.
4. *Syspacephalus* sp.

**Biozona:** Zona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus* (Figura 24).

**Edad:** Serie 3, Piso 5.

**Regional (Laurentia):** Lincolniano, Topazano.

**Comentarios:** La Zona de *Ehmaniella* es la primera fauna de aguas someras dominada por trilobites ptychopariidos (Sundberg, 1994), ocurre sobre la Zona de *Glossopleura* y es sobreyacida por la Zona de *Bolaspidella*. Fue dividida en cuatro subdivisiones por Sundberg (1994), de la más antigua a la más joven: *Proehmaniella*, *Elrathiella*, *Ehmaniella* y *Altiocculus*.

La Subzona de *Altiocculus* Sundberg (1994), ocurre sobre la Subzona de *Ehmaniella*, y su límite inferior se encuentra basado en la primera aparición (FAD) de *Altiocculus*. El límite superior se encuentra basado en la primera aparición de *Bolaspidella* Resser, 1937.

El contenido faunístico de la Subzona de *Altiocculus* está representado por *Altiocculus drumensis*, *A. concavus*, *Dorypyge swassi*, *Glyphaspis concavus*, *Parkaspis drumensis*, *Peronopsis* sp. cf. *P. fallax* y *Tonkinella breviceps*. En Wheeler Shale, la fauna de trilobites está dominada por agnóstidos como *Peronopsis amplaxis*, *Ptychagnostus gibbus* y *P. intermedius* (Sundberg, 1994).

La fauna del Rancho Sobechi, documentada por Vega (1996), está dominada por agnóstidos (*Peronopsis depressa* y *Tomagnostus*). El género *Tonkinella* corresponde a un trilobite polímero típico del Cámbrico medio inferior de amplia distribución geográfica. *Tonkinella valida* Tchernysheva, se encuentra restringida a la Subzona de *Altiocculus*, como sucede en Swasey Limestone, Drum Mountains (Sundberg, 1994) y en el área de Mazatán (Vega, 1996) (Figura 25).

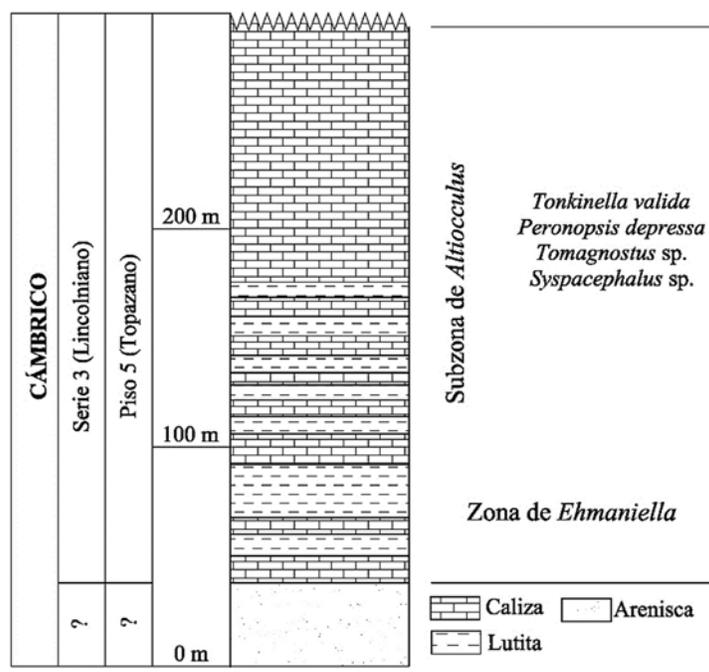


Figura 25 – Columna bioestratigráfica del área de la sierra de Mazatán. Modificada de Vega (1996).

## 10.2. ARIVECHI

### 10.2.1. FORMACIÓN LA SATA

#### Trilobites:

1. *Amecephalus* sp.
2. ?*Fieldaspis* sp.

**Fauna asociada:** *Hyalithes* sp. y *Scenella* sp.

**Biozona:** Probablemente represente la Zona de *Poliella denticulata* (Figura 25).

**Edad:** Serie 3?, Piso 5? (Límite global aún no definido)

**Regional (Laurentia):** Lincolniano, Delamarano.

**Comentarios:** La Zona de *Poliella denticulata* (Sundberg & McCollum, 2003) sobreyace a la Zona de *Amecephalus arrojosensis* y es sobreyacida por la Zona de *Mexicella mexicana*.

*Poliella denticulata* Rasetti, 1951, es la especie más antigua conocida de este género y posee una amplia distribución geográfica desde el sureste de la Great Basin hasta el sureste de las montañas Rocallosas de Canadá (Sundberg & McCollum, 2003). La Zona de *P. denticulata* se encuentra definida en base a la primera aparición (FAD) de esta especie.

La sección tipo para la Zona de *P. denticulata* se localiza en Pioche Shale, Pioche Hills, Nevada. Esta zona fue dividida en cinco asociaciones faunísticas por sus autores (Sundberg & McCollum, 2003), de la más antigua a la más joven: *Poliella denticulata*, *Fieldaspis celer*, *Syspacephalus longus*, *Poliellaites gloriosa* y *Kochiella augusta*.

La asociación faunística de *Poliella denticulata*, ocurre en la parte basal del Miembro Caliza Susan Duster de la Formación Pioche y es equivalente con el Miembro

Lutita Pyramid (Formación Carrara) del noroeste de Groom y Belted Range. Se caracteriza por la abundancia de *Poliella lomataspis*, *Fieldaspis bilobata*, siendo menos común la presencia de *Amecephalus arrosensis*, *Kochiella brevaspis*, *Hadrocephalites rhytidodes*, *Nyella? plana* y *Syspacephalus crassus*. La presencia de *Caborcella reducta* y *Oryctocephalus* sp. es rara (Sundberg & McCollum, 2003).

La fauna reportada por Almazán-Vázquez (1989), es escasa, teniendo reportado únicamente la presencia de *Amecephalus* sp. y ?*Fieldaspis* sp., esta última identificada de manera dudosa. Como ya se vio antes, la asociación faunística anterior es indicativa de la Zona de *Poliella denticulata* y de la asociación faunística del mismo nombre.

#### 10.2.2. FORMACIÓN EL MOGALLÓN

El Miembro A de la Formación El Mogallón (Figura 26) presenta la siguiente fauna:

##### Trilobites:

1. *Ptychagnostus atavus*
2. *Hypagnostus parvifrons*
3. *Peronopsis fallax*
4. *Olenoides* sp.
5. *O. marjumensis*
6. *Modocia* sp.

**Fauna asociada:** *Prototreta* sp., *P. attenuata*, *Acrothele subsidua*, *Micromitra* sp., *Pegmatreta bellatula*, *Linnarssonina ophirensis*.

**Biozona:** Probablemente corresponda a la parte inferior de la Zona de *Ptychagnostus atavus*.

**Edad:** Serie 3, Drumiano.

**Regional (Laurentia):** Lincolniano medio, Marjumano.

**Comentarios:** La parte base de la Zona de *Ptychagnostus atavus* está definida por la primera aparición (FAD) de la misma especie. La límite superior está marcado por la aparición de *Ptychagnostus punctuosus*. Según los estudios de Robison (1984) la zona contiene al menos 35 especies de agnóstidos, correspondiendo los de más amplia distribución a *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis ferox*, *Peronopsis scutalis*, *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus germanus*, *Ptychagnostus occultatus*, *Tomagnostus fissus* y *Tomagnostus perrugatus*.

En la parte oeste de norteamérica la Zona de *Ptychagnostus atavus* comúnmente incluye en la parte inferior *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, mientras que en la parte superior es común *Baltagnostus eurypyx*, *Peronopsis ferox*, *Peronopsis interstricta*, *Peronopsis segmenta*, *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus germanus* y *Ptychagnostus occultatus*.

El contenido faunístico del miembro A de la Formación El Mogallón, indica que probablemente se trate de la parte inferior de la Zona de *Ptychagnostus atavus*, debido a la presencia de *Hypagnostus parvifrons* y *Peronopsis fallax*, aunque como indica Robison, 1984, p. 06, *Ptychagnostus atavus* es más abundante en la parte superior de la zona.

El miembro C (Figura 26) posee el siguiente contenido faunístico:

**Trilobites:**

1. *Hypagnostus parvifrons*
2. ?*Modocia typicalis*
3. ?*Utaspis* sp.

**Fauna asociada:** *Lingulella* sp., *Prototreta* sp., *P. attenuata*, *Acrothele subsidua*, *Hyolithes* sp.

**Biozona:** Zona de *Bolaspidella*, Zona de *Ptychagnostus atavus*.

**Edad:** Serie 3, Drumiano.

**Regional (Laurentia):** Lincolniano medio, Marjumano.

**Comentarios:** Como ya se mencionó antes, la Zona de *Ptychagnostus atavus* está basada en la primera aparición de la misma especie, siendo *Hypagnostus parvifrons* indicativa de esta biozona.

La Zona de *Bolaspidella* ha sido reconocida en las formaciones Wheeler y Marjuman, Utah (Robison, 1964) en base a la presencia de *Asaphicus*, *Bathyriscidella*, *Bathyriscus*, *Bolaspidella*, *Elrathia*, *Holteria*, *Homagnostus*, *Hypagnostus*, *Lejopyge*, *Modocia*, *Olenoides*, *Peronopsis*, *Ptychagnostus*, entre otros.

Para el miembro D (Figura 26) se tiene:

**Trilobites:**

1. ?*Onymagnostus hybridus*
2. *Ptychagnostus* sp.
3. *P. atavus*
4. *P. michaeli*
5. *Hypagnostus parvifrons*
6. *Bathyriscus* sp.

**Fauna asociada:** *Lingulella* sp., *Prototreta flabellata*, *Linnarssonina* sp., *L. sp.* cf. *L. ophirensis*.

**Biozona:** ?*Goniagnostus nathorsti*, ?*Lejopyge armata*, ?*Lejopyge laevigata*.

**Edad:** Serie 3?, Drumiano?

**Regional (Laurentia):** Lincolniano, Marjumano

**Comentarios:** La Zona de *Ptychagnostus punctuosus* se define en base a la primera aparición de *Ptychagnostus punctuosus*, mientras que el límite superior está representado por la primera aparición de *Lejopyge laevigata*. De manera global, más de 60 especies de agnóstidos han sido reportadas de este intervalo (Robison, 1984).

Entre los trilobites de mayor distribución geográfica se tiene a *Cotalagnostus lens*, *Doryagnostus incertus*, *Goniagnostus nathorsti*, *Hypagnostus mammillatus*, *Hypagnostus parvifrons*, *Lejopyge lundgreni*, *Onymagnostus hybridus*, *Peronopsis ferox*, siendo común en la parte inferior de la zona la presencia de *Ptychagnostus atavus*.

En el oeste de Norte América, la Zona de *P. punctuosus* contiene *Baltagnostus eurypyx*, *Cotalagnostus laevus*, *Hypagnostus parvifrons*, *Onymagnostus hybridus*, *Peronopsis ferox*, *Peronopsis? Incertus*, *Peronopsis interstricta*, *Peronopsis segmenta*, *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus germanus*, *Ptychagnostus michaeli*, *Utagnostus trispinulus*, entre otros (Robison, 1984).

La Zona de *Lejopyge laevigata* está definida en base a la primera aparición (FAD) de esta especie. Su límite superior se encuentra en base a la aparición de *Aspidagnostus*. A nivel global más de 50 especies de agnóstidos han sido reportados para esta zona.

### 10.2.3. FORMACIÓN LA HUERTA

La Formación La Huerta (Figura 26) no proporcionó fósiles indicadores de edad, y tampoco es posible deducirlo en base a su posición estratigráfica, debido a que se podría encontrar en un rango de zonas muy amplio, desde la Zona de *Bolaspidella* hasta la Zona de *Elwinia*.

**Otra fauna:** *Prototreta attenuata*, *Acrothele* sp. y *Micromitra* sp.

### 10.2.4. FORMACIÓN MILPILLAS

La fauna documentada para la Formación Milpillás es la siguiente:

**Trilobites:**

1. ?*Aphelotoxon* sp.
2. *Elviniella* (*Elvinia*) sp.
3. *Homoagnostus* sp.
4. *Pseudoagnostus* sp.
5. ?*Pterocephalia* sp.

**Otra fauna:** *Angulotreta* sp., *Micromitra* sp., *Quadrisonia* sp., *Pelagiella* sp., *Hyolithes* sp., *Hypseloconus* sp., *Westergaardodina* sp. y *Chancelloria* sp.

**Biozona:** Zona de *Elvinia*.

**Edad:** Furongiano, Paibiano.

**Regional (Laurentia):** Millardano, Steptoeano.

**Comentarios:** La Zona de *Elvinia* ha sido reconocida en base a la presencia de *Elvinia oblicuoensis* y *Irvingella jurosoni* en el área de San Isidro, Mendoza, Argentina. Así como la Formación Relincho en Cerro Pelado, con la presencia de *Elvinia* (Bordonaro, 2003).

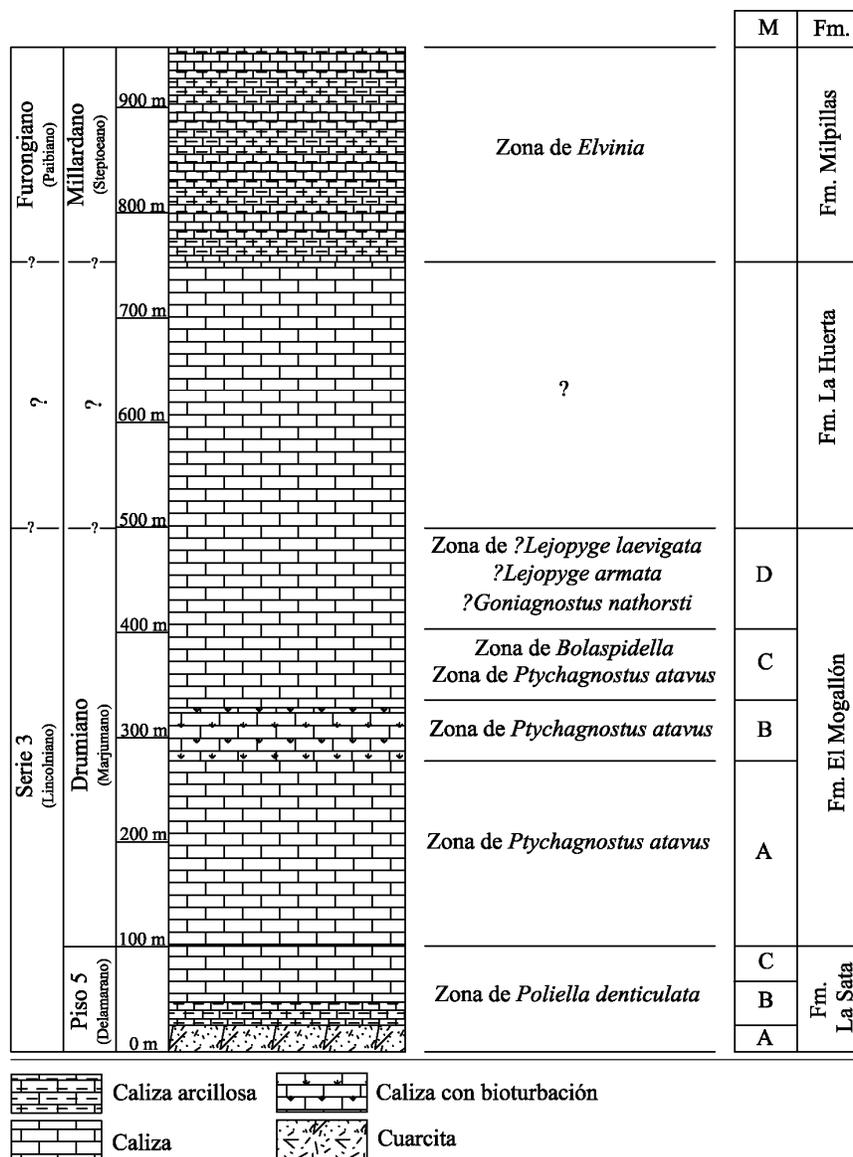


Figura 26 – Columna bioestratigráfica del Cámbrico del área de Arivechi, modificada de Almazán (1989).

### 10.3. CANANEA

#### 10.3.1. CUARCITA BOLSA

Según los estudios realizados por González-León (1986), la Cuarcita Bolsa no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo es considerada del Cámbrico medio debido a su posición estratigráfica.

### 10.3.2. CALIZA ABRIGO

Parte basal de la unidad:

#### Trilobites:

1. *Arapahoia* sp.
2. *Cedaria* sp.

**Biozona:** Zona de *Cedaria/Cedarina dakotaensis* (Figura 27).

**Edad:** Serie 3, Guzhangiano.

**Regional (Laurentia):** Lincolniano, Marjumano. Dresbachiano (Lochman–Balk & Wilson, 1958).

**Comentarios:** La Zona de *Cedaria* fue reconocida por González – León (1986), en el área de la Sierra del Tule, en el presente trabajo se precisa la edad Serie 3, Guzhangiano.

Parte superior de la unidad:

#### Trilobites:

1. *Tricrepicephalus* sp.
2. *Llanoaspis* sp.
3. *Coosella* sp.
4. *Coosia* sp.

**Biozona:** Zona de *Crepicephalus*.

**Edad:** Serie 3, Guzhangiano.

**Regional (Laurentia):** Lincolniano, Marjumano. Dresbachiano (Lochman–Balk & Wilson, 1958).

**Comentarios:** La Zona de *Crepicephalus* fue reconocida por González – León (1986), para esta unidad. En el presente trabajo se precisa la edad Serie 3, Guzhangiano.

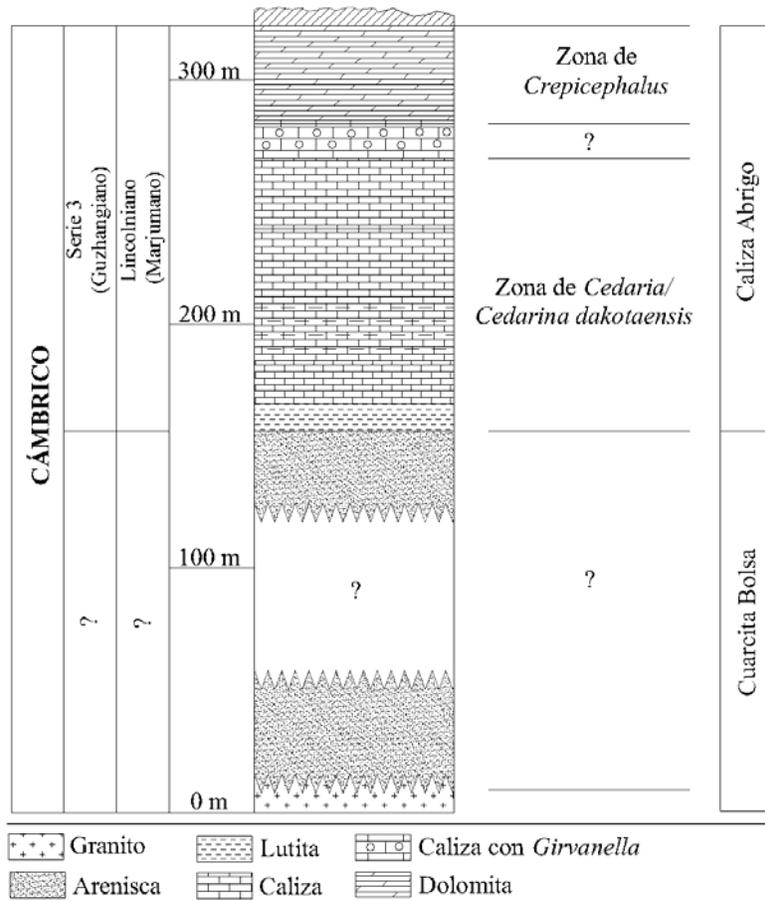


Figura 27 – Columna bioestratigráfica del Cámbrico del área de Cananea, modificada de González – León (1986).

## 11. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

El material documentado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica Nacional del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Phylum Arthropoda Latreille, 1829  
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  
Especie tipo *Battus integer* Beyrich, 1845

*Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*

Lam. 1, figs. 1, 2, 3 y 4

*Agnostus bonnerensis* Resser, 1938, p. 06, lam. 01, figs. 16, 17; Resser, 1939, p. 08, lam. 2, figs. 24 – 26.

*Agnostus lautus* Resser, 1939, p. 25, lam. 2, figs. 16 – 18.

**Ocurrencia:** Abundante. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Comentarios:** *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).

Suborden Eodiscina Kobayashi, 1939  
Familia Eodiscidae Raymond, 1913  
Género *Pagetia* Walcott, 1916  
Especie tipo *Pagetia bootes* Walcott, 1916

*Pagetia resseri* Kobayashi, 1943

Lám. 1, figs. 5 y 6.

*Pagetia clytia* Resser, 1939b, p. 25, lam. 2, figs. 6 – 8.

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

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

**Ocurrencia:** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Comentarios:** *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 *Chancia maladensis*, *Elrathina antiqua*, *Ogygopsis typicalis*, *Peronopsis lautus*, entre otras. También ha sido reportada en la Formación Emigrant, al noreste de Last Chance Range, dentro de la Biozona de *Albertella* (Sundberg & McCollum, 1997) en asociación con ejemplares de *Amecephalus* sp., *Alokistocarella* sp., *Peronopsis brighamensis*, *Bathyriscus* sp., *Elrathina* sp., *Kootenia* sp., y *Oryctocephalites walcotti*.

Orden Redlichiida Richter, 1932  
Suborden Olenellina Walcott, 1890  
Superfamilia Olenelloidea Walcott, 1890  
Familia Biceratopsidae Pack & Gayle, 1971  
Subfamilia Bristoliinae Harrington, 1956  
Género *Bristolia* Harrington, 1956  
Especie tipo *Mesonacis bristolensis* Resser, 1928

*Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* (Resser, 1928)

Nardin *et al.*, 2009, p. 236

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

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

*Mesonacis bristolensis* Resser, 1928, p. 07, lam. 2, figs. 5 – 8.

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

*Bristolia bristolensis* (Resser). Harrington, 1956, p. 59, fig. 1D. Riccio, 1952, p. 30, lam. 07, figs. 1, 2, 5; Harrington *et al.*, 1959, p. O192, fig. 133.3; Mount, 1976, p. 175, fig. 12; Palmer & Halley, 1979, p. 64, lam. 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, lam. 08.

**Ocurrencia:** Moderada. Formación Buelna. Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens*.

**Comentarios:** El género *Bristolia* Harrington, 1956, presenta una amplia distribución geográfica en norteamérica durante el Cámbrico inferior, 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.

Familia Olenellidae Walcott, 1890  
Subfamilia Olenellinae Walcott, 1890  
Género *Olenellus* Hall, 1862  
Especie tipo *Olenellus thompsoni* Hall, 1859

*Olenellus* sp.

**Ocurrencia:** Moderada. Formación Buelna. Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens*.

**Comentarios:** 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).

En Sonora, la presencia de especies de *Olenellus* es conocida 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, 1984).

Orden Corynexochida Kobayashi, 1935  
Suborden Corynexochina Kobayashi, 1935  
Superfamilia Corynexochoidea Kobayashi, 1935  
Familia Dolichometopidae Walcott, 1916  
Género *Bathyuriscus* Meek, 1873  
Especie tipo ?*Bathyurus haydeni* Meek, 1873

*Bathyriscus* sp.

Lam. 2, figs. 1 y 2.

**Ocurrencia:** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Comentarios:** *Bathyriscus* 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; 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 *Bathyriscus* en la Precordillera Argentina. *Bathyriscus* 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).

Familia Ogygopsidae Rasetti, 1951

Género *Ogygopsis* Walcott, 1889

Especie tipo *Ogygia klotzi* Rominger, 1887

*Ogygopsis typicalis* (Resser, 1939)

Lam. 2, fig. 3.

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

*Toxioura magna*, Resser, 1939, p. 63, lam. 14, figs. 1 – 2.

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

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

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

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

**Ocurrencia:** Moderada. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Comentarios:** *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, 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  
Subfamilia Oryctocephalinae Beecher, 1897  
Género *Oryctocephalus* Walcott, 1886  
Especie tipo *Oryctocephalus primus* Walcott, 1886

*Oryctocephalus* sp.

**Ocurrencia:** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

**Comentarios:** *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 reportado 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  
Especie tipo *Oryctocephalites typicalis* Resser, 1939

*Oryctocephalites walcotti* Resser, 1938

Lam. 2, figs. 4 y 5.

**Ocurrencia:** Escasa. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

Orden Ptychopariida Swinnerton, 1915  
Suborden Ptychopariina Richter, 1933  
Superfamilia Ptychoparioidea Matthew, 1888  
Familia *Incertae sedis*  
Género *Elrathina* Resser, 1937  
Especie tipo *Conocephalites cordillerae* Rominger, 1887

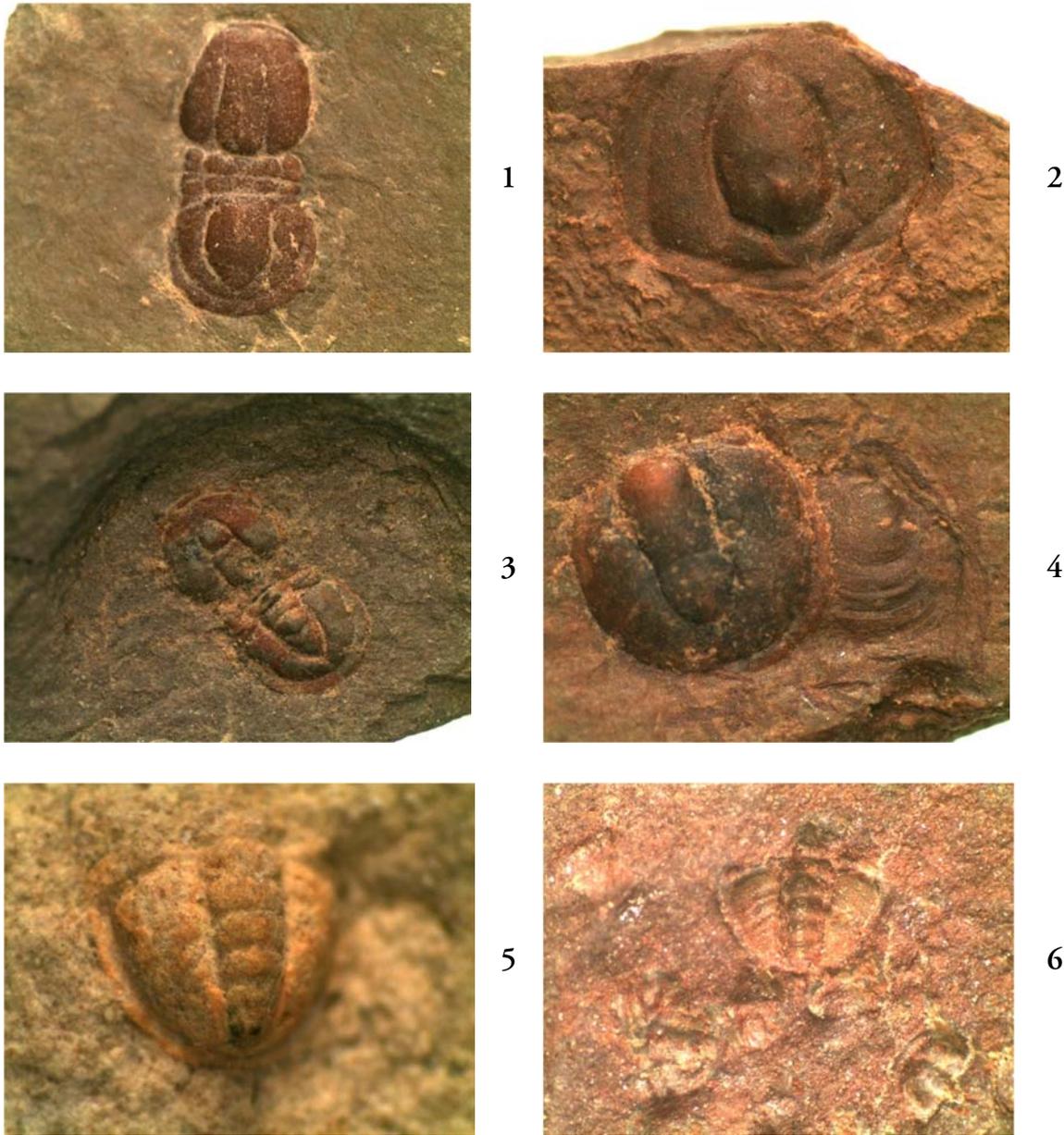
*Elrathina antiqua* Palmer & Halley, 1979

Lam. 2, fig. 6. Lam. 3, fig. 1 y 2.

*Elrathina antiqua* Palmer & Halley, 1979, p. 103, lam. 15, figs. 1 – 3.

**Ocurrencia:** Abundante. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

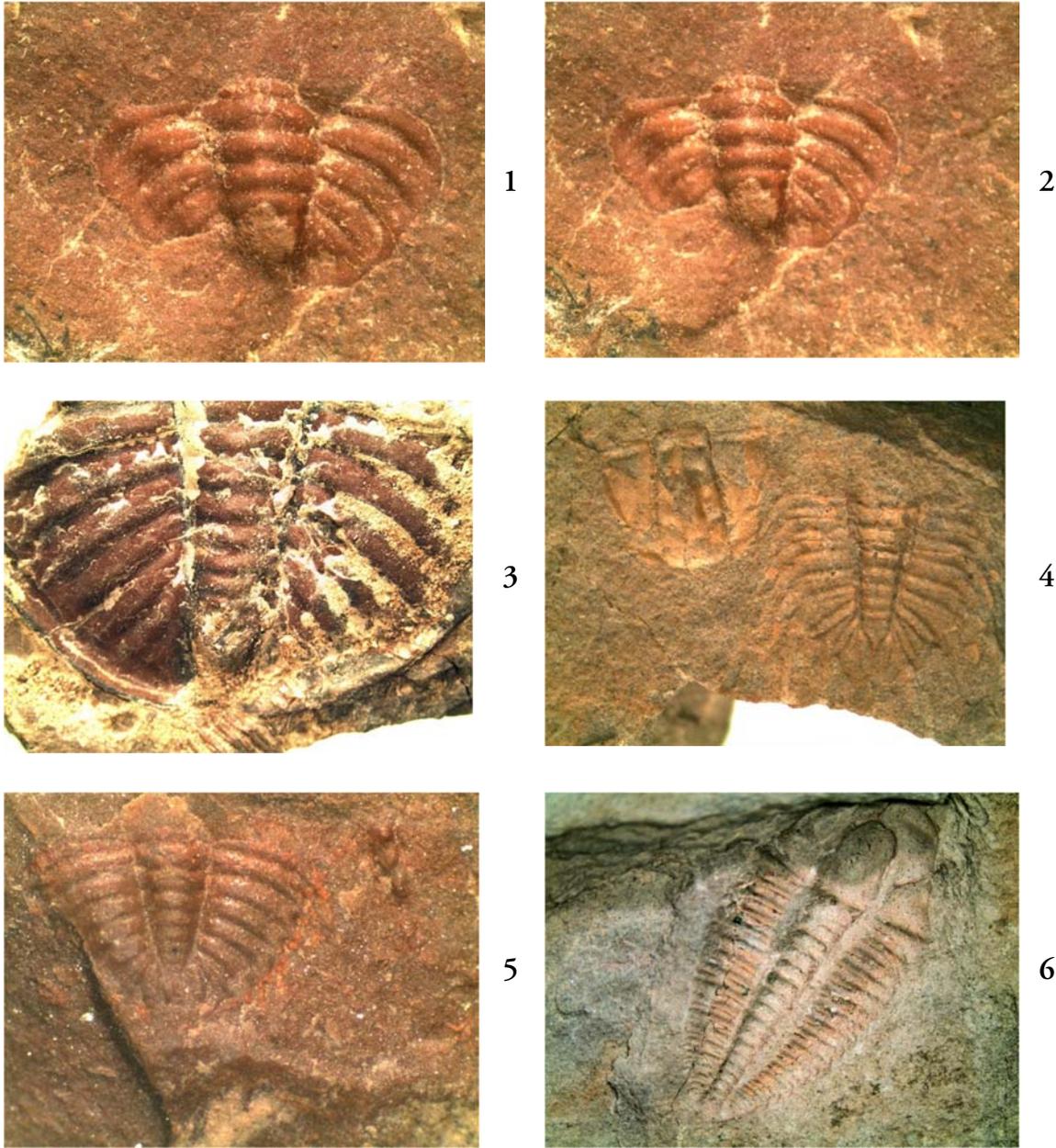
**Comentarios:** *Elrathina* corresponde a un género de importancia estratigráfica durante el Cámbrico medio temprano, para el cuál su posición sistemática es incierta, siendo considerado anteriormente como un representante de la familia Alokistocaridae Resser, 1939. Sundberg (1999), en un estudio sistemático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



---

Lámina 1

Figuras 1, 2, y 3 *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*, 1 (12.5X), 2 y 3 (23X). 4, *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* y *Acrothele* sp. (25X). 5 y 6, *Pagetia resseri*, 5 (35X) y 6(30X). Formación El Gavilán, San José de Gracia.



---

Lámina 2

Figuras 1, 2, *Bathyuriscus* sp., 1(12X) y 2(30X). 3, *Ogygopsis typicalis* (8X). 4 y 5, *Oryctocephalites walcotti*, 4(12X), 5(40X). 6, *Elrathina antiqua* (20X).



1



2



3



4



5



6

---

Lámina 3

Figuras 1 y 2, *Elrathina antiqua* (20X). 3, *Haplophrentis reesei* (10X). 4, *Chancelloria eros* (30X). 5, *Acrothele* sp. (22X). 6, *Linnarssonina* sp. (25X).

## 12. CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

Los estudios paleogeográficos, paleotectónicos y paleomagnéticos, indican la existencia durante el Proterozoico (-2500 – 541 Ma) de un supercontinente llamado Rodinia, el cual al fragmentarse se dispersó de tal manera que durante el Cámbrico la paleogeografía está constituida por masas terrestres alineadas principalmente en dirección este – oeste (Weil *et al.*, 1998).

El resultado de la dispersión de Rodinia es la generación de diversos cratones, como lo son Laurentia, Báltica, Australiano, Africano, entre otros (Weil *et al.*, 1998). Laurentia o el cratón Norteamericano debió constituir durante el Cámbrico temprano masas terrestres cercanas al ecuador, alineadas aproximadamente este – oeste a 30° sur. (Weil *et al.*, 1998), mientras que durante el Cámbrico medio estaría sobre el ecuador. Laurentia es el remanente más completo de la dispersión de Rodinia.

La Paleogeografía de Sonora durante el Cámbrico temprano y medio ha sido discutida por diversos autores (Stoyanow, 1942; Lochman & Lee, 1958; Stewart *et al.*, 1984) desde mediados de siglo pasado. Hoy en día los sedimentos cámbricos de Sonora constituyen los depósitos más australes del cratón norteamericano, sin embargo, es posible que durante el Cámbrico, estos se hayan sedimentado en la parte occidental de Laurentia (Figura 28 y 29).

Aun cuando la teoría de la deriva continental (Wegner, 1912) y la tectónica de placas (Wilson, 1968) se encontraban en ciernes, Lochman (Lochman & Lee, 1958) se adelantó a su época proponiendo dos modelos de biofacies, en base a su relación y cercanía con el cratón: biofacies cratónica y biofacies extracratónica, la cual es subdividida en biofacies extracratónica intermedia y biofacies extracratónica euxinica. Las biofacies propuestas por Lochman & Lee (*op cit.*), de manera generalizada podrían ser comparadas

con los modelos de facies aceptados actualmente, como lo son plataforma interior, plataforma intermedia y plataforma exterior.

*Stewart et al.* (1984), propone 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.

Modelo A: muestra 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. *Stewart et al.* (1984), considera este modelo simplista debido a que 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.

Modelo B: Se basa en la hipótesis de la Mojave Sonora Megashear (*Silver & Anderson, 1979*) indicando que las similitudes entre las secciones estratigráficas de Inyo Mountains y la región de Death Valley, así como Caborca en la parte opuesta a la estructura, sugiere que esas regiones estuvieron cercanas y que fueron desplazadas cerca de 700 a 800 km de su posición actual (*Stewart et al., 1984*).

Modelo C: La comparación de las rocas del Proterozoico superior y Cámbrico de Caborca, San Bernardino y el sureste de la Great Basin sugiere que las rocas de Caborca fueron desplazadas hacia el sureste de la lateral izquierda de la Mojave Sonora Megashear, situada donde *Silver & Anderson, 1974*, la posicionaron cruzando el desierto Mojave y el desierto de Sonora. Después un bloque tectónico que incluye San Bernardino Mountains, Victorville fue fallado del lado oeste de Caborca y movido lateralmente hacia el oeste colocándolo en su posición actual.

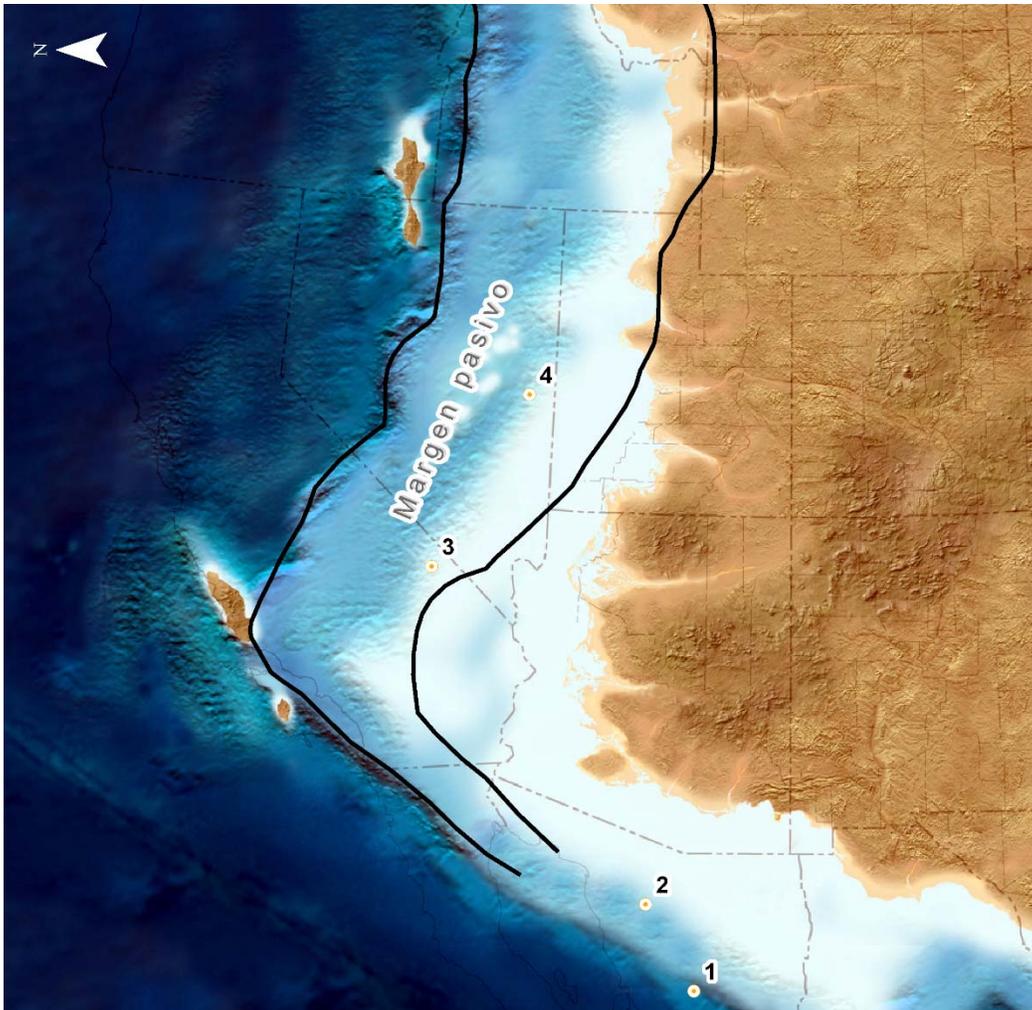


Figura 28 - Mapa paleogeográfico de norteamérica durante el Cámbrico, mostrando las localidades 1: San José de Gracia, 2: Caborca, 3: Death Valley, 4: Spence Shale. Imagen modificada de Paleogeographic and Tectonic History of North America (<http://cpgeosystems.com/namkeypaleogeography.html>).



Figura 29 – Mapa paleogeográfico mundial durante el Cámbrico.

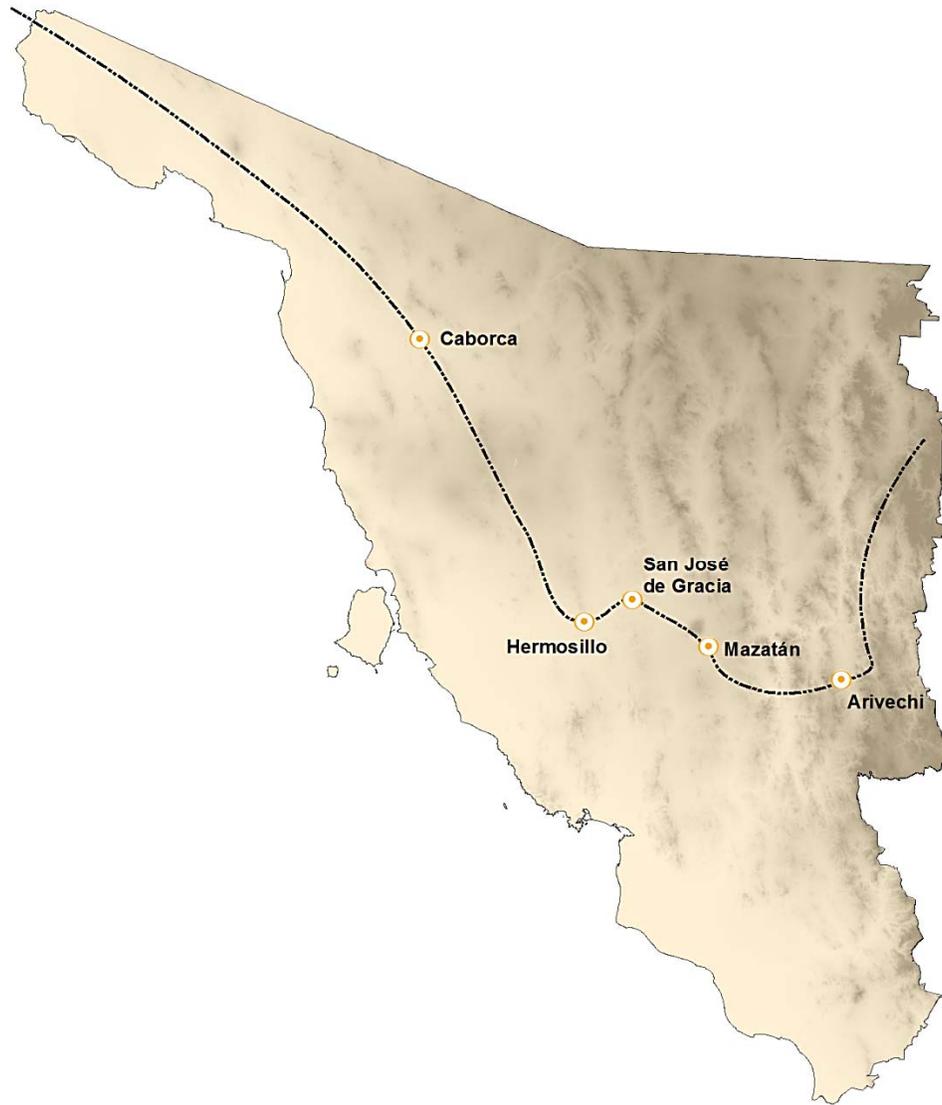


Figura 30 – Límite actual de los afloramientos cámbricos del estado de Sonora.

### 13. CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS

Dentro del Phylum Arthropoda *Latreille, 1829*, los trilobites constituyen un grupo avanzado, con un exoesqueleto quitinoso parcialmente mineralizado, cuya aparición durante el Cámbrico inferior dio origen a una rápida cladogénesis, sobreviviendo por cerca de 300 Ma, hasta su extinción durante el Pérmico superior.

La clasificación de los trilobites plantea aún ciertos problemas, debido no sólo al desconocimiento anatómico de sus partes blandas y su desarrollo ontogénico desde el estado larvario, sino también a los frecuentes casos de convergencia morfológica.

Los primeros trilobites que aparecen en el registro fósil pertenecen al Orden Redlichiida *Richter, 1932* (*Olenellina* y *Redlichiina*), los cuales son muy abundantes en aguas someras del Cámbrico inferior de China, Siberia, Australia, suroeste de Europa, Marruecos y la parte occidental de Estados Unidos de América. Análisis cladísticos apuntan a los olenéllidos como los trilobites más primitivos.

Los trilobites fueron organismos exclusivamente marinos. Actualmente los del Orden Agnostida *Salter, 1864*, también llamados miómeros, se consideran pelágicos, debido a las facies donde se encuentran, vivían en aguas oceánicas o en aguas neríticas distales con comunicación con el mar abierto; por esta razón se encuentran en rocas presumiblemente acumuladas en el bioma de cuenca oceánica o en el sublitoral más externo, circalitoral (*Liñán, 1996*).

La mayoría de los trilobites polímeros del Cámbrico debieron ser bentónicos vágiles que formaban parte del bioma sublitoral, aunque la mayoría tendrían la capacidad de nadar, al menos cerca del fondo (nectobentónicos) y serían consumidores primarios. (*Liñán, 1996*). Los trilobites polímeros presentan un marcado provincialismo con diferentes taxones en cada provincia. Dentro de cada provincia se puede diferenciar entre formas endémicas, que tienen una distribución local, y faunas más cosmopolitas de gran

distribución. Dentro de las faunas cosmopolitas se encuentran frecuentemente a los trilobites miómeros.

El grupo de los hiolítidos (Calypotomatida – Hyolithida Syssoiev, 1957) comprende dos subdivisiones taxonómicas, Hyolithida y Orthothecidae. Los primeros presentan una lígula que se proyecta desde la parte ventral, un par de extensiones curvas llamadas helenos (*helens*) y un complejo sistema muscular. El grupo de los orthothecimorfos carecen de lígula y helenos, teniendo un sistema muscular simple.

Diversos autores han considerado a los hiolítidos de diferentes modos de vida, sin embargo, la mayoría coinciden en un estadio inicial larvario pelágico (plancton y necton), y un estadio adulto bentónico (Landing, 1993). La idea de un estadio larvario planctónico es reforzada con la amplia distribución que presentan estos durante el Cámbrico, es decir, no presentan un provincialismo marcado, como sucede a partir del Ordovícico.

Los primeros hiolítidos poseen estructuras redondeadas y conchas pobremente ornamentadas, con una escultura casi transversal. Algunos orthothecimorfos podrían haber sido suspensívoros semi – infaunales. Por otra parte, algunos hyolithomorfos parecieran ser suspensívoros epifaunales; los helenos y una prominente quilla lateral podría haber ayudado a la orientación en el substrato, con movimientos limitados. Los helenos proveían estabilidad a la concha, mientras la lígula aceleraba corrientes hacia la concha proveyendo partículas alimentarias.

En el área de San José de Gracia, en la Formación Buelna es posible encontrar abundantes fragmentos de olenéllidos (polímeros), en asociación con hiolítidos y algas oncolíticas, depositadas en un ambiente marino somero, probablemente lagunar, con aportes de terrígenos, como lo demuestra el alto contenido de calizas con fragmentos de cuarzo.

La formación El Gavilán contiene abundantes miómeros y polímeros, lo cual refleja condiciones de plataforma abierta, debido a la abundancia de los primeros (agnóstidos), siendo lo anterior congruente con lo propuesto por Sundberg (2011), para el conjunto faunístico de la Biozona de *Mexicella mexicana*. La Biozona de *Ptychagnostus praecurrens* representa un ambiente de plataforma exterior, sin embargo, el contenido faunístico de la Formación El Gavilán, formado por trilobites *Oryctocephalus* sp., *Peronopsis bonnerensis*, *Ogygopsis typicalis*, *Pagetia resseri*, *Elrathina antiqua* y *Oryctocephalites walcotti*, además de los hiolítidos *Hyolithes sonora*, *Haplophrentis reesei*, las esponjas *Diagoniella* sp., y *Allonia* sp., así como el coeloescleritoforo *Chancelloria eros* Walcott, 1920, corresponde con la asociación faunística propuesta por Sundberg (*op cit.*) para la plataforma abierta. Lo anterior también se basa en la presencia de potentes capas de lutita, intercaladas con capas de caliza.

#### 14. DISCUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo es posible discutir algunos aspectos sobre la estratigrafía y paleontología del Cámbrico de Sonora y la región suroeste del cratón norteamericano.

*Bathyriscus* Meek, es un género endémico de Laurentia, para el cual se han descrito 19 especies y se encuentra distribuido en casi toda la periferia del cratón norteamericano. En el área de San José de Gracia, *Bathyriscus* se encuentra en la formación El Gavilán, mientras que en el área de Caborca se encuentra ausente. La presencia de este género, así como la alta abundancia de agnóstidos denota una relación biogeográfica con Laurentia e indica facies de plataforma abierta, no siendo registrada hasta el momento en la plataforma interna (Bordonaro & Fojo, 2011). Por otra parte la abundancia de agnóstidos en el área de San José de Gracia (*Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* y *Pagetia resseri*) denota un ambiente de plataforma abierta, en la cuál es típicamente abundante la presencia de miómeros.

La sedimentación y afinidad de las faunas de la formación El Gavilán de San José de Gracia con otras faunas semejantes, como la lutita Spencer en Utah y la Formación Stephen (Burgess Shale) donde se reportan especies de *Bathyriscus*, *Ehmaniella*, *Elrathina*, *Kootenia*, *Oryctocephalus*, *Pagetia* y *Peronopsis*, sugiere probablemente facies de plataforma abierta – plataforma exterior.

La presencia de potentes capas de lutita en la formación El Gavilán de San José de Gracia, sugiere un cambio de facies hacia ambientes más profundos y de aguas tranquilas, con respecto a la Formación Arroyos del área de Caborca, la cual es de ambientes de intermarea y submarea, energía alta.

## 15. CONCLUSIONES

Según la información obtenida en el presente trabajo es posible concluir 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.

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, lo anterior se refuerza con la total ausencia de agnóstidos (miómeros), que como ya se mencionó anteriormente es posible encontrarlos en depósitos de plataforma abierta o plataforma externa. De la misma manera no existen para esta área registros de *Bathyriscus* sp., que como ya se mencionó antes es un género endémico de Laurentia que se encuentra en la periferia del cratón norteamericano.

Las rocas del Cámbrico de San José de Gracia, al igual que las de Arivechi, representan un cambio de facies hacia ambientes más externos en comparación con las rocas del área de Caborca, como lo demuestra el alto contenido de lutita así como abundantes fósiles de agnóstidos, también es importante la presencia de *Bathyriscus* sp., reportada para estas áreas.

Es posible interpretar que los depósitos cámbricos de Sonora, representados por Caborca (plataforma interior), mientras que San José de Gracia, Arivechi (plataforma intermedia a plataforma exterior) correspondan a sedimentos cámbricos depositados en el límite oeste de la margen de Laurentia. Actualmente corresponden a los depósitos más australes de norteamérica.

En 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, como son la Formación Carrara (California), Formación Emigrant (Nevada), entre otras, las cuales se encontraban depositando en regiones ubicadas más hacia el norte.

Los estudios cladísticos de Lieberman, 1999, indican que la fauna de trilobites del área de Caborca debe de ser estudiada nuevamente, ya que algunos géneros y especies han sido reasignados, por ejemplo *Wanneria mexicana prima* Lochman, 1952 = *Lochmanolenellus mexicana* Lieberman, 1998.

Se establece la edad del Cámbrico temprano, Serie 2, Piso 4, para la Formación Buelna del área de Caborca en base a la presencia de la Zona de ?*Bristolia mohavensis* o ?*Bristolia insolens*.

Se propone la formación El Gavilán, con una edad del Cámbrico medio, Serie 3, Piso 5, en base a la presencia de la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*, Zona de *Ptychagnostus praecurrens*, y se interpreta que esta unidad fue depositada en un ambiente marino de plataforma abierta.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Almazán-Vázquez, E., 1989. *El Cámbrico – Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista. Vol. 08, núm. 01, pp. 58 – 66.
- 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.
- Álvarez, M., 1949. *Notas sobre el Paleozoico mexicano*. Mexicana de geólogos petroleros. Boletín de la Asociación. Vol. 1, núm. 1, pp. 47 – 56.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1979. *The role of the Mojave–Sonora Megashield in the tectonic evolution of northern Sonora*. In *Geology of the Northern Sonora: Field Trip Guidebook for the 1979 annual meeting in San Diego*, edited by T.H Anderson & J. Roldán – Quintana, pp. 59 – 68. Geological Society of America.
- Arellano, A.R.V., 1956. *Relaciones del Cámbrico de Caborca, especialmente con la base del Paleozoico*. In Rogers, John, eds. *El Sistema Cámbrico, su paleogeografía y el problema de su base; parte 2, Australia, América: Congreso Geológico Internacional, 20, México, D.F.*, pp. 509 – 527.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., 1988. *Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian Scenella (Cindaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America*. University of Kansas Paleontological Contributions 121. Pp. 1 – 22.
- Bartolini, C., Morales – Montaña, 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. Vol. 24, pp. 6
- Beecher, C.E., 1897. *Outline of a natural classification of the trilobites*. American Journal of Science, Series 4(3), pp. 89 – 106, 181 – 207.
- 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.
- Beresi, M.S., Cuen, R.F., Montijo, G.A., Buitrón, S.B., Minjárez, S.I., De la O, V. M., Palafox, R.J., 2013. *Chancellorida Walcott, 1920 y Reticulosa Reid, 1958 (protospongioides) del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora*. VIII Congreso Latinoamericano de Paleontología, XIII Congreso Mexicano de Paleontología. Programa y resúmenes. P. 38.
- Beyrich, E., 1845. *Über einige böhmische Trilobiten*. Reimer, Berlín. Pp. 48.
- Billing, E., 1872. *On some new species of Paleozoic fossils*. The Canadian Naturalist. Vol. 6, pp. 213 – 222.
- Bordonaro, O.L., 2003. *Review of the Cambrian Stratigraphy of the Argentina Precordillera*. Geologica Acta. Vol. 1, No. 1, 11 – 21.
- Bordonaro, O.L., Fojo, C.F., 2011. *Bathyriscus mendozanus (Rusconi, 1945), trilobites del Cámbrico medio de la Precordillera Argentina*. Revista Española de Paleontología, 26 (1).
- Bromley, R.G., Asgaard, U., 1991. *Ichnofacies: a mixture of taphofacies and biofacies*. Lethaia, 24, pp. 153 – 164.

- Buitrón, B.E., 1992. *Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico inferior de México y su contenido biótico*. J.G. Gutiérrez Marco, J. Saavedra & I. Rábano (Eds) Paleozoico inferior de Ibero-América, Universidad de Extremadura. Pp. 193 – 201.
- 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 (Hyolithida, Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México*. Reunión Internacional de Malacología. Libro de resúmenes. Pp. 175.
- CNNE, *Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica.*, 2010. Código Estratigráfico Norteamericano. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. pp. 64.
- 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.
- 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. Vol. 30, núm. 4, pp. 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. Vol. 119, pp. 1 – 184.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956. *Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora*. Pt. 1ª. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 259.
- Cuen, R.F., 2012. *Sobre la Estratigrafía y Paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora central*. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Tesis profesional de Licenciatura, pp. 73.
- Cuen, R.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*. Unión Geofísica Mexicana. Vol. 29, No. 1, pp. 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, R.F., Radelli, L., 2007. *Un problema estratigráfico en el Cámbrico y Precámbrico de Caborca, Sonora, México*. Resúmenes, XXIX Semana Cultural, Universidad de Sonora. P. 06.
- Dumble, E.T., 1902. *Notes on the geology of southeastern Arizona*. Trans. Am. Inst. Min. Eng. Vol. 31, pp. 713 – 714.
- Folk, R.L., 1965. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas. Pp. 183.

- Fritz, W.H., 1968. *Lower and early Middle Cambrian trilobites from the Pioche Shale, east – central Nevada, U.S.A.* Paleontology, v. 11. No. 2, pp. 183 – 235.
- Gibert, J.M., Martinell, J., 1998. *El modelo de icnofacies 30 años después.* Revista española de Paleontología, 13 (2), pp. 167 – 174.
- Gilluly, J., 1956. *General Geology of Central Cochise County, Arizona.* U.S. Geological Survey Professional Paper 281.
- González – León, C., 1986. *Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noroeste de Sonora.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 06, núm. 2, pp. 117 – 135.
- Hall, J., 1859. *Trilobites of the shales of the Hudson River Group.* 12<sup>th</sup> Annual report of the New York Cabinet for Natural History. Albany, NY: State of New York. Pp. 59 – 62.
- Hall, J., 1862. *Supplementary note to the thirteenth report of the Regents of the State Cabinet.* 15<sup>th</sup> Annual Report of the New York Cabinet for Natural History. Albany, NY: State of New York. Pp. 113 – 119.
- Harrington, H.J., 1956. *Olenellidae with advanced cephalic spines.* Journal of Paleontology. Vol. 30, pp. 56 – 61.
- Harrington, H.J., *et al.*, 1959. Arthropoda 1 – Artropoda, general features; Protarthropoda; Euarthropoda, general features; Trilobitomorpha, Part O of R.C. Moore, ed., Treatise on invertebrate paleontology: Geol. Soc. America and Kansas Univ. Press. Pp. 560.
- Hayes, P.T., 1978. *Cambrian and Ordovician, rocks of Southeastern Arizona and Southwestern New Mexico.* New Mexico Geol. Soc. Guidebook, 29th Field Conf., Land Cochise, pp. 9.
- Hayes, P.T., Landis, E.R., 1965. *Paleozoic Stratigraphy of the Southern part of the Mule Mountains, Arizona.* U.S. Geological Survey Bulletin 1201-F.
- Hawle, I., Corda, A.J.C., 1847. *Prodom einer Monographie der böhmischen Trilobiten.* Abhandlungen der Königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften. 5. Pp. 121-292.
- Hollingsworth, J.S., 2011. *Lithostratigraphy and Biostratigraphy of Cambrian Stage 3 in Western Nevada and Eastern California.* Museum of Northern Arizona. (Eds. Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. & Foster, J.R.). Bulletin 67, pp. 321.
- Howell, B.F., 1935. *New Middle Cambrian agnostian trilobites from Vermont.* Journal of Paleontology. Vol. 9, pp. 218 – 221.
- Huerta–Ruiz, A., 2011. *Moluscos del Cámbrico (Hyalolithida, 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.
- Hupé, P., 1953. *Contribution à l'étude du Cambrien inférieur et du Précambrien III de l'Anti-Atlas Marocain.* Direction de la Production Industrielle et des Mines, Division des Mines et de la Géologie, Service Géologique, Notes et Mémoires 103, pp. 1 – 402.
- ICS, International Commission on Stratigraphy (IUGS). 2013. *Tabla Cronoestratigráfica Internacional.* v. 2013/01. Recuperado el 13 de octubre del 2013 de: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2013-01Spanish.pdf>

- King, R.E., 1939. *Geological Reconnaissance in Northern Sierra Madre Occidental of Mexico*. Geol. Soc. of Am. Bull. V. 50, pp. 1625 – 1722.
- Kobayashi, T., 1935. *The Cambro – Ordovician formations and faunas of South Chosen. Paleontology*. Cambrian faunas of South Chosen with special study on the Cambrian trilobite genera and families. Tokyo Imp, University. Fac. Sci. Jour. Sec. 2,4. Pp. 49-244.
- Kobayashi, T., 1939. *On the agnostids (Part 1)*. Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II, vol 5(5), pp. 69 – 198.
- Labaj, M., Pratt, B.R., 2013. *Sedimentary facies and depositional evolution of the Middle/Late Cambrian inner and mid-shelf setting of southeastern Arizona*. Integration, GeoConvention, 2013.
- Latreille, P.A., 1829. *Les Crustaces, les Arachnides, les Insectes*. In Cuvier, G., Le Regne Animal Distribue d'Après son Organasion, pour Servir de Base a l'Historie Naturelle des Animaux et d'Introduction a l'Anatomie. Tom. 4.
- Lieberman, B.S., 1998. *Cladistic analysis of the Early Cambrian olenelloid trilobites*. Journal of Paleontology. Vol. 72, pp. 59 – 78.
- Lieberman, B.S., 1999. *Systematic revision of the Olenelloidea (Trilobita, Cambrian)*. Bulletin 45 of the Peabody Museum of Natural History. Yale University. Pp. 150.
- Liñán, E., 1996. *Los trilobites*. Bol. SEA, 16. PaleoEntomología. Pp. 45 – 56.
- Lochman, C., 1948. *New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, México*. Journal of Paleontology. Vol. 22, núm. 4. Pp. 451 – 464.
- Lochman, C., Lee Wilson, J., 1958. *Cambrian Biostratigraphy in North America*. Journal of Paleontology. Vol. 32, No. 2. Pp. 312 – 350.
- Lochman–Balk, C., 1956. *The Cambrian of the Rocky Mountains and southwest deserts of the United States and adjoining Sonora province, México*. In Rogers, John, eds. El Sistema Cámbrico, su paleogeografía y el problema de su base; parte 2, Australia, América: Congreso Geológico Internacional, 20, México, D.F., pp. 529 – 661.
- Longoria, F., González, M.A., Mendonza, J.J., Pérez, V.A., 1978. *Consideraciones estructurales en el cuadrángulo Pitiquito – La Primavera, NO de Sonora*. Bol. Depto. Geol. Uni–Son, V. 1, No. 1, pp. 61 – 67.
- Maytorena–Silva, J.F., Esparza–Yañez, F.A., 1990. *The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications*. Geological Society of America. Abstracts with ptograms. V. 22, núm. 3. Pp. 65.
- Matthew, G.F., 1888. *Illustrations of the Fauna of the St. John Group. No. IV. - Part I. Description of a new species of Paradoxides (Paradoxides regina). Part II. The smaller trilobite with eyes (Ptychoparidae and Ellipsocephalidae)*. Transactions of the Royal Society of Canada, Section 4, 5. Pp. 115 – 166.
- McMenamin, M.A., 1987. *Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, México*. Journal of Paleontology. Vol. 61, núm. 4, pp. 738 – 749.
- McCollum, L.B., Sundberg, F.A., 2007. *Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, U.S.A.: Implications for global correlations*

- and defining a Series 3 global boundary stratotype.* *Memoirs of the Association of Australasian Paleontologists*, 34: 147 – 156.
- McLaughlin, K.P., Enbysk, B.B., 1950. *Middle Cambrian Trilobites from Pend Oreille County, Washington.* *Journal of Paleontology*, Vol. 24, No. 4. Pp. 466 – 471.
- Meek, F.B., 1868. *Preliminary notice of a remarkable new genus of corals, probably typical of a new family.* *Am. Jour. Sci. Ser. 2*, vol. 45, p. 144.
- Meek, F.B., 1873. *Preliminary paleontological report, consisting of lists of fossils, with remarks on the ages of the rocks in which they were found.* United States Geological Survey. Territory 6 Annual Report. Pp. 429 – 518.
- Moore, R.C., 1959. *Arthropoda* 1. Part O. In *Treatise on Invertebrate Paleontology*. The Geological Society of America and University of Kansas Press. Lawrence, Kansas. pp. 1-560.
- NACSN, *North American Stratigraphic Code*. 2005. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, (89): 1547 – 1591.
- 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 (2009), pp. 233 – 242.
- Okulitch, V.J., 1935. *Cyathospongia – A new class of Porifera to include the Artchaecyathiane;* *Roy. Soc. Can. Trans.*, ser. 3, sec. 4, vol. 29, pp. 75 – 103.
- Okulitch, V.J., 1943. *North America Pleospongia.* Geological Society of America. Special Paper. Num. 48.
- Pack, P.D., Gayle, H.D., 1971. *A new olenellid trilobite, Biceratops nevadensis, from the Lower Cambrian near Las Vegas, Nevada.* *Journal of Paleontology*. 45. Pp. 893 – 898.
- 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.
- Palmer, A.R., Repina, L.N., 1993. *Through a glass darkly: Taxonomy, Phylogeny and Biostratigraphy of the Olenellina.* The University of Kansas Paleontological Contributions 3. Pp. 1 – 35.
- Palmer, A.R., Repina, L.N., 1997. *Introduction to suborder Olenellina.* 405 – 407. In Kaesler, R.L. ed., *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part O, Arthropoda 1, Trilobita, Revised.* Geological Society of America & University of Kansas, Boulder & Lawrence. Pp. 530.
- Pantoja – Alor, J., Robison, R.A., 1967. *Paleozoic sedimentary rocks in Oaxaca, México.* *Science, New Series*. Vol. 157, núm. 3792, pp. 1033 – 1035.
- Peng, S., Babcock, L.E., Cooper, R.A., 2012. *The Cambrian Period.* In Gradstein Félix, M., Ogg G. James., Schmitz & Gabi Ogg. *The Geologic Time Scale 2012.* Elsevier B.V., pp. 437 – 488.
- Ransome, F.L., 1904. *Geology and ore deposits of the Bisbee quadrangle, Arizona.* U.S. Geological Survey Professional Paper. Vol. 21, pp. 168.
- Rasetti, F., 1951. *Middle Cambrian stratigraphy and faunas of the Canadian Rocky Mountains.* *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 128 (7), pp. 35.

- Reed, F.R.C., 1910. *The Cambrian Fossils of Spiti: India*. Geol. Survey Mem., ser. 15, v. 17, mem. 1. Pp. 70.
- Resser, C.E., 1928. *Cambrian fossils from the Mohave Desert*. Smithsonian Miscellaneous Collections. Vol. 21, núm. 2, pp. 1 – 14.
- Resser, C.E., 1937. *Third contribution to nomenclature on Cambrian trilobites*. Smithsonian Miscellaneous Collections. 95 (22), pp. 140.
- Resser, C.E., 1938. *Middle Cambrian fossils from Pend Oreille Lake, Idaho*. Smithsonian Miscellaneous Collections. 97. Pp. 1 – 12.
- Resser, C.E., 1939. *The Ptarmigania strata of the northern Wasatch Mountains*. Smithsonian Miscellaneous Collections. 95 (24).
- Riccio, J.F., 1952. *The Lower Cambrian Olenellidae of the southern Marble Mountains, California*. So. Calif. Acad. Sci. Bull. V. 51, pt. 2, pp. 25 – 49.
- Richter, R., 1933. *Crustace (Paläotologie)*. In R. Dittler, G. Joos, E. Korschelt, G. Linek, F. Oltmanns, K. Schaum, eds., *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*, 2nd ed. Gustav Fisher. Jena. Pp. 840-64
- Rivera–Carranco, E., 1988a. *Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 1, pp. 22 – 27.
- Rivera–Carranco, E., 1988b. *Génesis de la Formación Proveedora (Cámbrico inferior) del área de Caborca, Sonora Noroccidental*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 2, pp. 163 – 167.
- Robison, R.A., 1964. *Late Middle Cambrian faunas from Western Utah*. Journal of Paleontology. Vol. 38, No. 3. Pp. 510 – 566.
- Robison, R.A., 1965. *Middle Cambrian Eocrinoids from Western North America*. Journal of Paleontology, V. 39 (3), pp. 355 – 364.
- Robison, R.A., 1984. *Cambrian Agnostida of North America and Greenland. Part I, Ptychagnostidae*. Paleontological Contributions. The University of Kansas. Paper 109. Pp. 59.
- Robison, R.A., Pantoja–Alor, J., 1968. *Tremadocian Trilobites from the Nochixtlán Region, Oaxaca, México*. Journal of Paleontology, Vol. 42, No. 3. Pp. 767 – 800.
- Rominger, C., 1887. *Description of primordial fossils from Mt. Stephens, N.W., Territory of Canada*. Proceedings Academy of Natural Sciences Philadelphia, vol. 6. Pp. 12 – 19.
- Seilacher, A., 1964. *Biogenic sedimentary structures*. In Approaches to paleoecology (Eds. J. Imbrie & N. Newell). Wiley, New York, pp. 296 – 316.
- Shimer, H.W., Shrock, R.R., 1944. *Index fossils of North America*. The Technology Press, Massachusetts Institute of Technology. Pp. 837.
- Silver, L.T., Anderson, T.H., 1974. *Possible left – lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North America craton margin*. Geological Society of America. Abstract with programs, vol. 6, núm. 7. Pp 955 – 956.
- Stewart, J. H., McMenamin, A.S., Morales–Ramirez, 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. Pp. 36.
- Stewart, J.H., Amaya–Martinez, 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. Pp. 9 – 15.
- Stoyanow, A., 1936. *Correlation of Arizona Paleozoic Formations*. Bulletin of the Geological Society of America. Vol. 47, pp. 459 – 540.
- Stoyanow, A., 1942. *Paleozoic Paleogeography of Arizona*. Bulletin Geological Society of America. Vol. 53, pp. 1255 – 1282.
- Swinnerton, H.H., 1915. *Suggestion for a revised classification of trilobites*. Geological Magazine (New series) 6(2), pp. 487 – 496, 538 – 545.
- Sundberg, F.A., 1994. *Corynexochida and Ptychopariida (Trilobita, Arthropoda) of the Ehmaniella Biozone (Middle Cambrian), Utah and Nevada*. Contributions in Science. Num. 446. Pp. 137.
- Sundberg, F.A., 1999. *Redescription of Alokistocare subcoronatum (Hall and Whitefield, 1877), the Type Species of Alokistocare, and the Status of Alokistocaridae Resser, 1939B (Ptychopariida: Trilobita, Middle Cambrian)*. Journal of Paleontology, Vol. 73, No. 6. Pp. 1126 – 1143.
- Sundberg, F.A., 2011. *Delamaran biostratigraphy and Lithostratigraphy of the southern Nevada*. Museum of Northern Arizona. (Eds. Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. & Foster, J.R.). Bulletin 67, pp. 321.
- Sundberg, F.A., McCollum, L.B., 2003. *Trilobites of the lower Middle Cambrian Poliella denticulata Biozone (New) of southeastern Nevada*. Journal of Paleontology. 77 (22), pp. 331 – 359.
- Sysoiev, V.A., 1957. *To the morphology, systematics and systematic position of the hyoliths*. Akademia Nauk SSSR, Doklady. Vol. 116. Pp. 304 – 307.
- Tchernysheva, N.E., 1962. *Kembriishie trilobity Semeista Oryctocephalidae*. In Problemy neftegazonosnosti Sovetskoi Arktiki. Paleontologiya I, Biostratigrafiya 3. Tr. Nauchonoissled. Geol. Ist. Arktiki, 127. Pp. 3-52.
- Vega, G.R., 1996. *Geología de la sierra de Mazatán*. Bol. Depto. Geol. Uni–Son. Vol 13, No. 1, p. 89 – 102.
- Walch, J.E.I., 1771. *Die Naturgeschichte der Versteinerungen*. Dritter Theil., Paul Jonathan Felstecker. Nuremberg. pp. 1 – 235.
- Walcott, C.D., 1886. *Second contribution to the studies on the Cambrian faunas of Northe America*. United States Geological Survey Bulletin 30. Pp. 369.
- Walcott, C.D., 1889. *Description of new genera and specimens of fossils from the Middle Cambrian*. Proceedings of the United States National Museum. Vol. 11, pp. 441 – 446.
- Walcott, C.D., 1890. *The fauna of the Lower Cambrian or Olenellus Zone*. U.S. Geological Survey. 10<sup>th</sup> Annual Report. Pp. 509 – 763.
- Walcott, C.D., 1910. *Olenellus and other genera of the Mesonacidae*. Smithsonian Miscellaneous Collection, 53 (6), pp. 231 – 422.

- Walcott, C.D., 1916. *Cambrian trilobites*. Smithsonian Miscellaneous Collection. Vol. 64. Pp. 303 – 456.
- Walcott, C.D., 1920. *Cambrian geology and Paleontology IV: 06, Middle Cambrian Spongiae*. Smithsonian Miscellaneous Collections. Vol. 67, pp. 261 – 364.
- Weber, R., Cevallos, F.S., López-Cortes, A., Olea-Franco, A., Singer-Sochet, Silvia., 1979. *Los estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca, Estado de Sonora. I: Reconstrucción de Jacutophyton Shapovalova e interpretaciones Paleoecológica preliminar*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 3, no. 1, p. 9 – 23.
- 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 Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada*: Museum of Northern Arizona. (Eds. Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. & Foster, J.R.). Bulletin 67, pp. 321.
- Weil, A.B., Van der Voo, R., Mac Niocaill, C., Meert, J.G., 1998. *The Proterozoic supercontinent Rodinia: Paleomagnetically derived reconstructions for 1100 to 800 Ma*. Earth and Planetary Science Letters, 154. Elsevier. Pp. 13 – 24.
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate facies in geologic history*. Springer Verlag, New York. Pp. 471.
- Yochelson, E.L. 1977. *Agmata, a proposed extinct phylum of early Cambrian age*. Journal of Paleontology, 51, pp. 437 – 454.