



UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y
TECNOLÓGICAS**

POSGRADO EN BIOCENCIAS

**PALEOECOLOGÍA DE LOS ECOSISTEMAS
MARINOS DEL CÁMBRICO DE SONORA, MÉXICO:
COMPARACIÓN CON LOS ECOSISTEMAS MARINOS
DEL HOLOCENO.**

TESIS

que para obtener el grado de:

DOCTOR EN BIOCENCIAS

presenta:

FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO

Hermosillo, Sonora, México

Junio de 2017

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

DERECHOS DE AUTOR

El presente trabajo de tesis se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de **Doctor en Biociencias** de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca de Ciencias Biológicas y de la Salud para ponerla a disposición de los interesados. Se permiten citas breves del material contenido en la tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Para reproducir, o en su caso referirse a este documento en forma parcial o total, se deberá solicitar la autorización al Coordinador del Programa del Posgrado.

Bajo cualquier otra circunstancia se debe solicitar permiso directamente al autor.

Atentamente

Francisco Javier Cuen Romero

Autor

Dra. Nohemí Gámez Meza

Coordinadora del Programa de Doctorado en Biociencias

PALEOECOLOGÍA DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS DEL CÁMBRICO DE
SONORA, MÉXICO: COMPARACIÓN CON LOS ECOSISTEMAS MARINOS DEL
HOLOCENO

T E S I S

que para obtener el grado de:

DOCTOR EN BIOCENCIAS

presenta:

FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO

Hermosillo, Sonora, México

Junio del 2017

APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis titulada **Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Comparación con los ecosistemas marinos del Holoceno** presentada por **Francisco Javier Cuen Romero**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Biociencias.



Dr. José Eduardo Valdez Holguín
Director



Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez
Co-Directora



Dr. Fernando Enríquez Ocaña
Secretario Sinodal



Dr. Eduardo Aguirre Hinojosa
Sinodal Interno



Dr. Rogelio Monreal Saavedra
Sinodal Interno

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora y en especial al Posgrado en Biociencias de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, por permitirme formar parte del Programa de Doctorado. Al CONACyT por la beca brindada para estos estudios. En particular agradezco el apoyo recibido para llevar a cabo esta investigación a través de los proyectos de CONACyT: No. 165826 “Evolución de los Ecosistemas Paleozoicos de México”, bajo la responsabilidad de la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez de la UNAM; y No. PDCPN2013-01-00215355 “El Cambio Climático y el Impacto y Vulnerabilidad de la Pesquería y la Acuicultura de Camarón en el Litoral de Sonora y Sinaloa” bajo la responsabilidad de la Dra. Juana López Martínez de CIBNor Guaymas y con la colaboración del Dr. José Eduardo Valdez Holguín de la Universidad de Sonora. Así como No. 235970.

Agradezco infinitamente a mis directores de tesis, Dr. José Eduardo Valdez Holguín y Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez. También a los miembros de mi comité de tesis: Dr. Luis Fernando Enríquez Ocaña, Dr. Eduardo Aguirre Hinojosa y Dr. Rogelio Monreal Saavedra.

RESUMEN

Los ecosistemas marinos del Cámbrico en México están constituidos por diversos grupos taxonómicos, entre los que se mencionan icnofósiles, poríferos, braquiópodos, agmatos, moluscos, trilobites, equinodermos y formas problemáticas. La presente investigación tiene por objetivo identificar y analizar las características paleoecológicas y bioestratigráficas de los ecosistemas marinos de la parte central de Sonora. También se realiza una comparación con los ecosistemas marinos del Holoceno mediante grupos funcionales.

En el área de San José de Gracia, afloran las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (nueva), para las cuales se han aplicado diferentes índices ecológicos como son dominancia y equitatividad de Simpson, diversidad de Shannon H' , riqueza de especies de Menhinick y riqueza total de Chao; constituyendo el presente la primera investigación paleoecológica para los ecosistemas marinos del Cámbrico de México.

La Formación Proveedora está constituida por cuarzoarenita de grano fino a grueso con alta bioturbación e icnofósiles, entre los cuales se mencionan a *Arenicolites* isp., *Skolithos* isp., *Skolithos linearis* y *Thalassinoides* isp. Las características antes mencionadas indican un ambiente arenoso, tal como zonas litorales y sublitorales de playa, barras de arenas o frentes deltaicos. Desde el punto de vista paleoecológico presenta una baja riqueza (4) y equitatividad de especies. La Formación Proveedora es comparada con las playas modernas o barras de arena, conservándose grupos funcionales similares a los del Cámbrico, constituidos por organismos suspensívoros y detritívoros.

La Formación Buelna está constituida por caliza intercalada con lutita, con fósiles de algas oncolíticas (*Girvanella* sp.), braquiópodos (*Obolella* sp.), agmatos (*Salterella* sp.), moluscos (*Haplophrentis reesei* y *Hyolithes sonora*), trilobites (*Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y *Olenellus* sp.) y equinodermos (*Gogia granulosa*). Las características antes mencionadas indican un ambiente marino somero, el cual es comparado con las plataformas carbonatadas tropicales modernas. En general posee una riqueza de especies (9) y equitatividad intermedia. Los grupos funcionales están dominados por productores primarios y suspensívoros, los cuales han sido reemplazados en los ecosistemas actuales.

La Formación Cerro Prieto está compuesta por una caliza oolítica fuertemente recristalizada con escasos fósiles, principalmente braquiópodos indeterminados y trilobites (*Amecephalus* sp. cf. *A. arrojensis*). Indica un ambiente marino somero de alta energía, similar a los ambientes marinos de plataforma carbonatadas actuales, principalmente saturados en carbonatos. Desde el punto de vista paleocológico posee una baja riqueza de especies (2) distribuidas de manera inequitativa puesto que solamente una ocupa todo el ecoespacio.

La Formación El Gavilán está constituida por potentes capas de lutita intercaladas con caliza, entre las que se encuentran poríferos (*Diagoniella* sp.), braquiópodos (*Acrothele concava*, *Dictyonina minutipuncta*, *Dictyonina ornatella* y *Lingulella proveedoraensis*), moluscos (*Haplophrentis reesei*), trilobites (*Pentagnostus* (*Meragnostus*) *bonnerensis*, *Ptychagnostus praecurrens*, *Pagetia resseri*, *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp. y *Elrathina antiqua*); exhibiendo una gran variedad de grupos funcionales, dominando las formas suspensívoras y nectónicas. Estas comunidades son comparadas con las desarrolladas en los ambientes marinos modernos de plataforma externa, donde diversos grupos funcionales han sido reemplazados por formas recientes. Desde el punto de vista ecológico posee una alta riqueza de especies (16) con una alta equitatividad.

Algunas formas del Cámbrico reemplazadas en los ecosistemas marinos modernos son controversiales respecto a su posición sistemática, sin embargo, poseen requerimientos ecológicos similares.

Palabras clave: Cámbrico, ecosistemas, grupos funcionales, Holoceno.

ABSTRACT

Cambrian marine ecosystems in Mexico are constituted by diverse taxonomic groups, including ichnofossils, poriferans, brachiopods, agmata, molluscs, trilobites, echinoderms and problematic forms. The present research aims to identify and analyze the paleoecological and biostratigraphic characteristics of the marine ecosystems of the central part of Sonora. A comparison with the Holocene marine ecosystems is also performed using functional groups.

In the San Jose de Gracia area, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto and El Gavilán (proposed here as new) formations outcrops, for which some ecological indicators have been applied, such as Simpson's dominance and evenness, Shannon H' diversity, Menhinick species richness and Chao total species richness; constituting the present work the first paleoecological research for the marine ecosystems of the Cambrian of Mexico.

Provedora Formation consists of fine-grained quartzite with high bioturbation and ichnofossils, among which are mentioned *Arenicolites* isp., *Thalassinoides* isp., *Skolithos* isp. and *Skolithos linearis*. The above characteristics indicate a sandy environment, such as coastal and sublittoral beach areas, sand bars or delta fronts. From the paleoecological point of view, it presents a low species richness (4) and species equitability. Proveedora Formation is compared with the modern beaches or sand bars, maintaining functional groups similar to those of the Cambrian, constituted by suspension and detritus feeders.

Buelna Formation consists of limestone interbedded with shale, containing fossils of oncolytic algae (*Girvanella* sp.), brachiopods (*Obolella* sp.), agmata (*Salterella* sp.), molluscs (*Haplophrentis reesei* and *Hyolithes sonora*), trilobites (*Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* and *Olenellus* sp.) and echinoderms (*Gogia granulosa*). The above characteristics indicate a shallow marine environment, which is compared to modern tropical carbonate platforms. Mostly it possesses a species richness (9) and intermediate evenness. Functional groups are dominated by primary producers and suspension feeders, which have been replaced in the Holocene ecosystems.

Cerro Prieto Formation consists of an oolitic limestone strongly recrystallized with few fossils, mainly brachiopods and trilobites (*Amecephalus* sp. cf. *A. arrojensis*). It indicates a shallow

marine environment of high energy, similar to the current marine environments of carbonated platform, mainly saturated in carbonates. From the paleocological point of view it has a low richness of species (2) distributed in an unevenness way since only one occupies the whole space.

El Gavilán Formation consists of potent beds of shale interbedded with limestone, having abundant fossils among which are poriferans (*Diagoniella* sp.), brachiopods (*Acrothele concava*, *Dictyonina minutipuncta*, *Dictyonina ornatella* and *Lingulella proveedorensis*), molluscs (*Haplophrentis reesei*), trilobites *Pentagnostus* (*Meragnostus*) *bonnerensis*, *Ptychagnostus praecurrens*, *Pagetia resseri*, *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyuriscus* sp., and *Elrathina antiqua*); exhibiting a great variety of functional groups, dominating the suspension feeders and nektonic forms. These communities are compared to those developed in modern outer shelf environments, where various functional groups have been replaced by recent forms. From the ecological point of view, it has a high species richness (16) with a high equitability.

Some Cambrian forms replaced in modern marine ecosystems are controversial regarding their systematic position, however, they have similar ecological requirements.

Key words: Cambrian, ecosystems, functional groups, Holocene.

ÍNDICE GENERAL

	Página
FORMA DE APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	10
III. HIPÓTESIS	13
IV. OBJETIVOS	13
IV.1. Objetivo General	13
IV.2. Objetivos Particulares	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS	14
V.1. Área de Estudio	14
V.2. Metodología	16
CAP. 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DESARROLLADOS EN AMBIENTES PALEOGEOGRÁFICOS DE PLATAFORMA, ARRECIFALES O PERIARRECIFALES, EXPUESTOS EN EL CÁMBRICO DE SONORA.	21
I.1. Región Noroeste	21
I.2. Región Noreste	26
I.3. Región Central	27
I.4. Región Este	32
I.5. Consideraciones Bioestratigráficas	34
CAP. 2. IDENTIFICAR MEDIANTE ESTUDIOS DE ESTRATIGRAFÍA, PALEONTOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA LAS	40

CARACTERÍSTICAS PALEOECOLÓGICAS DE LOS		
ECOSISTEMAS DEL CÁMBRICO DE SONORA		
II.1.	Estratigrafía	40
II.2.	Petrografía	53
II.3.	Paleoicnología Sistemática	59
II.4.	Paleontología Sistemática	65
II.5.	Paleogeografía	99
II.6.	Paleoecología	104
II.6.1.	Formación Provedora	108
II.6.2.	Formación Buena	118
II.6.3.	Formación Cerro Prieto	127
II.6.4.	Formación El Gavilán	130
II.6.5.	Grupos funcionales	145
CAP. 3.	REALIZAR UNA COMPARACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS DEL CÁMBRICO CON LOS ECOSISTEMAS MARINOS ACTUALES	147
VI.	CONCLUSIONES	163
VII.	RECOMENDACIONES	166
VIII.	LITERATURA CITADA	167

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Mapa de Sonora donde se muestra el área de estudio, San José de Gracia, en la parte central del estado.	14
2	Mapa de localización detallado de acceso al área de estudio, donde se muestran las carreteras y los principales rasgos hidrográficos.	15
3	Localización de los principales afloramientos del Cámbrico en el estado de Sonora. 1 Cerro San Clemente, 2 Cerro Rajón, 3 Cerro Prieto, 4 Cerro Los Difuntos, 5 Cerros de Buelna, 6 Cerros La Proveedora, 7 Cerros Los Arrojos, 8 Cerros El Tule, 9 Rancho Sobechi, 10 Sierra Agua Verde, 11 San José de Gracia, 12 Arivechi.	37
4	Zonaciones bioestratigráficas realizadas para los principales depósitos del Cámbrico de Sonora. Las zonas han sido establecidas con base en trilobites.	38
5	Caratula de la publicación Trilobite-based biostratigraphy (Arthropoda-Trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico.	39
6	Mapa geológico del área de estudio. Al centro se muestra el Cerro El Chihuarruita, correspondiendo con el rasgo topográfico donde afloran los depósitos del Cámbrico estudiados en este trabajo.	51
7	Columna estratigráfica del Cámbrico del Cerro El Chihuarruita mostrando la distribución de la biota.	52
8	Cuarzoarenita con granos de cuarzo subredondeados mayores al 95% (monocristalino), cementante sintaxial de sílice y pelicular con óxido de hierro. Entramado cóncavo-convexo, empaquetamiento de grano sostenido, considerándose madura; a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	53
9	Cuarzoarenita con clastos subangulosos-subredondeados, moderadamente clasificados. Entramado longitudinal, empaquetamiento grano sostenido, se considera madura; a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	54
10	Arcosa, presencia de cuarzo menor al 75%, los feldespatos son mayor que los fragmentos de roca; a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	54
11	Arenisca de cuarzo de grano medio, 5% constituido por feldespato y fragmentos de roca. Cementante de óxidos de hierro. Angulosa a subangulosa, moderadamente clasificada. Entramado longitudinal. Empaquetamiento grano soportado; se considerad madura. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	55
12	Caliza micrítica, con la presencia de cuarzo y pedernal. Al centro se observan cortes de trilobites mostrando el corte distintivo en forma de gancho, también llamada báculo de pastor (shepherd's crook). Según la clasificación de Dunham corresponde a una packstone, mientras que la clasificación de Folk indica que corresponde a una biomicrita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	55

13	Caliza con fragmentos de trilobites y aporte de terrígenos (cuarzo). Dunham: grainstone. Folk: bioesparita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	56
14	Caliza con fragmentos de <i>Salterella</i> sp. en una matriz de esparita. Dunham: grainstone. Folk: bioesparita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	56
15	Caliza con fragmentos de trilobites e hiolítidos (<i>Haplophrentis reesei</i>) en una matriz micrítica. Se observa aporte de terrígenos. Dunham: packstone. Folk: biomicrita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	57
16	Mudstone con aporte de terrígenos. Caliza arenosa. Se observan fragmentos de trilobites. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	57
17	<i>Girvanella</i> sp. mostrando los filamentos. Dunham: mudstone. Folk: packstone. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	58
18	Lutita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.	58
19	Las figuras a y b corresponden a <i>Arenicolites</i> isp. embebidos en una cuarzoarenita, línea de escala 1 cm.	60
20	<i>Planolites</i> isp., línea de escala 1 cm.	61
21	<i>Skolithos</i> isp., línea de escala 1 cm.	62
22	<i>Skolithos</i> isp. cf. <i>S. linearis</i> , línea de escala 1 cm.	63
23	<i>Thalassinoides</i> isp., línea de escala 1 cm	64
24	Distribución a nivel global de los icnogéneros <i>Arenicolites</i> , <i>Planolites</i> , <i>Skolithos</i> y <i>Thalassinoides</i> .	64
25	<i>Girvanella</i> sp., línea de escala 1 cm.	66
26	<i>Girvanella</i> sp. en sección delgada mostrando los filamentos. Línea de escala 1 cm	66
27	Distribución a nivel global del género <i>Girvanella</i> .	67
28	Figuras a y b corresponden a espículas de <i>Diagoniella</i> sp. línea de escala 1 mm.	68
29	<i>Elrathina antiqua</i> y <i>Pagetia resseri</i> asociadas a espículas de <i>Diagoniella</i> sp.	68
30	Distribución global del género <i>Diagoniella</i> .	69
31	Esclerito desarticulado de <i>Chancelloria eros</i> , línea de escala 1 mm.	70
32	Distribución global del género <i>Chancelloria</i> .	71
33	<i>Lingulella proveedorensis</i> , línea de escala 1 mm.	73
34	<i>Prototreta attenuata</i> , línea de escala 1 mm.	74
35	Valva ventral de <i>Acrothele concava</i> , línea de escala 1 mm.	75
36	<i>Dictyonina minutipuncta</i> , línea de escala 1 mm.	76
37	<i>Dictyonina ornatella</i> , línea de escala 1 mm.	77
38	<i>Obolella</i> sp., línea de escala 1 mm.	78
39	Distribución global de los géneros <i>Lingulella</i> , <i>Prototreta</i> , <i>Acrothele</i> , <i>Dictyonina</i> y <i>Obolella</i> .	79
40	<i>Hyolithes sonora</i> , línea de escala 1 cm.	80
41	Detalle de <i>Haplophrentis reesei</i> en asociación con un cefalón de <i>Pentagnostus</i> (<i>Meragnostus</i>) <i>bonnerensis</i> .	81
42	Distribución global de los géneros <i>Haplophrentis</i> y <i>Hyolithes</i> .	82

43	<i>Salterella</i> sp. recristalizada, línea de escala 1 mm.	83
44	Detalle de <i>Salterella</i> sp.	83
45	<i>Pentagnostus</i> (<i>Meragnostus</i>) <i>bonnerensis</i> . a) cefalón mostrando la glabella redondeada. b) ejemplar completo. Línea de escala 1 mm.	84
46	Cefalón y pigidio desarticulados de <i>Pagetia resseri</i> , línea de escala 1 mm.	85
47	Pigidio de <i>Pagetia resseri</i> mostrando los anillos semiarticulantes.	86
48	Distribución global de los trilobites <i>Pentagnostus</i> , <i>Ptychagnostus</i> y <i>Pagetia</i> .	86
49	Espina genal de <i>Bristolia</i> sp. cf. <i>B. bristolensis</i> . Línea de escala 1 mm.	88
50	Distribución global de los géneros <i>Bristolia</i> y <i>Olenellus</i> .	89
51	Pigidio de <i>Bathyriscus</i> sp., línea de escala 1 mm.	91
52	Pigidio fragmentado de <i>Ogygopsis typicalis</i> , línea de escala 1 mm.	92
53	Cefalón de <i>Oryctocephalus</i> sp. mostrando los bordes glabulares. Línea de escala 1 mm.	93
54	Cefalón y pigidio desarticulados de <i>Oryctocephalites walcottii</i> . Línea de escala 1 mm.	94
55	Distribución global de los géneros <i>Bathyriscus</i> , <i>Ogygopsis</i> , <i>Oryctocephalus</i> y <i>Oryctocephalites</i> .	94
56	<i>Elrathina</i> sp., línea de escala 1 mm.	96
57	<i>Elrathina</i> sp. mostrando las mejillas libres. Línea de escala 1 mm.	96
58	Distribución global de los géneros <i>Amecephalus</i> y <i>Elrathina</i> .	97
59	Detalle de la teca de <i>Gogia granulosa</i> mostrando las braquiolas. Línea de escala 1 mm.	98
60	Distribución global del género <i>Gogia</i> .	98
61	Detalle del cratón norteamericano 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).	100
62	Carátula del artículo: Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, México: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment, publicado en el Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.	101
63	Carátula del artículo: Icnofósiles de la Formación Proveedora del Cámbrico de San José de Gracia, el cual fue publicado en Paleontología Mexicana.	102
64	Carátula del artículo: Cambrian oncolites from San José de Gracia, Sonora, México. Enviado a la revista Geobios de Elsevier.	103
65	Curvas de rango-abundancia de las cuatro comunidades descritas en la tabla 1. El rango de abundancia es el rango de especies basadas en la abundancia relativa, que oscila desde el más hasta el menos abundante (eje x). La abundancia relativa (eje y) está expresada en un eje log ₁₀ . Nótese que la Formación El Gavilán posee una riqueza de especies más alta (longitud de la curva) y equitatividad (gradiente de la curva) que el resto de las comunidades.	107

66	Curva de rarefacción para la Formación Proveedora donde se muestran individuos vs taxa por estación (1-5)	116
67	Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Proveedora en un sustrato arenoso. 1. <i>Arenicolites</i> isp., 2. <i>Skolithos</i> isp., 3. <i>Skolithos</i> isp. cf. <i>S. linearis</i> , 4. <i>Thalassinoides</i> isp. (vista en planta y vista lateral), 5. Algas no conservadas.	117
68	Curva de rarefacción para la Formación Buelna donde se muestran individuos vs taxa por estación (1-5).	126
69	Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Buelna en un sustrato calcáreo. 1. <i>Girvanella</i> sp, 2. <i>Obolella</i> sp., 3. <i>Hyolithes sonora</i> , 4. <i>Haplophrentis reesei</i> , 5. <i>Salterella</i> sp., 6. <i>Olenellus</i> sp., 7. <i>Bristolia</i> sp. cf. <i>B. bristolensis</i> y 8. <i>Gogia granulosa</i> .	127
70	Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Cerro Prieto en un sustrato calcáreo con oolitas. 1. <i>Amecephalus arrojensis</i> y 2. Braquiópodo indeterminado.	130
71	Curva de rarefacción para la Formación El Gavilán donde se muestran individuos vs taxa por estación (1-5).	143
72	Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación El Gavilán en un sustrato siliciclástico. 1. <i>Chancelloria eros</i> , 2. <i>Diagoniella</i> sp., 3. <i>Acrothele concava</i> , 4. <i>Dictyonina minutipuncta</i> , 5. <i>Dictyonina ornatella</i> , 6. <i>Prototreta attenuata</i> , 7. <i>Lingulella proveedorensis</i> , 8. <i>Pagetia resseri</i> , 9. <i>Oryctocephalus</i> sp., 10. <i>Oryctocephalites walcotti</i> , 11. <i>Ogygopsis typicalis</i> , 12. <i>Pentagnostus</i> (<i>Meragnostus</i>) <i>bonnerensis</i> , 13. <i>Haplophrentis reesei</i> , 14. <i>Ptychagnostus praecurrens</i> , 15. <i>Bathyriscus</i> sp.	144

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Distribución de especies por formación. A= Abundancia, AR= Abundancia relativa.	106
2	Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.	108
3	Índices ecológicos utilizados para la Formación Proveedora por estación	111
4	Dominancia de Simpson para la Formación Proveedora.	111
5	Equitatividad de Simpson para la Formación Proveedora.	112
6	Diversidad de Shannon para la Formación Proveedora.	112
7	Riqueza de especies de Menhinick para la Formación Proveedora.	113
8	Riqueza de especies de Chao para la Formación Proveedora.	114
9	Datos utilizados para la elaboración de la curva de rarefacción para la Formación Proveedora.	114
10	Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.	118
11	Índices ecológicos utilizados para la Formación Buelna por estación.	121
12	Dominancia de Simpson para la Formación Buelna.	121
13	Equitatividad de Simpson para la Formación Buelna.	122
14	Diversidad de Shannon para la Formación Buelna.	123
15	Riqueza de especies de Menhinick para la Formación Buelna.	123
16	Riqueza de especies de Chao para la Formación Buelna.	124
17	Datos utilizados para la elaboración de la curva de rarefacción para la Formación Buelna.	124
18	Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.	128
19	Índices ecológicos utilizados para la Formación Cerro Prieto por estación.	128
20	Dominancia de Simpson para la Formación Cerro Prieto.	128
21	Equitatividad de Simpson para la Formación Cerro Prieto.	129
22	Diversidad de Shannon para la Formación Cerro Prieto.	129
23	Riqueza de especies de Menhinick para la Formación Cerro Prieto.	129
24	Riqueza de especies de Chao para la Formación Cerro Prieto.	129
25	Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.	130
26	Índices ecológicos utilizados para la Formación El Gavilán por estación.	134
27	Dominancia de Simpson para la Formación El Gavilán.	134
28	Equitatividad de Simpson para la Formación El Gavilán.	135
29	Diversidad de Shannon para la Formación El Gavilán.	135

30	Riqueza de especies de Menhinick para la Formación El Gavilán.	136
31	Riqueza de especies de Chao para la Formación El Gavilán.	136
32	Datos utilizados para la elaboración de la curva de rarefacción para la Formación El Gavilán.	137

I. INTRODUCCIÓN

La evidencia fósil de los primeros metazoos data de aproximadamente 635 Ma y es conocida como biota Ediacara, representando la transición de los primeros procariontes microscópicos que dominaron el Precámbrico (Arcaico-Proterozoico) a los animales complejos que aparecen a inicios del Paleozoico (Cámbrico). En efecto, las primeras trazas y pistas realizadas por integrantes de diversos grupos de arquitectura animal como son los Rangeomorpha, Erniettomorpha, Radiata, Bilateria, entre otros, proceden de finales del Período Ediacárico.

La Era Paleozoica abarca un lapso de los 541 a los 252 Ma, estando constituida por los períodos Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico. Comprende algunos de los eventos más importantes en la historia de la vida en la Tierra, en particular la denominada Explosión del Cámbrico, caracterizada por ser un evento evolutivo sin precedente en la historia de la biosfera. Durante la Explosión del Cámbrico se conformaron los ecosistemas marinos modernos dominados por organismos con un exoesqueleto biomineralizado y con mayor complejidad morfológica, originándose 26 de los 38 phyla de metazoos que se conocen actualmente (McAlester, 1973; Zhang y Shu, 2013). Algunos de estos grupos representan taxones ya extintos y en ocasiones de posición sistemática controversial, como son los Archaeocyatha Vologdin (1937), Vetulicolia Shu *et al.* (2001) y Lobopodia Snodgrass (1938).

Desde el Cámbrico hasta el Holoceno los mares han sido dominados por grupos tan comunes como los poríferos, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos, sin embargo, cerca de la base del Cámbrico estos grupos, además de los microfósiles útiles en bioestratigrafía como foraminíferos, se encuentran ausentes. La base del Cámbrico está determinada por una gran abundancia de trazas fósiles, particularmente la presencia de *Trichophycus pedum* (Seilacher, 1955) el cual establece el límite Ediacárico-Cámbrico (Peng *et al. in* Gradstein *et al.*, 2012). Las trazas o pistas fósiles han sido controversiales debido a que pistas semejantes pueden ser originadas por diversos organismos, no obstante, poseen utilidad relevante en interpretaciones paleoecológicas y ambientales, siendo muy abundantes en diversos ambientes, principalmente en el marino.

Se ha estimado que el 60% de los fósiles del Cámbrico corresponden a trilobites y el 30% a braquiópodos; el 10% restante lo constituyen grupos como poríferos, moluscos, artrópodos primitivos, equinodermos y otros de afinidad incierta (McAlester, 1973; Cuen y Radelli, 2007). Con base en lo anterior, los trilobites (Arthropoda-Trilobita) representan los principales indicadores bioestratigráficos para este sistema, especialmente los del Orden Agnostida Salter, 1864, debido a que además de presentar una amplia distribución geográfica y corto rango estratigráfico, muestran una marcada diversidad evolutiva principalmente durante el Cámbrico medio y tardío (Peng *et al. in* Gradstein *et al.*, 2012). Se caracterizan por ser trilobites de tamaño pequeño (~6-7 mm), isopigidios, la mayoría sin ojos ni sutura facial, teniendo el tórax constituido únicamente por dos o tres segmentos torácicos (Agnostina-Eodiscina), por lo tanto su especialización y ecología ha sido fuertemente debatida en los últimos años (Tortello *et al. in* Camacho, 2007). Para Liñan (1996), se consideran pelágicos debido a las facies donde se encuentran, viviendo probablemente en aguas oceánicas o en aguas neríticas distales con comunicación con el mar abierto, debido a que sus fósiles frecuentemente se encuentran acumulados en el bioma de cuenca oceánica o en el sublitoral más externo, circalitoral.

Los trilobites más primitivos corresponden al Orden Redlichiida Richter, 1932 (Olenellina, Redlichiina), los cuales aparecen durante el Cámbrico temprano (Época 2-Edad 3) y se caracterizan por poseer el cefalón grande, semicircular, glabela larga y bien definida; el tórax está formado por numerosos segmentos torácicos y el pigidio generalmente es muy pequeño (Tortello *et al. in* Camacho, 2007). La utilidad bioestratigráfica de los representantes del Suborden Olenellina Walcott, 1890, ha sido discutida en varias ocasiones (Hollingsworth, 2005, 2007; Hollingsworth y Babcock, 2011), sin embargo Webster (2011) sugiere se abandone la antiguamente denominada Zona de *Olenellus* y propone en su lugar seis biozonas nuevas, de las más antigua a la más joven, *Arcuolenellus arcuatus*, *Bristolia mohavensis*, *Bristolia insolens*, *Peachella iddingsi*, *Bolbolenellus euryparia* y *Nephrolenellus multinodus*; proporcionando una mayor resolución bioestratigráfica con base en trilobites para el Cámbrico inferior y para correlaciones regionales, principalmente en Norteamérica. La utilidad de estas zonas en correlaciones globales aún es cuestionable, debido al marcado provincialismo y existencia de faunas endémicas.

Los trilobites del Orden Corynexochida [Kobayashi, 1935](#), poseen una glabela elongada de lados subparalelos o expandida frontalmente con sutura facial opistopárica, siendo generalmente isopigídios ([Tortello et al. in Camacho, 2007](#)). La Familia Oryctocephalidae [Beecher, 1897](#), resulta de gran utilidad en bioestratigrafía para el Cámbrico medio, representando importantes biozonas características de plataforma abierta, en la cual sus integrantes frecuentemente están asociados con trilobites agnóstidos. Finalmente el Orden Ptychopariida [Swinnerton, 1915](#), es un grupo pobremente entendido, sus representantes poseen hipostoma flotante, con numerosos segmentos torácicos y un pigidio pequeño ([Tortello et al. in Camacho, 2007](#)), siendo formas muy comunes durante el Cámbrico.

Otros grupos recurrentes en paleontología del Cámbrico son los chanceloridos, poríferos, arqueociatos, braquiópodos, moluscos y equinodermos. Los chanceloridos son un grupo de organismos de cuerpo en forma de bolsa denominado escleritomo, el cual se encuentra cubierto por espinas compuestas llamadas escleritos. Estratigráficamente se hallan restringidos al Cámbrico, la mayoría de las veces ocurren desarticulados y asociados a *shelly faunas*. Los escleritos disociados están ampliamente distribuidos en rocas del Cámbrico medio, sin embargo, hacia el Cámbrico tardío el grupo muestra una rápida declinación, por lo que se interpreta que probablemente se extinguieron antes de que finalizará este período ([Cuen et al., 2013](#)). Inicialmente fueron incluidos dentro de los poríferos por [Walcott \(1890\)](#), no obstante, investigaciones recientes sugieren que el modo de crecimiento de los escleritos de los chanceloridos es diferente al encontrado en las esponjas, considerándose como organismos problemáticos del Cámbrico. [Bengtson y Missarzhevsky \(1981\)](#) los asignaron al clado Coeloscleritophora, definido como animales que poseen un epitelio cubierto por escleritos.

Las esponjas son incluidas dentro del Phylum Porifera [Grant, 1836](#), y son consideradas como organismos muy simples debido a que no constituyen tejidos diferenciados (Parazoa) a pesar de presentar células totipotentes ([Hooper et al., 2002](#)). Carecen de órganos, pero tienen un tejido conjuntivo bien desarrollado en el que las células llevan a cabo variadas funciones. Son organismos exclusivamente acuáticos, predominando las formas marinas. Representan formas sésiles y filtradoras, que se alimentan haciendo pasar el agua por los poros de su superficie, conduciéndola por canales hacia cavidades internas, donde se alojan los coanocitos que se encargan de la nutrición ([Carrera in Camacho, 2007](#)). El esqueleto de las esponjas está

constituido por diversos materiales, desde fibras orgánicas de colágeno o esponjina hasta elementos mineralizados o espículas de distinta composición, por lo que están ampliamente representadas en el registro fósil al poseer partes duras capaces de resistir los procesos diagenéticos (Carrera *in* Camacho, 2007). En la actualidad existen unas 10 000 especies y habitan todos los mares, desde el polo hasta las áreas tropicales y las plataformas someras hasta profundidades abisales (Benton y Harper, 2009).

Desde el punto de vista taxonómico las esponjas son divididas en tres clases: Demospongea, Calcarea y Hexactinellida, las cuales están representadas en el registro fósil desde el Cámbrico hasta el Holoceno, con excepción de las hexactinélidas que aparecen desde el Proterozoico tardío y de igual forma llegan hasta nuestros días. Las demosponjas se caracterizan por ser leuconoides con fibras de esponjina o espículas silíceas, los rayos de las espículas divergen en ángulos de 60 a 120°. Las esponjas calcáreas están compuestas de carbonato de calcio y en menor proporción aragonita, teniendo generalmente espículas monoaxonas, triaxonas o tetraxonas. Finalmente las hexactinélidas poseen espículas silíceas que forman ángulos rectos, siendo triaxonas hexactinélidas (Carrera *in* Camacho, 2007).

Dentro del Phylum Archaeocyatha se incluyen organismos calcáreos, que se caracterizan por poseer una forma cónica con una doble pared separada por septos radiales, así como la presencia de poros. En ocasiones son incluidos en el grupo de los poríferos (Carrera *in* Camacho, 2007), sin embargo, las esponjas no poseen septos radiales y tampoco pueden ser confundidos con los corales debido a la presencia de los poros (Buitrón *et al.*, 2010), por lo que su posición sistemática es controversial. Actualmente se clasifican en Regulares e Irregulares además de existir formas inciertas. El esqueleto de los regulares se compone de dos conos porosos, uno dentro del otro, con las paredes externas e internas unidas por septos radiales. Los irregulares están menos representados y poseen paredes de bordes imprecisos así como numerosas cámaras internas con paredes irregulares (Carrera *in* Camacho, 2007).

Los arqueociatos se encuentran restringidos al Cámbrico, siendo formas solitarias y rara vez coloniales, habitando aguas marinas tropicales y de hábitos bentónicos, fijándose al substrato por un sostén. Fueron organismos filtradores, pasando el agua activamente por los poros, constructores de arrecifes pero con menor importancia que las algas (Buitrón *et al.*, 2010).

El Phylum Brachiopoda [Duméril, 1806](#), posee organismos de simetría bilateral provistos de un órgano ciliado para la alimentación llamado lofóforo, el cual se encuentra alojado en dos valvas desiguales denominadas braquial y pedicelar ([Brusca y Brusca, 2005](#)). Las estructuras internas, como los dientes y fosetas, áreas cardinales y las cicatrices de los músculos están asociadas con la apertura y cierre de las valvas durante los ciclos de alimentación ([Benton y Harper, 2009](#)). Los braquiópodos constituyen uno de los phyla más recurrentes en el registro fósil a partir del Cámbrico inferior, siendo formas comunes en los mares del Paleozoico y Mesozoico para los cuales se han documentado aproximadamente 12 000 especies, sobreviviendo hoy en día únicamente 120 géneros y 335 especies ([Brusca y Brusca, 2005](#)). Tuvieron su primera radiación adaptativa durante el Cámbrico temprano y se diversificaron durante el Paleozoico, dominando los ambientes marinos someros bentónicos, los cuales habitaron desde la zona intermareal hasta profundidades abisales ([Benton y Harper, 2009](#)).

Antiguamente se les clasificaba con base a las características de unión de las valvas por medio de dientes y fosetas así como la presencia y ausencia de articulaciones, de ahí las clases Articulata e Inarticulata propuestas por [Huxley, 1869](#) ([Clarkson, 2007](#)); estudios cladísticos y análisis filogenéticos moleculares recientes demuestran que esta clasificación es incorrecta ([Popov et al., 1993](#); [Popov et al., 1996](#)). Actualmente, con base en la organización del cuerpo, presencia de articulaciones y la naturaleza química de las conchas se distinguen tres subphyla, Linguliformea, Craniiformea y Rhynchonelliformea. Los representantes del Subphylum Linguliformea [Williams et al., 1996](#), se caracterizan por poseer conchas inarticuladas, organofosfáticas y con el lofóforo inicialmente provisto de un tentáculo medio que se pierde durante el desarrollo. Los del Subphylum Craniiformea [Williams et al., 1996](#), poseen conchas inarticuladas de naturaleza calcárea, teniendo también inicialmente un lofóforo con un tentáculo medio que se pierde durante el desarrollo. Finalmente los representantes del Subphylum Rhynchonelliformea [Williams et al., 1996](#), poseen conchas articuladas de naturaleza calcárea y fibrosa. La articulación de las valvas se lleva a cabo mediante un par de dientes ventrales y fosetas dorsales a cada lado de la escotadura mediana del margen cardinal. El lofóforo se mantiene sostenido por extensiones calcáreas ([Manceñido y Damborenea in Camacho, 2007](#)). Son importantes en estudios paleoecológicos del Paleozoico, cuando dominaban el lecho marino

en términos de individuos y especies (Benton y Harper, 2009), siendo utilizados frecuentemente en estudios de bioestratigrafía regional.

El Phylum Mollusca Linnaeus, 1758, también experimento una significativa radiación adaptativa durante el Cámbrico con la aparición de la mayoría de las clases que lo componen, como son Monoplacophora, Bivalvia, Gastropoda, Cephalopoda, así como algunas formas que no lograron trascender el Paleozoico: Hyolitha y Rostroconchia.

Los hiolítidos se caracterizan por poseer una concha cónica o subpiramidal, compuesta de aragonita y de simetría bilateral. En la parte anterior se presenta una abertura que se cierra mediante un opérculo; poseen dos piezas adicionales denominadas helens, las cuales son calcáreas y ligeramente asimétricas (Sabattini *in* Camacho, 2007). La posición sistemática de los hiolítidos ha sido frecuentemente discutida, la mayoría de las veces considerándolos como una clase extinta de moluscos con un alcance estratigráfico del Cámbrico al Pérmico.

El Phylum Echinodermata Klein, 1734, comprende a organismos invertebrados celomados y deuterostomados, con la piel cubierta de espinas. Actualmente existe un aproximado de 6 000 especies distribuidas en las clases Crinoidea, Holothuroidea, Echinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea (Buitrón *et al.*, 2010; Benton & Harper, 2009), sin embargo, también existen muchos grupos extintos que desaparecieron antes del final del Paleozoico, como los Homostelea, Stylophora, Eocrinoidea, Cystoidea, Blastoidea, Edrioasteroidea, entre otros.

Se caracterizan por poseer simetría radial en el estadio adulto, la cual se manifiesta principalmente en la disposición del sistema ambulacral, formado por cinco ambulacros que alternan con cinco interambulacros dispuestos alrededor de la boca; también poseen un endoesqueleto de origen mesodérmico que consiste en un conjunto de placas de calcita cristalina (estereoma) depositados en una red orgánica (estroma), la cual está formada por tejido no celular amorfo o fibroso con células conectivas. Finalmente, poseen un sistema vascular acuífero llamado hidrocele, formado por un conjunto de canales que terminan en una serie de tubos eréctiles derivados del celoma, denominados pies ambulacrales por donde circula agua y los cuales están relacionados con la locomoción, respiración, alimentación y como órganos sensoriales (Buitrón *et al.*, 2010).

Los primeros representantes indiscutibles de los equinodermos aparecen en el Cámbrico medio, diversificándose rápidamente y apareciendo formas nuevas en el Ordovícico. La gran mayoría son solitarios, marinos y bentónicos, con excepción de algunos crinoides que pueden ser epiplanctónicos o nectóbentónicos.

Se ha sugerido que la diversidad taxonómica no ha aumentado de manera significativa desde el Paleozoico (Peters y Foote, 2001), sin embargo, el Paleozoico registró tres de las grandes extinciones de la historia de la biosfera, Ordovícico-Silúrico (439 Ma), Devónico-Carbonífero (367 Ma) y Pérmico-Triásica (252 Ma); ésta última marca el fin de la era con la desaparición total del 95% de las especies conocidas (Benton, 2005), a lo que sobreviene un período de recuperación de la biodiversidad y el restablecimiento de los ecosistemas.

Se han realizado numerosas investigaciones de forma independiente sobre la radiación evolutiva inicial (Explosión del Cámbrico), así como de los períodos de recuperación después de una extinción (Peters y Foote, 2001; Solé y Newman, 2002; Benton, 2005; Payne y Clapham, 2012; Zhang y Shu, 2013), no obstante, la dinámica geológica y los factores abióticos y bióticos de estos eventos han sido poco estudiados. Por otra parte, la comparación de la dinámica y los factores involucrados durante la Explosión del Cámbrico así como los períodos de recuperación casi no han sido investigados. Estudiar la dinámica paleoecológica y sus factores durante estos eventos es fundamental para entender los mecanismos evolutivos propios de la biosfera y por lo tanto de los ecosistemas actuales.

Para reconstruir esta evolución temprana y los eventos evolutivos posteriores es importante entender las relaciones filogenéticas de los organismos del Cámbrico; durante el Cámbrico los metazoos se convirtieron abundantes en número y diversos en forma (Sundberg, 2007).

No obstante, el Cámbrico en México aflora únicamente en los estados de Chihuahua y Sonora, encontrándose la mayoría de los afloramientos en este último (Buitrón, 1992). La presencia de rocas sedimentarias del Cámbrico en el estado de Sonora, es conocida desde la segunda mitad del siglo XX (Lochman, 1948; Álvarez, 1949; Cooper *et al.*, 1952; 1956), siendo objeto de numerosos estudios stratigráficos, paleontológicos y en menor proporción sedimentológicos. Las rocas cámbricas son diversas en composición y secuencia, se encuentran

en diferentes localidades y son generalmente afloramientos esporádicos y aislados, pero con una biota fósil en buen estado de conservación.

Los estudios realizados en el Cámbrico del área de Caborca por [Lochman \(1948\)](#) y [Cooper *et al.* \(1952; 1956\)](#) han tenido gran relevancia para la estratigrafía del país, debido a que en esta región se descubrió el Cámbrico por primera vez en México ([Álvarez, 1949](#)). De manera generalizada se han distinguido seis unidades litoestratigráficas del Cámbrico en el área de Caborca, ordenadas de la base a la cima las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren ([Cooper *et al.*, 1952; 1956](#)) las cuales constituyen la parte basal del Paleozoico en la región, determinado por la presencia de *Trichophycus pedum* en la Formación Puerto Blanco ([Sour-Tovar *et al.*, 2007](#)).

El Cámbrico también aflora en el área de Cananea, siendo estudiado por [González-León \(1986\)](#) reportando principalmente la presencia de algas calcáreas y trilobites del Cámbrico superior. Las rocas del Cámbrico de Arivechi, este de Sonora, fueron estudiadas por [Almazán-Vázquez \(1989\)](#), proponiendo las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpilllas. La información bioestratigráfica de estas unidades no es precisa y parte del contenido biótico ha sido reasignado a diferentes taxones, por lo tanto en el presente trabajo se realiza una revisión bioestratigráfica de los afloramientos ya mencionados.

El presente trabajo de tesis se ubica en el Cámbrico de San José de Gracia, Sonora, el cual ha sido estudiado por diversos investigadores ([Nardin *et al.*, 2009](#); [Cuen *et al.*, 2013](#); [Buitrón *et al.*, 2016](#); [Cuen *et al.*, 2016](#)), enfocados principalmente en su contenido fosilífero. En efecto, la biota es abundante y está representada por icnofósiles, algas oncolíticas, chanceloridos, poríferos, braquiópodos, moluscos, trilobites y equinodermos; resultando una localidad relevante para realizar estudios paleoecológicos de los ecosistemas marinos del Cámbrico, los cuales son el objetivo principal de la presente investigación. Por otra parte, la estratigrafía de la región es diferente a la ya conocida en el estado de Sonora, sugiriendo una nueva unidad, Formación El Gavilán, la cual sustituye a la Formación Arrojos en esta área ([Cuen *et al.*, 2016](#)).

Con base en lo anterior, tres aspectos fundamentales son la motivación del presente trabajo:

1. Identificar mediante estudios de estratigrafía, paleontología y sedimentología las características paleoecológicas de los ecosistemas del Cámbrico; lo anterior permitirá relacionar factores bióticos y abióticos, permitiendo reconstruir las comunidades y sus requerimientos ecológicos.
2. Caracterizar los ecosistemas del Cámbrico de Sonora, considerados marinos debido a la presencia de grupos como chanceloridos, arqueociatos, trilobites y equinodermos.
3. Realizar una comparación de los ecosistemas marinos del Cámbrico con los ecosistemas marinos modernos mediante grupos funcionales. Con excepción de los chanceloridos y arqueociatos, los grupos restantes mencionados han llegado hasta el Holoceno pero con formas diferentes inclusive a nivel de clase.

II. ANTECEDENTES

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

Las rocas del Cámbrico del estado de Sonora fueron relativamente bien identificadas desde 1941 en los municipios de Altar, Magdalena y Arizpe, por los geólogos Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal, quienes las asignaron a las formaciones Caborca, Arrojos y Cananea (Lochman, 1948; Álvarez, 1949; Cooper *et al.*, 1956; McMenamin, 1987).

Los geólogos G. Arthur Cooper y Alberto R. Arellano recolectaron en 1946 fósiles de *Girvanella* sp. y *Olenellus* sp. en la cima de Cerro Prieto al sur de Caborca (Álvarez, 1949), 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 hicieron los primeros estudios formales del área de Caborca.

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

En 1952, en un estudio detallado de la estratigrafía de las rocas cámbricas de Caborca, dirigido por G. Arthur Cooper, se establecen para el Cámbrico inferior las formaciones Puerto Blanco, Provedora, Buelna y Cerro Prieto, ésta última de edad incierta; para el Cámbrico medio se consideran las formaciones Arrojos y El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956).

González-León (1986) describe en el área de la sierra El 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 en 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 hicieron una reevaluación de la biota 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.

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.

[Bartolini *et al.* \(2001\)](#), hicieron un estudio estratigráfico y geocronológico (K-Ar) en rocas del terciario de 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 del Paleozoico en la región.

[Stewart *et al.* \(2002\)](#) en el estudio de la estratigrafía de las secuencias neoproterozoicas y cámbricas las divide en cuatro principales asociaciones:

1. La secuencia del Neoproterozoico ubicada al noreste de Hermosillo, por rocas que conforman 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 de glaciales en la parte superior de la secuencia.
3. Hacia la porción norte-noreste estratos del Neoproterozoico y Cámbrico pertenecientes al miogeoclinal cordillerano, que fueron depositados a lo largo de la 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.

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 biota del Cámbrico temprano y medio, dividiendo la secuencia sedimentaria de la loma El Chihuarruita en siete miembros (A-G). Stewart *et al.*, (2002) colectaron fósiles de *Oryctocara* sp., *Peronopsis* sp., *Peronopsis bonnerensis?*, *Peronopsis brighamensis*, *Oryctocephalus* sp., *Pagetia* sp. y *?Ehmaniella* sp., entre otros. Posteriormente, Buitrón *et al.* (2004), mencionan la presencia del eocrinoide *Gogia spiralis* Robison, 1965, así como la presencia de los trilobites *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* en el Cámbrico inferior y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* en el Cámbrico medio. 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 Estados Unidos de América. Nardin *et al.* (2009) en una reevaluación del material fósil propuesto por Buitrón *op. cit.*, realizan un estudio paleontológico y sistemático de *Gogia granulosa* Robison, 1965; así como una descripción detallada de los miembros litológicos propuestos por otros autores anteriores. Buitrón *et al.* (2011), mencionan la presencia de los moluscos *Hyolithes sonora* Lochman in Cooper *et al.*, 1952 y *Haplophrentis reesei* Babcock y 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) hizo el estudio detallado de la estratigrafía y paleontología de estas rocas 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. 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* y escleritos aislados de *Chancelloria* sp. cf. *C. eros* Walcott, 1920; confirmando estas rocas a un ambiente marino de plataforma externa.

III. HIPÓTESIS

Los ecosistemas marinos del Cámbrico en Sonora son muy similares a los actuales, variando únicamente los grupos funcionales que los constituyen.

IV. OBJETIVOS

IV.1. Objetivo general

Comparar la dinámica de las comunidades bentónicas del Cámbrico en Sonora y la influencia de varios factores paleogeográficos y paleoecológicos, además de sus reemplazamientos, con sus equivalentes en los ecosistemas marinos modernos.

IV.2. Objetivos particulares

1. Caracterizar los ecosistemas desarrollados en ambientes paleogeográficos de plataforma, arrecifales o periarrecifales, expuestos en el Cámbrico de Sonora.
2. Identificar mediante estudios de estratigrafía, paleontología y sedimentología las características paleoecológicas de los ecosistemas del Cámbrico de Sonora.
3. Realizar una comparación de los ecosistemas marinos del Cámbrico con los ecosistemas marinos del Holoceno.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V.1. Área de estudio

San José de Gracia se ubica en la parte central del estado de Sonora (Figura 1), México, en las coordenadas geográficas $29^{\circ}17'19''$ N y $110^{\circ}36'44''$ W. 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 con la misma denominación 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 $29^{\circ}17'06''$ N y $110^{\circ}35'05''$ W. El acceso principal al área de estudio es por la carretera federal No. 15 y la carretera federal No. 21, en el tramo Hermosillo-Ures (Figura 2). La distancia aproximada a la capital del estado, Hermosillo, es de 36 km.

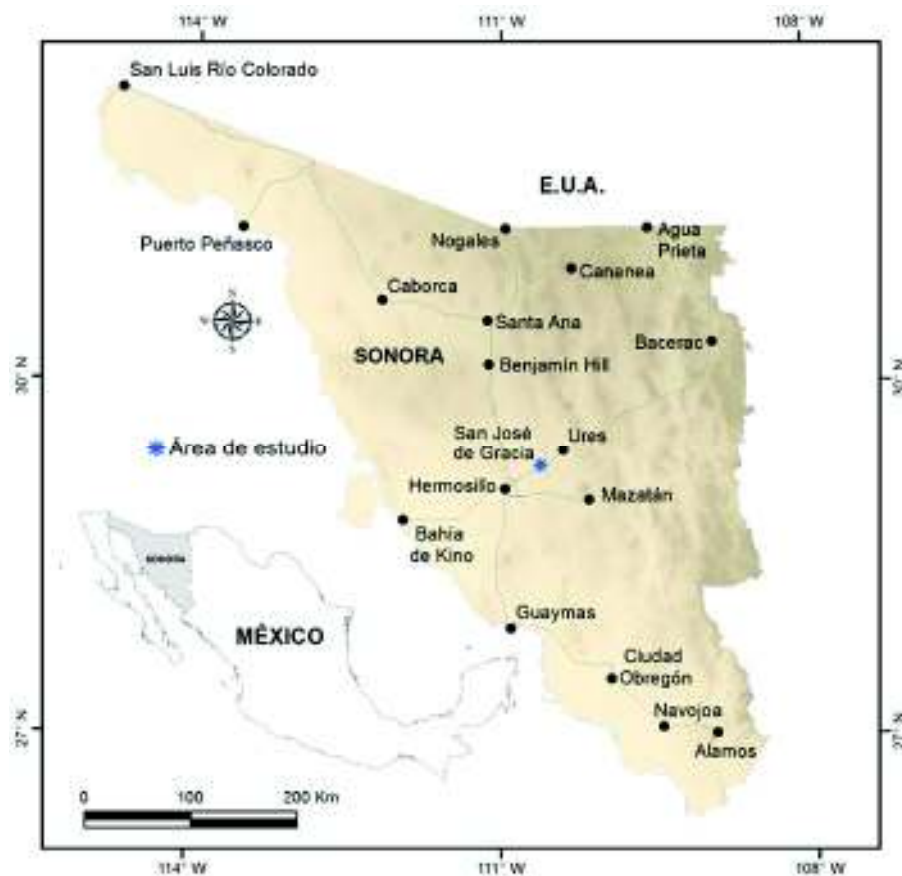


Figura 1. Mapa de Sonora donde se muestra el área de estudio, San José de Gracia, en la parte central del estado.

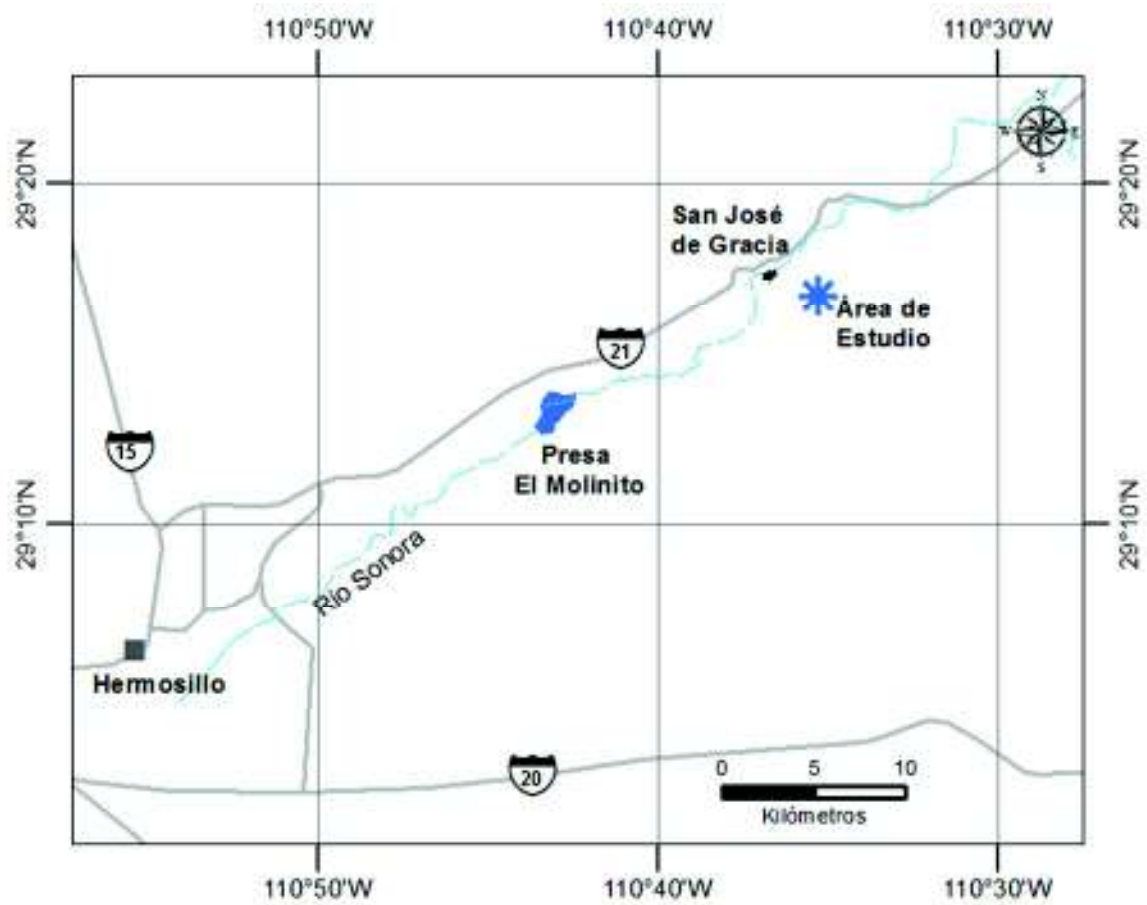


Figura 2. Mapa de localización detallado de acceso al área de estudio, donde se muestran las carreteras y los principales rasgos hidrográficos.

V.2. Metodología

Para llevar a cabo el presente trabajo se recopiló 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 fichas bibliográficas que permitieran ordenar el conjunto de datos, facilitando el acceso a la información. Posteriormente se utilizaron técnicas de campo y de laboratorio, las cuales se explican a continuación.

Se utilizaron imágenes de satélite obtenidas del software Google Earth 7 ®, las cuales fueron descargadas en alta resolución. Posteriormente se utilizó la carta topográfica H12-D32 (INEGI, 2011) y el mapa Geológico-Minero del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2002) así como un GPS de mano Garmin GPSMAP Serie 64 para determinar la posición geográfica del área de estudio en datum WGS84. La información antes mencionada fue analizada de manera conjunta por medio del SIG Esri ArcGIS Desktop 10.3 ®, con el fin de observar los cuerpos rocosos, fallas, fracturas y los límites geográficos del área de estudio.

Se realizaron 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 invalidaran la secuencia. Posteriormente se visitó el área de estudio de nuevo para la elaboración de secciones, recolección de muestras de roca y material paleontológico.

En campo se realizó un perfil del cerro donde aflora el área de interés, en dicho perfil se plasmaron datos geológicos como rumbo, buzamiento, formación, contacto y litología predominante; también se plasmaron datos con la información referente a los números asignados a los estratos y posición de las muestras. La sección estratigráfica fue elaborada por medio del báculo de Jacobs así como con ayuda de la brújula tipo Brunton y cinta métrica. El espesor real fue calculado por medio del método gráfico. Los datos referentes al espesor de los estratos, características litológicas, datos estructurales, entre otros, fueron utilizados para elaborar tablas de análisis que permitieran elaborar de una manera más sencilla la cartografía geológica.

Se realizó un muestreo estratificado de fósiles, capturando por medio del GPS las coordenadas geográficas donde se tomó la muestra. Cada muestra fue señalada con una clave, la cual consistió en las iniciales del nombre de la localidad con letras mayúsculas, seguido del número de muestra, por ejemplo: SJG-001. Bajo el mismo esquema también se recolectaron muestras de roca, marcando la orientación de la misma con respecto a la base y cima del estrato.

Las muestras paleontológicas fueron extraídas de la roca, generalmente arenisca, lutita y caliza, por medio de un cincel y martillo. Se llevó a cabo un estricto control de la posición estratigráfica de los ejemplares colectados. Cada ejemplar fue señalado con las claves anteriormente descritas. Para ser transportado al laboratorio, el material fósil fue envuelto en papel periódico y colocado dentro de una bolsa plástica marcada con el número de estrato del cual se extrajo la muestra.

Los ejemplares fósiles conservados en arenisca y caliza fueron limpiados mecánica y químicamente. Para la limpieza mecánica fueron introducidos unos minutos en agua, posteriormente se colocaron sobre un saco de arena y con ayuda de un martillo y cinceles de diversos tamaños fueron liberados del exceso de material rocoso; posteriormente fueron cepillados y utilizando agujas finas se detallaron los caracteres morfológicos para posteriormente ser fotografiados e identificados. Para la limpieza química de los ejemplares, principalmente los conservados en caliza, se utilizó ácido clorhídrico al 10%, procurando que cubriera perfectamente la superficie del fósil, posteriormente fueron lavados con agua a fin de eliminar el ácido. Los fósiles conservados en lutita no fueron tratados bajo ningún esquema de limpieza debido a lo delicado de la roca, no permitiendo ningún tratamiento.

La observación y fotografiado de los fósiles se realizó en un microscopio Leica EZ4 HD. Para la determinación de los taxones se estudiaron las diagnósis y descripciones propuestas en el *Treatise on Invertebrate Paleontology* de Moore (1959), así como las diferentes revisiones que ha estos se le han hecho.

Para el análisis de las rocas se elaboraron secciones delgadas y posteriormente fueron analizadas en el microscopio petrográfico para determinar la litología y observar microfósiles. Para el estudio petrográfico se utilizó la metodología propuesta por Folk (1962) y Dunham (1962). Una vez obtenida la información taxonómica y petrológica detallada, se infirieron los

ambientes de depósito y edades correspondientes a la localidad de estudio. También los diferentes taxones fueron asignados a diversos grupos funcionales según sus características.

El material paleontológico recolectado fue cuantificado respecto al número de individuos por especie determinando de esta manera la riqueza de especies. Posteriormente mediante el software Past 3.x[®] se obtuvieron los índices ecológicos utilizados en el capítulo de Paleoecología, como son Dominancia y Equitatividad de [Simpson \(1949\)](#), Diversidad de [Shannon-Weaver \(1949\)](#), Riqueza de especies de [Menhinick \(1964\)](#), Riqueza Total de [Chao \(2004\)](#) y curvas de rarefacción.

Índice de Dominancia y Equitatividad de Simpson (1949): Fue propuesto por [Simpson \(1949\)](#) como un parámetro para mediar la dominancia de especies, considerando el número total de especies y la proporción de ocurrencia de cada una de estas. El índice de dominancia de Simpson consiste en la probabilidad de que uno o dos individuos de la misma muestra, tomados al azar, correspondan a la misma especie. Dominancia es siempre ≤ 1 , ([Sommerfield, et al., 2008](#)):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Dónde:

S = es el número de especies

N = es el total de organismos presentes

n = es el número de ejemplares por especie

Los datos obtenidos pueden variar de 0 a 1, donde 0 indica que todos los taxa están presente y 1 indica que un sólo taxón domina a la comunidad.

Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (1949): Fue elaborado por [Shannon y Weaver en 1949](#), este modelo se encuentra basado en la teoría de la información. Asume que los individuos son muestreados de manera aleatoria y que todas las especies están representadas en la muestra y que pueden ser estimadas de acuerdo al algoritmo:

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

Dónde:

p_i = proporción de individuos pertenecientes a la especie i en la muestra. El valor de p_i es desconocido, pero puede ser estimado a través de N_i/N , donde N_i es el número de individuos de la especie i y N el total de número de individuos (Zarco-Epinosa, 2010).

Índice de Diversidad de Shannon: Es utilizado para cuantificar la diversidad de especies. El índice considera tanto el número como la abundancia relativa de las especies. Consiste en que si la diversidad es baja, entonces la seguridad de tomar una determinada especie por azar es alta. Si la diversidad es elevada, entonces es difícil predecir a que especie pertenecerá un individuo tomado al azar (Smith y Smith, 2007).

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Dónde:

H = Diversidad de especies

S = número de especies

p_i = es la proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen a la especie i .

Índice Diversidad de Menhinick (1964): Fue definido por Menhinick (1964) para considerar la diversidad mediante la siguiente fórmula:

$$D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Índice Riqueza Total de Chao (2004): Fue propuesto por Chao (2004) y estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies representadas por un individuo (singleton) y el número de especies representadas por dos individuos en las muestras (doubleton).

$$Ch = S + \frac{F_1(F_1 - 1)}{2(F_2 + 1)}$$

Dónde:

F_1 = Número de especies singleton

F_2 = Número de especies doubleton

Para la comparación con los ecosistemas marinos recientes se realizó una búsqueda detallada de ecosistemas actuales y sus características ecológicas y ambientales. Posteriormente fueron caracterizados y comparados con los ecosistemas del Cámbrico.

CAPITULO 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DESARROLLADOS EN AMBIENTES PALEOGEOGRÁFICOS DE PLATAFORMA, ARRECIFALES O PERIARRECIFALES, EXPUESTOS EN EL CÁMBRICO DE SONORA.

En el presente capítulo se asigna edad a los principales afloramientos del Cámbrico de la región, acorde a la nueva división del Cámbrico propuesta por la ISCS (Peng *et al. in* Gradstein *et al.*, 2012). Las zonas bioestratigráficas han sido establecidas conforme a Webster (2011) y Webster & Bohach (2014).

Los datos paleontológicos utilizados en este estudio proceden de seis localidades en el estado de Sonora. La información está basada en una combinación de trabajo de campo y de fuentes publicadas. Las faunas de trilobites del Cámbrico han sido documentadas en trabajos previos, como los de Lochman (1948), Cooper *et al.*, (1952; 1956); Stewart *et al.*, 1984; González-León, 1986; McMenamin, 1987; Almazán-Vázquez, 1989; Vega, 1996.

Para su estudio las faunas de trilobites del Cámbrico del estado de Sonora han sido divididas en cuatro regiones según su distribución geográfica: a) Región Noroeste, comprende los depósitos del área de Caborca, Cerro San Clemente y Cerro Rajón, donde afloran principalmente las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojitos y El Tren. b) Región Noreste, contiene los depósitos del área de Cananea (Cerros El Tule), donde aflora principalmente la Caliza ?Abrigo. c) Región Central, comprende los depósitos del área de Mazatán (Sierra Agua Verde y Rancho Sobechi), así como San José de Gracia, donde se han documentado las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán. d) Región Este que comprende los depósitos del área de Arivechi con las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillitas (Figura 3). También se describen las características estratigráficas, el contenido biótico asociado así como las consideraciones bioestratigráficas para cada región.

I.1. Región Noroeste

Área de Caborca

La Región Noroeste comprende principalmente los depósitos localizados en los cerros San Clemente, Rajón, Cerro Prieto, Los Difuntos, Buelna, La Proveedora y Los Arrojitos, donde

se ha documentado la presencia de las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956; Stewart *et al.*, 1984; McMEnamin, 1987; Stewart & Poole, 2002).

Formación Puerto Blanco

La Formación Puerto Blanco fue propuesta por Cooper *et al.* (1952) en los cerros La Proveedora, donde tiene su localidad tipo (Rivera-Carranco, 1988a), aflorando también en los cerros Calaveras, La Ciénega, Cañedo, San Clemente y Rajón. Está constituida por lutita, arenisca y calcarenita con fósiles del Cámbrico inferior, principalmente trilobites olenélidos. En su localidad tipo posee un espesor de 281 m y su contacto inferior es discordante con rocas volcanoclásticas y el contacto superior es concordante con la Formación Proveedora (Cooper *et al.*, 1952; 1956). Stewart *et al.*, 1984, dividieron esta secuencia en cuatro unidades (1-4) debido a sus características litológicas.

Los trilobites de la Formación Puerto Blanco del área de Caborca están representados principalmente por *Lochmanolenellus primus* (Lochman *in* Cooper *et al.*, 1952) (= *Lochmanolenellus mexicana* (Lochman *in* Cooper *et al.*, 1952) (= *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) y *Olenellus* sp. En la Formación Puerto Blanco de Cerro San Clemente se ha identificado la presencia de *Nevadia ovalis* y *Avefallotaspis? orbis* (= *Judomia orbis*) (McMenamin, 1987).

La asociación faunística de la Formación Puerto Blanco es abundante, aunque con poca variedad de especies, conociéndose además arqueociatos (*Ajacicyathus rimouski*, *Ajacicyathus nevadensis*, *Etmophyllum whitneyi*, *Etmophyllum cooperi* y *Etmophyllum americanum*), braquiópodos (*Lingulella proveedorensis* y *Obolella mexicana*), agmatos (*Salterella* sp.) y moluscos (*Hyolithes* sp. cf. *H. princeps*).

Las zonas bioestratigráficas del Begadeano superior, Waucobano inferior (Piso 2-Piso 4), comprenden un amplio rango de biozonas, desde la más antigua a la más joven: *Fritzaspis* como biozona basal del Cámbrico con base en trilobites, *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei*, *Grandinasus patulus*, *Avefallotaspis maria*, No definida, *Nevadia addyensis* y *Nevadella*

eucharis en la parte superior. Diversas zonaciones han sido llevadas a cabo en el área de Caborca para posicionar la Formación Puerto Blanco (Hollingsworth y Babcock 2011; Cuen, 2013; Webster y Bohach, 2014), considerando en general que esta debe comprender un rango de biozonas desde el período pre-trilobitoideo hasta la parte inferior del Dyerano (zonas aún no definidas, antiguamente denominada Zona de *Bonnia-Olenellus*). Las zonaciones bioestratigráficas a detalle llevadas cabo por Webster y Bohach (2014), indican lo siguiente: La unidad 1 es posicionada en el período pre-trilobitoideo (Begadeano), la unidad 2 corresponde con la base de la Zona de *Fritzaspis* a la parte superior de la Zona de *Grandinasus patulus* (Waucobiano inferior, Montezumano inferior), la unidad 3 corresponde a la Zona de *Avefallotaspis maria* (Waucobiano, Montezumano) y finalmente la unidad 4 corresponde desde la base de la Zona de *Nevadia addyensis* a las zonas no definidas del Dyerano inferior (Waucobiano, Dyerano).

Formación Proveedora

La Formación Proveedora toma su nombre de la antigua mina La Proveedora (Cooper y Arellano, 1946; Cooper *et al.*, 1952; 1956), y consiste de 225 m de cuarcita de color blanco con manchas de óxido, intercalada con lutita de color gris-oscuro a verde. Esta unidad también aflora en los cerros Los Arrojos, Buelna y Cerro Prieto, variando su espesor. El contacto inferior con la Formación Puerto Blanco es concordante, al igual que el superior con la Formación Buelna.

Lochman *in* Cooper *et al.* (1952, 1956) identifica dentro de esta unidad fragmentos de olenélidos asignados de manera dudosa al género *?Lochmanolenellus* (= *?Wanneria mexicana*). La fauna fósil asociada de esta unidad está conformada por fragmentos de braquiópodos (*Lingulella* sp.) y abundantes icnofósiles (*Skolithos* isp.) (Stewart *et al.*, 1984).

El contenido de fósiles de la Formación Proveedora del área de Caborca es escaso, sin embargo, debido a su posición estratigráfica aunado a la presencia de *?Lochmanolenellus* es colocada desde la parte media del Dyerano (Figura 4), biozonas aún no definidas (antiguamente denominada zona de *Bonnia-Olenellus*) hasta la parte media de la Zona de *Bristolia mohavensis*. (Cuen, 2013; Webster y Bohach, 2014).

Formación Buelna

La Formación Buelna 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. Esta unidad posee un espesor de 70-100 m, aflorando también en los cerros Arrojos, Proveedora, Cerro Prieto y los Difuntos. El contacto inferior con la Formación Proveedora es concordante, mientras que el contacto superior con la Formación Cerro Prieto es transicional.

Los trilobites de la Formación Buelna corresponden a *Fritzolenellus truemani* (Walcott, 1913) (= *Olenellus truemani*), *Mesonacis fremonti* (Walcott, 1910) (= *Olenellus fremonti*), *Olenellus puertoblancoensis* (= *Paedeumias puertoblancoensis* Lochman in Cooper et al., 1952), *Wanneria walcottana buelnaensis*, *Bonnia sonora*, *Antagmus buttsi*, *Antagmus solitarius*, *Onchocephalus buelnaensis*, *Onchocephalus mexicanus* y *Sombrerella mexicana*.

El contenido biótico asociado está dado por algas calcáreas (*Girvanella mexicana*), arqueociatos (*Coscinocyathus* sp., *Archaeocyathus yavaroskii*, *Protopharetra* sp., *Cambrocyathus* sp. cf. *C. occidentalis* y ?*Syringocnema* sp.), braquiópodos (*Obolus labradoricus*, *Paterina* sp.), agmatos (*Salterella mexicana*, *Salterella* sp. cf. *S. pulchella*), y moluscos (*Scenella* sp. cf. *S. reticulata*, *Orthoteca buelna* y *Hyalithes whitei*).

La bioestratigrafía del área ha sido estudiada por diversos autores (Cooper et al., 1952; 1956; Stewart et al., 1984; Cuen, 2013 y Webster y Bohach, 2014), la cual comprende un rango de biozonas que varía desde la parte media de la Zona de *Bristolia mohavensis* a la parte intermedia de la Zona de *Bolbolenellus euryparia* (Webster y Bohach, 2014). En el presente trabajo se le asigna una edad del Piso 4?, Waucobiano, Dyerano (Figura 4).

Formación Cerro Prieto

Esta unidad fue definida en Cerro Prieto, área de Caborca, como una caliza maciza de color negro-oscuro, con gran resistencia al intemperismo de forma homogénea. Posee un espesor de 85 a 125 m, aflorando también en los cerros Los Arrojos, Buelna y Los Difuntos. El contacto inferior con la Formación Buelna es transicional, mientras que el contacto superior con la Formación Arrojos es concordante.

Esta unidad no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo debido a su posición estratigráfica Cuen (2013) la considera de la Zona de *Nephrolenellus multinodus*, mientras que Webster y Bohach (2014) la colocan desde la parte media de la Zona de *Bolbolenellus euryparia* hasta la parte superior de la Zona de *Eokochaspis nodosa*. Considerando lo anterior en el presente trabajo se le asigna una edad del Piso 4? (Global), Waucobiano, Dyerano (Laurentia) a la parte inferior del Lincolniano, Delamarano (Figura 4).

Formación Arrojos

Fue definida en los cerros Los Arrojos, suroeste de Caborca por Stoyanow (1942), posteriormente Cooper *et al.* (1952) la describieron de manera más detallada. Está compuesta principalmente por lutita intercalada con caliza y en la parte superior por arenisca. Posee un espesor de 160-190 m, aflorando también en los cerros Los Difuntos. 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.*, 1952).

La Formación Arrojos posee una abundante fauna de trilobites, representados por *Alokistocare althea*, *Alokistocare modestum*, *Akolistocare* sp., *Alokistocarella mexicana*, *Kistocare corbini*, *Kistocare tontoensis*, *Kochaspis cooperi*, ?*Kochaspis* sp., *Kootenia exilaxata*, *Athabaskia bela*, *Ptarmigania* (*Ptarmiganooides*) *bispinosa*, *Glossopleura leona*, *Glossopleura* sp. (= *Sonoraspis* Stoyanow in Cooper *et al.*, 1952; *Sonoraspis torresi* Stoyanow in Cooper *et al.*, 1952; *Sonoraspis gomezi* Stoyanow in Cooper *et al.*, 1952), *Ptychoparia clusia*, *Albertella proveedora*, *Mexicaspis stenopyge*, *Mexicaspis difuntoensis*, *Zacanthoides holopygus*, *Amecephalus arrosensis*, *Arellanella caborcana*, *Arellanella sonora*, *Arellanella* sp., *Caborcella arrosensis*, *Inglefieldia imperfecta*, *Proveedora starquistae*, *Mexicella mexicana*, *Pachyaspis deborra*, *Pachyaspis isabella* y *Pachyaspis* sp.

La asociación biótica de la Formación Arrojos está dada por algas calcáreas (*Girvanella* sp. cf. *G. sinesis*), coeloescleritoforos (*Chancelloria eros*), braquiópodos (*Acrothele concava*, *Linnarssonina* sp. (= *Pegmatreta rara*), *Micromitra* sp., *Nisusia* sp., *Wimanella* sp. y *Diraphora arrosensis*), y moluscos (*Hyolithes sonora*).

La Formación Arrojos comprende un amplio rango de biozonas, las cuales han sido estudiadas por diversos autores (Cooper *et al.*, 1952; 1956; Stewart *et al.*, 1984; Cuen, 2013; Webster y Bohach, 2014). En el presente trabajo se consideran las biozonas propuestas por Webster y Bohach, 2014, para la base de la formación, se inicia en la Zona de *Amecephalus arrojensis*, mientras que la parte superior son consideradas las zonaciones de acuerdo a Cuen (2013) quien la coloca hasta el límite superior de la Zona de *Glossopleura walcotti*. Esta unidad comprende un rango de edades que van desde el Piso 4 superior hasta el Piso 5 inferior (Lincolniano, Delamarano).

Formación El Tren

Fue definida en el extremo septentrional de los cerros Los Arrojos. 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 negras. Esta unidad posee un espesor de 420-490 m, aflorando también en los cerros Los Arrojos, cerros La Provedora y cerro Los Difuntos. El contacto inferior con la Formación Arrojos es concordante, mientras que el contacto superior no se observa.

Para la Formación El Tren se conocen las especies de trilobites *Athabaskia minor*, *Inglefieldia* sp. y *Parehmania* sp. La asociación biótica está dada principalmente por los braquiópodos *Linnarssonina* sp. (= *Pegmatreta arellanoi*) y *Dictyonina*.

Los fósiles recolectados en la Formación El Tren son escasos como ya se argumentó anteriormente, en el presente trabajo es considerada como perteneciente a la parte superior de la Zona de *Glossopleura walcotti*, correspondiéndole una edad del Piso 5, Lincolniano, Delamarano (Figura 4).

I.2. Región Noreste

La Región Noreste comprende principalmente los depósitos del área de Cananea, en el cerro El Tule (González-León, 1986). En esa localidad afloran rocas presumiblemente correlacionables con la Cuarcita Bolsa y Formación Abrigo (González-León, 1986; Cuen, 2013).

Cananea

En el área de la sierra del Tule, área de Cananea, aflora una secuencia constituida por caliza de color café a gris claro, con estratificación delgada a muy delgada, con un espesor aproximado de 110 m, la cual puede ser correlacionable con la Formación Abrigo del sureste de Arizona, EUA (González-León, 1986). El contacto inferior con la Formación Bolsa es concordante, mientras que el contacto superior con la Caliza Martin es discordante.

En la parte basal de la unidad se recolectaron los trilobites *Arapahoia* sp. y *Cedaria* sp., mientras que en la parte superior se reportan *Tricrepicephalus* sp., *Llanoaspis* sp., *Coosella* sp. y *Coosia* sp. (González-León, 1986).

La asociación faunística dada por *Arapahoia* sp. y *Cedaria* sp. en la parte basal de la unidad indica la Zona de *Cedaria/Cedarina dakotaensis* con una edad Serie 3, Guzhangiano; mientras que para la cronología regional de Laurentia se considera un Lincolniano, Marjumano. 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. La presencia de *Tricrepicephalus* sp., *Llanoaspis* sp., *Coosella* sp. y *Coosia* sp. en la parte superior de la unidad indica la Zona de *Crepicephalus*, correspondiéndole una edad Serie 3, Guzhangiano, mientras que para la cronología regional de Laurentia se considera Lincolniano, Marjumano. En este trabajo se asigna la edad Serie 3, Guzhangiano (Figura 4).

I.3.Región Central

La Región Central comprende los depósitos del área de Mazatán, donde se ha identificado la presencia de la Formación Proveedora (Stewart *et al.*, 1984), así como los del área de rancho Sobechi (Vega, 1996). También en esta región son incluidos los depósitos del área de San José de Gracia, en los cuales se han reconocido las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (Cuen, 2013; Cuen *et al.*, 2016).

Mazatán

Formación Proveedora

Esta unidad aflora principalmente en la parte inferior de la Sierra Agua Verde, consiste de cuarcita de grano fino a grueso, conteniendo en la parte superior pequeños conglomerados, así como alta bioturbación (Stewart *et al.*, 1999). Sobreyace concordantemente a la Formación Puerto Blanco y es sobreyacida por la Formación Buelna, teniendo un espesor de 120 m.

Los trilobites de la Formación Proveedora del área de Sierra Agua Verde están representados por *Bristolia bristolensis* (= *Olenellus gilberti*), según los estudios de Lieberman (1999) *O. gilberti* corresponde a una sinonimia de *Bristolia bristolensis*, considerando lo anterior es posible realizar una biocorrelación con los afloramientos del área de San José de Gracia, como se verá más adelante.

Rancho Sobechi

Las rocas cámbricas que afloran en las cercanías del rancho Sobechi fueron estudiadas por Vega (1996), aflorando principalmente en los cerros La Feliciano, La Poza, El Jomudo, Prieto, Las Milpas y Quizuani, así como en las partes bajas de la sierra de Mazatán. La litología consiste principalmente en limolitas intercaladas con calizas, sobreyaciendo mediante fallas de bajo ángulo a rocas graníticas más jóvenes.

Esta unidad contiene ejemplares de *Tonkinella valida*, *Quadragnostus depressa* (= *Peronopsis fallax depressa*), *Tomagnostus* sp. y *Ptychoparella* sp. (= *Syspacephalus* sp.)

Estas rocas originalmente fueron asignadas a la Zona de *Ehmaniella* por Vega (1996), pero en el presente trabajo son asignadas a la parte superior de dicha zona, específicamente a la Subzona de *Altiocculus* debido a la presencia de *Tonkinella valida* la cual se encuentra restringida a dicha subzona, indicando una edad Serie 3, Piso 5, para Laurentia Lincolniano, Topazano.

La Subzona de *Altiocculus* Sundberg (1994), ocurre sobre la Subzona de *Ehmaniella*, y su límite inferior se encuentra basado en la primera aparición de *Altiocculus* mientras que el

límite superior se encuentra basado en la primera aparición de *Bolaspidella* [Resser, 1937](#) (Figura 4).

La fauna del rancho Sobechi, documentada por [Vega \(1996\)](#) está dominada por agnóstidos (*Quadragnostus depressa* y *Tomagnostus* sp.). El género *Tonkinella* corresponde a un trilobite polímero típico del Cámbrico medio inferior de amplia distribución geográfica. *Tonkinella valida* [Tchernysheva, 1962](#), se encuentra restringida a la Subzona de *Altiocculus*, como sucede en Swasey Limestone, en las Drum Mountains de EUA ([Sundberg, 1994](#)) y en el área de Mazatán, Sonora ([Vega, 1996](#)).

San José de Gracia

En el área de San José de Gracia, específicamente en el cerro El Chihuarruita, afloran las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán ([Cuen, 2013](#); [Cuen et al., 2016](#)), las cuales poseen una biota fósil relativamente bien conservada. En el presente trabajo se muestran las consideraciones bioestratigráficas para dicha región.

Formación Proveedora

Consiste en cuarzoarenita de grano fino con alta bioturbación e icnofósiles. Posee un espesor de 225 metros y aflora principalmente en el cerro El Chihuarruita, el contacto inferior no se observa ya que se encuentra cubierto por rocas volcánicas del terciario y el contacto superior es concordante con la Formación Buelna.

Esta unidad no proporcionó fósiles de trilobites, sin embargo la presencia de icnofósiles es notoria, principalmente *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp., *Palaeophycus* isp., *Asteriacites* isp. y *Asterosoma* isp. ([Buitrón et al., 2016](#)).

Formación Buelna

De la base a la cima consiste en una caliza arenosa intercalada con lutita. Posee un espesor de 19 metros y aflora principalmente en el cerro El Chihuarruita, sobreyace de manera concordante a la Formación Proveedora y es sobreyacida de igual manera por la Formación Cerro Prieto ([Cuen, 2013](#)).

La Formación Buelna contiene los trilobites *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y *Olenellus* sp. La asociación biótica está dada por algas calcáreas y braquiópodos no identificados, moluscos (*Hyolithes sonora* y *Haplophrentis reesei*) y equinodermos (*Gogia granulosa* Robison, 1965).

Las rocas de la Formación Buelna son asignadas a la Zona de ?*Bristolia mohavensis* o ?*Bristolia insolens*, confiriéndole una edad Serie 2, Piso 4, y para *Laurentia* corresponde con Waucobiano, Dyerano (Figura 4).

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 de la especie del mismo nombre.

Bristolia bristolensis ocurre 5 metros sobre la base de la Formación Buelna en San José de Gracia, estando asociada a fragmentos de *Olenellus* sp. Esta última tiene un rango estratigráfico muy amplio, estando presente en la Zona de *Bristolia mohavensis* y *Bristolia insolens*. Por otro lado *Bristolia bristolensis* se encuentra restringida a la parte superior de la Zona de *B. mohavensis* y la parte inferior de la Zona de *Bristolia insolens*, siendo esta la máxima precisión bioestratigráfica que se puede obtener debido a la asociación faunística (*Bristolia bristolensis* y *Olenellus* sp.) que se tiene en San José de Gracia.

Formación Cerro Prieto

Consiste en una caliza oolítica fuertemente recristalizada, con un espesor de 17 metros, la cual se encuentra dolomitizada y con un marcado intemperismo cárstico. Su distribución principal es en el cerro El Chihuarruita, sobreyace de manera concordante a la Formación Buelna y es sobreyacida de igual manera por la Formación El Gavilán.

Está unidad contiene fragmentos mal conservados de *Amecephalus* sp. cf. *A. arrosensis* así como braquiópodos no identificados. Debido a la presencia de *Amecephalus*

estas rocas son asignadas de manera dudosa a la Zona de *Amecephalus arrojensis* o *Poliella denticulata*, confiriéndole una edad del Piso 4-5 (Lincolniano).

Formación El Gavilán

Consiste en una intercalación de caliza y lutita roja muy fracturada. La distribución principal es en cerro El Chihuarruita y posee un espesor de 233 metros, el contacto inferior es concordante con la Formación Cerro Prieto y el contacto superior es discordante con rocas volcánicas del terciario.

Contiene los trilobites *Pentagnostus* (*Meragnostus*) *bonnerensis* (= *Peronopsis bonnerensis*), *Pagetia resseri*, *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Bathyriscus* sp., *Elrathina antiqua* y *Ogygopsis typicalis*.

La asociación faunística está dada por poríferos (*Diagoniella* sp., *Chancelloria eros* y *Allonia* sp.), braquiópodos (*Acrothele* sp., *Prototreta* sp., *Dictyonina* sp., y *Linnarssonina* sp.) y moluscos (*Haplophrentis reesei*).

Las rocas de la Formación El Gavilán del área de San José de Gracia son asignadas a la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta. Le corresponde una edad Serie 3, Piso 5, y en la cronología regional de Laurentia se puede datar en Lincolniano, Delamarano tardío (Figura 4).

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 de *Mexicella mexicana*. 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 abundancia y amplia distribución geográfica de los trilobites agnóstidos les confiere un valor irrefutable como los mejores índices globales para la correlación de los estratos del Cámbrico. La Zona de *Ptychagnostus praecurrens* fue propuesta por Robison (1984), la parte inferior está basada en la primera aparición de la especie del mismo nombre, mientras que la parte superior está delimitada por la primera aparición de *Ptychagnostus gibbus*.

I.4. Región Este

La Región Este comprende principalmente los depósitos localizados al este del poblado de Arivechi, donde afloran las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillás. (Almazán-Vázquez, 1989).

Arivechi

Formación La Sata

Esta unidad fue definida en el cerro La Sata, área de Arivechi, de la cual toma su nombre. Está compuesta por cuarcita, lutita, arenisca, caliza oolítica y caliza oncolítica. Su autor original le asignó una edad del Cámbrico medio y la dividió en tres miembros (A, B y C) con base en sus facies litológicas (Almazán-Vázquez, 1989).

En la parte media de la unidad (Miembro B), se colectaron abundantes ejemplares de *Amecephalus* sp. y *Fieldaspis* sp., los miembros A y C no proporcionaron fósiles indicadores de edad. La asociación faunística está dada por los moluscos *Hyolithes* sp. y *Scenella* sp.

La asociación de los trilobites *Amecephalus* sp. y *Fieldaspis* sp. indica la probable presencia de *Poliella denticulata*, con una edad de Serie 3?, Piso 5?, mientras que para la cronología regional de Laurentia corresponde al Lincolniano, Delamarano.

La Zona de *Poliella denticulata* (Sundberg y McCollum, 2003) sobreyace a la Zona de *Amecephalus arrososensis* y es sobreyacida por la Zona de *Mexicella mexicana*. En su localidad tipo (Pioche Shale, Pioche Hills, Nevada, EUA) esta zona fue dividida en cinco asociaciones faunísticas: *Poliella denticulata*, *Fieldaspis celer*, *Syspacephalus longus*, *Poliellaites gloriosa* y *Kochaspis augusta*. La asociación faunística reportada por Almazán-Vázquez (1989) es escasa, sin embargo, es indicativa de la Zona de *Poliella denticulata*.

Formación El Mogallón

La Formación El Mogallón está compuesta 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). Constituye los

afloramientos cámbricos de mayor distribución en toda la zona y constituye, prácticamente los cerros La Sata y El Mogallón. Sobreyace de manera concordante a la Formación La Sata y se infiere que el contacto superior con la Formación La Huerta no es concordante, ya que no fue posible situarlo por movimientos de desplazamiento vertical (Almazán-Vázquez, 1989).

Los trilobites del Miembro A están representados por *Ptychagnostus atavus*, *Hypagnostus parvifrons*, *Quadragnostus* sp. (= ?*Peronopsis fallax*), *Peronopsis* sp., *Olenoides* sp. cf. *O. marjumensis*, *Modocia* sp. El Miembro B no aportó fósiles, mientras que el Miembro C proporcionó las especies *Hypagnostus parvifrons*, *Modocia typicalis*, *Utaspis* sp. El Miembro D proporcionó ejemplares de *Onymagnostus hybridus*, *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus michaeli* y *Bathyriscus* sp.

La asociación biótica del Miembro A está integrada por los braquiópodos (*Prototreta attenuata*, *Prototreta* sp., *Acrothele subsidua*, *Micromitra* sp., *Pegmatreta bellatula* y *Linnarssonina ophirensis*, así como espículas de esponja hexactinélidas. El Miembro C proporcionó a *Lingulella* sp., *Prototreta attenuata*, *Prototreta* sp., *Acrothele subsidua*, *Lingulella* sp. así como los moluscos *Hyalithes* sp. Finalmente el Miembro D proporcionó ejemplares de *Lingulella* sp., *Prototreta flabellata*, *Linnarssonina* sp. cf. *L. ophirensis* y *Linnarssonina* sp.

El Miembro A de la Formación El Mogallón probablemente corresponda a la parte inferior de la Zona de *Ptychagnostus atavus*, Serie 3, Drumiano. Mientras que para la cronología de Laurentia le corresponde una edad Lincolniano medio, Marjumano. El Miembro C corresponde a la Zona de *Bolaspidella*, Zona de *Ptychagnostus atavus*, Serie 3, Drumiano. Para Laurentia Lincolniano medio, Marjumano. Finalmente el Miembro D podría corresponder a las zonas *Goniagnostus nathorsti*, *Lojopyge armata* y/o *Lejopyge laevigata*, indicando una edad Serie 3?, Drumiano?. Para la cronología de Laurentia Lincolniano, Marjumano (Figura 4).

Formación La Huerta

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. Posee

un espesor de 250 metros. Las relaciones estratigráficas no fueron establecidas debido a que los contactos se encuentran cubiertos por sedimentos recientes (Almazán-Vázquez, 1989).

No proporcionó trilobites, reportándose solamente la presencia de braquiópodos (*Micromitra* sp., *Acrothele* sp. y *Prototreta attenuata*).

Formación Milpillas

Toma su nombre del arroyo del mismo nombre, área de Arivechi, y consiste en una alternancia de lutita calcárea y caliza arcillosa. Tiene un espesor total de 200 metros y es sobreyacida discordantemente por rocas del Ordovícico Inferior (Almazán-Vázquez, 1989).

La fauna de trilobites está constituida por *Aphelotoxon* sp., *Elvinia* sp., *Homagnostus* sp., *Pseudoagnostus* sp., *Pterocephalia* sp.

La asociación faunística está dada por braquiópodos (*Angulotreta* sp., *Micromitra* sp. y *Quadrisonia* sp.), moluscos (*Pelagiella* sp., *Hyalithes* sp. e *Hypseloconus* sp.), conodontos (*Westergaardodina* sp.) y escleritos de *Chancelloria* sp.

La asociación biótica de la Formación Milpillas indica la Zona de *Elvinia*, con una edad del Furongiano, Paibiano, mientras que para *Laurentia* indica un Millardano, Steptoeano.

I.5. Consideraciones bioestratigráficas

El establecimiento de las subdivisiones del Sistema Cámbrico para el cratón norteamericano (*Laurentia*) ha sido un proceso de constantes cambios, principalmente debido a la falta de elementos para la definición de unidades con una sección estratotipo y punto de límite global bien establecido (Babcock *et al.*, 2011). Actualmente se reconocen cuatro series globales para el Cámbrico (Terreneuviano, Serie 2, Serie 3 y Furongiano), así como diez pisos, de los cuales cinco aún no han sido formalmente establecidos (Piso 2, Piso 3, Piso 4, Piso 5 y Piso 10) (Babcock *et al.*, 2011; Peng *et al.* in Gradstein *et al.*, 2012). Para la cronología de *Laurentia* se reconocen cuatro series (Begadeano, Waucobano, Lincolniano y Millardano). La Serie Begadeano ha sido considerada como anterior a los trilobites, mientras que los límites y zonaciones bioestratigráficas para las series Begadeano, Waucobiano, Lincolniano y Millardano son establecidas con base en trilobites.

Las zonaciones bioestratigráficas propuestas en el presente trabajo se basan en trilobites, debido a que estos representan las faunas marinas dominantes durante el Cámbrico, y los principales indicadores bioestratigráficos para el Paleozoico inferior; aunado a que la mayoría de los microfósiles útiles en bioestratigrafía se encuentran ausentes cerca de la base del Cámbrico. En efecto, la amplia distribución geográfica así como el corto rango estratigráfico y una rápida evolución les confieren a los trilobites un valor irrefutable como indicadores bioestratigráficos y paleoecológicos; sin embargo el marcado provincialismo y la existencia de faunas endémicas, sobre todo durante el Cámbrico temprano ha conducido a problemas de correlación global y esto ha influido en el establecimiento de biozonas claramente equivalentes, provocando confusión y desacuerdo entre diversos investigadores. Los trilobites agnóstidos arrojan luz sobre esta problemática, principalmente por su carácter cosmopolita, aunque su ecología aún es controversial, sin embargo, lo anterior no les resta utilidad como indicadores bioestratigráficos globales.

Los afloramientos cámbricos del estado de Sonora, estudiados en el presente trabajo son considerados importantes debido a que contienen el mayor contenido biótico así como una clara afinidad con los depósitos del cratón norteamericano, siendo estos los únicos afloramientos del Cámbrico conocidos en México.

En el área de Caborca, la Formación Puerto Blanco es considerada del Begadeano medio al Dyerano medio, contenido un amplio rango de biozonas desde *Fritzaspis* hasta *Nevadella eucharis*, siendo los depósitos cámbricos más basales para México. La Formación Proveedora es asignada debido a su posición estratigráfica al Dyerano medio, conteniendo probablemente las zonas de *Arcuolenellus arcuatus* y *Bristolia mohavensis*. La Formación Buelna es asignada del Dyerano medio – superior y contiene desde la Zona de *Bristolia mohavensis* hasta la parte inferior de la Zona de *Bolbolenellus euryparia*. La Formación Cerro Prieto es asignada al Dyerano superior – Delamarano inferior y contiene las zonas de *Bolbolenellus euryparia* a *Eokochaspis nodosa*. La Formación Arrojos comprende prácticamente todo el Delamarano y un rango de biozonas dado por *Amecephalus arrojosensis* a la parte inferior de la Zona de *Glossopleura walcotti*. Finalmente la Formación El Tren es asignada al Delamarano superior y contiene la Zona de *Glossopleura walcotti*.

En el área de Cananea, la Caliza Abrigo es asignada al Marjumano superior, conteniendo las zonas de *Cedaria/Cedarina dakotaensis* y *Crepicephalus*. Los depósitos del área de Mazatán, específicamente la Formación Proveedora es asignada al Dyerano medio, debido a la presencia de *Olenellus gilberti*. Los depósitos del área de rancho Sobechi, son asignados al Topazano superior, conteniendo la Subzona de *Altiocculus*, Zona de *Ehmaniella*. En el área de San José de Gracia la Formación Proveedora representa el Dyerano medio debido a su posición estratigráfica. La Formación Buelna es asignada al Dyerano medio – superior conteniendo las zonas de *Bristolia mohavensis* y/o *Bristolia insolens*. La Formación Cerro Prieto es considerada del Delamarano inferior – medio y probablemente contiene las zonas de *Amecephalus arrosensis* y/o *Poliella denticulata*. Finalmente la formación El Gavilán es asignada al Delamarano superior y contiene la Subzona de *Albertella highlandensis*, Zona de *Mexicella mexicana*, o bien la Zona de *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta. Respecto a los depósitos del área de Arivechi, la Formación La Sata es asignada al Delamarano inferior y contiene la Zona de *Poliella denticulata*. La Formación El Mogallón representa la mayor parte del Marjumano y contiene la Zona de *Bolaspidella* o bien *Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus punctuosus*, *Goniagnostus nathorsti* y/o *Lejopyge laevigata* por la presencia de agnóstidos. La Formación La Huerta no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo debido a posición estratigráfica debe ser colocada en un rango de edad del Marjumano superior al Steptoeano medio. Finalmente la Formación Milpillas es asignada al Steptoeano superior – Sunwaptano inferior, conteniendo la Zona de *Elvinia*.

Como se ha hecho evidente, es posible diferenciar los afloramientos del Cámbrico de la región con base en su asociación faunística, específicamente en trilobites polímeros y trilobites miómeros, los cuales indican condiciones de depósito diferentes. En los afloramientos del área de Caborca y Cananea se ha documentado sólo la presencia de trilobites polímeros, indicando ambientes marinos someros cercanos a la línea de costa (plataforma interior). Los depósitos del área de Mazatán, San José de Gracia y Arivechi contienen trilobites miómeros, indicando depósitos de plataforma abierta.

Las zonas establecidas en las diferentes regiones plantean aun ciertos problemas, debido a que las columnas estratigráficas realizadas por diversos autores no son muy detalladas con respecto a la posición estratigráfica de los especímenes, por lo tanto los límites de dichas zonas

establecidas están sujetas a desplazamiento; sirviendo el presente trabajo como un ensayo para ordenar y visualizar de manera general el Sistema Cámbrico en México.



Figura 3. Localización de los principales afloramientos del Cámbrico en el estado de Sonora. 1 Cerro San Clemente, 2 Cerro Rajón, 3 Cerro Prieto, 4 Cerro Los Difuntos, 5 Cerros de Buelna, 6 Cerros La Provedora, 7 Cerros Los Arrojos, 8 Cerros El Tule, 9 Rancho Sobechi, 10 Sierra Agua Verde, 11 San José de Gracia, 12 Arivechi.

GLOBAL	BIOME	STAGE	TRILOBITE ZONES	TRILOBITE OPEN SHELF	CABRCA	CANAMÁ	HAZATÁN	SAN JOSÉ DE GRACIA	ARIVECHI																																																																
CAMBRIAN	Forfurnian	Stage 10	Equisan	Subdivision																																																																					
										Mifurion	Subdivision																																																														
																		Stage 9	Subdivision																																																						
																										Stage 8	Subdivision																																														
																																		Stage 7	Subdivision																																						
																																										Stage 6	Subdivision																														
																																																		Stage 5	Subdivision																						
																																																										Stage 4	Subdivision														
																																																																		Stage 3	Subdivision						
	Forfurnian	Subdivision																																																																							
									Stage 1	Subdivision																																																															

Figura 4. Zonaciones bioestratigráficas realizadas para los principales depósitos del Cámbrico de Sonora. Las zonas han sido establecidas con base en trilobites.

Del trabajo llevado a cabo para concluir el objetivo 1 se tiene el siguiente trabajo de investigación, el cual ha sido enviado para su publicación a la Revista Arabian Journal of Geosciences.

Trilobite-based biostratigraphy (Arthropoda-Trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico

Cuen R.F¹ • Valdez-Holguín J.E^{2*} • Buitrón B.E³ • Monreal R¹ • Enríquez F² • Aguirre E² • Palafox J.J¹

Cuen R.F¹ • Monreal R¹ • Palafox J.J¹

¹ Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Valdez-Holguín J.E^{2*} • Enríquez F² • Aguirre E²

² Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Luis Donaldo Colosio s/n, entre Sahuaripa y Reforma, Col Centro. CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Buitrón B.E³

³ Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CP 04510, CDMEX. Email: blancab@unam.mx

* Corresponding Author: Valdez J.E
Email: *jvaldez@guayacan.uson.mx

Abstract A biostratigraphic analysis based on trilobites of the main Cambrian outcrops from Sonora, Mexico is performed. The data are based on a combination of field work and published sources, including five previously studied locations from northern and eastern Sonora, and a new location in the central part of the Sonora state (San José de Gracia). Chronostratigraphic positions are assigned to the Cambrian outcrops according to ISCS (2012). In the Caborca area, the Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos and El Tren Formations comprise a wide range of biozones, which starts from the *Fritzaspis* Zone until to the *Glossopleura walcotti* Zone. This corresponds to a global age from Series 2-Series 3 (Stage 3-Stage 5), which is according to the chronology of Laurentia corresponds to the Begadean-Lincolnian.

In the Cananea area, Cambrian rocks are exposed which are correlative with the Bolsa quartzite and Abrigo limestone. Rocks from member 2 of the Abrigo are assigned to

Figura 5. Caratula de la publicación Trilobite-based biostratigraphy (Arthropoda-Trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico.

CAPITULO 2. IDENTIFICAR MEDIANTE ESTUDIOS DE ESTRATIGRAFÍA, PALEONTOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA LAS CARACTERÍSTICAS PALEOECOLÓGICAS DE LOS ECOSISTEMAS DEL CÁMBRICO DE SONORA.

II.1 Estratigrafía

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) con base a su litología, compuesta por cuarcita y arenisca. [Cuen \(2012\)](#), asigna estas 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.

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 indica 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 diámetro 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 sección 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 relleno de 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. 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 presentan 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 (Figura 6).

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 halla 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 *Arenicolites* isp., *Asteriacites* isp., *Asterosoma* isp., *Palaeophycus* isp. y *Skolithos* isp. (Buitrón *et al.*, 2016). Aunque para el área de estudio no se encontraron fósiles índices, por correlación con la Formación Proveedora del área de Caborca se le asigna una edad de Cámbrico temprano (Figura 7).

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., *Arenicolites* isp. y *Palaeophycus* isp., no encontrándose invertebrados complejos. Con 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 Proveedora 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 Proveedora de San José de Gracia, al no proporcionar fósiles de invertebrados y encontrarse en asociación *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp. y *Palaeophycus* isp. Por lo tanto, se infiere que las dos formaciones son equivalentes y/o correlacionales, pero con un cambio de facies notorio.

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, confirmando 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 μm , siendo en general angulosos a subangulosos, mal clasificados. Esta capa posee un grosor de 19 metros.

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). Según la clasificación de Dunham

(1962) y Folk (1962), 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 (Figura 6).

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 *in* Cooper *et al.*, 1952 y *Haplophrentis reesei* Babcock & Robison, 1988, así como ?*Salterella* sp. en asociación con abundantes olenélidos 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* (Figura 7).

Correlación regional: La Formación Buelna del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952) es correlacionable con la Formación Buelna del área de San José de Gracia con base en 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 Proveedora 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 olenélidos y biceratósidos, 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 y Halley (1979), a la Zónula 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.

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 esta 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 Arrojitos 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.

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 sección delgada se describe con una matriz micrítica con oolitos recristalizados, con un diámetro aproximado de 100 μ m. Según la clasificación de Folk (1962) se trata de una oomicrita.

Distribución: Sureste de la loma El Chihuarruita (Figura 6).

Relaciones estratigráficas: Sobreyace de manera concordante a la Formación Buelna del Cámbrico inferior y es sobreyacida de manera concordante por la Formación El Gavilán (Cuen *et al.*, 2016) 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 m.

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).

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. 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 Arrojos 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 Arrojos a 100-110 metros. En el área de San José de Gracia se midió un espesor de 17.30 metros.

Formación El Gavilán

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 ([CNNE, 2010](#)), 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 con base a su litología y contenido faunístico con las unidades Provedora, 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. 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.

La unidad posee una abundante fauna fósil, compuesta por trilobites, braquiópodos inarticulados, espículas de esponja, chanceloridos, hiolítidos, entre otros. En la parte basal de la unidad, se encuentran horizontes de lutita donde son muy abundantes los braquiópodos *Acrothele* sp. 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., *Linnarssonina* sp., y *Lingulella* sp., 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 y *Diagoniella* sp. (Cuen *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, proponen 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 lutita de color rojo, generalmente muy fracturadas. Se encuentra intercalada con esporádicas capas de caliza de color verde claro.

Edad: Con 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* (Figura 7). Zona de *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta (Sundberg, 2011).

Correlación regional: La Formación El Gavilán puede ser biocorrelacionada con la parte superior del Miembro Caliza Red Pass de la Formación Carrara (Palmer y 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).

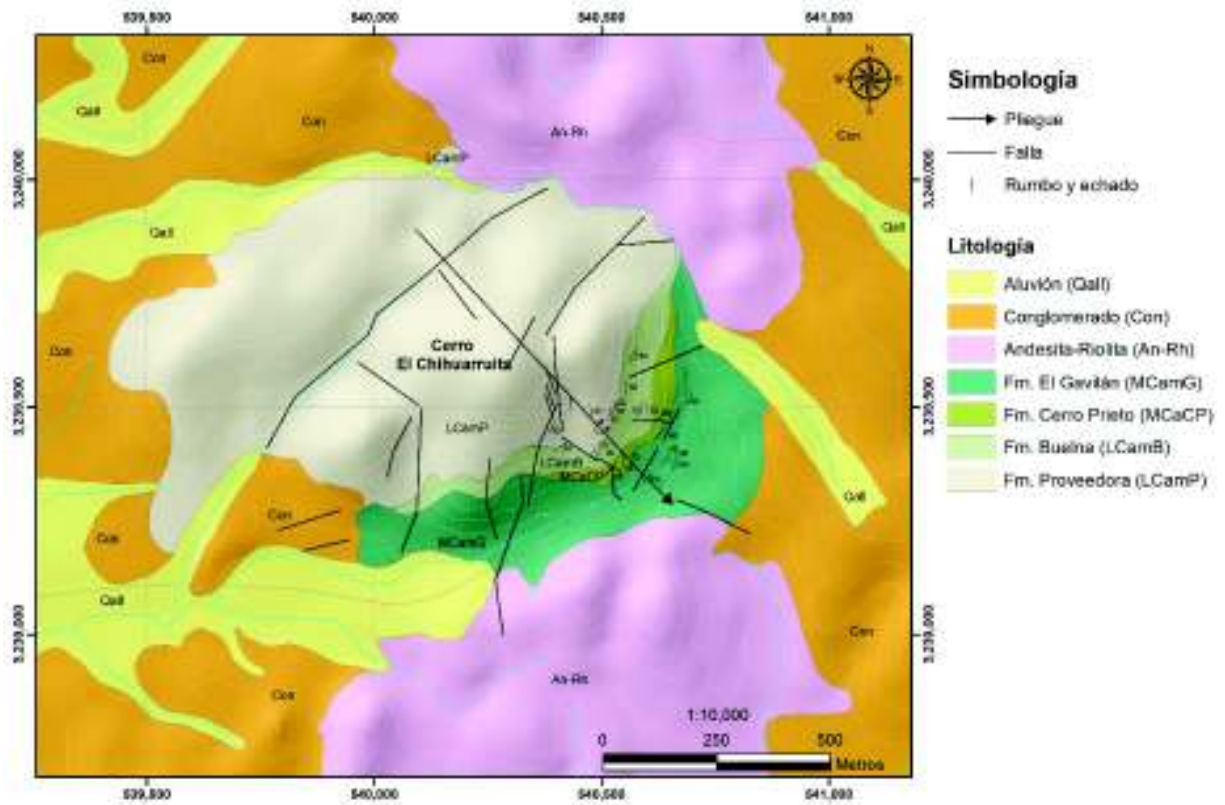


Figura 6. Mapa geológico del área de estudio. Al centro se muestra el Cerro El Chihuarruita, correspondiendo con el rasgo topográfico donde afloran los depósitos del Cámbrico estudiados en este trabajo.

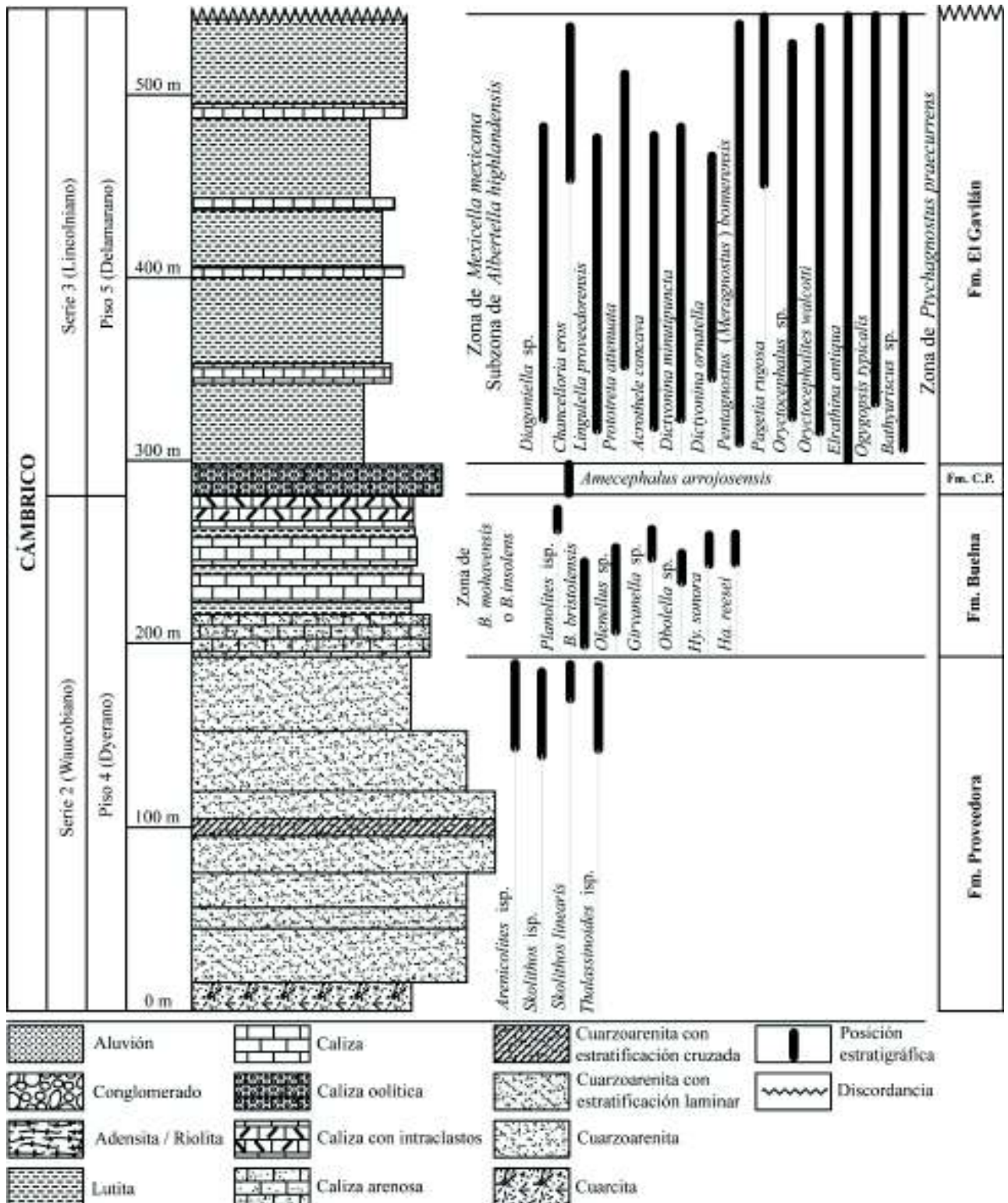


Figura 7. Columna estratigráfica del Cámbrico del Cerro El Chihuarruita mostrando la distribución de la biota.

II.2. Petrografía

Los estudios petrográficos y sedimentológicos son importantes debido a que proporcionan información detallada sobre el ambiente depósito y las características intrínsecas del medio. En estos estudios se consideran además de los sedimentos, aspectos como la biota fósil, textura de las rocas, características químicas, entre otros. Para las rocas calizas se utiliza la clasificación propuesta por Dunham (1962) y Folk (1962).

La clasificación de Dunham (1962) utiliza como criterio principal la textura, la cual es descrita en términos de la proporción de carbonatos (micrita, esparita) presente en la roca. Si se tiene una caliza con matriz soportada puede tratarse de un mudstone (menos del 10% de clastos) o wackestone (con más del 10% de clastos). Si la caliza es clasto soportada puede tratarse de un packestone (si existe lodo calcáreo presente) o grainstone si la matriz es poca o ausente (Nichols, 2009). La clasificación de Folk (1962) se basa en la proporción de granos (alocuímicos), matriz micrítica y cemento esparítico.

La Formación Provedora está constituida principalmente por cuarzoarenita de grano fino a grueso, con la presencia de alta bioturbación e icnofósiles. A continuación se muestran algunas microfotografías elaboradas bajo el microscopio petrográfico.

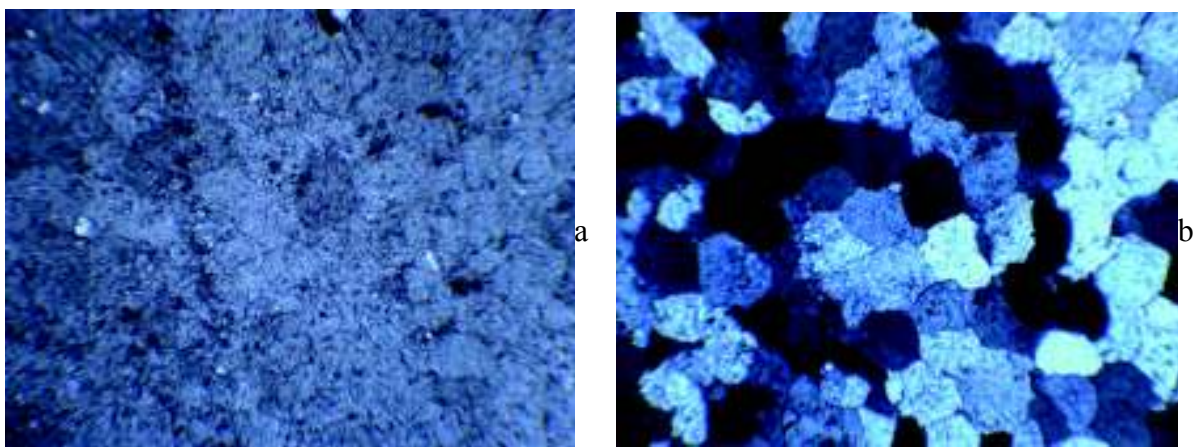


Figura 8. Cuarzoarenita con granos de cuarzo subredondeados mayores al 95% (monocristalino), cementante syntaxial de sílice y pelicular con óxido de fierro. Entramado cóncavo-convexo, empaquetamiento de grano sostenido, considerándose madura; a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

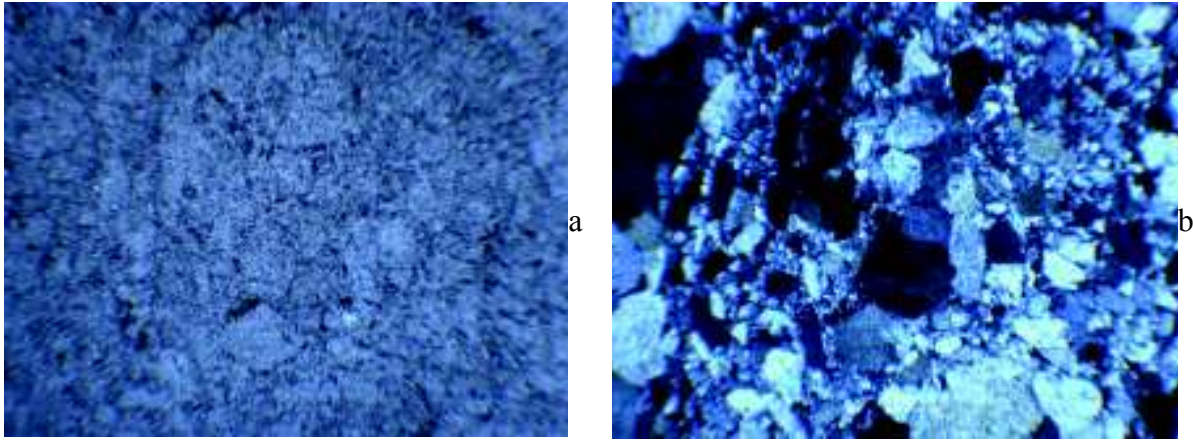


Figura 9. Cuarzoarenita con clastos subangulosos-subredondeados, moderadamente clasificados. Entramado longitudinal, empaquetamiento grano sostenido, se considera madura; a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

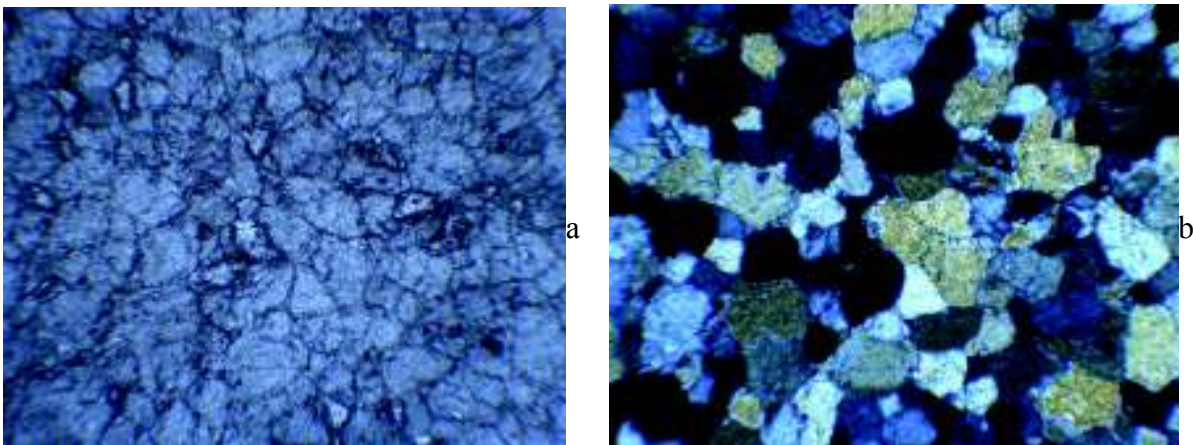


Figura 10. Arcosa, presencia de cuarzo menor al 75%, los feldespatos son mayor que los fragmentos de roca; a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

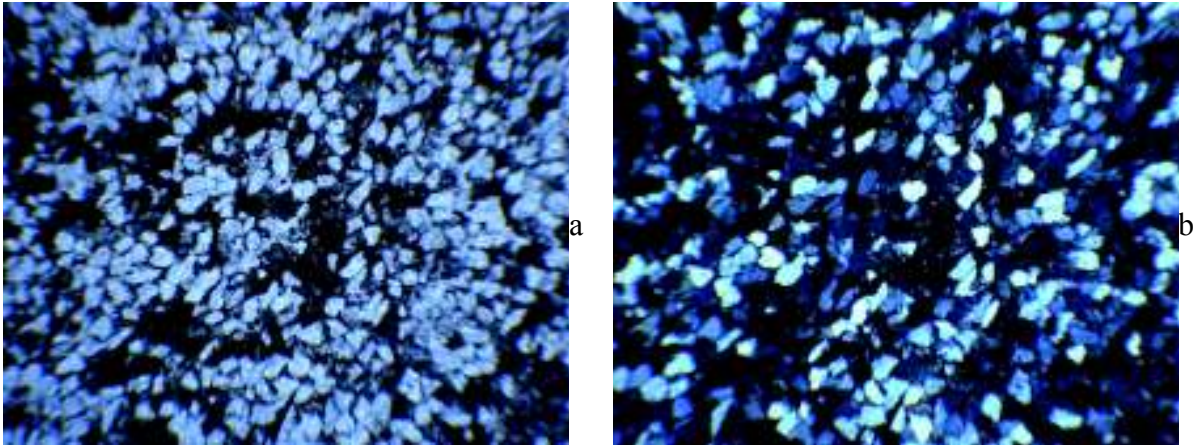


Figura 11. Arenisca de cuarzo de grano medio, 5% constituido por feldespato y fragmentos de roca. Cementante de óxidos de hierro. Angulosa a subangulosa, moderadamente clasificada. Entramado longitudinal. Empaquetamiento grano soportado; se considerad madura. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

La Formación Buelna está constituida principalmente por caliza con aporte terrígenos, así como con la presencia de algas, hiolítidos, salterélidos, trilobites y equinodermos.

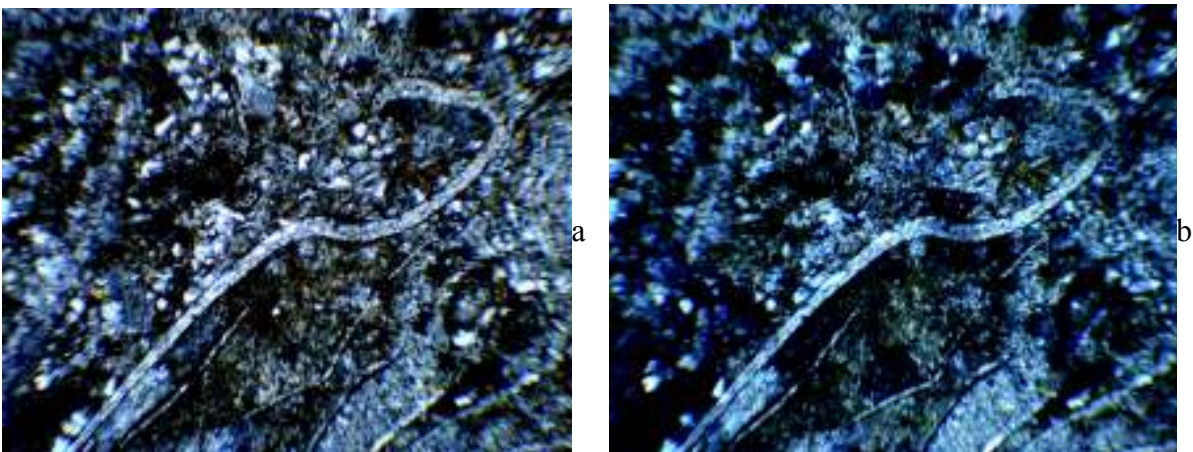


Figura 12. Caliza micrítica, con la presencia de cuarzo y pedernal. Al centro se observan cortes de trilobites mostrando el corte distintivo en forma de gancho, también llamada báculo de pastor (*shepherd's crook*). Según la clasificación de Dunham corresponde a una packstone, mientras que la clasificación de Folk indica que corresponde a una biomicrita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

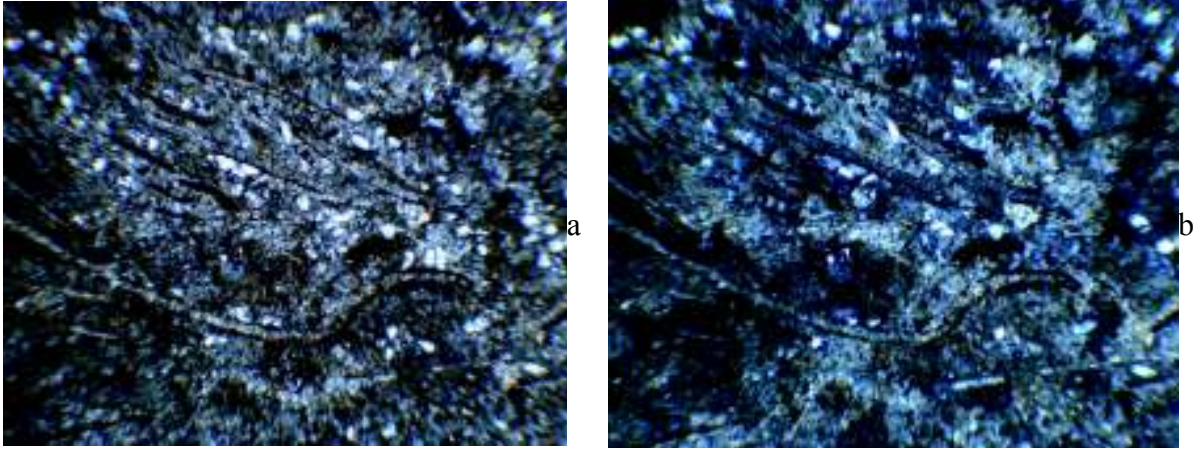


Figura 13. Caliza con fragmentos de trilobites y aporte de terrígenos (cuarzo). Dunham: grainstone. Folk: bioesparita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

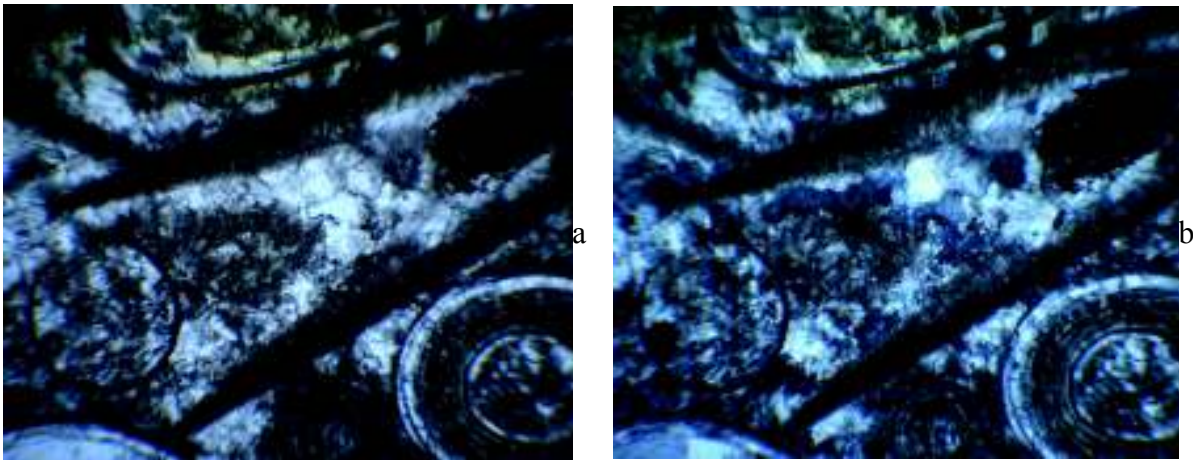


Figura 14. Caliza con fragmentos de *Salterella* sp. en una matriz de esparita. Dunham: grainstone. Folk: bioesparita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

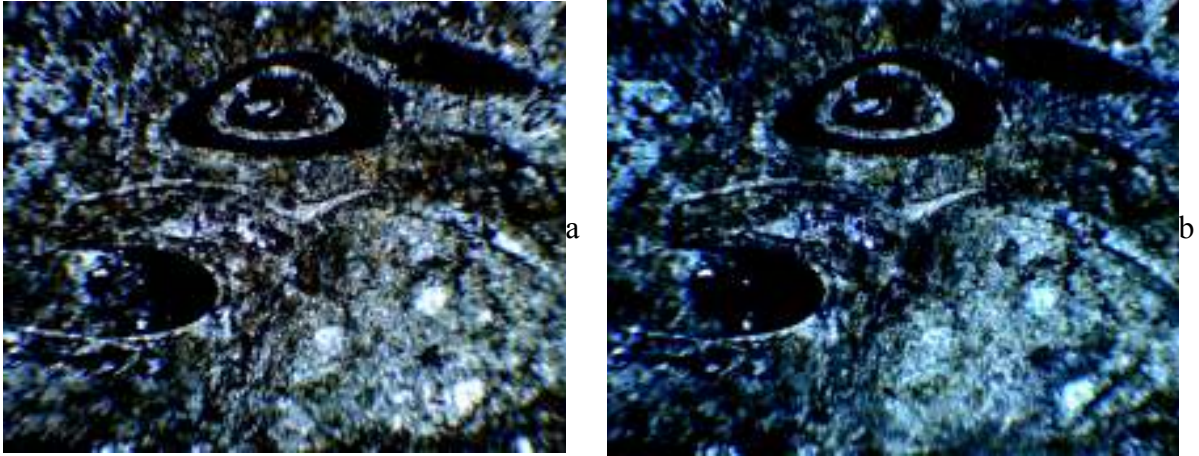


Figura 15. Caliza con fragmentos de trilobites e hiolítidos (*Haplophrentis reesei*) en una matriz micrítica. Se observa aporte de terrígenos. Dunham: packstone. Folk: biomicrita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

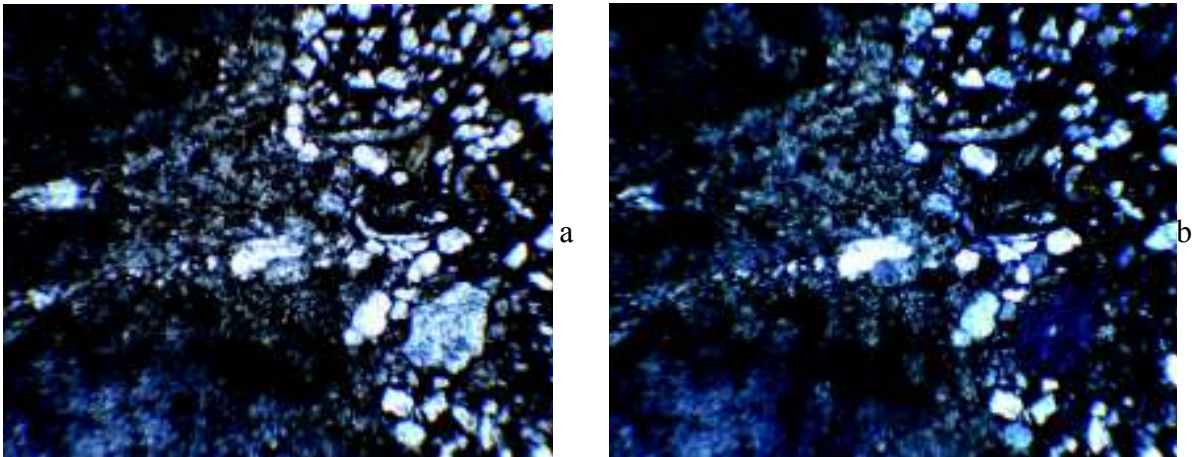


Figura 16. Mudstone con aporte de terrígenos. Caliza arenosa. Se observan fragmentos de trilobites. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

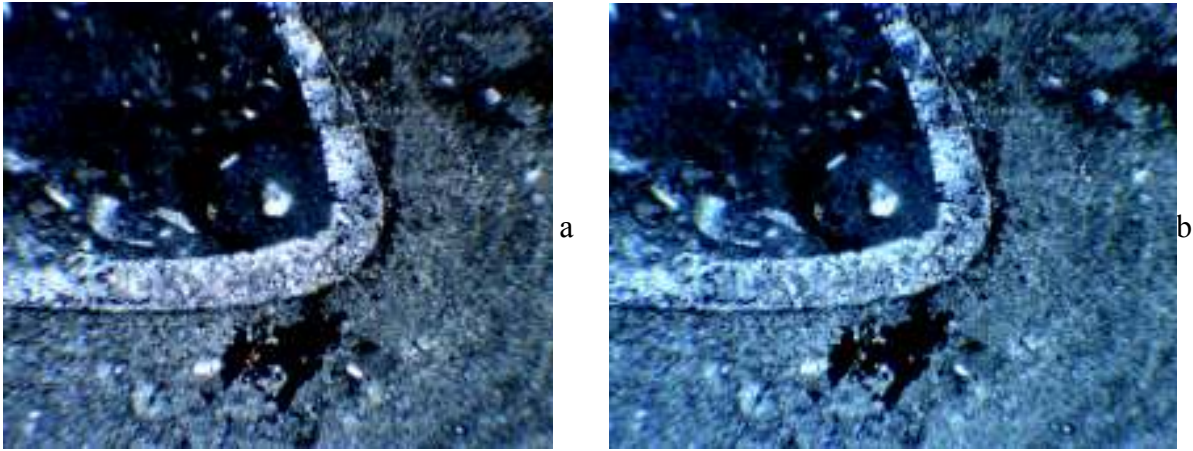


Figura 17. *Girvanella* sp. mostrando los filamentos. Dunhnam: mudstone. Folk: packstone. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

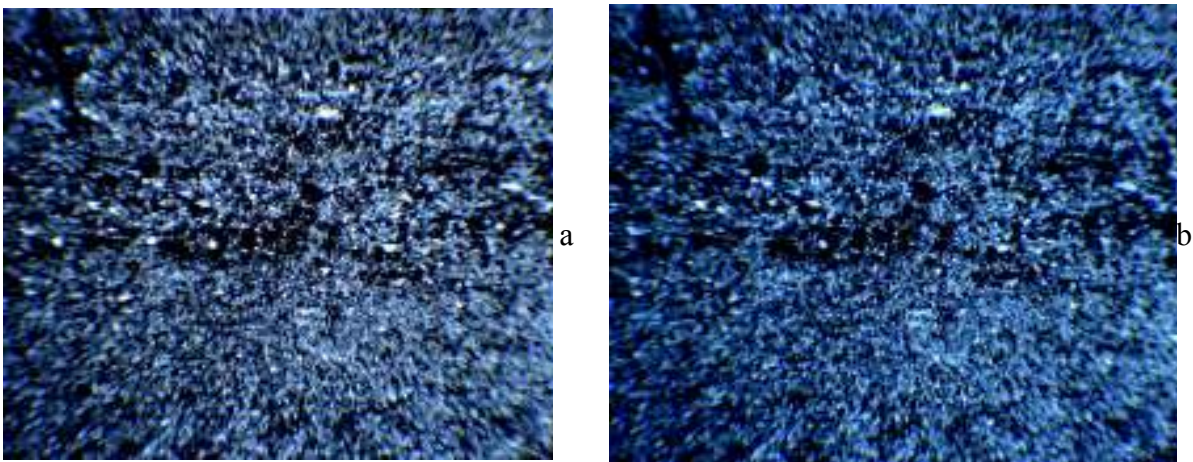


Figura 18. Lutita. a) luz natural y b) luz polarizada. Objetivo: 4X.

II.3. Paleoicnología Sistemática

El estudio de los icnofósiles del Cámbrico de San José de Gracia reveló una abundancia de ejemplares, pero escasa diversidad. El material parcialmente obtenido en campo se encuentra depositado en la Colección de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. Siguiendo las prácticas convencionales, los icnotaxa se encuentran listados alfabéticamente. Para la identificación de los icnotaxones se sigue la propuesta de [Buatois y Mángano \(2011\)](#) así como [Knaust y Bromley \(2012\)](#).

ICNOGÉNERO *Arenicolites* [Salter, 1857](#)

ICNOESPECIE TIPO: *Arenicola carbonaria* [Binney, 1852](#)

Arenicolites isp.

Figura 19 a y 19 b.

OCCURRENCIA: Escasa. Formación Proveedora, Cámbrico inferior. Icnofacies de *Skolithos*.

Arenicolites isp. posee una distribución generalizada en Europa, Norteamérica ([Häntzschel, 1962](#)) y África ([Seilacher, 1990](#)).

Las diferentes especies de *Arenicolites* se pueden diferenciar con base en la amplitud de la forma de la "U". La interpretación que se da a esta estructura es la de una madriguera de vivienda, posiblemente hecha por un verme anélido ([Seilacher, 1990](#)). La perturbación es de tipo spreiten que significa que es el producto del desplazamiento lateral o vertical de un túnel, especialmente en forma de "U". [Pemberton et al. \(1992\)](#) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies *Skolithos*.

El icnogénero *Arenicolites* corresponde a un representante cosmopolita, frecuentemente asociado a *Diplocraterion*. Según [Bromley \(1996\)](#) es una traza moderada típica de ambientes marinos pocos profundos. Ha sido reportado para la Formación Bhuban (Mioceno) de Bawngkawn, Aizawl, India, donde se encuentra asociado con abundantes representantes de *Laevicyclus mongraensis*, *Palaeophycus heberti*, *P. sulcatus*, *P. alternates*, *Skolithos linearis* y *Thalassinoides paradoxicus* entre otros ([Tiwari et al., 2011](#)). Diversos fragmentos de

Arenicolites han sido reportados para la sucesión Drienok Nappe del Triásico inferior en Eslovaquia, donde el fragmentario estado de los icnofósiles ha imposibilitado su reconocimiento icnoespecífico, encontrándose asociado a *Diplocraterion parallelum* y ?*Skolithos* isp.

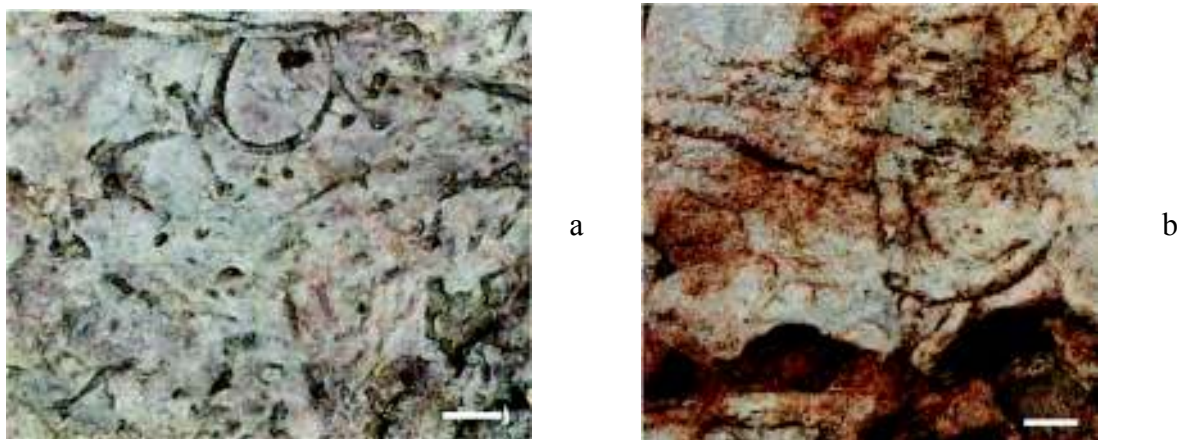


Figura 19. Las figuras a y b corresponden a *Arenicolites* isp. embebidos en una cuarzoarenita, línea de escala 1 cm.

ICNOGÉNERO *Planolites* Nicholson, 1873

ICNOESPECIE TIPO: *Planolites vulgaris* Nicholson y Hinde, 1875

Planolites isp.

Figura 20.

OCCURRENCIA: Escasa. Formación Buelna. Cámbrico inferior. Icnofacies de *Skolithos*.

Ejemplares de *Planolites* han sido reportados de la Formación Bhuban (Mioceno) del área de Bawgkawn, Aizawl, Mizoram, India, principalmente *P. beverleyensis* y *P. annularis* (Tiwari *et al.*, 2011). También ha sido reportado para la Formación Kand de la cuenca de Cambay, Gujarat, India, del Mioceno (Mude, 2012), en asociación con *Laevicyathus mongraensis*, *Planolites berveleensis*, *Planolites montanus*, *Thalassonoids paradoxicum* y *Thalassonoids suevicus*. En Norteamérica *Planolites* es considerado como una de las trazas fósiles más abundantes en el Precámbrico superior – Cámbrico inferior de las Montañas White

– Inyo en California, donde es reportado para las formaciones Wyman y Saline Valley (Alpert, 1975).

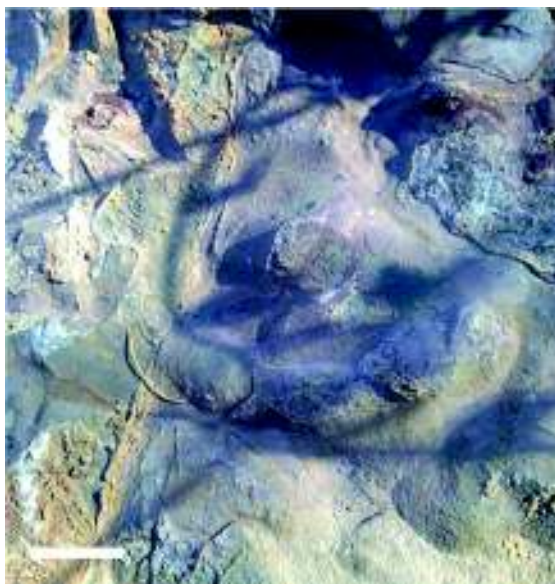


Figura 20. *Planolites* isp., línea de escala 1 cm.

Icnogénero *Skolithos* Haldeman, 1840

Icnoespecie tipo: *Fucoides? Linearis* Haldeman, 1840

Skolithos isp.

Figura 21.

Ocurrencia: Abundante. Formación Proveedora, Cámbrico inferior. Icnofacies de *Skolithos*.

Skolithos ha sido documentado en Europa, América, Groenlandia y Tasmania (Häntzschel, 1962). Se encuentran generalmente en arenisca. Se interpretan como galerías de vivienda hechas por invertebrados, como gusanos o foronídeos (Seilacher, 1967; Knaust y Bromley, 2012). Pemberton *et al.* (1992) consideran que estos icnofósiles son los que determinan a la icnofacies *Skolithos*, debido a que son los más típicos. *Skolithos* ha sido reportado en la unidad cuarcita del Miembro Superior de la Formación Poleta, siendo menos

abundante en la Formación Harkless, del Precámbrico – Cámbrico de California, siendo indicativo de un ambiente marino somero (Alpert, 1975). En Sonora *Skolithos* ha sido reportado en la Formación Proveedora del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952; 1956); también en la Formación Pozo Nuevo del Ordovícico de la parte central del estado (Almázan-Vázquez *et al.*, 2006).

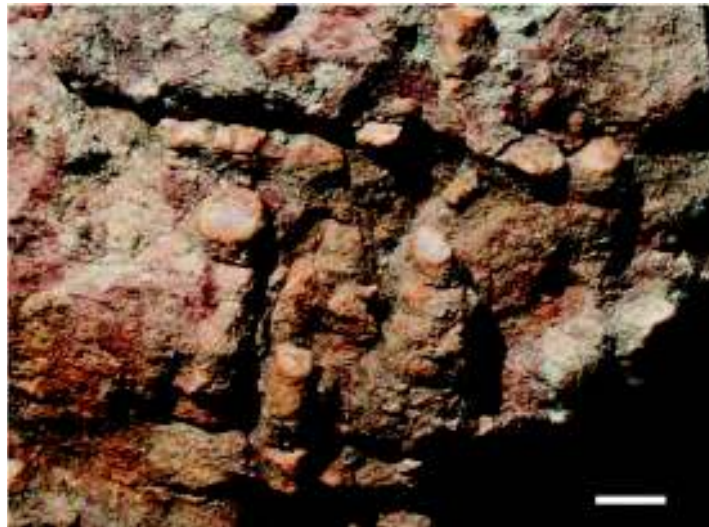


Figura 21. *Skolithos* isp., línea de escala 1 cm.

Skolithos isp. cf. *S. linearis* Haldeman, 1840

Figura 22

Ocurrencia: Escasa. Formación Proveedora. Cámbrico inferior. Icnofacies de *Skolithos*.

Skolithos linearis ha sido reportado de la Formación Bhuban (Mioceno) de área de Aizawl, Mizoram (Tiwari *et al.*, 2011). También ha sido reportado para el Miembro Andrews Mountain de la Formación Campito y en cuarcitas de la Formación Harkless (Alpert, 1975).



Figura 22. *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, línea de escala 1 cm.

ICNOGÉNERO *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

ICNOESPECIE TIPO: *Thalassinoides callianassae* Ehrenberg, 1944

Thalassinoides isp.

Figura 23

OCCURRENCIA: Escasa. Formación Proveedora. Cámbrico inferior. Icnofacies de *Skolithos*.

Ejemplares de *Thalassinoides* han sido descritos de la Formación Bhuban, Grupo Surma (Mioceno) del área de Bawgakawn, Aizawl, Mizoram, India, principalmente *T. horizontalis*, *T. paradoxicus*, entre otros (Tiwari *et al.*, 2011).

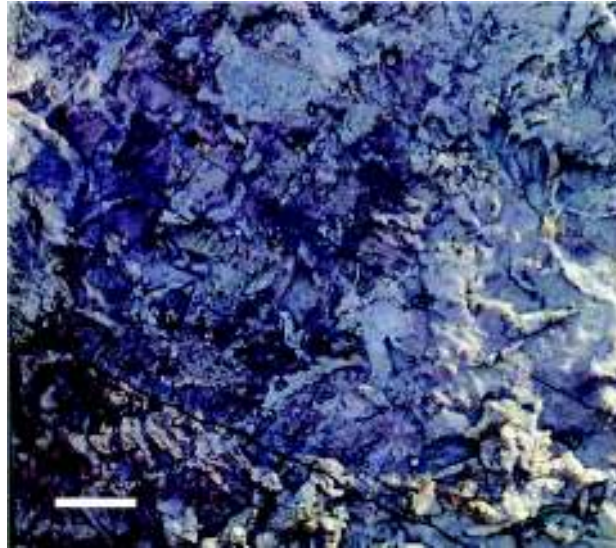


Figura 23. *Thalassinoides* isp., línea de escala 1 cm.

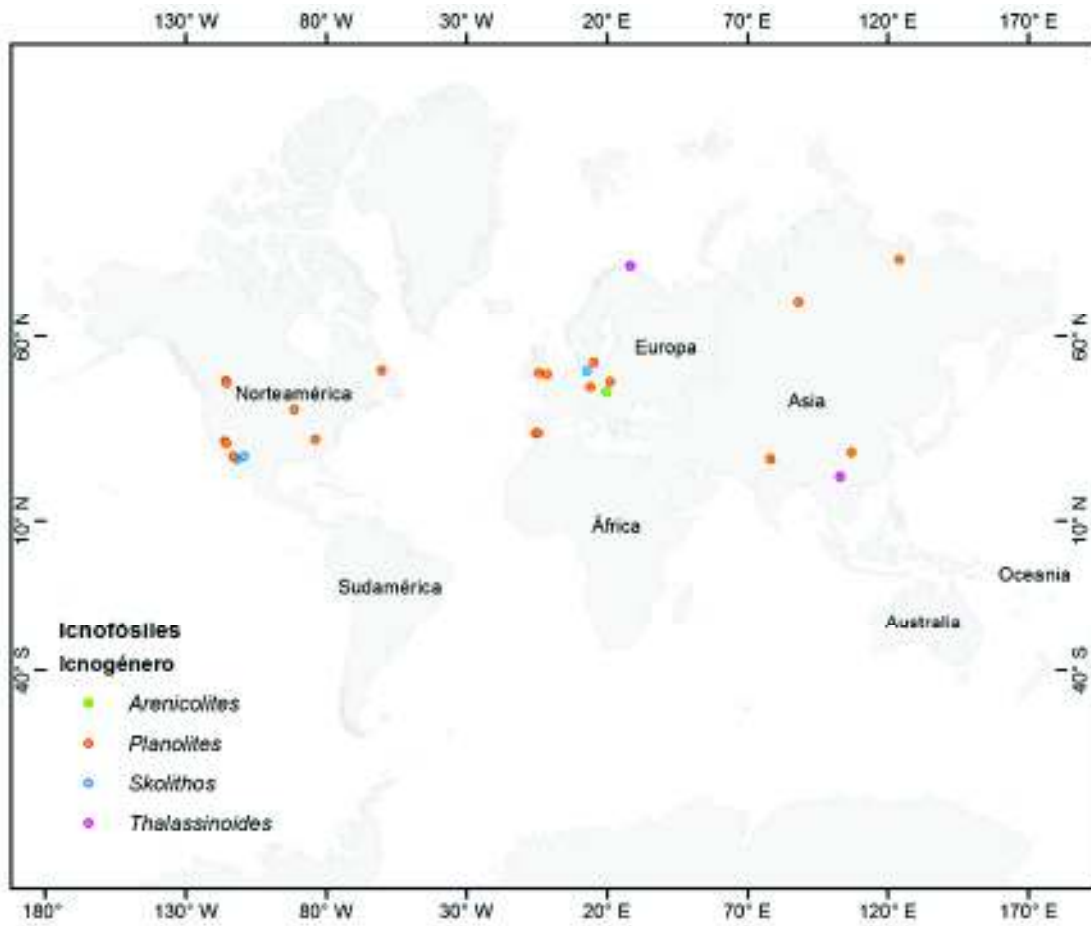


Figura 24. Distribución a nivel global de los icnogéneros *Arenicolites*, *Planolites*, *Skolithos* y *Thalassinoides*.

II.4. Paleontología Sistemática

El material estudiado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica Nacional de la Universidad de Sonora.

Phylum Cyanobacteria [Stanier y Cohen, 1977](#)

Subphylum Hormogonophyceae [Elenkin, 1938](#)

Familia Girvanellaceae [Luchinina, 1975](#)

Género *Girvanella* [Nicholson y Etheridge, 1878](#)

Especie tipo: *Girvanella problematica* [Nicholson y Etheridge, 1878](#)

Girvanella sp.

Figura 25 y 26

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

El género *Girvanella* presenta una distribución estratigráfica del Cámbrico al Cretácico, aunque es un elemento común en los mares del Cámbrico. [Riding \(2000\)](#) la incluye dentro de las cianobacterias en el grupo de *Girvanella* junto con *Batinevia*, *Cladogirvanella*, *Razumovskia* y *Subtifloria*; considerándola además habitante de ambientes de alta energía/márgenes de plataforma y rampa interior. En Sonora ha sido documentada para el Cámbrico inferior de la Formación Buelna así como para el Cámbrico medio de la Formación Arrojos del área de Caborca ([Cooper et al., 1952](#)).



Figura 25. *Girvanella* sp., línea de escala 1 cm.

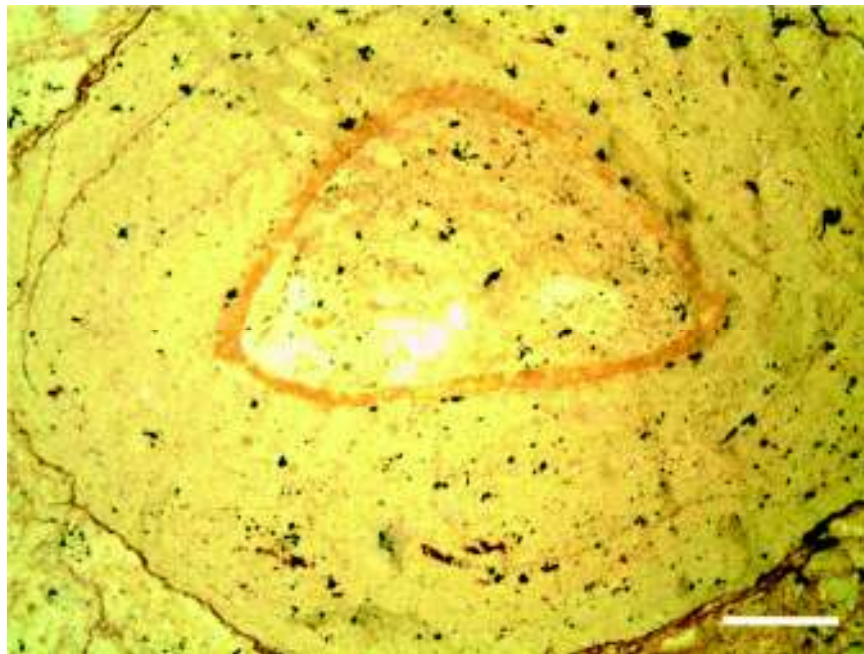


Figura 26. *Girvanella* sp. en sección delgada mostrando los filamentos. Línea de escala 1 cm.

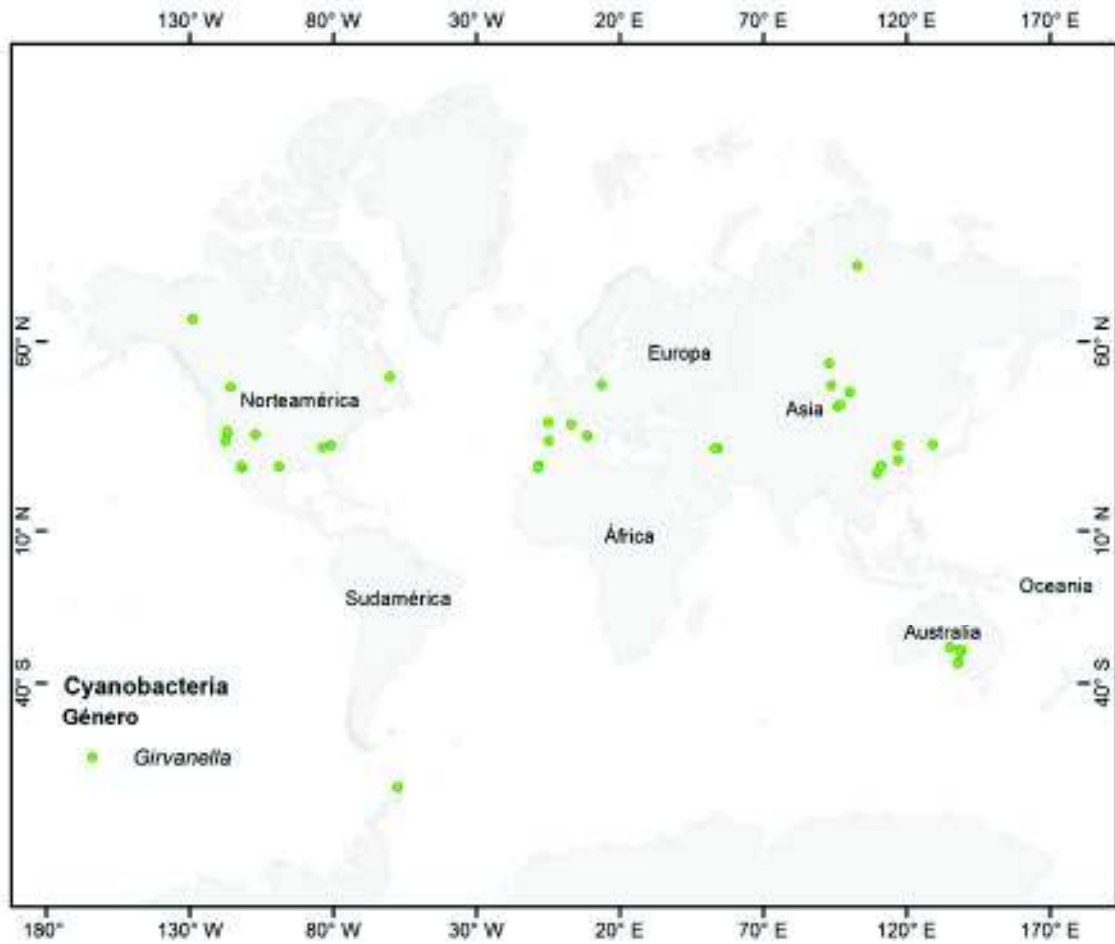


Figura 27. Distribución a nivel global del género *Girvanella*.

Phylum Porifera Grant, 1836

Clase Hexactinellida Schmidt, 1870

Orden Reticulosa Reid, 1958

Familia Protospongiidae Hinde, 1887

Género *Diagoniella* Rauff, 1894

Especie tipo: *Protospongia coronata* Dawson, 1889

Diagoniella sp.

Figura 28 a, 28 b y 29.

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

La estructura conservada del esqueleto está constituida por diversos fragmentos de mallas romboidales y estauractinas de tipo (x) y dos espículas monaxonas posiblemente de sostén, como en las especies *Diagoniella hindei* y *D. coronata*. Estas características permiten asignar estos ejemplares al género *Diagoniella* sin que el material permita la asignación específica (Cuen *et al.*, 2013).

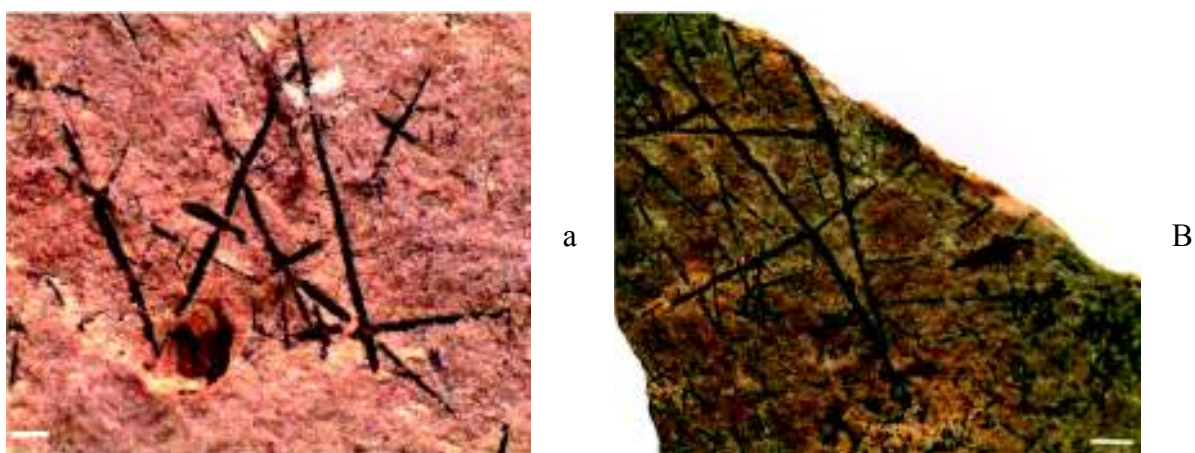


Figura 28. Figuras a y b corresponden a espículas de *Diagoniella* sp. línea de escala 1 mm.



Figura 29. *Elrathina antiqua* y *Pagetia resseri* asociadas a espículas de *Diagoniella* sp.

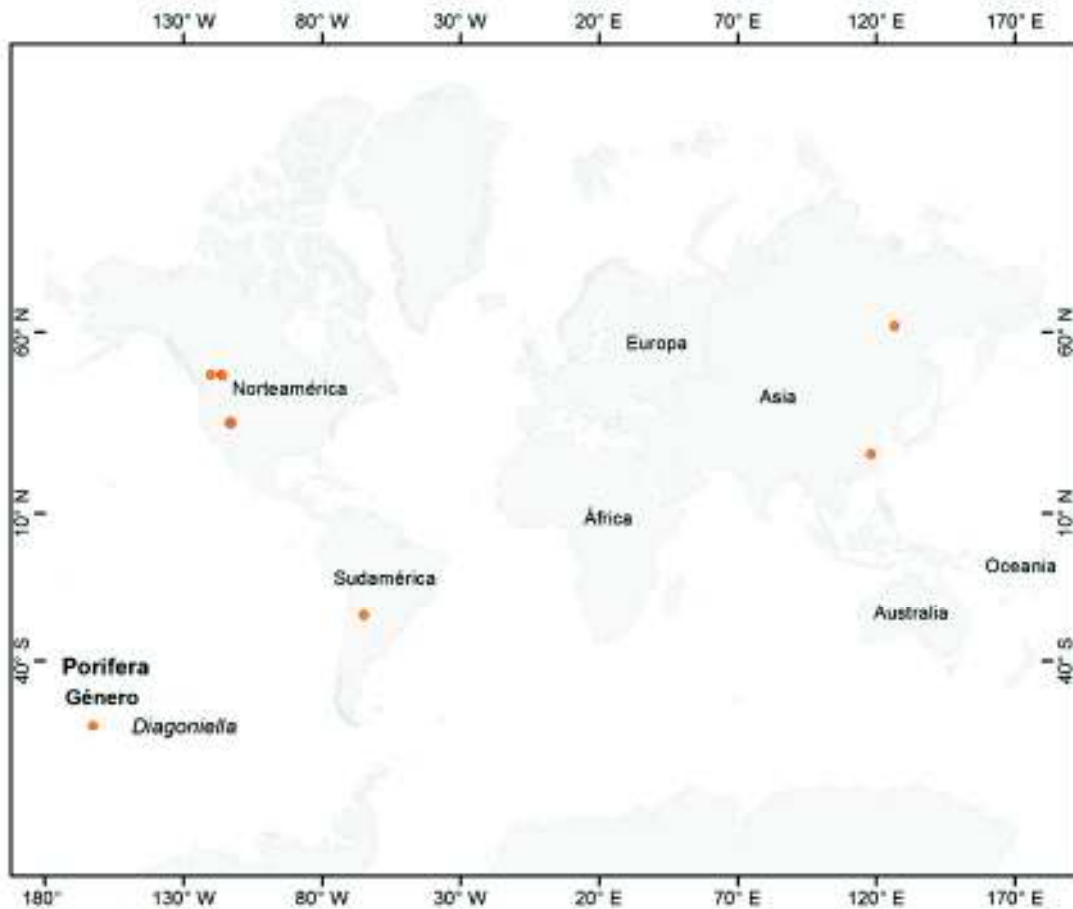


Figura 30. Distribución global del género *Diagoniella*.

Phylum Incertae sedis

Clase Coeloscleritophora Bengtson y Missarzhevsku, 1981

Orden Chancelloriida Walcott, 1920

Familia Chancelloriidae Walcott, 1920

Género *Chancelloria* Walcott, 1920

Especie tipo: *Chancelloria eros* Walcott, 1920.

Chancelloria eros Walcott, 1920

Figura 31

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

La Familia Chancelloriidae actualmente comprende 13 géneros en parte controversiales, siendo los más comunes *Chancelloria* Walcott, 1920, *Allonia* Doré y Reid, 1965 y *Archiasterella* Sdzuy, 1969. La mayoría de los ejemplares de *Chancelloria* para América del Sur se conocen solo por sus escleritos, ya que no han sido encontrados ejemplares completos (Beresi y Rigby, 1994).

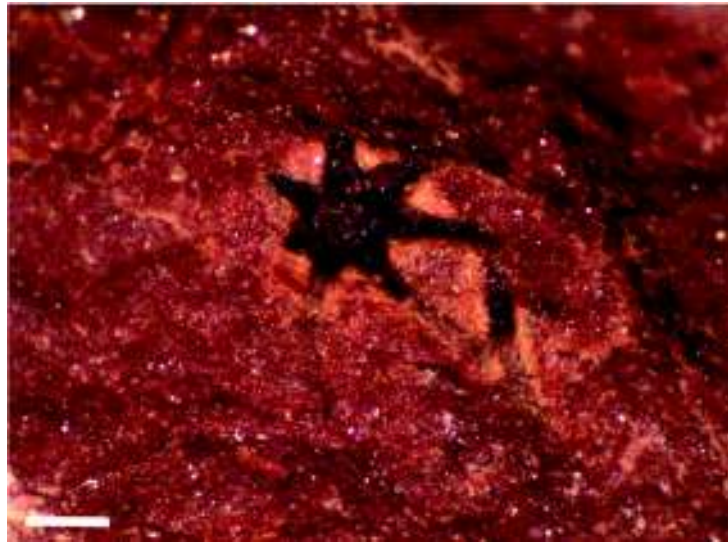


Figura 31. Esclerito desarticulado de *Chancelloria eros*, línea de escala 1 mm.

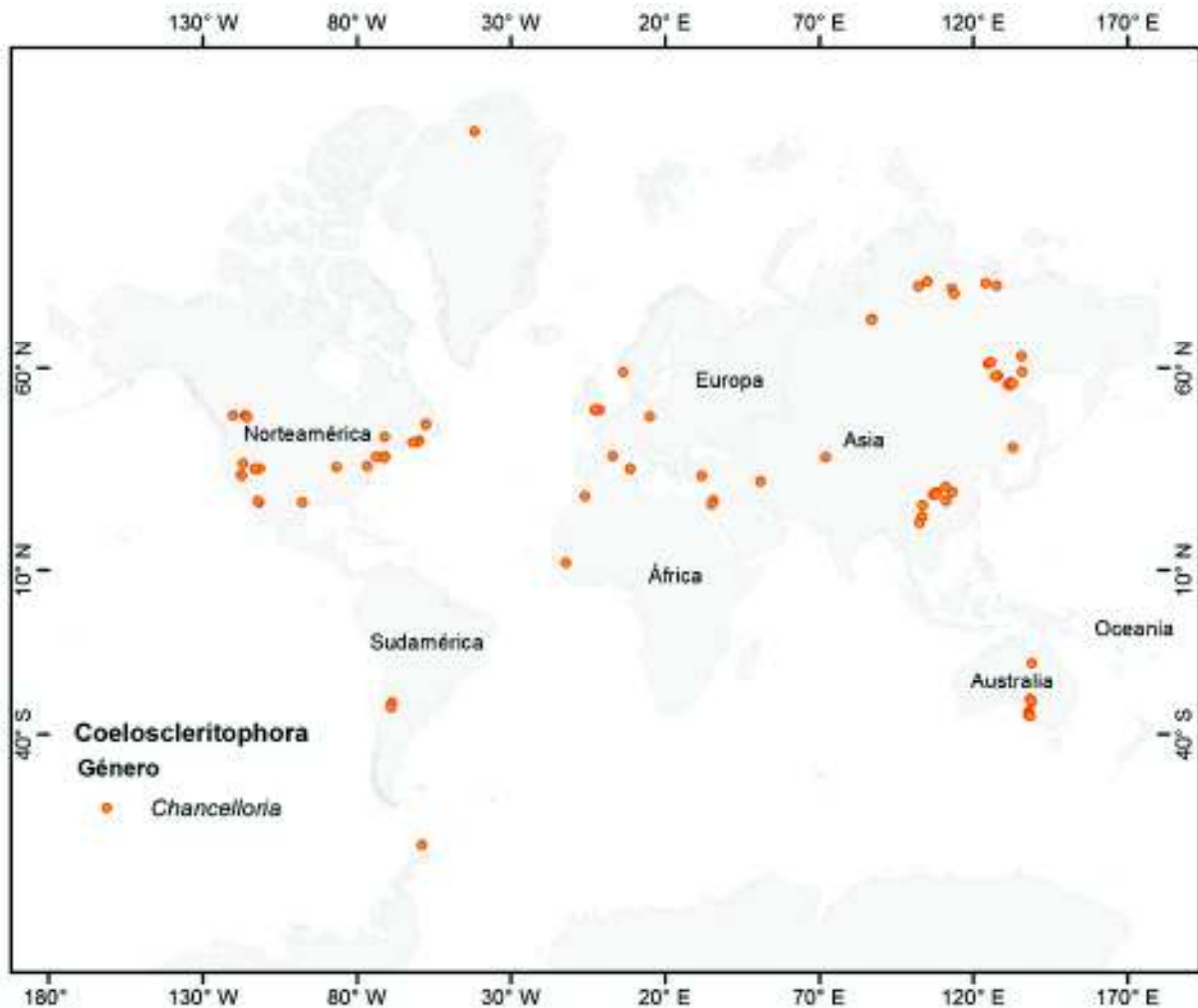


Figura 32. Distribución global del género *Chancelloria*.

Phylum Brachiopoda Duméril, 1806

Subphylum Linguliformea Williams *et al.*, 1996

Clase Lingulata Gorjansky y Popov, 1985

Orden Lingulida Waagen, 1885

Familia Obolidae King, 1846

Género *Lingulella* Salter, 1864

Especie tipo: *Lingulella davisii* M'Coy, 1851

Lingulella proveedorensis Cooper in Cooper et al., 1952

Figura 33

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

Lingulella corresponde a un género de amplia distribución geográfica (cosmopolita) con un alcance estratigráfico del Cámbrico inferior al Ordovícico superior. Ha sido documentado para el Cámbrico inferior de la Formación Capas de Benalija así como para el Cámbrico medio de las formaciones Valmiedes y Murero, España (Liñán y Mergl, 2001).

En México el registro estratigráfico para *Lingulella* es escaso, debido principalmente a que a nivel mundial se han descrito cerca de 100 especies para este género, muchas de las cuales están basadas en especímenes mal conservados o representados por un solo ejemplar; por otra parte el rango estratigráfico y distribución geográfica de este género aún es controversial (Streng et al., 2011). Se conocen siete especies de *Lingulella* en el Cámbrico superior y Ordovícico inferior del Miembro Río Salinas de la Formación Tiñú en el estado de Oaxaca, las cuales únicamente han conservado la parte apical y son asignadas con incertidumbre a este género (Streng et al., 2011), aunque Buitrón y Rivera-Carranco (1984) consideran las especies *Lingulella brainerdi*, *L. displosa* y *L. remus*. En el estado de Sonora, se tiene referencia a la especie *Lingulella proveedorensis* del Cámbrico inferior de la Formación Puerto Blanco, localizada en los cerros La Proveedora, 10 km al oeste de Caborca (Cooper et al., 1952; 1956).



Figura 33. *Lingulella proveedorensis*, línea de escala 1 mm.

Orden Acrotretida Kuhn, 1949

Familia Acrotretidae Schuchert, 1893

Género *Prototreta* Bell, 1938

Especie tipo: *Prototreta trapeza* Bell, 1938

Prototreta attenuata Meek, 1873

Figura 34

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

El género *Prototreta* es conocido del Cámbrico inferior y medio de Norteamérica, principalmente en la Zona de *Ptychagnostus punctuosus* (Zell y Rowell, 1988).



Figura 34. *Prototreta attenuata*, línea de escala 1 mm.

Familia Acrothelidae Walcott y Schuchert, 1908

Género *Acrothele* Linnarsson, 1876

Especie tipo: *Acrothele coriacea* Oehlert, 1887

Acrothele concava Cooper, in Cooper *et al.*, 1952

Figura 35

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

Acrothele es un género cosmopolita representado por abundantes especies y restringido estratigráficamente al Cámbrico medio (Rowell, 1980). Wotte y Mergl (2007) documentan la presencia de *Acrothele* sp. en asociación con *Acrothele primaeva*, *Genetreta trilix*, *Iberotreta sampelayoi*, *Micromitra* sp. cf. *M. sculptilis*, entre otros del Cámbrico medio de la Formación Láncara, Montañas Cantabria, España. En México ha sido documentado en el Cámbrico superior

de la Formación La Huerta, Arivechi, Sonora, en asociación con *Prototreta attenuata* y *Micromitra* sp (Almázan-Vázquez, 1989). Cooper *in* Cooper *et al.*, 1952, describe la especie *Acrothele concava* del Cámbrico medio de la Formación Arrojos al oeste de Caborca.



Figura 35. Valva ventral de *Acrothele concava*, línea de escala 1 mm.

Clase Paterinata Williams *et al.*, 1996

Orden Paterinida Rowell, 1965

Familia Paterinidae Schuchert, 1893

Género *Dictyonina* Cooper, 1942

Especie tipo: *Trematis pannulus* White, 1874

Dictyonina minutipuncta Cooper *in* Cooper *et al.*, 1952

Figura 36

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

Liñán y Mergl (2001) describen la especie *Dictyonina radioplicata* del Cámbrico inferior y medio de las formaciones Valdemiedes, Mansilla y Murero de España. También ha sido documentada para el Cámbrico inferior de la Dolomita Todd River, en la cuenca de Amadeus, Australia (Laurie, 1987). En Norteamérica ha sido documentado en la parte basal de la Formación Carrara, en Funeral Mountains, Nevada, en asociación con *Peachella* sp. y trilobites olenélidos (Hunt y Mabey, 1966). En Sonora, México, ha sido reportado en el Cámbrico medio de la Formación El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956).

Cooper *in* Cooper *et al.*, 1952, describe la especie *Dictyonina minutipuncta* del Cámbrico medio de la Formación Arrojós, confiriendo estas rocas a la Zona de *Glossopleura-Kootenia*. El mismo autor, también reporta la presencia de *Dictyonina* sp. de la parte basal de la Formación El Tren, la cual debido al mal estado de conservación no permitió la determinación específica.

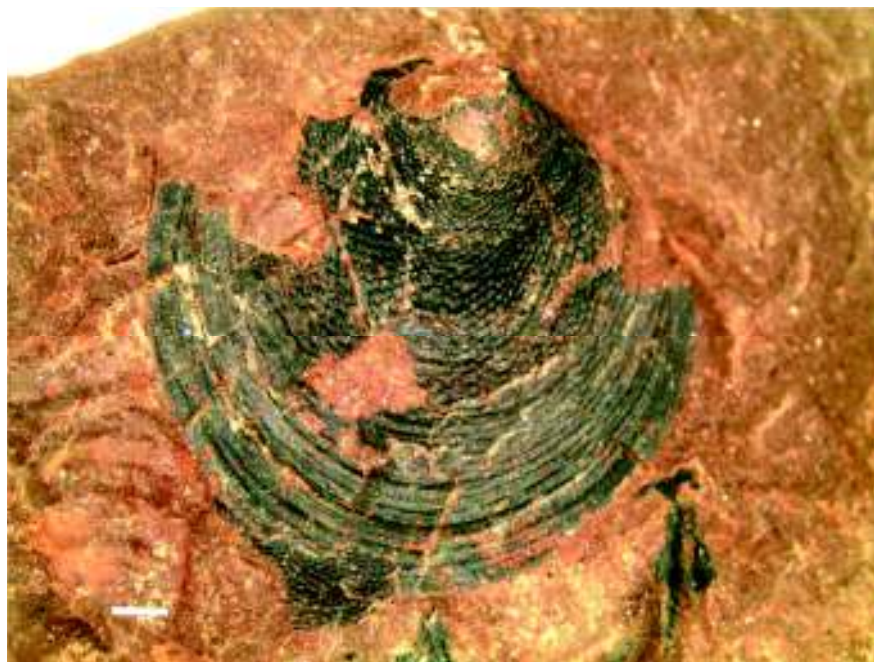


Figura 36. *Dictyonina minutipuncta*, línea de escala 1 mm.

Dictyonina ornatella Linnarsson, 1876

Figura 37

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

Dictyonina ornatella fue propuesta por Brunton y Harper, 2000, para el Cámbrico medio de Ritland, Noruega.



Figura 37. *Dictyonina ornatella*, línea de escala 1 mm.

Subphylum Rhynchonelliformea Williams *et al.*, 2007

Orden Obolellida Rowell, 1965

Familia Obolellidae Walcott y Schuchert, 1908

Género *Obolella* Billings, 1861

Especie tipo: *Obolella chromatica* Dall, 1870

Obolella sp.

Figura 38

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

En el estado de Sonora, México, el género *Obolella* sp. ha sido reportado en el Cámbrico inferior de la Formación Puerto Blanco, área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952; 1956).

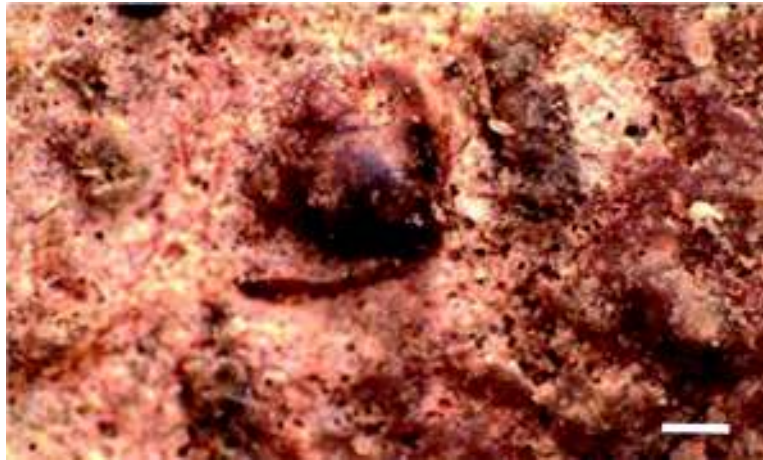


Figura 38. *Obolella* sp., línea de escala 1 mm.

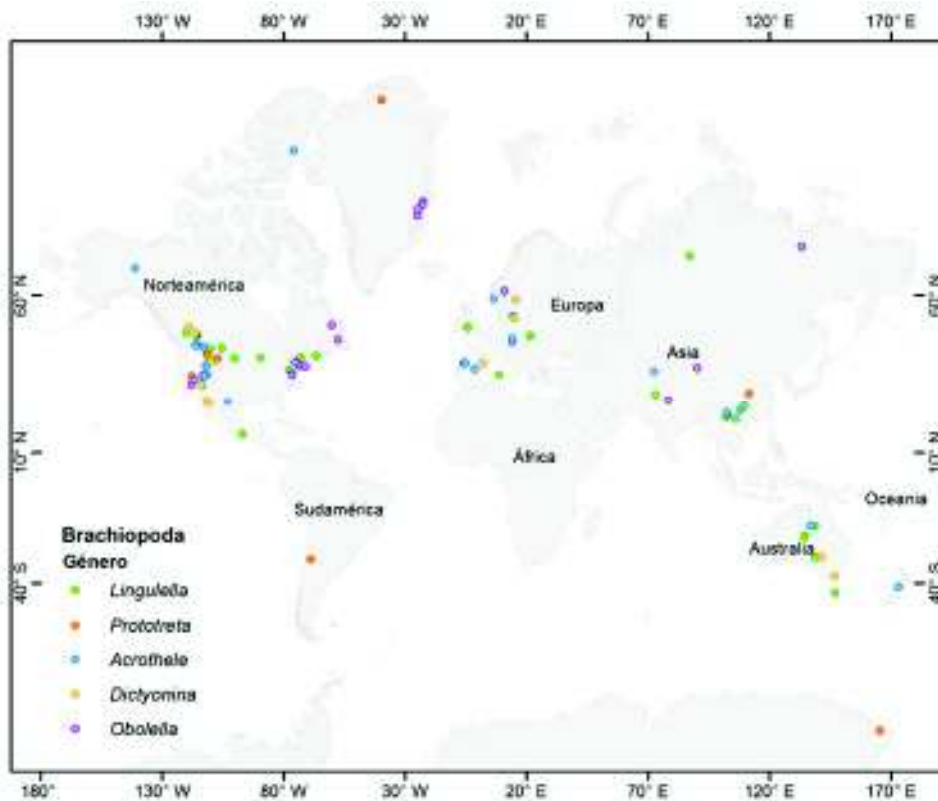


Figura 39. Distribución global de los géneros *Lingulella*, *Prototreta*, *Acrothele*, *Dictyonina* y *Obolella*.

Phylum Mollusca? Linnaeus, 1758

Clase Hyolitha Marek, 1963

Orden Hyolithida Syssoiev, 1957

Familia Hyolithidae Nicholson, 1872

Género *Hyolithes* Eichwald, 1840

Especie tipo: *Hyolithes acutus* Eichwald, 1840

Hyolithes sonora Lochman in Cooper et al., 1952

Figura 40

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

Hyolithes sonora fue descrito por Lochman *in* Cooper *et al.* (1952) para la Formación Arrojos del área de Caborca, Sonora, asociado a trilobites representativos de la Zona de *Amecephalus arrojensis* hasta la Zona de *Glossopleura walcotti* del Cámbrico medio, con edades que varían de la Serie 2-Serie 3 (Cuen, 2013; Webster & Bohach, 2014); sin embargo, en el área de San José de Gracia ha sido documentado únicamente para la Formación Buelna.

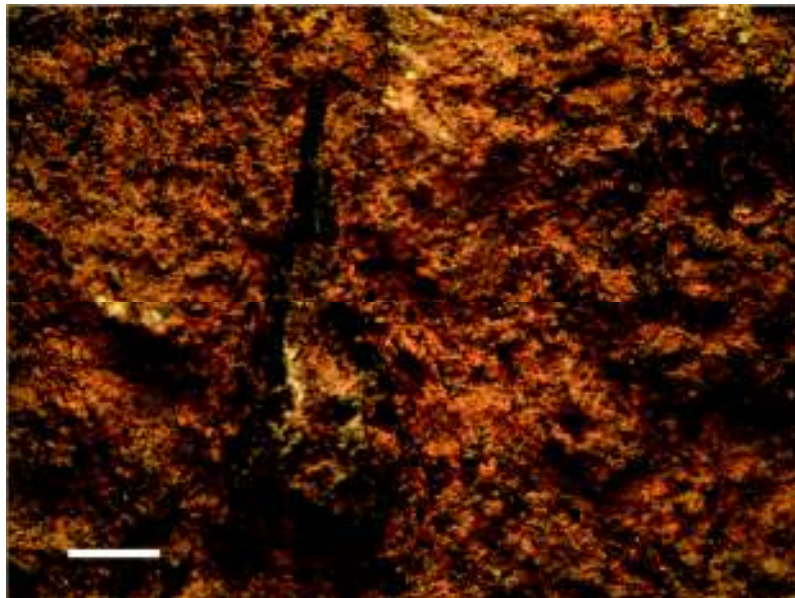


Figura 40. *Hyolithes sonora*, línea de escala 1 cm.

Género *Haplophrentis* Babcock y Robison, 1988

Especie tipo: *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988

Haplophrentis reesei Babcock y Robison, 1988

Figura 41

Ocurrencia: Escasa. Formación Buelna. Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens*. Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*.

Haplophrentis reesei fue descrito por Babcock y Robison (1988) para el Miembro Spence Shale de la Formación Langston, Utah, EUA, con trilobites representativos de la parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana* a la Zona de *Glossopleura walcotti* (Campbell, 1974; Babcock & Robison, 1988).

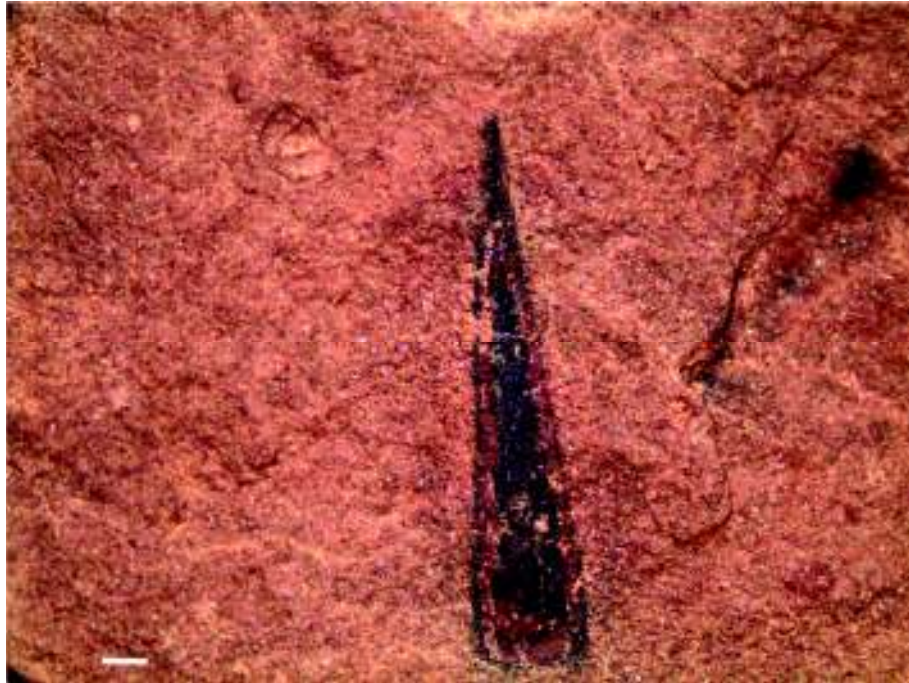


Figura 41. Detalle de *Haplophrentis reesei* en asociación con un cefalón de *Pentagnostus* (*Meragnostus*) *bonnerensis*.

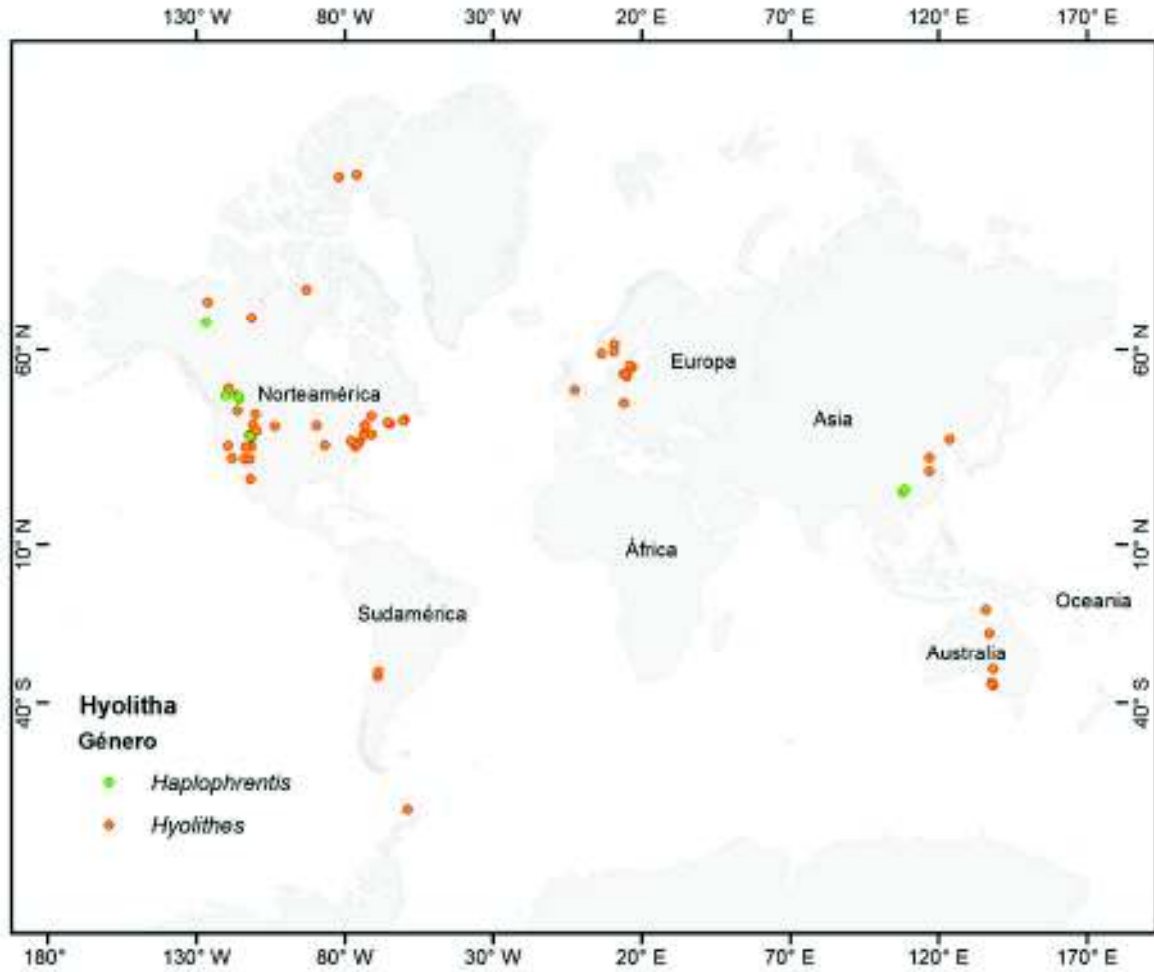


Figura 42. Distribución global de los géneros *Haplophrentis* y *Hyolithes*.

Phylum Agmata Yochelson, 1977

Clase y Orden Incertae sedis

Familia Salterellidae Walcott, 1886

Género *Salterella* Billings, 1861

Especie tipo: *Salterella rugosa* Billings, 1861

Salterella sp.

Figura 43 y 44

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

La presencia 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).

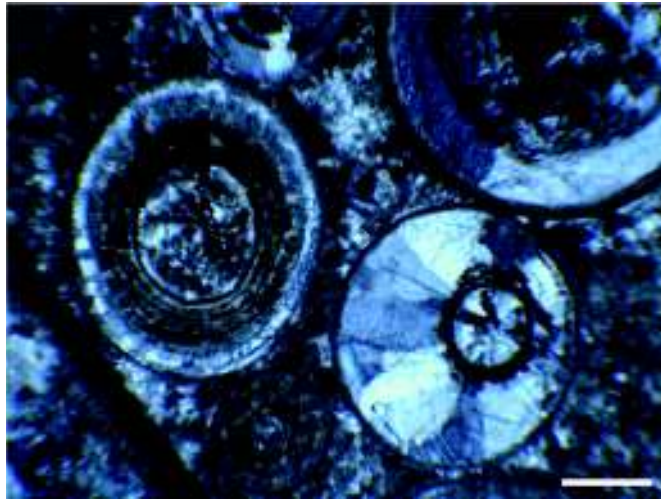


Figura 43. *Salterella* sp. recristalizada, línea de escala 1 mm.

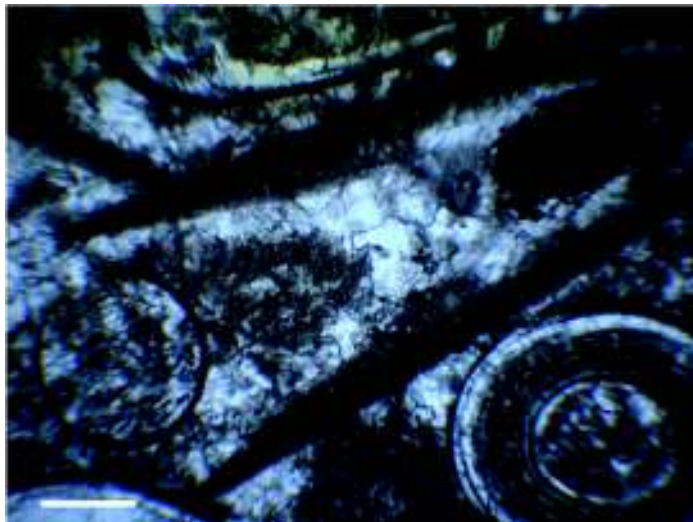


Figura 44. Detalle de *Salterella* sp.

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848

Subphylum Trilobitomorpha Moore, 1959

Clase Trilobita Walch, 1771

Orden Agnostida Salter, 1864

Suborden Agnostina Salter, 1864

Familia Peronopsidae Westergård, 1936

Género *Pentagnostus* Lermontova, 1940

Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis (Resser, 1939) Naimark, 2012

Figura 45

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

Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis ha sido reportada para la Formación Carrara, Nevada, en Test Site y Belted Range, donde es incluida dentro de la Zona de *Albertella* (Palmer y Halley, 1979).



a



B

Figura 45. *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis*. a) cefalón mostrando la glabella redondeada. b) ejemplar completo. Línea de escala 1 mm

Suborden Eodiscina Kobayashi, 1939

Familia Eodiscidae Raymond, 1913

Género *Pagetia* Walcott, 1920

Especie tipo: *Pagetia bootes* Walcott, 1916

Pagetia resseri Kobayashi, 1943

Figura 46 y 47

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

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 y 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 Zona de *Albertella* (Sundberg y McCollum, 1997), en asociación con ejemplares de *Amecephalus* sp., *Alokistocarella* sp., *Peronopsis brighamensis*, *Bathyuriscus* sp., *Elrathina* sp., *Kootenia* sp. y *Oryctocephalites walcotti*.

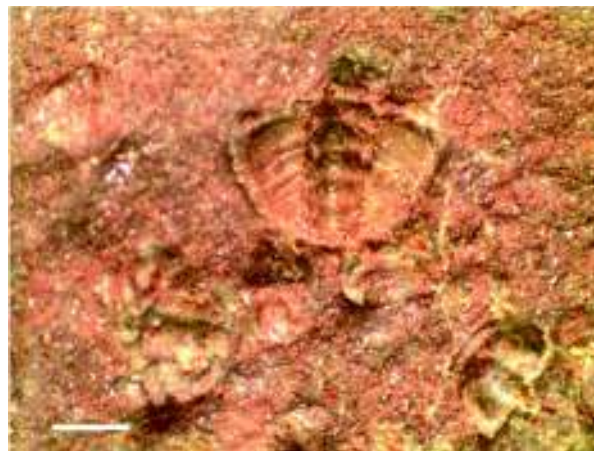


Figura 46. Cefalón y pigidio desarticulados de *Pagetia resseri*, línea de escala 1 mm.



Figura 47. Pigidio de *Pagetia resseri* mostrando los anillos semiarticulantes.

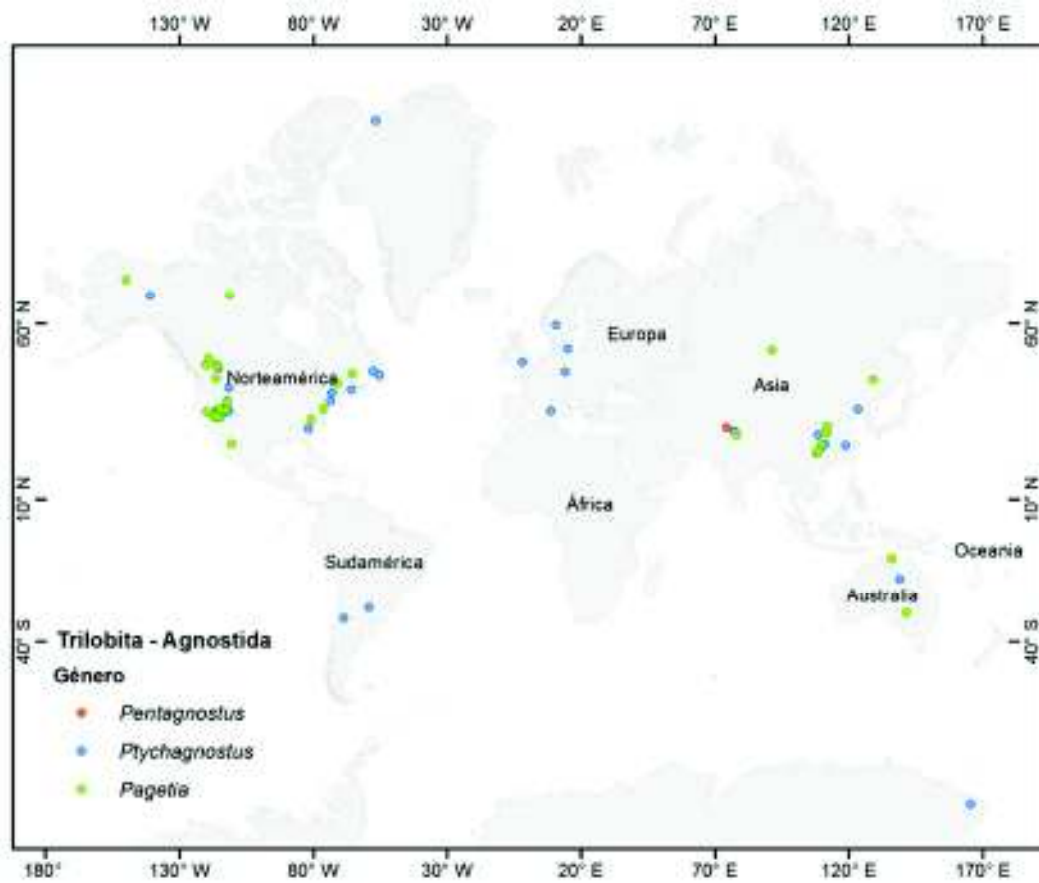


Figura 48. Distribución global de los trilobites *Pentagnostus*, *Ptychagnostus* y *Pagetia*.

Orden Redlichiida Richter, 1932

Suborden Olenellina Walcott, 1890

Superfamilia Olenelloidea Walcott, 1890

Familia Biceratopsidae Pack y Gayle, 1971

Subfamilia Bristoliinae Harrington, 1956

Género *Bristolia* Harrington, 1956

Especie tipo: *Mesonacis bristolensis* Resser, 1928

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

Figura 49

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

El género *Bristolia* presenta una amplia distribución geográfica en Norteamérica durante el Cámbrico temprano, 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*).

Bristolia mohavensis ha sido reportada en el Miembro Caliza Thimble (Cámbrico inferior) de la Formación Carrara (Palmer y 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.

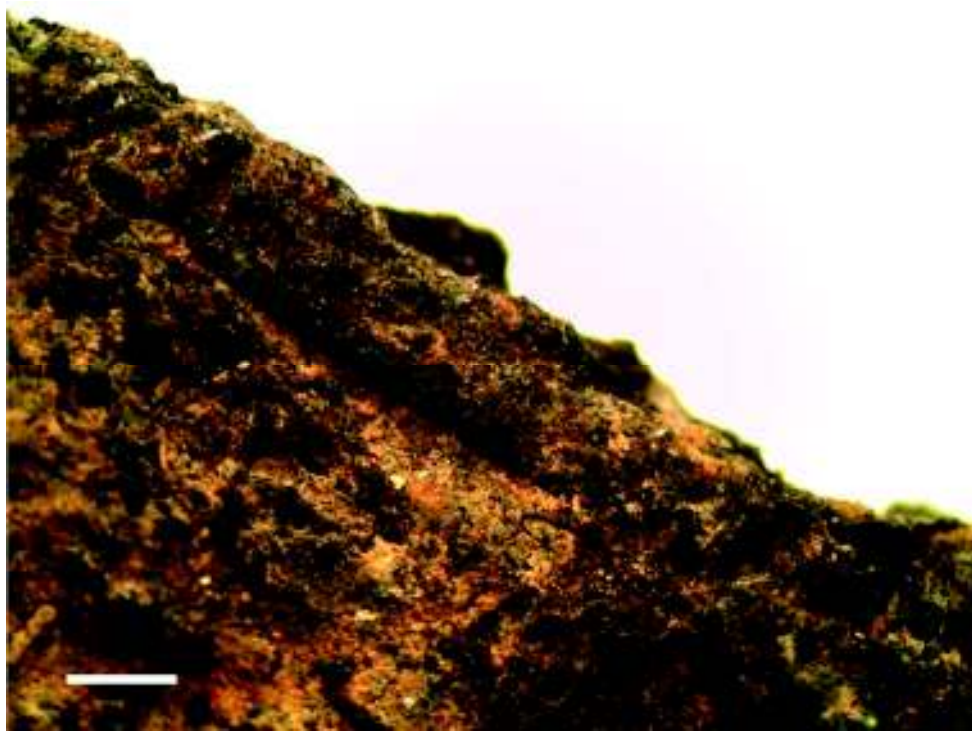


Figura 49. Espina genal de *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis*. Línea de escala 1 mm.

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*.

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* y *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. gilbert* y *O. brachyomma*), entre otras (Palmer y Halley, 1979). En Sonora la presencia de especies de *Olenellus* es conocida en el área de Caborca, en la Formación Puerto Blanco (*O. puertoblancoensis*) y en el área de Mazatán donde se reportan fragmentos de *O. gilberti* (Cooper *et al.*, 1952; Stewart *et al.*, 1984).

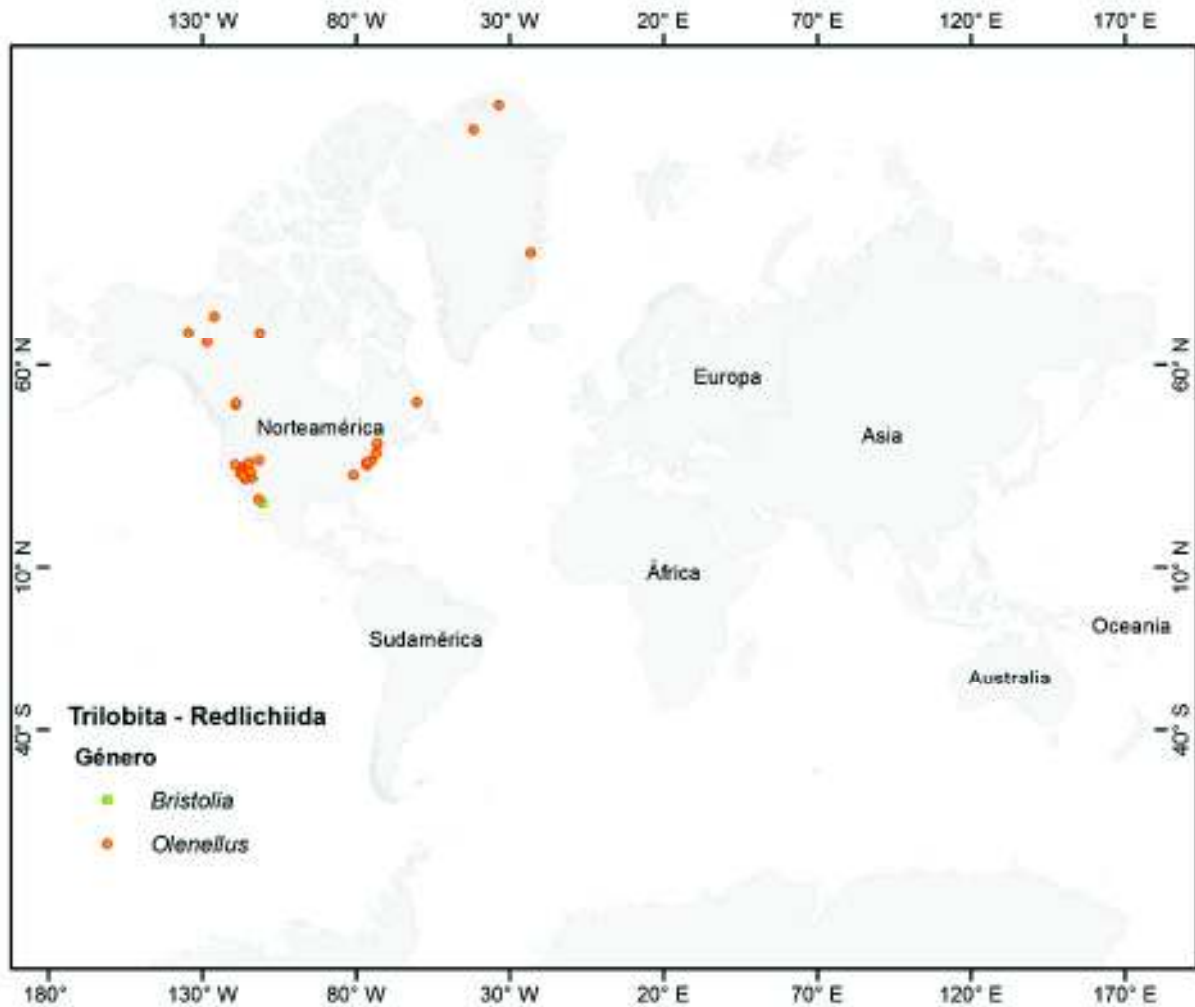


Figura 50. Distribución global de los géneros *Bristolia* y *Olenellus*.

Orden Corynexochida Kobayashi, 1935

Suborden Corynexochina Kobayashi, 1935

Superfamilia Corynexochoidea Kobayashi, 1935

Familia Dolichometopidae Walcott, 1916

Género *Bathyriscus* Meek, 1873

Especie tipo: ?*Bathyriscus haydeni* Meek, 1873

Bathyriscus sp.

Figura 51

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

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 hallado en la plataforma interna (Bordonaro y 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 y Enbysk, 1950).

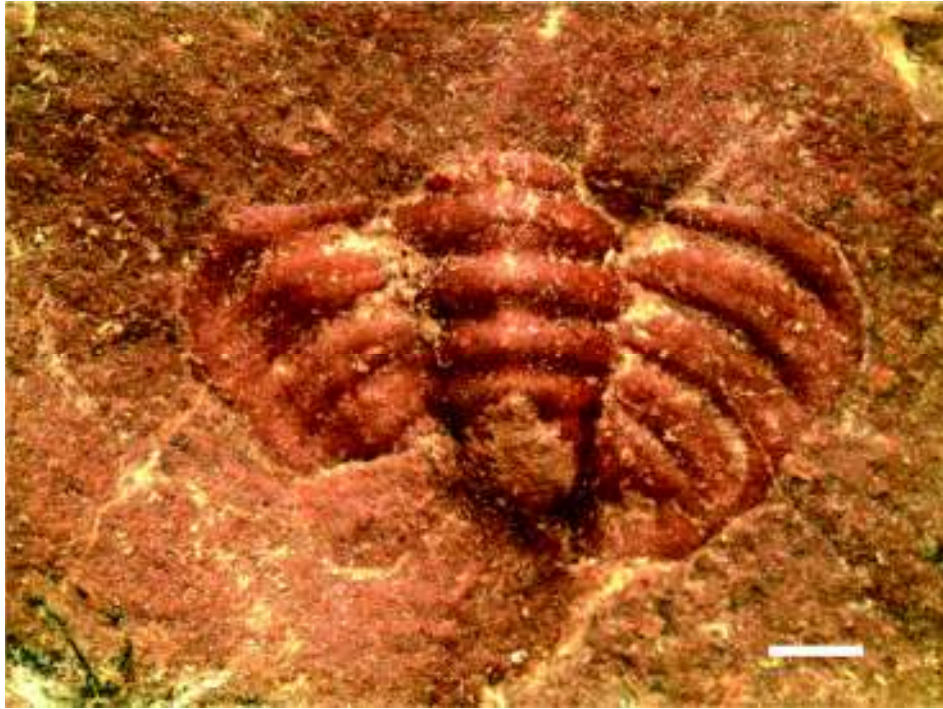


Figura 51. Pigidio de *Bathyriscus* sp., línea de escala 1 mm

Familia Ogygopsidae [Rasseti, 1951](#)

Género *Ogygopsis* [Walcott, 1889](#)

Especie tipo: *Ogygia klotzi* [Rominger, 1887](#)

Ogygopsis typicalis ([Resser, 1939](#))

Figura 52

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

Ogygopsis typicalis fue descrita 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 y Halley, 1979](#)). También ha sido documentada en la Formación

Manola, Inyo Mountains, en la Zona de *Albertella* en asociación con *Oryctocephalus indicus*, *Syspacephalus* sp., *Amecephalus* sp., entre otras (Sundberg y McCollum, 1997).

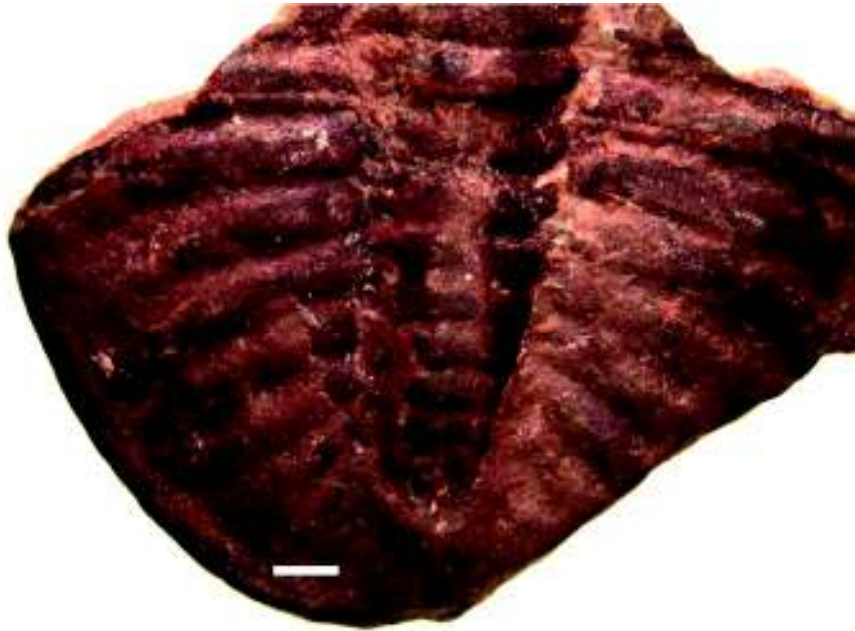


Figura 52. Pigidio fragmentado de *Ogygopsis typicalis*, línea de escala 1 mm.

Familia Oryctocephalidae Beecher, 1897

Subfamilia Oryctocephalinae Beecher, 1897

Género *Oryctocephalus* Walcott, 1886

Especie tipo: *Oryctocephalus primus* Walcott, 1886

Oryctocephalus sp.

Figura 53

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

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 y McCollum, 2003).

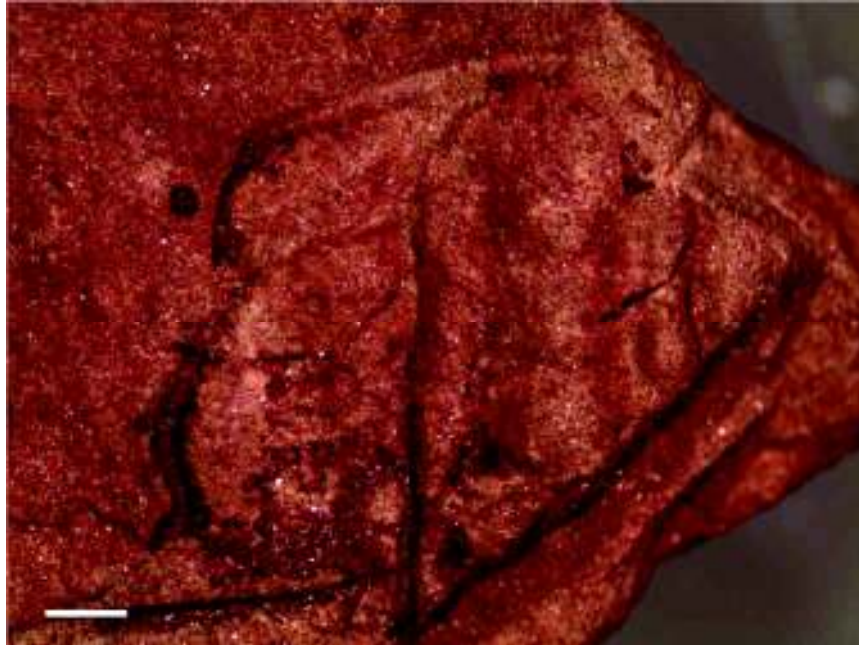


Figura 53. Cefalón de *Oryctocephalus* sp. mostrando los bordes glabelares. Línea de escala 1 mm.

Género *Oryctocephalites* Resser, 1939

Especie tipo: *Oryctocephalites typicalis* Resser, 1939

Oryctocephalites walcotti Resser, 1938

Figura 54

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



Figura 54. Cefalón y pigidio desarticulados de *Oryctocephalites walcotti*. Línea de escala 1 mm.

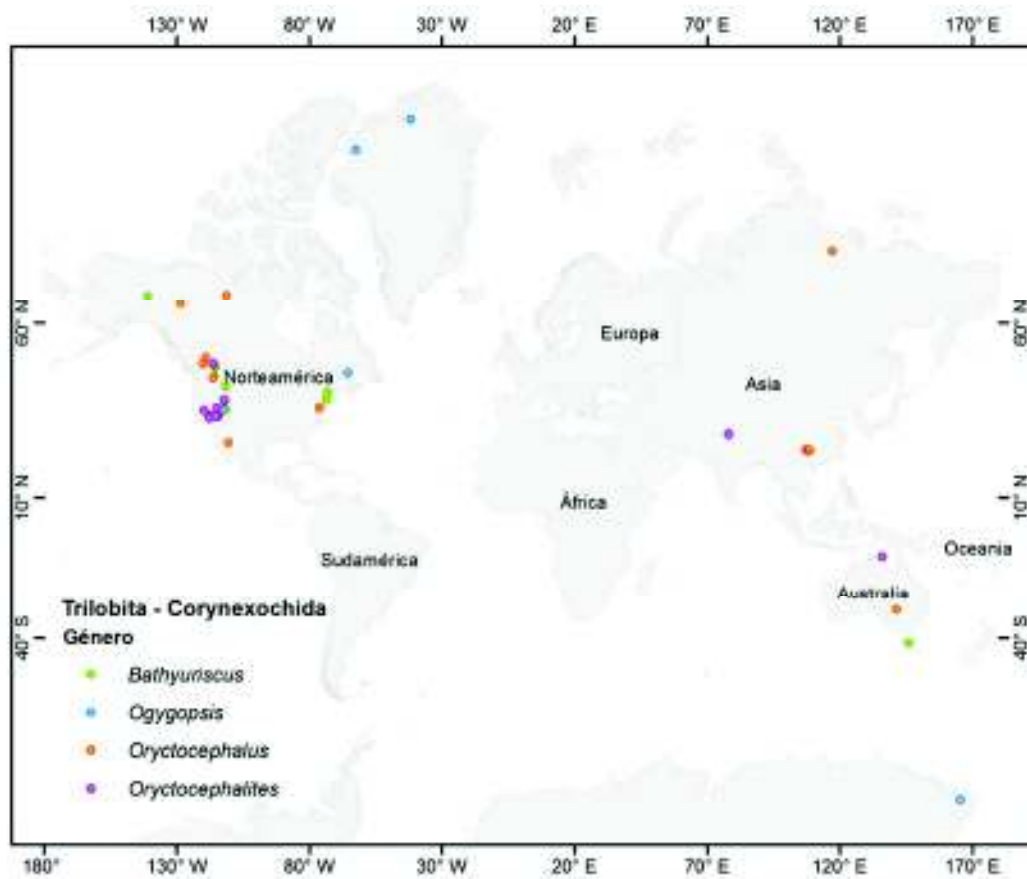


Figura 55. Distribución global de los géneros *Bathyriscus*, *Ogygopsis*, *Oryctocephalus* y *Oryctocephalites*.

Orden Ptychopariida Swinnerton, 1915

Suborden Ptychopariina Richter, 1932

Superfamilia Ptychoparioidea Matthew, 1888

Familia Incertae sedis

Género *Elrathina* Resser, 1937

Especie tipo: *Conocephalites cordillerae* Rominger, 1887

Elrathina antiqua Palmer y Halley, 1979

Figura 56 y 57

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

Elrathina corresponde a un género de importancia bioestratigráfica durante el Cámbrico medio inferior, 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 y Halley (1979), en el Miembro Lutita Pahrump Hills de la Formación Carrara, en asociación con *Chancia maladensis*, *Oygopsis typicalis*, *Pagetia maladensis*, *Pagetia resseri*, *Peronopsis lautus*, entre otras.



Figura 56. *Elrathina* sp., línea de escala 1 mm.



Figura 57. *Elrathina* sp. mostrando las mejillas libres. Línea de escala 1 mm.

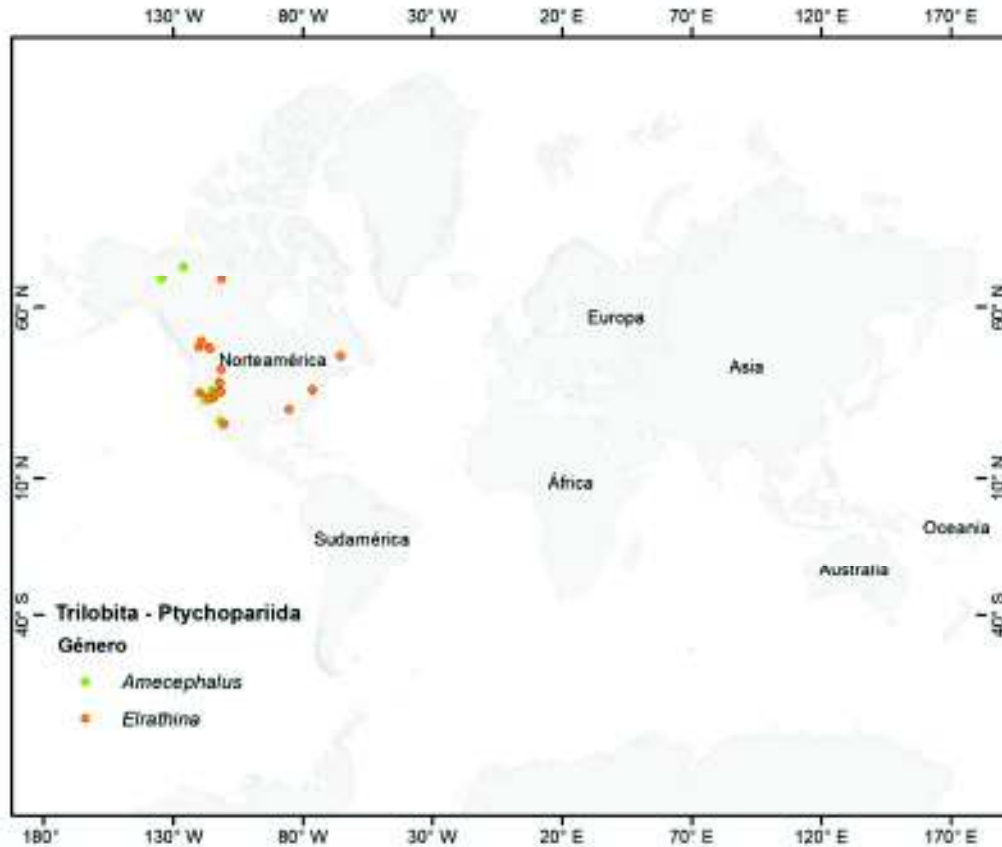


Figura 58. Distribución global de los géneros *Amecephalus* y *Elrathina*.

Phylum Echinodermata Klein, 1734

Clase Eocrinoidea Miller, 1821

Orden Gogiida Broadhead, 1982

Familia Eocrinidae Jaekel, 1918

Género *Gogia* Walcott, 1917

Especie tipo: *Gogia prolifica* Walcott, 1917

Gogia granulosa Robison, 1965

Figura 59

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



Figura 59. Detalle de la teca de *Gogia granulosa* mostrando las braquiolas. Línea de escala 1 mm.

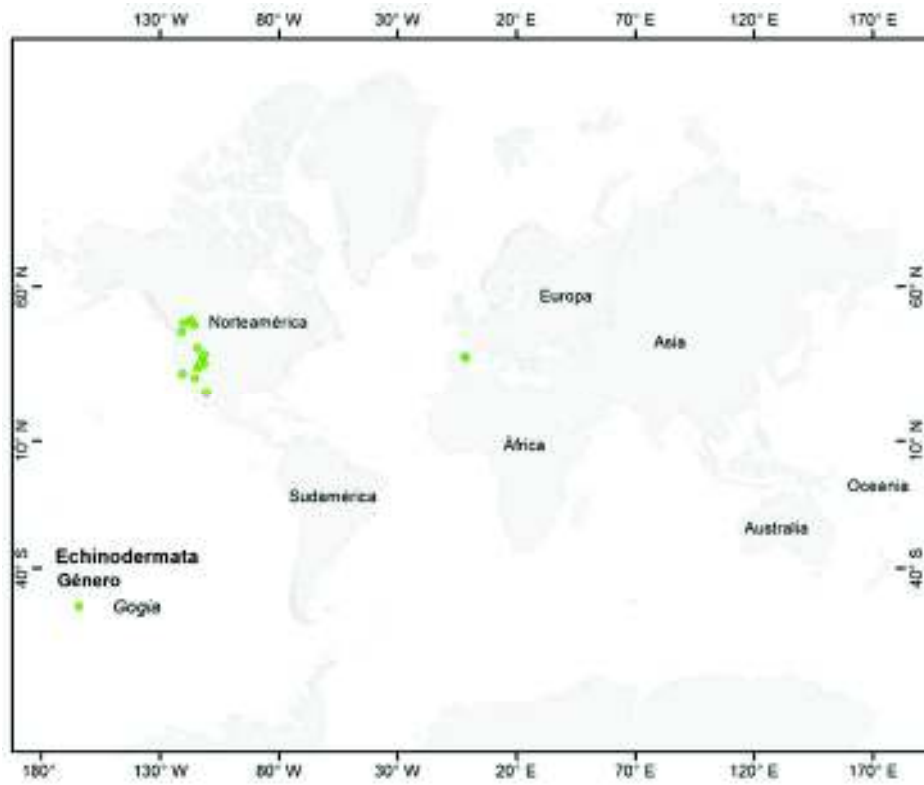


Figura 60. Distribución global del género *Gogia*.

II.5. Paleogeografía

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 paleoecuador, 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 y 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 depositado en la parte occidental de Laurentia.

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 y 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 y 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.

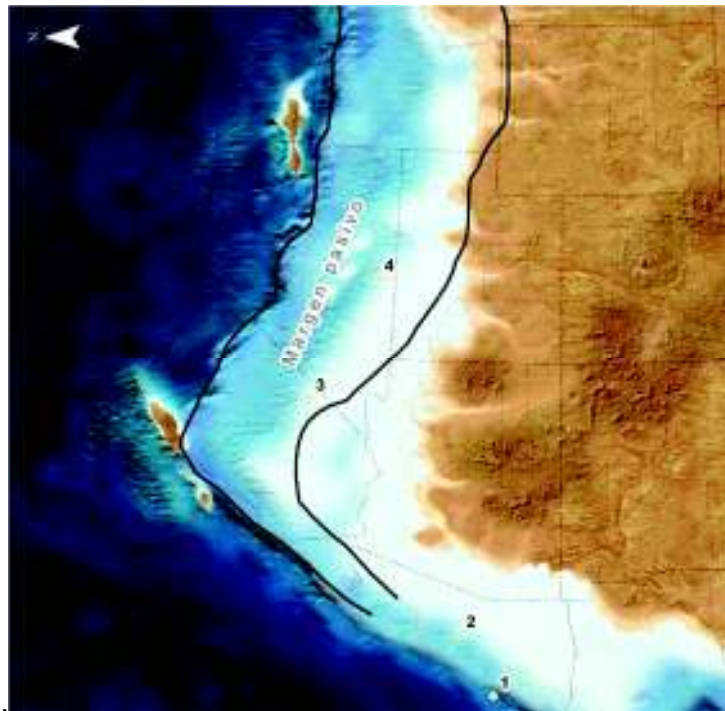


Figura 61. Detalle del cratón norteamericano durante el Cámbrico, mostrando las localidades 1: San José de Gracia, 2: Caborca, 3: Death Valley, 4: Spence Shale. Imagen modificada de Paleogeographic and Tectonic History of North America (<http://cpgeosystems.com/namkeypaleogeography.html>).

De la investigación relacionada con la estratigrafía del área de estudio así como de los icnofósiles se han obtenido 3 artículos, de los cuales 2 han sido publicados y el restante ha sido enviado para su publicación.

Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment

Francisco Javier Cuen-Romero, José Eduardo Valdez-Holguín, Blanca Estela Buitrón, Rogelio Monreal, Frederick Sundberg, Alejandra Montijo-González, Ismael Minjarez-Sosa

Francisco Javier Cuen-Romero
Departamento de Geología, Universidad de Sonora,
Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo,
Sonora, México.

José Eduardo Valdez-Holguín
jvalde@guajacua.usn.mx
Departamento de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas, Universidad de Sonora, Luis Donaldito
Colóquio s/n, entre Sahuaripa y Reforma, Col
Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Blanca Estela Buitrón
Departamento de Paleontología, Instituto de
Geología, Universidad Nacional Autónoma de
México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, CDMX,
México.

Rogelio Monreal
Departamento de Geología, Universidad de Sonora,
Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo,
Sonora, México.

Frederick Sundberg
Show Low High School, 500 W. Old Linden Road,
Show Low, AZ, USA.

Alejandra Montijo-González
Departamento de Geología, Universidad de Sonora,
Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo,
Sonora, México.

Ismael Minjarez-Sosa
Departamento de Geología, Universidad de Sonora,
Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo,
Sonora, México.

BOL. SOC. GEOL. MEX. 2016
VOL. 68 NO. 3
P. 429–441

Manuscript received January 1, 2016
Corrected manuscript February 2, 2016
Manuscript accepted February 6, 2016

ABSTRACT

An approximately 600 m interval of Cambrian strata is exposed near the town of San José de Gracia, Sonora, Mexico. This succession is divided into four formations, one of which is proposed here as a new formal stratigraphic unit: El Gavilán Formation, following the rules of the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. The new nomenclature reflects substantial lithologic differences, particularly in the middle Cambrian strata in comparison with other Cambrian rocks exposed in other parts of the state. The Provedora Formation consists of bioturbated, fine-grained quartz arcuate with ichnofossils; the Buclua Formation consists of interbedded limestone and sandstone, with abundant trilobites of either the *Bristolia mohavensis* or *Bristolia insulens* Zone (Series 2?, Stage 4?); the Cerro Prieto Formation is a highly recrystallized oolitic limestone with fragments of *Amecephalus arripensis* at the base, suggesting the *A. arripensis* Biozone (Series 2?, Stage 4?); and the El Gavilán Formation consists of interbedded limestone and intensely fractured red shale, with abundant fauna of the upper part of the *Mexicella mexicana* Zone, *Albertella highlandensis* Subzone, *Psychagnostus praecurrens* Zone (open shelf) (Series 3?, Stage 5?). The Cambrian rocks of Sonora were deposited in the occidental part of the North American craton during the early and middle Cambrian, when Laurentia must have been constituted by terrestrial masses near the paleo-equator, aligned in an east-west direction, providing the right conditions for an abundant invertebrate marine fauna.

Keywords: Cambrian, Stratigraphy, Sonora, Mexico.

RESUMEN

Una sucesión estratigráfica del Cámbrico de aproximadamente 600 m de espesor aflora en San José de Gracia, Sonora, México. Esta sucesión está dividida en cuatro formaciones, una de las cuales se propone aquí como una nueva unidad estratigráfica formal: la Formación El Gavilán, siguiendo las reglas de North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. La nueva nomenclatura refleja diferencias litológicas sustanciales, particularmente en los estratos del Cámbrico medio en comparación con otras rocas cámbricas expuestas en otras ubicaciones del estado. Las formaciones Provedora, Buclua, Cerro Prieto y El Gavilán constituyen una sucesión detritica carbonatada, la cual se expande sobre una porción considerable del Cámbrico inferior y medio en la Zona El Chihuahuilla. Un amplio rango de ambientes de depósito se encuentra representado por la sucesión cámbrica en esta región, mostrando algunos cambios en comparación con las formaciones cámbricas del área de Cochise. La Formación Provedora está compuesta por cuarzoarenitas de grano fino con bioturbación e icnofósiles; la Formación Buclua consiste de una intercalación de caliza y arenisca, con abundante fauna del Cámbrico Serie 2?, Paso 4?, siguiendo a la Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insulens*; la Formación Cerro Prieto es una caliza oolítica fuertemente recristalizada y con fragmentos de *Amecephalus arripensis* en su base, sugiriendo la Zona de *Amecephalus arripensis* (Serie 2?, Paso 4?); y la Formación El Gavilán consiste en una intercalación de caliza y lutita de color rojo intensamente fracturada, con abundante fauna del Cámbrico Serie 3?, Paso 5?, siguiendo a la parte superior de la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*, Zona de *Psychagnostus praecurrens* (plataforma abierta). Las rocas cámbricas de Sonora fueron depositadas en la parte occidental del craton norteamericano durante el Cámbrico temprano y medio. En estas épocas, Laurentia debió constituir masas terrestres cercanas al ecuador, alineadas en dirección este-oeste, proporcionando las condiciones que favorecieron una abundante fauna de invertebrados marinos.

Palabras clave: Cámbrico, Estratigrafía, Sonora, México.

ABSTRACT

El Gavilán Formation (Cambrian), a new lithostratigraphic unit

Figura 62. Carátula del artículo: Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, México: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment, publicado en el Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.

Ichnofósiles del Cámbrico Inferior de San José de Gracia, Sonora

Blanca Buitrón-Sánchez^{a,*}, Nictzia Corona-González^b, Francisco Cuen-Romero^c,
Juan José Palafox-Reyes^c, Greta Ramírez-Guerrero^d

^aInstituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

^bFacultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

^cUniversidad de Sonora, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

^dFacultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

*blancab@unam.mx

Resumen

Se describen los icnofósiles *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp., *Palaeophycus* isp., *Asteriacites* isp. y *Asterosoma* isp. procedentes de capas de arenisca con bioturbación del Cámbrico Inferior, en el miembro B del cerro Chihuarruita, ubicado en la región de San José de Gracia, centro-este del estado de Sonora. La asociación de organismos que produjo las icnitas demuestra que se desarrolló en ambientes marinos bentónicos, someros, con abundantes nutrientes que propiciaron una gran diversidad de los diferentes taxones en el Cámbrico Temprano de la región central de Sonora. La distribución de la biota cámbrica de San José de Gracia, entre ella los icnofósiles, denota que existió una amplia provincia faunística que comprende varias localidades en México (Caborca, Ures), en los Estados Unidos de América (Idaho, Utah, California), en Europa (Italia), Asia (India, Pakistán) y Tasmania que formaban parte del Océano Pantalásico.

Palabras clave: icnofósiles, Cámbrico Inferior, Sonora, México.

Abstract

This work describes the ichnofossils Skolithos isp., Arenicolites isp., Palaeophycus isp., Asteriacites isp. and Asterosoma isp. found in bioturbated sandstone layers from the Lower Cambrian in Chihuarruita hill, located in the region of San José de Gracia, Sonora. The organism association that produced the ichnites was developed in benthic, shallow marine environments with abundant nutrients that led to a high diversity of different taxa in the Early Cambrian in central Sonora. The distribution of the Cambrian biota of San José de Gracia, including those trace fossils, indicates that there was a wide faunal province comprising several locations in Mexico (Caborca, Ures), in the United States of America (Idaho, Utah, California), in Europe (Italy), Asia (India, Pakistan), and Tasmania, that belonged to the Panthalassic Ocean.

Keywords: ichnofossils, Lower Cambrian, Sonora, Mexico.

1. Introducción

Los icnofósiles se consideran como evidencias indirectas de la existencia de los organismos, tanto invertebrados como vertebrados. Su estudio es importante porque proporciona información sobre organismos no preservados que complementan el conocimiento sobre la vida del pasado geológico y su evolución. Estas evidencias indirectas, en muchos casos, se utilizan como índices estratigráficos

cuando sus alcances son reducidos en el tiempo geológico y tienen una amplia distribución geográfica (Knaust y Bromley, 2012). También el conocimiento que aportan los icnofósiles se aplica en el estudio de las icnofacies, pues proporciona información sobre la batimetría, salinidad, cantidad de oxígeno presente y características del sustrato, como la polaridad de las capas, por lo tanto tal información es valiosa en los estudios de la sedimentología (Seilacher, 1967; Frey y Seilacher, 1981). Una de las aplicaciones

Figura 63. Carátula del artículo: Ichnofósiles de la Formación Proveedora del Cámbrico de San José de Gracia, el cual fue publicado en Paleontología Mexicana.

CAMBRIAN ONCOLITES FROM SAN JOSE DE GRACIA, SONORA, MEXICO

^{*1}Hugo Beraldi-Campesi, ^{**2}Francisco Cuen-Romero, ^{**3}Blanca Estela Buitrón

¹Geobiology Mexico. Av. Insurgentes Sur 4411, Tlalcoligia, Tlalpan, 14430, Mexico DF. hberaldi@gmail.com

²Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología. Blvd. Luis Encinas y Rosales, CP. 83000, Hermosillo, Sonora. francisco.cuen@ciencias.uson.mx

³Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Mexico DF. blancab@unam.mx

ABSTRACT

Oncolites from the traditional Lower Cambrian (Series 2, Age 3–4, 515–510 Ma) of Mexico are here described from a new locality in San José de Gracia, east of Hermosillo, Sonora. Similar Oncolites were described in 1952 from the northern Caborca region (in Sonora), from which *Girvanella*-type microfossils were described. Oncolites from San Jose de Gracia were embedded in a hematized packstone matrix, with echinoderm, trilobite, and brachiopod bioclasts. The oncolites often displayed concentric lamination and most appeared nucleated on skeletal bioclasts. The paleoenvironment was inferred to have been a shallow, of mid- to high-energy, marginal, marine carbonate platform. Stratigraphically, these oncolites belong to the Buelna Formation, which corresponds in age to several other Cambrian localities distributed along the Western margin of North America. Similar oncolites have been reported also from China, Australia, South America, and the Middle East. Cambrian oncolites could be used for regional and global biostratigraphy and they also extend the geographical range of oncolites in Mexico.

Key words: oncolites, Cambrian, Sonora, Mexico, Buelna Formation

Figura 64. Carátula del artículo: Cambrian oncolites from San José de Gracia, Sonora, México. Enviado a la revista Geobios de Elsevier.

II.6. Paleoecología

Una comunidad se define como una colección de organismos que interaccionan directa o indirectamente (Smith y Smith, 2007). Dentro de la comunidad, los grupos de especies que llevan a cabo funciones similares o explotan el mismo recurso son denominadas gremios.

Existen diversos índices utilizados para representar a la comunidad, entre los que destacan la dominancia, diversidad (riqueza y equitatividad de especies), similitud y rarefacción. Para Odum (1972), no todos los organismos de la comunidad son importantes para caracterizar a la comunidad entera, ya que unos pocos grupos son los que ejercen la mayor influencia. Las especies que predominan en una comunidad son denominadas dominantes. Existen varios factores considerados para determinar a los organismos dominantes dentro de una comunidad, según Smith y Smith (2007) los dominantes pueden ser los más comunes, los que poseen mayor biomasa, los que se adelantan a acaparar la mayoría del espacio, los que realizan mayor contribución al flujo de energía o ciclo de nutrientes, o los que de alguna manera controlan o influyen sobre el resto de la comunidad; inclusive son considerados aquellos que poseen la mayor representatividad numérica.

Las especies que tienen distribución restringida dentro de la comunidad, poblaciones poco abundantes o combinaciones de ambos factores son denominadas raras (Ceballos, 2001).

Los patrones espaciales de las plantas y animales es una característica importante de las comunidades. Ludwig y Reynolds (1988) reconocen tres patrones espaciales basados en la distribución de las poblaciones en una comunidad: distribución aleatoria, distribución agregada y distribución uniforme.

La distribución aleatoria en una población de organismos implica homogeneidad ambiental y/o patrones de conducta no selectivos. Por otra parte, los patrones no aleatorios (agregada y uniforme) implican que existen algunas restricciones en la población. La distribución agregada sugiere que los individuos se encuentran confinados en partes más favorables del hábitat; lo anterior puede ser debido un comportamiento gregario, heterogeneidad ambiental, modo reproductivo, entre otros. La distribución uniforme resulta de interacciones negativas entre individuos, como lo es competencia por el alimento o el espacio.

Hutchinson (1953) identifica varios factores causantes de la distribución espacial de los organismos dentro de la comunidad:

1. Factores vectoriales resultantes de la acción de fuerzas ambientales externas, como lo es el viento, corrientes de agua e intensidad de la luz solar.
2. Factores reproductivos atribuibles al modo de reproducción del organismo, dentro del cual se incluyen factores como la clonación y regeneración de la progenie.
3. Factores sociales debidos al comportamiento innato, como es el comportamiento territorial.
4. Factores coactivos resultantes de las interacciones intraespecíficas, como es la competencia.
5. Factores estocásticos resultantes de variaciones aleatorias de los factores antes mencionados.

Estadísticamente, la relación entre la media (μ) y la varianza (σ^2) del número de individuos por unidad muestreada indica una aproximación al patrón de distribución espacial, de tal manera que:

1. Un patrón de distribución aleatoria está dado por $\sigma^2 = \mu$, sugiriendo un tratamiento estadístico de Poisson.
2. Un patrón de distribución agregada está representado por $\sigma^2 > \mu$, indicando un tratamiento estadístico de tipo binomial negativo.
3. Un patrón de distribución uniforme se representa por $\sigma^2 < \mu$, indicando un tratamiento estadístico de tipo binomial positivo.

Para Smith y Smith (2007) el número de especies y su abundancia relativa definen la diversidad, siendo una aproximación a la estructura biológica de la comunidad. El recuento del número de especies que existen dentro de la comunidad se denomina riqueza de especies, sin embargo, como ya se mencionó antes, no todas las especies son abundantes en la misma proporción. Mediante el conteo de todos los individuos de cada especie dentro de la comunidad, así como el porcentaje que representa cada uno de estos en el número total de individuos muestreados es posible obtener la abundancia relativa (Tabla 1).

En la Tabla 1 se muestra la distribución de especies por formación, así como el porcentaje de cada una que contribuye al número total de individuos de todas las especies (abundancia relativa).

Tabla 1. Distribución de especies por formación. A= Abundancia, AR= Abundancia relativa.

Especie	A	AR
Formación Proveedora		
<i>Skolithos</i> isp. A	100	65.79
<i>Thalassinoides</i> isp. A	32	21.05
<i>Skolithos linearis</i>	12	7.89
<i>Arenicolites</i> isp. A	8	5.26
Total	152	100
Formación Buelna		
<i>Hyalithes sonora</i>	48	34.53
<i>Girvanella</i> sp. A	35	25.18
<i>Olenellus</i> sp. A	18	12.95
<i>Gogia granulosa</i>	10	7.19
<i>Haplophrentis reesei</i>	9	6.47
<i>Obolella</i> sp. A	8	5.76
<i>Planolites</i> isp. A	6	4.32
<i>Salterella</i> sp. A	3	2.16
<i>Bristolia</i> sp. A	2	1.44
Total	139	100
Formación Cerro Prieto		
<i>Amecephalus arrojensis</i>	11	91.67
Brachiopoda sp. indet. A	1	8.33
Total	12	100
Formación El Gavilán		
<i>Acrothele concava</i>	220	37.74
<i>Elrathina antiqua</i>	133	22.81
<i>Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis</i>	100	17.15
<i>Pagetia resseri</i>	68	11.66
<i>Oryctocephalites walcotti</i>	20	3.43
<i>Ogygopsis typicalis</i>	11	1.89
<i>Dictyonina minutipuncta</i>	8	1.37
<i>Bathyriscus</i> sp. A	5	0.86
<i>Diagoniella</i> sp. A	4	0.69
<i>Oryctocephalus</i> sp. A	4	0.69
<i>Dictyonina ornatella</i>	3	0.51
<i>Chancelloria eros</i>	2	0.34
<i>Haplophrentis reesei</i>	2	0.34
<i>Lingulella proveedorensis</i>	1	0.17
<i>Protrotreta attenuata</i>	1	0.17

Un método común utilizado para comparar los patrones de riqueza de especies y abundancia entre comunidades se denomina diagrama de rango-abundancia, y consiste en representar mediante una gráfica la abundancia relativa de cada especie en relación al rango, donde el rango está definido por el orden de las especies de la más a la menos abundante (Figura 65).

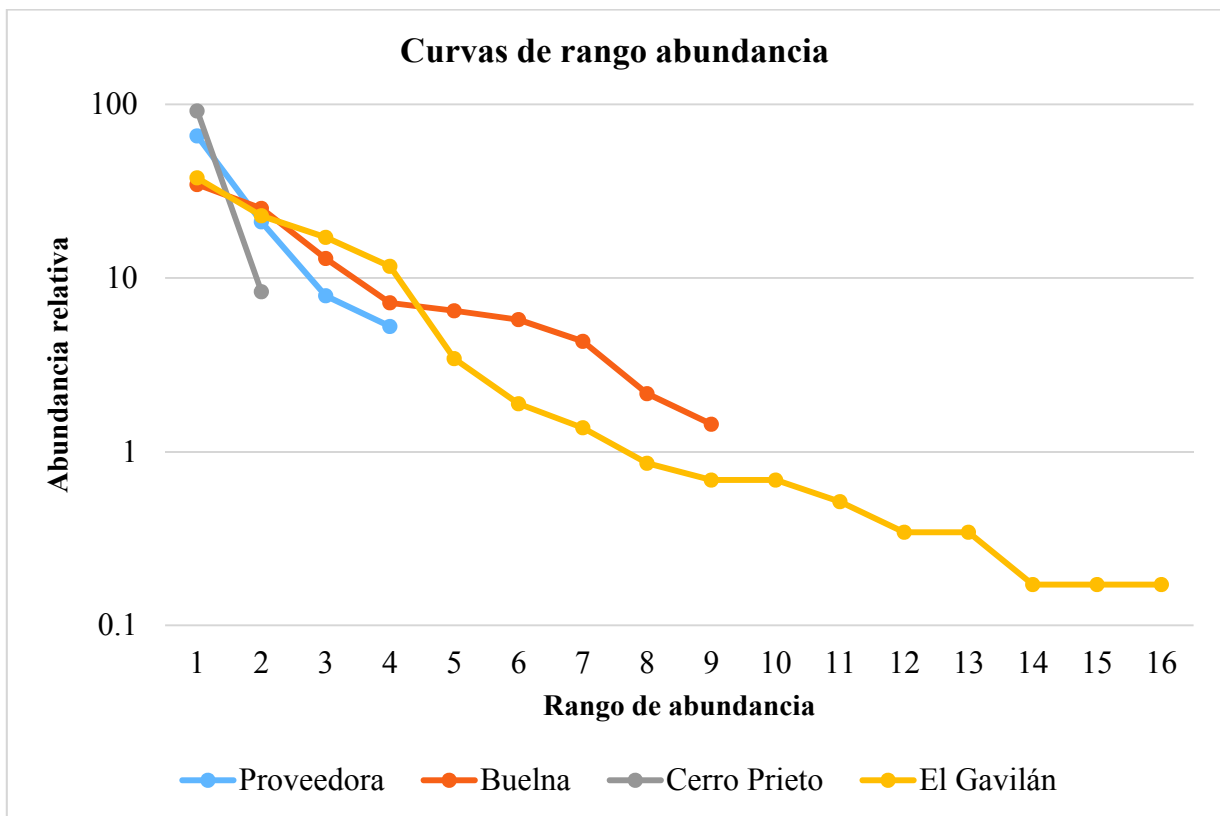


Figura 65. Curvas de rango-abundancia de las cuatro comunidades descritas en la tabla 1. El rango de abundancia es el rango de especies basadas en la abundancia relativa, que oscila desde el más hasta el menos abundante (eje x). La abundancia relativa (eje y) está expresada en un eje log₁₀. Nótese que la Formación El Gavilán posee una riqueza de especies más alta (longitud de la curva) y equitatividad (gradiente de la curva) que el resto de las comunidades.

II.6.1. Formación Proveedora

Del muestreo llevado a cabo en la Loma El Chihuarruita para el Cámbrico inferior y medio, se tiene que para la Formación Proveedora se colectaron 152 individuos distribuidos en 4 especies. En las cinco estaciones muestreadas se observa que *Skolithos* isp. A corresponde con la especie dominante debido a su gran abundancia, alcanzando valores hasta de 40 individuos por estación como ocurre en la Estación 3. La especie menos común y/o que puede ser considerada como rara corresponde con *Arenicolites* isp. A la cual no se encuentra representada en ninguna estación con más de tres individuos. La relación de especies mencionadas anteriormente indica una varianza (σ^2) bastante acentuada siendo casi siempre mayor que la media (μ), sugiriendo una distribución generalizada de tipo agrupada para la estaciones 1-4 con un tratamiento estadístico de tipo binomial negativo, excepto para la estación 5 en que la media es mayor a la varianza y sugiere una distribución uniforme con un tratamiento estadístico de tipo binomial positivo (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.

Estación	Especie	Can	Var	Media	Distribución	Tratamiento
1	<i>Arenicolites</i> isp. A	3				
	<i>Skolithos</i> isp. A	30	252.33	11.66	Agrupada	Binomial negativo
	<i>Skolithos linearis</i>	2				
<i>Arenicolites</i> isp. A	2					
2	<i>Skolithos</i> isp. A	15	40.91	7.25	Agrupada	Binomial negativo
	<i>Skolithos linearis</i>	2				
	<i>Thalassinoides</i> isp. A	10				
	<i>Arenicolites</i> isp. A	1				
3	<i>Skolithos</i> isp. A	40	333.58	12.75	Agrupada	Binomial negativo
	<i>Skolithos linearis</i>	5				
	<i>Thalassinoides</i> isp. A	5				
	<i>Arenicolites</i> isp. A	2				
4	<i>Skolithos</i> isp. A	10	18.91	6.25	Agrupada	Binomial negativo
	<i>Skolithos linearis</i>	3				
	<i>Thalassinoides</i> isp. A	10				
	<i>Arenicolites</i> isp. A	2				
5	<i>Skolithos</i> isp. A	5	2	6	Uniforme	Binomial positivo
	<i>Thalassinoides</i> isp. A	7				

Índices ecológicos

De los índices ecológicos obtenidos se tiene para la Estación 1 un total 35 individuos distribuidos en 3 especies con una dominancia de Simpson de 0.74 indicando que una especie es la dominante y la cual corresponde con *Skolithos* isp. A, representada por 30 individuos en comparación con *Arenicolites* isp. A con 3 individuos y *Skolithos linearis* con 2 individuos. Para la equitatividad de Simpson, representando el grado de igualdad en la distribución de las especies se tiene un índice de 0.25 debido a que no todas las especies de la comunidad (Estación 1) presentan el mismo número de individuos. La diversidad de Shannon H indica un resultado de 0.50 considerándose una diversidad media por lo tanto la seguridad de tomar una determinada especie al azar es intermedia. El índice de Menhinick indica de igual manera un resultado de 0.50 y finalmente el índice de riqueza total de Chao corresponde a 3, siendo congruente con lo mencionado anteriormente, debido a la presencia de *Arenicolites* isp. A, *Skolithos* isp. A y *Skolithos linearis* para esta unidad (Tabla 3).

La Estación 2 posee un total de 29 individuos distribuidos en 4 especies, con una dominancia de Simpson de 0.39 indicando que existen algunas especies dominantes y las cuales corresponden a *Skolithos* isp. A con 15 individuos y *Thalassinoides* isp. A con 10 individuos; por otra parte, las especies menos comunes corresponden a *Arenicolites* isp. A y *Skolithos linearis* con 2 individuos respectivamente. Para la equitatividad de Simpson se tiene un resultado de 0.60 debido a que las especies presentan una distribución más uniforme respecto al número de individuos. La diversidad de Shannon H corresponde a 1.07 debido a que las especies están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos. El índice Menhinick indica un valor de 0.74 y la riqueza total de Chao indica un valor de 4, agregándose la especie *Thalassinoides* isp. A la cual se encuentra ausente en la Estación 1 (Tabla 3).

Para la Estación 3 se tienen 51 individuos distribuidos en 4 especies. La dominancia de Simpson muestra un valor de 0.63, indicando la presencia de una especie dominante la cual corresponde con *Skolithos* isp. A la cual se encuentra representada por 40 individuos. El resto de las especies se encuentran representadas por *Skolithos linearis* y *Thalassinoides* isp. A con 5 individuos respectivamente. La especie menos común y/o rara corresponde con *Arenicolites* isp. A representada únicamente por 1 individuo. La equitatividad de Simpson indica un valor de

0.36 debido a que la distribución de especies no es uniforme respecto al número de individuos como ya se ha mostrado anteriormente (*Skolithos* isp. A ≥ 40 individuos). La diversidad de Shannon H corresponde a 0.72 debido a que las especies están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos aunque existe una especie dominante. El índice de Menhinick indica un valor de 0.56 y finalmente la riqueza total de Chao indica un valor de 4, manteniéndose las mismas especies que la Estación 2, aumentando radicalmente la presencia de *Skolithos* isp. A y disminuyendo la presencia de *Thalassinoides* isp. A.

La Estación 4 posee un total de 25 individuos distribuidos en 4 especies. La dominancia de Simpson presenta un valor de 0.34 indicando que existen algunas especies dominantes o comunes como es *Skolithos* isp. A y *Thalassinoides* isp. A con 10 individuos respectivamente. *Skolithos linearis* presenta 3 individuos y *Arenicolites* isp. A corresponde con la especie menos representada con 2 individuos. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.65 debido a que la distribución de especies respecto al número de individuos es más uniforme, ya que *Skolithos* isp. A y *Thalassinoides* isp. A tienen el mismo número de representantes (=10) mientras que la presencia de *Arenicolites* isp. A y *Skolithos linearis* es similar (2 y 3 individuos). La diversidad de Shannon H indica un valor de 1.19 debido a que las especies están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos. El índice de Menhinick indica un valor de 0.80 y finalmente la riqueza total de especies de Chao indica un valor de 4, manteniéndose las mismas especies que en las estaciones 2 y 3 (Tabla 3).

Para la Estación 5 se tiene un total de 12 individuos distribuidos en 2 especies. La dominancia de Simpson indica un valor de 0.51 indicando que las dos especies se encuentran representadas aproximadamente de la misma manera, *Skolithos* isp. A con 5 individuos y *Thalassinoides* isp. A con 7 individuos, no existiendo especies raras en sentido general o bien no se conservaron en el registro fósil. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.48 debido a que la distribución de especies respecto al número de individuos es muy similar (5 y 7). La diversidad de Shannon H indica un valor de 0.67 debido a que existe una baja en la diversidad teniéndose únicamente 2 especies, aunque ambas están representadas por el mismo número de individuos. El índice de Menhinick indica un valor de 0.57 y finalmente la riqueza total de Chao indica un valor de 2, confirmando una baja en la diversidad con respecto a las Estaciones 1-5 (Tabla 3).

Tabla 3. Índices ecológicos utilizados para la Formación Proveedora por estación.

Índice	Estación				
	1	2	3	4	5
No. Taxa	3	4	4	4	2
Individuos	35	29	51	25	12
Dominancia Simpson	0.74	0.39	0.63	0.34	0.51
Equitatividad Simpson 1-D	0.25	0.60	0.36	0.65	0.48
Shannon H	0.50	1.07	0.72	1.19	0.67
Menhinick	0.50	0.74	0.56	0.80	0.57
Chao	3	4	4	4	2

Dominancia de Simpson

En el análisis detallado de la dominancia de Simpson (Tabla 4) se observa que la estación con la presencia de una especie claramente dominante es la Estación 1 con un valor de 0.74 y con intervalos de confianza inferior de 0.55 y superior de 0.89. La estación con una menor dominancia corresponde a la Estación 4, con una dominancia de 0.34 y con intervalos de confianza inferior de 0.28 y superior de 0.44. El resto de las estaciones (2, 3 y 5) se mantienen aproximadamente dentro de los intervalos de confianza para las estaciones con mayor y menor dominancia (1 y 4) compartiendo cierta similitud.

Tabla 4. Dominancia de Simpson para la Formación Proveedora.

Estación	Dominancia	Inferior	Superior
1	0.74	0.55	0.89
2	0.39	0.31	0.52
3	0.63	0.48	0.78
4	0.34	0.28	0.44
5	0.51	0.50	0.72

Equitatividad de Simpson 1-D

Para el análisis detallado de la equitatividad de Simpson (Tabla 5) se observa que el grado en la distribución de especies respecto a individuos varía cerca del 0.50. La estación con menos equitatividad corresponde a la Estación 1 con un valor de 0.25 con intervalos de confianza inferior de 0.10 y superior de 0.44; aunque en dominancia de Simpson presentó el valor más alto (0.74). La estación con mayor equitatividad corresponde a la Estación 4 con un

valor de 0.65 con intervalos de confianza inferior de 0.55 y superior de 0.72, aunque en dominancia de Simpson presente el valor más bajo (0.34). El resto de las estaciones (2, 3 y 5) se mantienen de igual manera dentro de los intervalos de confianza para los valores máximos y mínimos mencionados anteriormente.

Tabla 5. Equitatividad de Simpson para la Formación Proveedora.

Estación	Equitatividad	Inferior	Superior
1	0.25	0.10	0.44
2	0.60	0.47	0.68
3	0.36	0.21	0.51
4	0.65	0.55	0.72
5	0.48	0.27	0.50

Diversidad de Shannon H'

La diversidad de Shannon H varía de 0.50 a 1.19 (Tabla 6). La estación con mayor diversidad Shannon H corresponde a la Estación 4 con un valor de 1.19 y con intervalos de confianza inferior de 0.95 y superior de 1.32 a diferencia de la dominancia de Simpson en la cual tuvo el valor más bajo (0.34). La Estación 1 corresponde a la de menor diversidad Shannon H con valor de 0.50 e intervalos de confianza inferior de 0.25 y superior de 0.74. Las estaciones similares respecto al índice de Shannon H y valores de confianza inferior y superior corresponden con las estaciones 2 (H=1.07) y 4 (H=1.19) así como 1 (H=0.50), 3 (H=0.72) y 5 (H=0.67).

Tabla 6. Diversidad de Shannon para la Formación Proveedora.

Estación	Diversidad	Inferior	Superior
1	0.50	0.25	0.74
2	1.07	0.86	1.25
3	0.72	0.48	0.95
4	1.19	0.95	1.32
5	0.67	0.45	0.69

Riqueza de especies de Menhinick

Para el análisis detallado de la riqueza de especies de Menhinick se tiene que la estación con mayor riqueza de especies corresponde a la Estación 4 con un valor de 0.80, mientras que la estación con menor riqueza de especies corresponde a la Estación 1 con un valor de 0.50 (Tabla 7).

Tabla 7. Riqueza de especies de Menhinick para la Formación Proveedora.

Estación	Riqueza
1	0.50
2	0.74
3	0.56
4	0.80
5	0.57

Riqueza de especies de Chao

El análisis de riqueza total de especies de Chao (Tabla 8) muestra como la Estación 1 posee 3 especies mientras que las estaciones 2, 3 y 4 muestran un incremento con valor de 4 y finalmente la Estación 5 muestra un valor solamente de 2. *Skolithos* isp. A es una especie recurrente en todas las estaciones siendo casi siempre la especie dominante y en ocasiones se observa en función de la presencia de *Thalassinoides* isp. A con las siguientes relaciones, Estación 2 (*Skolithos* = 15, *Thalassinoides* = 10), Estación 3 (*Skolithos* = 40, *Thalassinoides* = 5), Estación 4 (*Skolithos* = 10, *Thalassinoides* = 10) y Estación 5 (*Skolithos* = 5, *Thalassinoides* = 7). Lo anterior sugiere que probablemente eran especies en competencia, aunque las galerías creadas por *Skolithos* son estructuras verticales originadas por probables vermes, mientras que las galerías creadas por *Thalassinoides* son estructuras horizontales originadas por probables crustáceos, pero explotando posiblemente ambos los mismos recursos dentro de la comunidad.

Tabla 8. Riqueza de especies de Chao para la Formación Proveedora.

Estación	Especies
1	3
2	4
3	4
4	4
5	2

Curva de rarefacción

Para las curvas de rarefacción en las cuales se muestran número de especies vs número de individuos (Tabla 9) se observan diferencias respecto a la muestra utilizada, es decir, la cantidad de ejemplares con que se contó para realizar el muestreo. Las curvas para las estaciones 1, 2, 4 y 5 alcanzan un valor asintótico hasta el valor acumulado por especies respecto a los individuos, indicando que el muestreo se realizó de manera correcta. Para la Estación 3 no se observa lo anterior, debido principalmente a la falta de individuos (ejemplares) para de esta manera disminuir la desviación estándar, sin embargo, no se logró recolectar más ejemplares debido a la disponibilidad y conservación de estos (Figura 66).

Tabla 9. Datos utilizados para la elaboración de la curva de rarefacción para la Formación Proveedora.

Muestra	1	2	3	4	5
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.26	1.63	1.37	1.69	1.53
3	1.41	2.03	1.59	2.17	1.80
4	1.53	2.32	1.77	2.51	1.92
5	1.65	2.53	1.93	2.76	1.97
6	1.76	2.69	2.08	2.95	1.99
7	1.86	2.83	2.21	3.11	2.00
8	1.96	2.95	2.34	3.24	2.00
9	2.06	3.06	2.45	3.35	2.00
10	2.14	3.15	2.56	3.45	2.00
11	2.23	3.24	2.66	3.54	2.00
12	2.30	3.33	2.75	3.62	2.00
13	2.38	3.41	2.83	3.68	
14	2.44	3.48	2.90	3.75	
15	2.51	3.55	2.97	3.80	

16	2.57	3.62	3.04	3.84
17	2.62	3.68	3.10	3.88
18	2.67	3.73	3.15	3.92
19	2.71	3.78	3.20	3.94
20	2.75	3.82	3.25	3.96
21	2.79	3.86	3.29	3.98
22	2.83	3.90	3.33	3.99
23	2.86	3.93	3.37	4.00
24	2.88	3.95	3.40	4.00
25	2.91	3.97	3.43	4.00
26	2.93	3.99	3.47	
27	2.94	4.00	3.49	
28	2.96	4.00	3.52	
29	2.97	4.00	3.55	
30	2.98		3.57	
31	2.99		3.60	
32	3.00		3.62	
33	3.00		3.64	
34	3.00		3.66	
35	3.00		3.68	
36			3.70	
37			3.72	
38			3.74	
39			3.76	
40			3.78	
41			3.80	
42			3.82	
43			3.84	
44			3.86	
45			3.88	
46			3.90	
47			3.92	
48			3.94	
49			3.96	
50			3.98	
51			4.00	

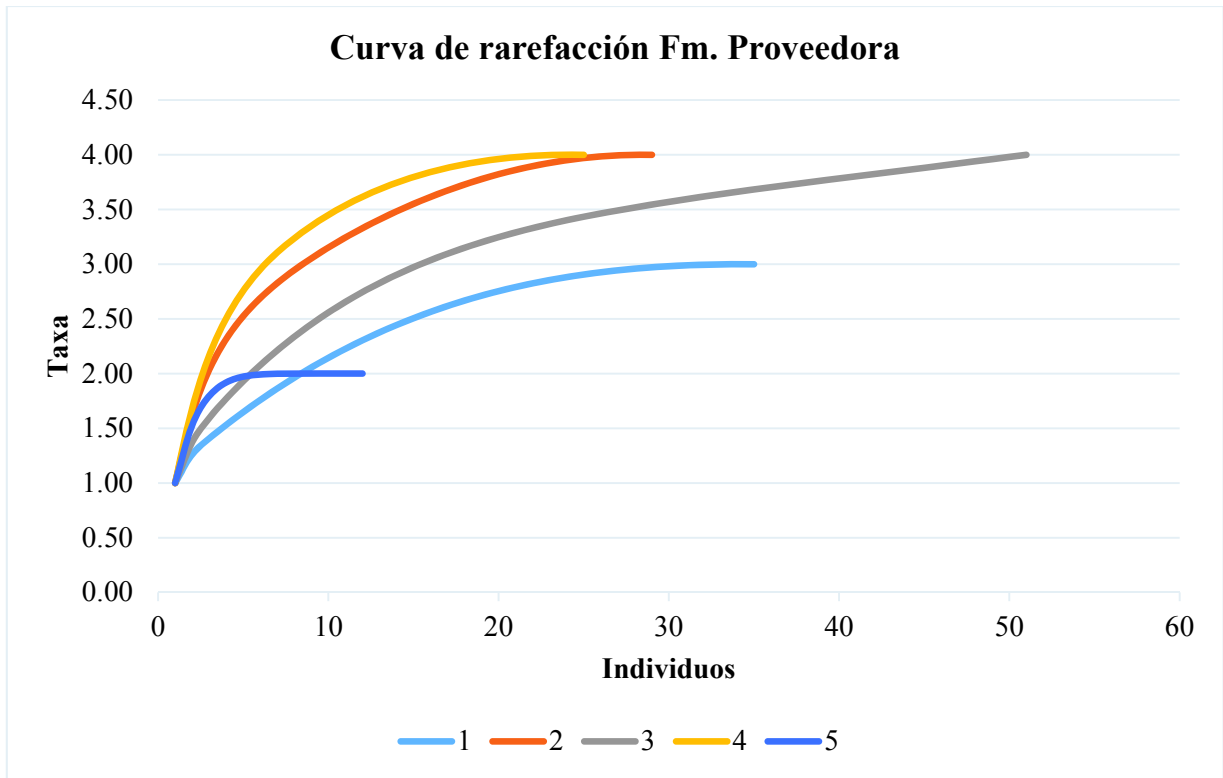


Figura 66. Curva de rarefacción para la Formación Provedora donde se muestran individuos vs taxa por estación (1-5)

Respecto al análisis del ambiente de depósito, se tiene que 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 y 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). Con base a lo anterior y teniendo en cuenta la presencia de *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp. y *Palaeophycus* 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 (Figura 67).

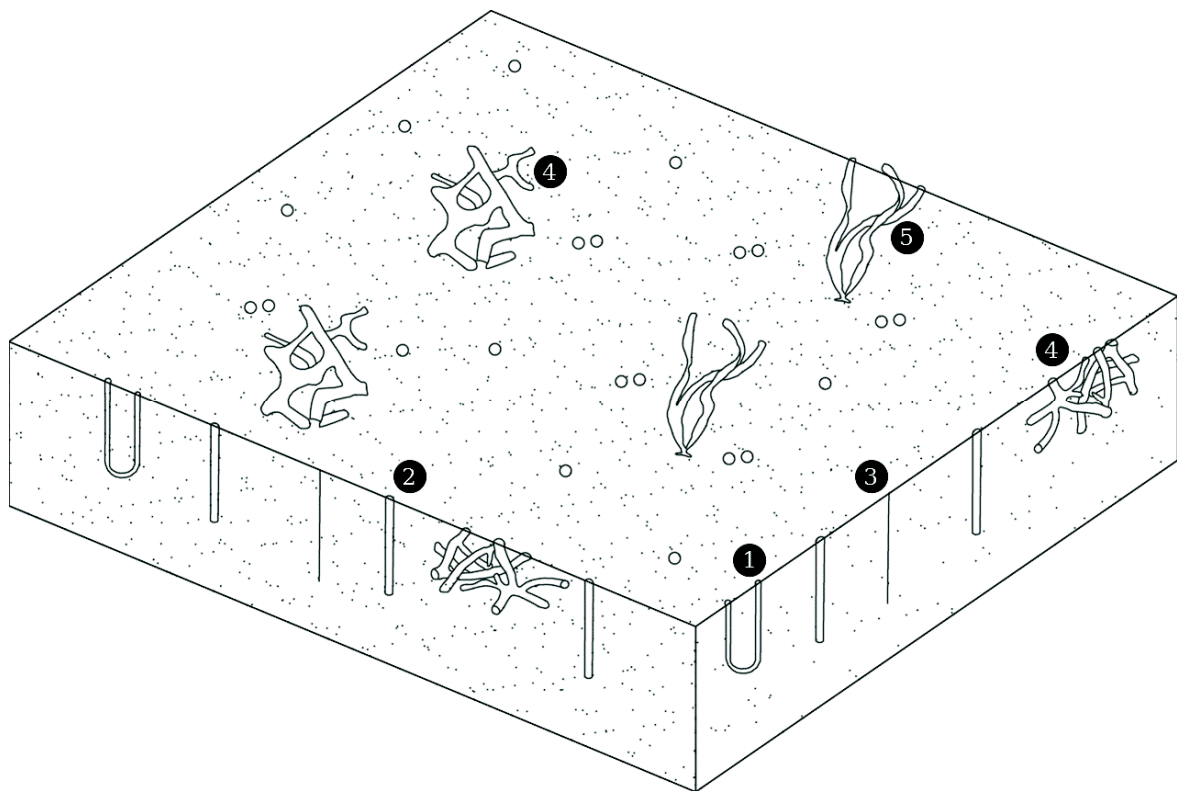


Figura 67. Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Proveedora en un sustrato arenoso. 1. *Arenicolites* isp., 2. *Skolithos* isp., 3. *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, 4. *Thalassinoides* isp. (vista en planta y vista lateral), 5. Algas no conservadas.

II.6.2. Formación Buelna

Para la Formación Buelna se colectaron 139 individuos distribuidos en 9 especies. De las cinco estaciones muestreadas se observa claramente que en las estaciones 2-4 solo 1 especie es la dominante o la más común, mientras que en la Estación 1 existe una distribución más o menos uniforme respecto al número de individuos por especie. Entre las especies menos comunes o raras se puede considerar a *Salterella* sp. A y *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* debido a que la mayoría de las veces están representadas por 1 individuo en cada estación. La relación de especies muestreadas por estación indica en todos los casos una varianza mayor respecto a la media, sugiriendo para todas las estaciones una distribución de tipo Agrupada indicando un tratamiento estadístico de tipo Binomial negativo (Tabla 10).

Tabla 10. Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.

Estrato	Especie	Can	Var	Media	Distribución	Tratamiento
1	<i>Planolites</i> isp. A	6	9.80	4.40	Agregada	Binomial negativo
	<i>Obolella</i> sp. A	7				
	<i>Salterella</i> sp. A	1				
	<i>Olenellus</i> sp. A	7				
	<i>Bristolia</i> sp. cf. <i>B. bristolensis</i>	1				
2	<i>Obolella</i> sp. A	1	18.57	3.83	Agregada	Binomial negativo
	<i>Salterella</i> sp. A	1				
	<i>Hyalithes sonora</i>	12				
	<i>Haplophrentis reesei</i>	3				
	<i>Olenellus</i> sp. A	5				
<i>Bristolia</i> sp. cf. <i>B. bristolensis</i>	1					
3	<i>Salterella</i> sp. A	1	23.33	5	Agregada	Binomial negativo
	<i>Hyalithes sonora</i>	12				
	<i>Haplophrentis reesei</i>	3				
	<i>Olenellus</i> sp. A	4				
4	<i>Hyalithes sonora</i>	24	154.33	9.67	Agregada	Binomial negativo
	<i>Haplophrentis reesei</i>	3				
	<i>Olenellus</i> sp. A	2				
5	<i>Girvanella</i> sp. A	35	312.50	22.50	Agregada	Binomial negativo
	Echinodermata sp. A	10				

Índices ecológicos

De los índices ecológicos obtenidos se tiene para la Estación 1 un total de 22 individuos distribuidos en 5 especies con una dominancia de Simpson de 0.28 indicando que varias especies son las dominantes y las cuales corresponden a *Obolella* sp. A y *Olenellus* sp. A representadas con 7 individuos respectivamente, así como *Planolites* isp. A con 6 individuos. Las especies menos comunes y/o raras corresponden a *Salterella* sp. A y *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* con 1 individuo respectivamente. Para la equitatividad de Simpson representando el grado de igualdad en la distribución de especies se tiene un resultado de 0.71 indicando que no todas las especies de la comunidad (estrato 2) presentan el mismo número de individuos. La diversidad de Shannon H indica un resultado de 1.36 considerándose una diversidad alta por lo tanto la seguridad de tomar una determinada especie al azar es alta. El índice de Menhinick indica un resultado de 1.06 y finalmente la riqueza total de Chao indica un valor de 6 (Tabla 11).

La Estación 2 posee un total de 23 individuos distribuidos en 6 especies con una dominancia de Simpson de 0.34 indicando que existen algunas especies dominantes y las cuales corresponden a *Hyolithes sonora* con 12 individuos y *Olenellus* sp. A con 5 individuos; por otra parte las especies menos comunes y/o rara corresponden a *Obolella* sp. A, *Salterella* sp. A y *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* con 1 individuo respectivamente, así como *Haplophrentis reesei* con 3 individuos. Para la equitatividad de Simpson se tiene un resultado de 0.65 debido a que las especies presentan una distribución más uniforme respecto al número de individuos. La diversidad de Shannon H corresponde a 1.34 porque las especies están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos, excepto por *Hyolithes sonora* (12). El índice de Menhinick indica un valor de 1.25 y la riqueza total de Chao proporciona un valor de 9 (Tabla 11).

Para la Estación 3 se tiene 20 individuos distribuidos en 4 especies. La dominancia de Simpson muestra un valor de 0.42 existiendo claramente una especie dominante la cual corresponde a *Hyolithes sonora* con 12 individuos, mientras que las especies menos comunes son *Olenellus* sp. A con 4 individuos y *Haplophrentis reesei* con 3 individuos. Para esta comunidad es posible considerar como especie rara a *Salterella* sp. A para la cual solamente se recolectó 1 individuo. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.57 considerándose que

la distribución de especies a relativamente uniforme respecto al número de individuos como ya se mostró anteriormente excepto por *Hyolithes sonora* (12 individuos). La diversidad de Shannon H indica un valor de 1.06 indicando que una especie está representada por un número mayor de individuos lo cual es congruente con el resultado mostrado por la equitatividad de Simpson. El índice de Menhinick indica un valor de 0.89 y la riqueza total de Chao se estima en 4. A diferencia de las estaciones anteriores (1 y 2) en la Estación 3 se observa una baja en la riqueza es especies, manteniéndose como dominantes *Hyolithes sonora* desde su aparición en la Estación 2 (Tabla 11).

La Estación 4 posee un total de 29 individuos distribuidos en 3 especies. La dominancia de Simpson presenta un valor de 0.70, indicando que existe una especie dominante como es *Hyolithes sonora* con 24 individuos. El resto de las especies se pueden considerar poco comunes siendo *Haplophrentis reesei* con 3 individuos y *Olenellus* sp. A con 2 individuos. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.30 debido a que la distribución de especies respecto al número de individuos no es uniforme, ya que *Hyolithes sonora* sobresale por mucho del resto de ejemplares. La diversidad de Shannon H indica un valor de 0.57 debido a que las especies no están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos como ya se mencionó anteriormente. El índice de Menhinick indica un valor de 0.55 y la riqueza total de Chao indica un valor de 3. En la Estación 4 se observa una baja en la diversidad, manteniéndose solamente 3 especies, sin embargo, *Hyolithes sonora* se mantiene como especie dominante, mientras que *Haplophrentis reesei* y *Olenellus* sp. A corresponden a faunas subordinadas (Tabla 11).

Para la Estación 5 se tiene un total de 45 individuos distribuidos en 2 especies (Tabla 11). La dominancia de Simpson indica un valor de 0.65 indicando que una especie es dominante y la cual corresponde a *Girvanella* sp. A con 35 individuos. Echinodermata sp. A corresponde a una especie poco común con 10 individuos y ambas especies ocupan gremios diferentes. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.34 debido a que la distribución de especies respecto al número de individuos no es uniforme (35 y 10). La diversidad de Shannon H indica un valor de 0.53 debido a que existe una baja diversidad, sin embargo, un gran número de individuos se encuentran ocupando dicho espacio. El índice de Menhinick indica un valor de

0.29 y finalmente la riqueza total de Chao indica un valor de 2. La Estación 5 mostró el valor más bajo respecto a la riqueza de especies, con un valor únicamente de 2.

Tabla 11. Índices ecológicos utilizados para la Formación Buelna por estación.

Índice	Estación				
	1	2	3	4	5
No. Taxa	5	6	4	3	2
Individuos	22	23	20	29	45
Dominancia Simpson	0.28	0.34	0.42	0.70	0.65
Simpson 1-D	0.71	0.65	0.57	0.30	0.34
Shannon H	1.36	1.34	1.06	0.57	0.53
Menhinick	1.06	1.25	0.89	0.55	0.29
Chao	6	9	4	3	2

Dominancia de Simpson

En el análisis detallado de la dominancia de Simpson (Tabla 12) se observa que la estación con la presencia de una especie claramente dominante corresponde a la Estación 4 con un valor de 0.70 y con intervalos de confianza inferior de 0.52 y superior de 0.86. La estación con una menor dominancia corresponde a la Estación 1, con una dominancia de 0.28 y con intervalos de confianza inferior de 0.23 y superior de 0.37. El resto de las estaciones (2, 3 y 5) presentan una tendencia hacia la baja dominancia con valor de 0.34, 0.42 y 0.65. Analizando la tabla de dominancia de Simpson se puede observar que la comunidad representada por la Estación 1 se inicia con gran diversidad y una baja dominancia, esta última aumenta conforme disminuye la diversidad hacia la Estación 4, alcanzando su máximo en 0.70 y disminuyendo levemente en la estación 5.

Tabla 12. Dominancia de Simpson para la Formación Buelna.

Estación	Dominancia	Inferior	Superior
1	0.28	0.23	0.37
2	0.34	0.21	0.45
3	0.42	0.30	0.59
4	0.70	0.52	0.86
5	0.65	0.54	0.80

Equitatividad de Simpson 1-D

Para el análisis detallado de la equitatividad de Simpson (Tabla 13) se observa que el grado en la distribución de especies respecto a individuos varía desde 0.30 hasta 0.71. La estación con menos equitatividad corresponde a la Estación 4 con un valor de 0.30 con intervalos de confianza inferior de 0.19 y superior de 0.45; aunque en el índice de dominancia de Simpson esta estación presentó el valor más alto (0.70). La estación con mayor equitatividad corresponde a la Estación 1 con un valor de 0.71 y con intervalos de confianza inferior de 0.62 y superior de 0.76 a diferencia de la dominancia de Simpson en la cual tuvo el valor más bajo (0.28). El resto de las estaciones (2 y 3) tuvieron intervalos de confianza diferentes respecto a la estación 5. A diferencia de la dominancia, la equitatividad de Simpson se inicia de manera alta en la estación 1 y disminuye hacia la estación 5.

Tabla 13. Equitatividad de Simpson para la Formación Buelna.

Estación	Equitatividad	Inferior	Superior
1	0.71	0.62	0.76
2	0.65	0.54	0.78
3	0.57	0.41	0.70
4	0.30	0.13	0.47
5	0.34	0.19	0.45

Diversidad de Shannon H'

La diversidad de Shannon H varía de 0.53 a 1.36 (Tabla 14). La estación con mayor diversidad de Shannon H corresponde a la Estación 1 con un valor de 1.36 y con intervalos de confianza inferior de 1.21 y superior de 1.51; a diferencia de la dominancia de Simpson en la cual tuvo el valor más bajo (0.28). La Estación 4 corresponde a la de menor diversidad de Shannon H con un valor de 0.53 e intervalos de confianza inferior de 0.34 y superior de 0.65. Las estaciones similares respecto al índice de Shannon H y valores de confianza inferior y superior corresponden a la 4 (H=0.57) y 5 (H=0.57), así como a la 1 (H=1.36), 2 (H=1.34) y 3 (H=1.06).

Tabla 14. Diversidad de Shannon para la Formación Buelna.

Estación	Diversidad	Inferior	Superior
1	1.36	1.21	1.51
2	1.34	1.16	1.63
3	1.06	0.80	1.28
4	0.57	0.29	0.83
5	0.53	0.34	0.65

Riqueza de especies de Menhinick

Para el análisis detallado de la riqueza de especies de Menhinick se tiene que la estación con mayor riqueza de especies corresponde a la Estación 2 con un valor de 1.25, contabilizándose en este estrato hasta 6 especies. La estación con menor riqueza de especies corresponde a la Estación 5 con un valor de 0.29 y con 2 especies únicamente (Tabla 15).

Tabla 15. Riqueza de especies de Menhinick para la Formación Buelna.

Estación	Riqueza
1	1.06
2	1.25
3	0.89
4	0.55
5	0.29

Riqueza de especies de Chao

El análisis de riqueza total de especies de Chao (Tabla 16) muestra como las estaciones 1 y 2 poseen un índice de 6 y 9, mientras que las estaciones 3 y 4 muestran una baja con valores de 4 y 3 de manera respectiva, finalmente la estación 5 muestra un valor solamente de 2. *Hyolithes sonora* es una especie recurrente en las estaciones 2, 3 y 4, siendo casi siempre la especie dominante.

Tabla 16. Riqueza de especies de Chao para la Formación Buelna.

Estación	Riqueza	Inferior	Superior
1	6	5	6
2	9	6	12
3	4	4	5
4	3	3	4
5	2	2	2

Curva de rarefacción

En las curvas de rarefacción se muestra número de especies vs número de individuos, observándose diferencias respecto a la muestra utilizada (Tabla 17). Solamente las curvas para las estaciones 4 y 5 alcanza un valor asintótico mientras que las curvas para las estaciones 1, 2 y 3 se mantienen con una tendencia a aumentar, no obstante de que son las que tienen mayor diversidad aunque con un bajo número de individuos (Figura 68).

Tabla 17. Datos utilizados para la elaboración de la curva de rarefacción para la Formación Buelna.

Muestra	1	2	3	4	5
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.75	1.69	1.61	1.31	1.35
3	2.32	2.19	2.01	1.49	1.53
4	2.74	2.59	2.32	1.63	1.65
5	3.06	2.92	2.57	1.77	1.73
6	3.30	3.21	2.77	1.89	1.80
7	3.49	3.47	2.95	2.01	1.85
8	3.65	3.70	3.11	2.12	1.89
9	3.78	3.91	3.24	2.22	1.92
10	3.89	4.11	3.35	2.31	1.94
11	3.99	4.29	3.45	2.40	1.96
12	4.09	4.46	3.54	2.48	1.97
13	4.18	4.62	3.61	2.55	1.98
14	4.27	4.78	3.68	2.62	1.99
15	4.36	4.92	3.74	2.68	1.99
16	4.46	5.07	3.80	2.73	1.99
17	4.55	5.21	3.85	2.78	2.00
18	4.64	5.34	3.90	2.82	2.00
19	4.73	5.48	3.95	2.86	2.00

20	4.82	5.61	4.00	2.89	2.00
21	4.91	5.74		2.92	2.00
22	5.00	5.87		2.94	2.00
23		6.00		2.96	2.00
24				2.97	2.00
25				2.98	2.00
26				2.99	2.00
27				3.00	2.00
28				3.00	2.00
29				3.00	2.00
30					2.00
31					2.00
32					2.00
33					2.00
34					2.00
35					2.00
36					2.00
37					2.00
38					2.00
39					2.00
40					2.00
41					2.00
42					2.00
43					2.00
44					2.00
45					2.00

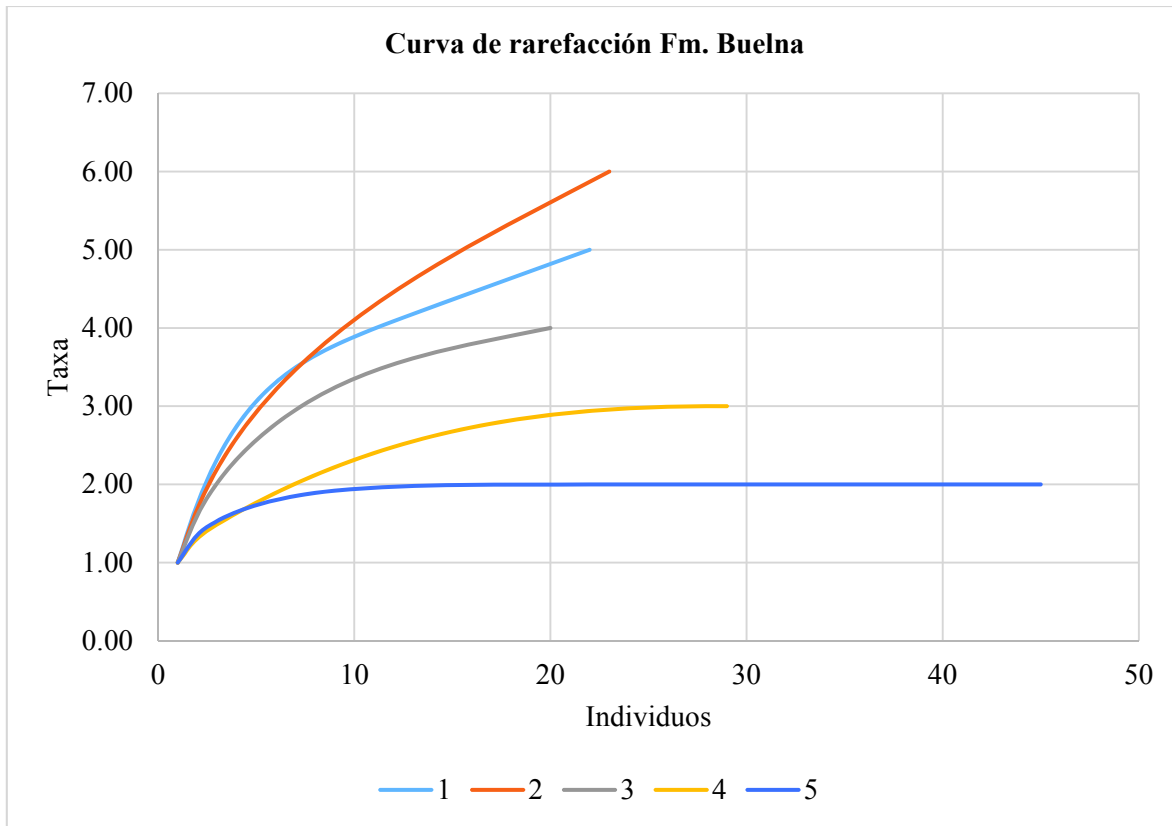


Figura 68. Curva de rarefacción para la Formación Buelna donde se muestran individuos vs taxa por estación (1-5)

El análisis de ambiente de depósito para la Formación Buelna se considera 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 sección delgada son en su mayoría packstone, con aportes de detritos, lo que indica según el modelo de facies de Wilson (1975) facies marinas de circulación abierta (Figura 69).

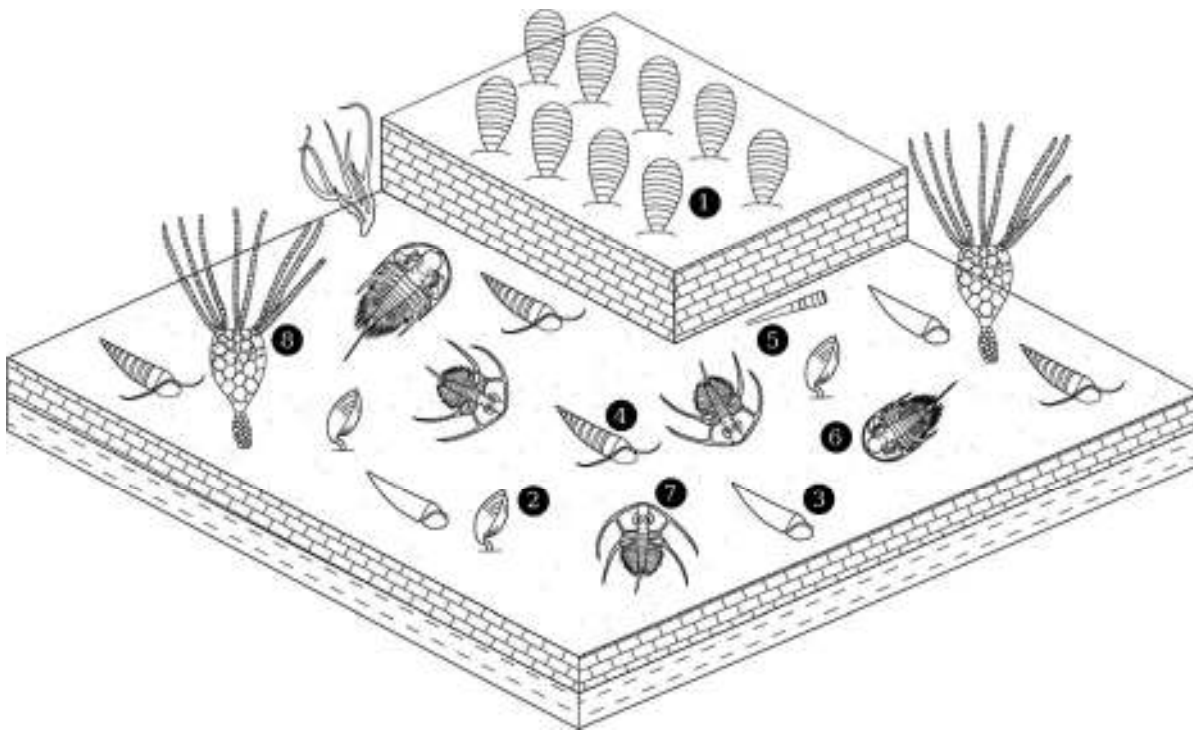


Figura 69. Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Buelna en un sustrato calcáreo. 1. *Girvanella* sp, 2. *Obolella* sp., 3. *Hyolithes sonora*, 4. *Haplophrentis reesei*, 5. *Salterella* sp., 6. *Olenellus* sp., 7. *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y 8. *Gogia granulosa*.

II.6.3. Formación Cerro Prieto

En la Formación Cerro Prieto se colectaron 12 individuos distribuidos en 2 especies. Solamente se muestreo en una estación, observándose a *Amecephalus arjosensis* como la especie dominante con un total de 11 individuos. La forma menos común o rara corresponde a una especie de Brachiopoda sp. A la cual debido al grado de conservación no pudo ser determinada a un nivel taxonómico inferior. La varianza es mayor que la media sugiriendo una distribución de tipo Agrupada y un tratamiento estadístico de tipo Binomial negativo (Tabla 18).

Tabla 18. Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.

Estrato	Especie	Can	Var	Media	Distribución	Tratamiento
1	<i>Amecephalus arjosensis</i>	11	50	6	Agrupada	Binomial negativo
	Brachiopoda sp. A	1				

Índices ecológicos

De los índices ecológicos obtenidos se tiene para la Estación 1 un total de 12 individuos distribuidos en 2 especies con una dominancia de Simpson de 0.84, indicando que una especie es la dominante y la cual corresponde a *Amecephalus arjosensis* con 11 individuos. La especie menos común o rara corresponde con Brachiopoda sp. A solamente con 1 individuo. Para la equitatividad de Simpson se tiene un valor de 0.15, indicando que la igualdad en la distribución de especies no es uniforme. La diversidad de Shannon H indica un resultado de 0.28 considerándose una diversidad baja. El índice de Menhinick indica un valor de 0.57 y finalmente la riqueza total de Chao indica un valor de 2 (Tabla 19, 20, 21, 22, 23 y 24).

Tabla 19. Índices ecológicos utilizados para la Formación Cerro Prieto por estación.

Índice	Estación
	1
No. Taxa	2
Individuos	12
Dominancia Simpson	0.84
Simpson 1-D	0.15
Shannon H	0.28
Menhinick	0.57
Chao	2

Dominancia de Simpson

Tabla 20. Dominancia de Simpson para la Formación Cerro Prieto.

Estación	Dominancia	Inferior	Superior
1	0.84	0.62	0.84

Equitatividad de Simpson 1-D

Tabla 21. Equitatividad de Simpson para la Formación Cerro Prieto.

Estación	Equitatividad	Inferior	Superior
1	0.15	0.15	0.37

Diversidad de Shannon H'

Tabla 22. Diversidad de Shannon para la Formación Cerro Prieto.

Estación	Diversidad	Inferior	Superior
1	0.28	0.28	0.56

Riqueza de especies de Menhinick

Tabla 23. Riqueza de especies de Menhinick para la Formación Cerro Prieto.

Estación	Riqueza
1	0.57

Riqueza de especies de Chao

Tabla 24. Riqueza de especies de Chao para la Formación Cerro Prieto.

Estación	Riqueza
1	2

Respecto al ambiente de depósito, se sabe que la 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 (Figura 70).

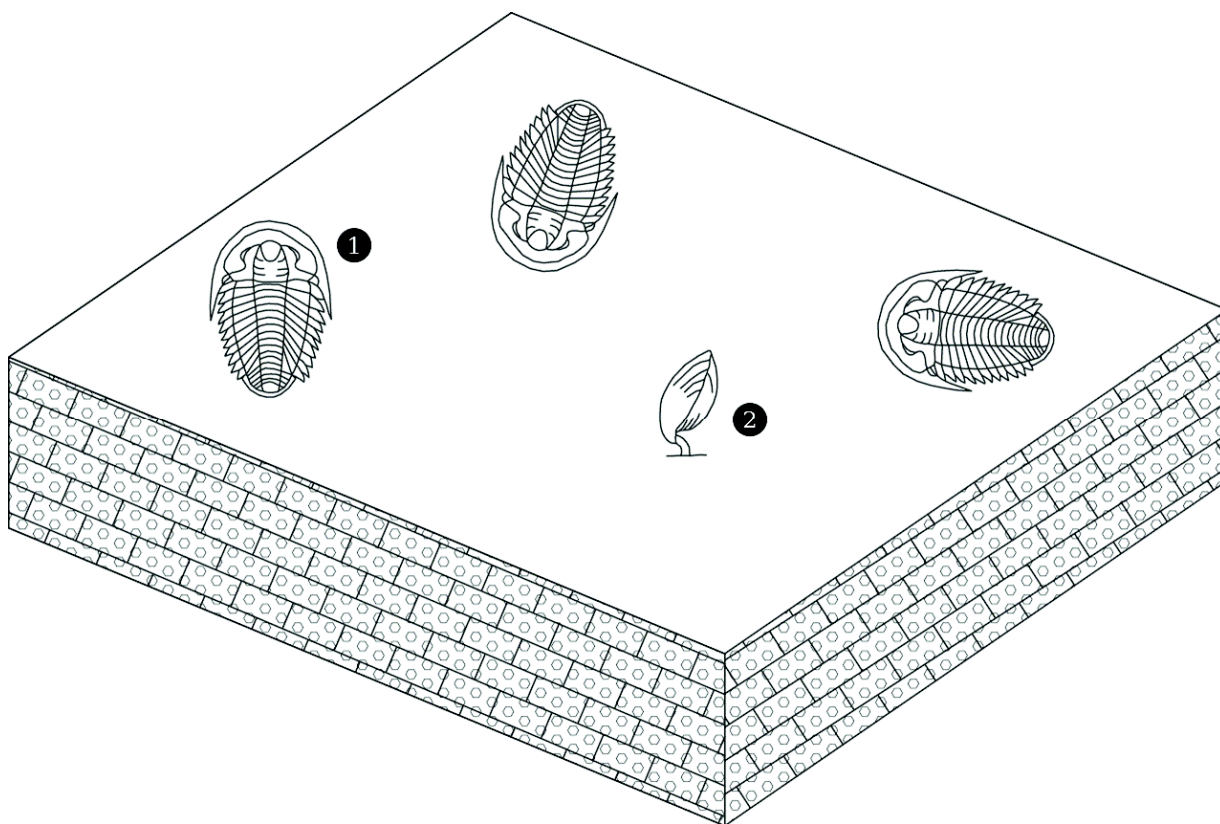


Figura 70. Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Cerro Prieto en un sustrato calcáreo con oolitas. 1. *Amecephalus arrojensis* y 2. Braquiópodo indeterminado.

II.6.4. Formación El Gavilán

Para la Formación El Gavilán se tiene un total de 583 individuos distribuidos en 16 especies. En las cinco estaciones muestreadas se observan diferentes especies dominantes, sin embargo, sobresale en la Estación 2 la presencia de *Acrothele concava* con 180 individuos. La relación de especies indica en todos los casos una varianza mayor que la media, sugiriendo una distribución de tipo Agrupada y con un tratamiento estadístico de tipo Binomial negativo (Tabla 25).

Tabla 25. Distribución de especies por estrato. Can= Cantidad de individuos, Var= Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.

Estrato	Especie	Can	Var	Media	Distribución	Tratamiento
1	<i>Diagoniella</i> sp. A	4			Agregada	Binomial negativo
	<i>Chancelloria eros</i>	2	9.7	4.8		
	<i>Acrothele concava</i>	10				

	<i>Dictyonina minutipuncta</i>	3				
	<i>Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis</i>	5				
	<i>Acrothele concava</i>	180				
	<i>Dictyonina minutipuncta</i>	5				
	<i>Prototreta attenuata</i>	1				
	<i>Haplophrentis reesei</i>	1				
2	<i>Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis</i>	13	3382.02	25.55	Agregada	Binomial negativo
	<i>Bathyriscus sp. A</i>	2				
	<i>Oryctocephalites walcotti</i>	10				
	<i>Ogygopsis typicalis</i>	3				
	<i>Elrathina antiqua</i>	15				
	<i>Acrothele concava</i>	20				
	<i>Dictyonina ornatella</i>	3				
	<i>Haplophrentis reesei</i>	1				
	<i>Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis</i>	20				
3	<i>Ptychagnostus praecurrens</i>	1	132.45	9.7	Agregada	Binomial negativo
	<i>Bathyriscus sp. A</i>	2				
	<i>Oryctocephalus sp. A</i>	2				
	<i>Oryctocephalites walcotti</i>	8				
	<i>Ogygopsis typicalis</i>	5				
	<i>Elrathina antiqua</i>	35				
	<i>Acrothele concava</i>	10				
	<i>Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis</i>	50				
	<i>Pagetia resseri</i>	30				
4	<i>Bathyriscus sp. A</i>	1	571.07	19.75	Agregada	Binomial negativo
	<i>Oryctocephalus sp. A</i>	2				
	<i>Oryctocephalites walcotti</i>	2				
	<i>Ogygopsis typicalis</i>	3				
	<i>Elrathina antiqua</i>	60				
5	<i>Lingulella proveedorensis</i>	1	249.66	18.5	Agregada	Binomial negativo

<i>Pentagnostus</i> (<i>Meragnostus</i>) <i>bonnerensis</i>	12
<i>Pagetia resseri</i>	38
<i>Elrathina antiqua</i>	23

Índices ecológicos

De los índices ecológicos obtenidos se tiene para la Estación 1 un total de 24 individuos distribuidos en 5 especies con una dominancia de Simpson de 0.26 indicando que existen varias especies dominantes, y las cuales corresponden a *Acrothele concava* representada por 10 individuos y *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis* con 5 individuos. El resto de las especies varían entre 2 y 4, siendo la especie menos representada *Chancelloria eros* solamente con 2 individuos. Para la equitatividad de Simpson, representando el grado de igualdad en la distribución de especies se tiene un índice de 0.73 debido a que las especies de la comunidad (estrato 1) presentan un número de individuos similar (2, 3, 4, 5 y 10). La diversidad de Shannon H indica un resultado de 1.45, sugiriendo que la probabilidad de tomar una determinada especie al azar es alta. El índice de Menhinick indica un resultado de 1.02 y la riqueza total de Chao proporciona un valor de 5 (Tabla 26).

La Estación 2 posee un total de 230 individuos distribuidos en 9 especies, con una dominancia de Simpson de 0.62 indicando la existencia de una especie dominante, correspondiendo con *Acrothele concava* con 180 individuos. El resto de especies varían en número de individuos de 1 a 15, sin embargo, las especies menos comunes o que pueden ser consideradas como raras corresponden con *Prototreta attenuata* y *Haplophrentis reesei* con 1 individuo respectivamente. Para la equitatividad de Simpson se tiene un resultado de 0.37 debido a que la distribución de las especies no es uniforme respecto al número de individuos. La diversidad de Shannon indica un valor de 0.89 debido a que las especies están representadas por un número similar de individuos a excepción de la especie dominante. El índice de Menhinick indica un valor de 0.59 y finalmente el índice de riqueza total de Chao proporciona un valor de 9.5 (Tabla 26).

Para la Estación 3 se tienen 97 individuos distribuidos en 10 especies. La dominancia de Simpson muestra un valor de 0.22 debido a que existen varias especies dominantes, correspondiendo con *Elrathina antiqua* con la presencia de 35 individuos, *Acrothele concava* y *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis* con 20 individuos respectivamente. El resto de las especies varían en número de individuos de 1 a 8, pudiéndose considerar a *Haplophrentis reesei* y *Ptychagnostus praecurrens* como especies raras para esta comunidad, debido a que solamente están representadas por 1 individuo respectivamente. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.77 debido a que la distribución de especies es aproximadamente uniforme. La diversidad de Shannon H corresponde a 1.73 debido a que las especies están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos, incluyendo especies dominantes, especies subordinadas y especies raras. El índice de Menhinick indica un valor de 1.01 y la riqueza total de Chao proporciona un valor de 10.33 (Tabla 26).

La Estación 4 posee un total de 158 individuos distribuidos en 8 especies. La dominancia de Simpson presenta un valor de 0.28 indicando la presencia de varias especies dominantes correspondiendo con *Elrathina antiqua* con 60 individuos, *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis* con 50 individuos y *Pagetia resseri* con 30 individuos. *Bathyriscus* sp. A corresponde con la especie menos representada teniendo solamente 1 individuo. El resto de las especies varían de 2 a 10 individuos. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.71 debido a que la distribución de especies respecto al número de individuos es uniforme, ya que *Elrathina antiqua*, *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis* y *Pagetia resseri* tienen un número de representantes similares en individuos (30, 50 y 60). La diversidad de Shannon H indica un valor de 1.44 debido a que las especies están representadas aproximadamente por el mismo número de individuos. El índice de Menhinick indica un valor de 0.63 y la riqueza total de Chao representa un valor 8 (Tabla 26).

Para la Estación 5 se tiene un total de 74 individuos distribuidos en 4 especies. La dominancia de Simpson indica un valor de 0.46, sugiriendo que algunas especies se encuentran representadas de la misma manera. La especie dominante corresponde a *Pagetia resseri* con 38 individuos, así como *Elrathina antiqua* con 23 ejemplares. *Lingulella proveedorensis* corresponde a una especie rara representada únicamente por 1 individuo. La equitatividad de Simpson indica un valor de 0.66 debido a que la distribución de especies respecto al número de

individuos no es muy similar. La diversidad de Shannon H indica un valor de 1.17 debido a que existe una alta diversidad. El índice de Menhinick indica un valor de 0.46 y finalmente la riqueza de especies de Chao proporciona un valor de 4 (Tabla 26).

Tabla 26. Índices ecológicos utilizados para la Formación El Gavilán por estación.

Índice	Estación				
	1	2	3	4	5
No. Taxa	5	9	10	8	4
Individuos	24	230	97	158	74
Dominancia Simpson	0.26	0.62	0.22	0.28	0.46
Simpson 1-D	0.73	0.37	0.77	0.71	0.66
Shannon H	1.45	0.89	1.73	1.44	1.17
Menhinick	1.02	0.59	1.01	0.63	0.46
Chao	5	9.5	10.33	8	4

Dominancia de Simpson

En el análisis detallado de la dominancia de Simpson (Tabla 27) se observa que la estación con la presencia de una especie claramente dominante es la Estación 2 con un valor de 0.62 y con intervalos de confianza inferior de 0.54 y superior de 0.70. La estación con una menor dominancia corresponde a la Estación 3, con una dominancia de 0.22 y con intervalos de confianza inferior de 0.18 y superior de 0.28. El resto de las estaciones (1, 4 y 5) varían de 0.26 a 0.38, sin embargo, las estaciones que presentan mayor similitud son la estación 1, 3 y 4.

Tabla 27. Dominancia de Simpson para la Formación El Gavilán.

Estación	Dominancia	Inferior	Superior
1	0.26	0.21	0.42
2	0.62	0.54	0.70
3	0.22	0.18	0.28
4	0.28	0.25	0.32
5	0.38	0.33	0.46

Equitatividad de Simpson 1-D

Para el análisis detallado de la equitatividad de Simpson (Tabla 28) se observa que el grado en la distribución de especies respecto a individuos varía cerca del 0.70. La estación con

menos equitatividad corresponde a la Estación 2 con un valor de 0.37 con intervalos de confianza inferior de 0.29 y superior de 0.45; aunque en dominancia de Simpson presentó el valor más alto (0.62). La estación con mayor equitatividad corresponde a la Estación 3 con un valor de 0.77 y con intervalos de confianza inferior de 0.71 y superior de 0.81, aunque en dominancia de Simpson presentó el valor más bajo (0.22). El resto de las estaciones (1, 4 y 5) poseen valores similares (0.73, 0.71 y 0.61).

Tabla 28. Equitatividad de Simpson para la Formación El Gavilán.

Estación	Equitatividad	Inferior	Superior
1	0.73	0.57	0.78
2	0.37	0.29	0.45
3	0.77	0.71	0.81
4	0.71	0.67	0.74
5	0.61	0.53	0.66

Diversidad de Shannon H'

La diversidad de Shannon H varía de 0.89 a 1.73 (Tabla 29). La estación con mayor diversidad Shannon H corresponde a la Estación 3 con un valor de 1.73 y con intervalos de confianza inferior de 1.54 y superior de 1.88, a diferencia de la dominancia de Simpson en la cual tuvo el valor más bajo (0.22). La Estación 2 corresponde a la de menor diversidad Shannon H con valor de 0.89 e intervalos de confianza inferior de 0.73 y superior de 1.05. Las estaciones similares respecto al índice de Shannon corresponden a 1 (H=1.45) y 4 (H=1.44), mientras que la Estación 5 presenta un valor inferior de H=1.05.

Tabla 29. Diversidad de Shannon para la Formación El Gavilán.

Estación	Diversidad	Inferior	Superior
1	1.45	1.15	1.56
2	0.89	0.73	1.05
3	1.73	1.54	1.88
4	1.44	1.33	1.55
5	1.05	0.94	1.17

Riqueza de especies de Menhinick

Para el análisis detallado de la riqueza de especies de Menhinick se tiene que la estación con mayor riqueza de especies corresponde a la Estación 1 con un valor de 1.02, mientras que la estación con menor riqueza de especies corresponde a la Estación 5 con un valor de 0.46 (Tabla 30).

Tabla 30. Riqueza de especies de Menhinick para la Formación El Gavilán.

Estación	Riqueza	Inferior	Superior
1	1.02	1.02	1.02
2	0.59	0.59	0.59
3	1.01	0.81	1.01
4	0.63	0.63	0.63
5	0.46	0.46	0.46

Riqueza de especies de Chao

En análisis de riqueza total de especies de Chao (Tabla 31) muestra como las estaciones 2 y 3 poseen el valor más alto (9.5 y 10.33), mientras que las estaciones con valores inferiores corresponden a las estaciones 1, 4 y 5 con 5, 8 y 4 respectivamente.

Tabla 31. Riqueza de especies de Chao para la Formación El Gavilán.

Estación	Riqueza	Inferior	Superior
1	5	5	6
2	9.50	9	12
3	10.33	8	16
4	8	8	11
5	4	4	4

Curva de rarefacción

Para las curvas de rarefacción en las cuales se muestran número de especies vs números de individuos se observan que las curvas que alcanza un valor asintótico corresponden a las de las estaciones 1, 4 y 5, mientras que las curvas de las estaciones 2 y 3 se mantienen con una tendencia a aumentar, sin embargo, estas estaciones son las de mayor diversidad (Figura 71).

Tabla 32. Datos utilizados para la elaboración de la curva de rarefacción para la Formación El Gavilán.

Muestra	1	2	3	4	5
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.76	1.38	1.78	1.72	1.61
3	2.36	1.62	2.40	2.25	2.00
4	2.83	1.81	2.91	2.65	2.26
5	3.22	2.00	3.33	2.95	2.44
6	3.53	2.18	3.69	3.20	2.57
7	3.79	2.34	4.00	3.40	2.67
8	4.01	2.51	4.27	3.57	2.74
9	4.19	2.66	4.50	3.71	2.80
10	4.35	2.81	4.72	3.84	2.84
11	4.48	2.95	4.92	3.95	2.87
12	4.59	3.09	5.10	4.06	2.90
13	4.68	3.22	5.26	4.15	2.92
14	4.75	3.35	5.42	4.24	2.94
15	4.81	3.47	5.57	4.32	2.95
16	4.86	3.59	5.71	4.40	2.96
17	4.90	3.70	5.84	4.47	2.97
18	4.93	3.81	5.96	4.55	2.98
19	4.96	3.91	6.08	4.61	2.98
20	4.98	4.01	6.20	4.68	2.99
21	4.99	4.11	6.31	4.74	2.99
22	5.00	4.20	6.41	4.80	2.99
23	5.00	4.29	6.52	4.86	2.99
24	5.00	4.38	6.62	4.92	3.00
25		4.47	6.71	4.98	3.00
26		4.55	6.80	5.03	3.00
27		4.63	6.89	5.08	3.00
28		4.70	6.98	5.14	3.00
29		4.78	7.07	5.19	3.00
30		4.85	7.15	5.24	3.00
31		4.92	7.23	5.28	3.00
32		4.98	7.31	5.33	3.00
33		5.05	7.38	5.38	3.00
34		5.11	7.46	5.42	3.00
35		5.17	7.53	5.47	3.00
36		5.23	7.60	5.51	3.00

37	5.29	7.67	5.55	3.00
38	5.34	7.74	5.60	3.00
39	5.40	7.80	5.64	3.00
40	5.45	7.86	5.68	3.00
41	5.50	7.93	5.72	3.00
42	5.55	7.99	5.76	3.00
43	5.60	8.05	5.80	3.00
44	5.65	8.11	5.83	3.00
45	5.70	8.16	5.87	3.00
46	5.74	8.22	5.91	3.00
47	5.79	8.27	5.94	3.00
48	5.83	8.33	5.98	3.00
49	5.87	8.38	6.01	3.00
50	5.91	8.43	6.05	3.00
51	5.96	8.48	6.08	3.00
52	6.00	8.53	6.12	3.00
53	6.03	8.58	6.15	3.00
54	6.07	8.63	6.18	3.00
55	6.11	8.67	6.22	3.00
56	6.15	8.72	6.25	3.00
57	6.18	8.76	6.28	3.00
58	6.22	8.81	6.31	3.00
59	6.25	8.85	6.34	3.00
60	6.29	8.89	6.37	3.00
61	6.32	8.93	6.40	3.00
62	6.35	8.97	6.43	3.00
63	6.38	9.01	6.46	3.00
64	6.42	9.05	6.49	3.00
65	6.45	9.09	6.52	3.00
66	6.48	9.13	6.54	3.00
67	6.51	9.17	6.57	3.00
68	6.54	9.20	6.60	3.00
69	6.57	9.24	6.63	3.00
70	6.60	9.27	6.65	3.00
71	6.62	9.31	6.68	3.00
72	6.65	9.34	6.71	3.00
73	6.68	9.37	6.73	3.00
74	6.71	9.41	6.76	
75	6.73	9.44	6.78	
76	6.76	9.47	6.81	
77	6.79	9.50	6.83	
78	6.81	9.53	6.86	

79	6.84	9.56	6.88
80	6.86	9.59	6.90
81	6.89	9.62	6.93
82	6.91	9.64	6.95
83	6.94	9.67	6.97
84	6.96	9.70	7.00
85	6.99	9.72	7.02
86	7.01	9.75	7.04
87	7.03	9.77	7.06
88	7.06	9.80	7.08
89	7.08	9.82	7.10
90	7.10	9.85	7.12
91	7.12	9.87	7.15
92	7.15	9.89	7.17
93	7.17	9.92	7.19
94	7.19	9.94	7.21
95	7.21	9.96	7.23
96	7.23	9.98	7.24
97	7.25	10.00	7.26
98	7.27		7.28
99	7.29		7.30
100	7.31		7.32
101	7.33		7.34
102	7.35		7.35
103	7.37		7.37
104	7.39		7.39
105	7.41		7.41
106	7.43		7.42
107	7.45		7.44
108	7.47		7.46
109	7.49		7.47
110	7.51		7.49
111	7.53		7.50
112	7.54		7.52
113	7.56		7.53
114	7.58		7.55
115	7.60		7.56
116	7.62		7.58
117	7.63		7.59
118	7.65		7.61
119	7.67		7.62
120	7.68		7.63

121	7.70	7.65
122	7.72	7.66
123	7.73	7.67
124	7.75	7.69
125	7.77	7.70
126	7.78	7.71
127	7.80	7.72
128	7.82	7.73
129	7.83	7.75
130	7.85	7.76
131	7.86	7.77
132	7.88	7.78
133	7.89	7.79
134	7.91	7.80
135	7.92	7.81
136	7.94	7.82
137	7.95	7.83
138	7.97	7.84
139	7.98	7.85
140	8.00	7.86
141	8.01	7.87
142	8.03	7.88
143	8.04	7.89
144	8.06	7.90
145	8.07	7.91
146	8.08	7.91
147	8.10	7.92
148	8.11	7.93
149	8.13	7.94
150	8.14	7.95
151	8.15	7.95
152	8.17	7.96
153	8.18	7.97
154	8.19	7.97
155	8.21	7.98
156	8.22	7.99
157	8.23	7.99
158	8.24	8.00
159	8.26	
160	8.27	
161	8.28	
162	8.30	

163	8.31
164	8.32
165	8.33
166	8.35
167	8.36
168	8.37
169	8.38
170	8.39
171	8.41
172	8.42
173	8.43
174	8.44
175	8.45
176	8.46
177	8.48
178	8.49
179	8.50
180	8.51
181	8.52
182	8.53
183	8.54
184	8.55
185	8.56
186	8.58
187	8.59
188	8.60
189	8.61
190	8.62
191	8.63
192	8.64
193	8.65
194	8.66
195	8.67
196	8.68
197	8.69
198	8.70
199	8.71
200	8.72
201	8.73
202	8.74
203	8.75
204	8.76

205	8.77
206	8.78
207	8.79
208	8.80
209	8.81
210	8.82
211	8.83
212	8.84
213	8.85
214	8.86
215	8.87
216	8.88
217	8.88
218	8.89
219	8.90
220	8.91
221	8.92
222	8.93
223	8.94
224	8.95
225	8.96
226	8.97
227	8.97
228	8.98
229	8.99
230	9.00

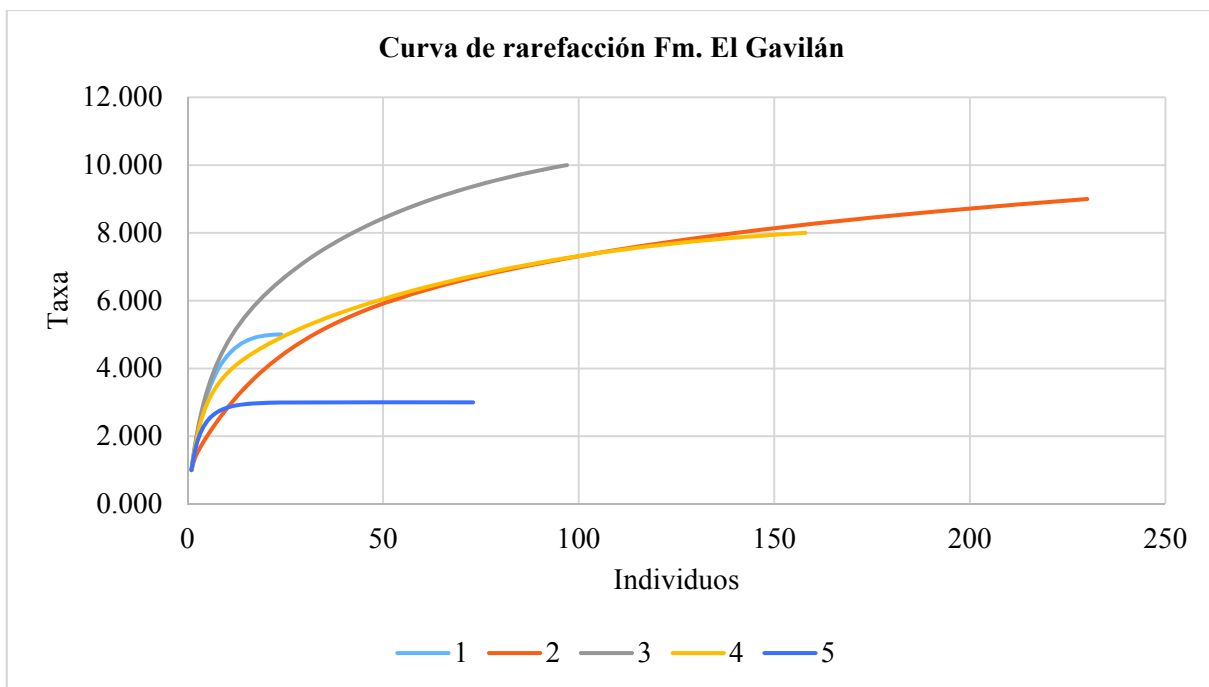


Figura 71. Curva de rarefacción para la Formación El Gavilán donde se muestran individuos vs taxa por estación (1-5).

Respecto al análisis del ambiente de depósito, según los estudios realizados por [Sundberg \(2011\)](#), en el área del sureste de Nevada, los depósitos delamarianos, 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. Las rocas de la plataforma exterior, está dominada principalmente por aguas profundas conteniendo lutita, caliza con bandas de lutita, pedernal 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 delamarianos 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 resseri*, *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. Con base en lo anterior y considerando la abundancia de agnóstidos (Figura 72), el ambiente de depósito de estas rocas es considerado de un ambiente de plataforma abierta (intermedia).

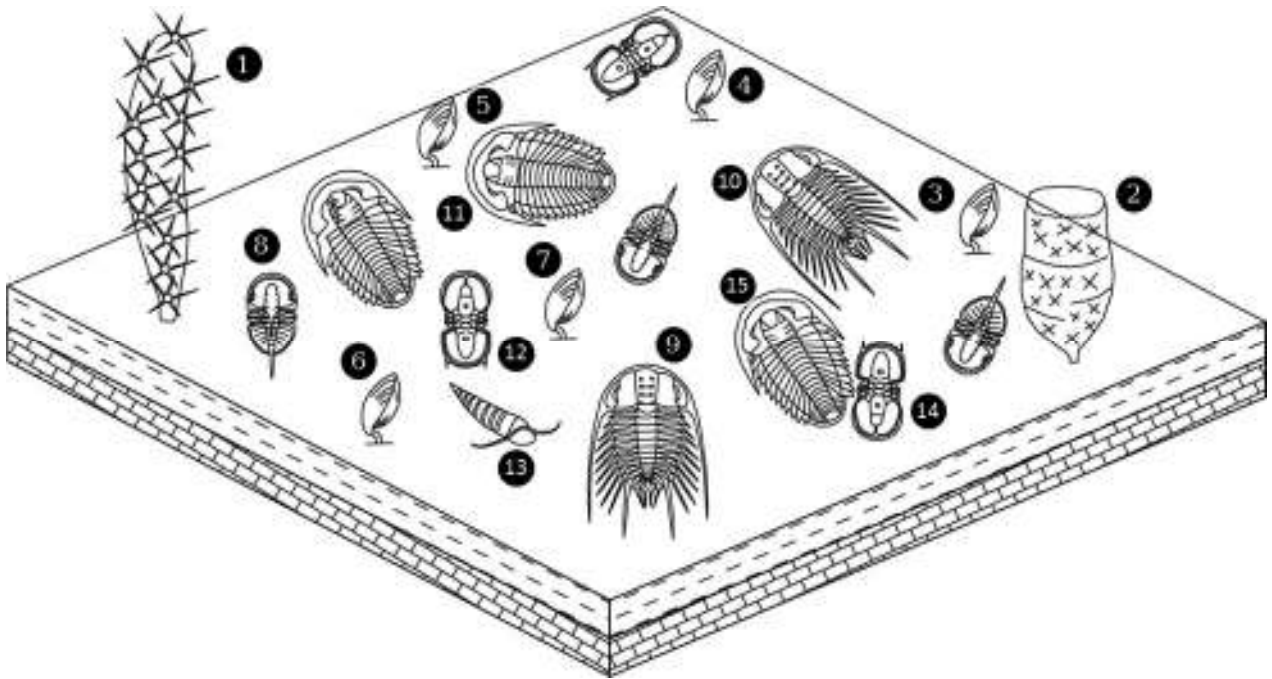


Figura 72. Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación El Gavilán en un sustrato siliciclástico. 1. *Chancelloria eros*, 2. *Diagoniella* sp., 3. *Acrothele concava*, 4. *Dictyonina minutipuncta*, 5. *Dictyonina ornatella*, 6. *Prototreta attenuata*, 7. *Lingulella proveedorensis*, 8. *Pagetia resseri*, 9. *Oryctocephalus* sp., 10. *Oryctocephalites walcotti*, 11. *Ogygopsis typicalis*, 12. *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis*, 13. *Haplophrentis reesei*, 14. *Ptychagnostus praecurrens*, 15. *Bathyriscus* sp.

II.6.5. Grupos funcionales

Formación Proveedora

1. Consumidores primarios-Descomponedores-infaunales

Suspensívoros -?Annelida-Polychaeta: *Arenicolites* isp., *Skolithos linearis* y *Skolithos* isp.

2. Consumidores secundarios-infaunales

Carnívoros -?Annelida-Polychaeta: *Planolites* isp. y *Thalassinoides* isp.

Detritívoros -?Arthropoda-Malacostraca: Organismos que crean madrigueras semejantes a las generadas por ?*Corophium*

Formación Buelna

1. Productores primarios-epifaunales

Epifaunal (sésil) -Cyanobacteria: *Girvanella* sp.

2. Consumidores primarios y secundarios, epifaunales

Herbívoros y suspensívoros, epifaunal (sésil) -Brachiopoda: *Obolella* sp.

Carnívoros y detritívoros, epifaunal (vágil) -Trilobita: *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y *Olenellus* sp.

Carnívoros y suspensívoros, epifaunal (sésil) -Echinodermata : *Gogia* sp.

Formación Cerro Prieto

1. Consumidores secundarios y epifaunales (vágil)

Carnívoros y detritívoros -Trilobita: *Amecephalus*

Formación El Gavilán

1. Consumidores primarios y epifaunales

Herbívoros, carnívoros y suspensívoros, epifaunal (sésil) -Porifera: *Diagoniella* sp.

Herbívoros y suspensívoros, epifaunales (sésil) -Brachiopoda: *Lingulella proveedorensis*, *Prototreta attenuata*, *Acrothele concava*, *Dictyonina minutipuncta* y *Dictyonina ornatella*.

2. Consumidores secundarios

Carnívoros y detritívoros, epifaunales (vágil) -Hyolitha: *Hyolithes sonora* y *Haplophrentis reesei*. **Trilobita:** *Elrathina antiqua*

Carnívoros y suspensívoros, nectónicos -Trilobita: *Pentagnostus* (*Meragnostus*) *bonnerensis*, *Ptychagnostus praecurrens* y *Pagetia resseri*.

Carnívoro, detritívoro, demersal -Trilobita: *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp., *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*

CAPITULO 3. REALIZAR UNA COMPARACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS DEL CÁMBRICO CON LOS ECOSISTEMAS MARINOS ACTUALES

El Período Cuaternario comprende el Pleistoceno y el Holoceno, representando los últimos 2.6 Ma de la historia de la Tierra. Durante este tiempo el clima ha sido fuertemente influenciado por las glaciaciones en los polos y destaca la aparición del género *Homo* (Pillans y Gibbard, 2012). El Holoceno se inicia hace unos 11 700 años, considerándose una época interglaciar en el que la temperatura del planeta se hizo más suave en comparación con el Dryas Reciente. Durante el Holoceno diversos casquetes glaciares desaparecieron, provocando el ascenso del nivel mar y proporcionando la configuración de tierra firme y océanos modernos.

Los océanos ocupan el 71% de la superficie terrestre y poseen una profundidad promedio de 3 800 m. Desde el punto de vista evolutivo son importantes debido a que todos los phyla conocidos se originaron en los mares primitivos y algunos migraron posteriormente hacia tierra firme. La ecología de los diferentes ecosistemas marinos está regida por diversos factores abióticos, entre los que se menciona la radiación solar, temperatura, salinidad, densidad y presión (Lalli y Parsons, 1997).

La radiación solar es fundamental para la vida en el planeta Tierra, parte de la radiación solar que penetra en el mar es absorbida por las plantas durante el proceso de fotosíntesis, convirtiendo la materia inorgánica en componentes orgánicos; otra parte de la radiación solar es absorbida por las moléculas de agua y es convertida en calor. La luz solar controla la distribución de las plantas y de algunos organismos respecto a la profundidad, debido a que influye directamente en la visión, ciclos fisiológicos, migraciones y alimentación (Lalli y Parsons, 1997).

Dependiendo de la cantidad de luz solar que penetra en la columna de agua se pueden diferenciar tres zonas: eufótica, disfótica y afótica. La zona eufótica comprende desde la superficie hasta unos 150 m, penetrando suficiente cantidad de luz para el crecimiento y reproducción de las plantas. La zona disfótica se encuentra debajo de la zona anterior, siendo una región donde los peces y algunos invertebrados pueden ver, sin embargo, la luz es demasiado baja como para que se lleve a cabo el proceso de fotosíntesis. Finalmente, la zona

afótica es la más profunda comprendiendo desde la zona anterior hasta los fondos abisales, en esta zona la luz no puede ser detectada y por lo tanto no existen plantas que realicen la fotosíntesis (Lalli y Parsons, 1997).

La temperatura es una de las propiedades físicas más importantes para el ambiente marino, debido a que controla las tasas a las cuales los procesos químicos y biológicos (metabolismo y crecimiento) se llevan a cabo. La temperatura y la salinidad se combinan para determinar la densidad del agua de mar, influyendo también en los gases que se encuentran disueltos como son oxígeno y dióxido de carbono. Lo anterior indica que la temperatura es un factor preponderante para la distribución de las especies. La temperatura de la superficie marina varía de latitud a latitud, generalmente en los trópicos posee una temperatura promedio de 30°C, mientras que en los polos puede alcanzar los -1.9°C (Lalli y Parsons, 1997).

La salinidad se refiere al contenido de sal presente en el agua de mar, y está ligada al clima global. La salinidad en la superficie marina se incrementa debido a que el agua se evapora y decrece debido a la adición de agua dulce de las precipitaciones. En latitudes altas la salinidad también decrece debido al hielo. La salinidad promedio de los océanos es de 35, teniendo los valores más altos en latitudes de 20-30° en ambos hemisferios, debido a que la radiación solar en estas zonas incrementa la evaporación. La mayoría de los invertebrados y peces primitivos poseen sus fluidos corporales con la misma salinidad que el agua de mar, teniendo diferentes consecuencias fisiológicas, como son los procesos osmóticos (Lalli y Parsons, 1997).

La densidad (masa por unidad de volumen) del agua marina se encuentra definida por la temperatura y salinidad. Mientras la salinidad aumenta la densidad aumenta, cuando la temperatura aumenta la densidad disminuye. El clima global establece la distribución de la salinidad y temperatura en las capas de la superficie marina. La combinación de cuerpos de agua con diferentes densidades proporciona las masas de agua, las cuales a su vez poseen diferentes comunidades de organismos. Los movimientos verticales del agua marina está controlada por la salinidad y la temperatura, los cuales varían con la densidad (Lalli y Parsons, 1997).

La presión es otro factor ambiental que afecta la vida en los océanos. La presión está determinada por el peso del agua sobreyacente en una columna de agua por unidad a una profundidad determinada. Muchos organismos marinos están sujetos a grandes presiones. Se

considera que en las cuencas oceánicas profundas los organismos soportan una presión de 1000 atm, existiendo también organismos que migran verticalmente distancias de cientos de metros experimentando varios cambios en la presión.

A continuación, se hace una comparación de los ecosistemas marinos del Cámbrico con los ecosistemas marinos del Holoceno, considerando los ambientes proporcionados por cada formación estudiada en este trabajo.

Formación Proveedora

La litología de la Formación Proveedora consiste principalmente en cuarzoarenita de grano fino a grueso, la cual presenta estratificación laminar y cruzada. También en esta unidad se recolectaron abundantes icnofósiles, caracterizados por constituir estructuras profundas (10-15 cm) respecto al plano de estratificación.

Los sedimentos de la Formación Proveedora son semejantes a los que se originan en los litorales costeros de tipo arenoso, donde predominan las arenas y en menor proporción las gravas (Einsele, 2000). Los procesos sedimentarios en estos ambientes están dominados principalmente por olas, mareas y corrientes; transportando hacia la línea de costa potentes capas de sedimentos que se conservan en el registro geológico (Reineck y Singh, 1980). Los granos de arena proceden de fragmentos de rocas preexistentes que fueron sometidas a los procesos de intemperismo y erosión, así como de material que se encuentra en el medio de depósito. Nichols (2009) define las arenas como sedimentos que consisten de un tamaño de grano de 0.063 μm a 2 mm, y están constituidas principalmente por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca.

Desde el punto de vista ecológico, los organismos requieren adaptaciones especiales para vivir en estos ambientes debido a que las condiciones físicas y del sustrato son inestables, en el sentido de que los granos de arena son constantemente removidos por el oleaje y corrientes.

En estos ecosistemas es posible observar algunos grupos funcionales, los productores primarios bentónicos dominantes son diatomeas, dinoflagelados y algas verde-azules, encontrándose restringidos a la capa superficial debido a que la luz del sol no penetra los sedimentos. Se ha calculado que la productividad primaria en estos ecosistemas es muy baja y

por lo tanto depende de la energía derivada de la productividad primaria de las zonas aledañas, así como de los detritos que llegan a la línea de costa (Lalli y Parsons, 1997).

Por otra parte, la fauna presenta una baja diversidad en comparación con playas rocosas o comunidades que habitan sedimentos arcillosos. Los poliquetos, bivalvos y crustáceos son los miembros dominantes en términos de biomasa. En latitudes templadas las zonas supramareales son ocupadas por anfipodos (Crustacea-Amphipoda) y en ocasiones por isópodos (Crustacea-Isopoda), los cuales remueven arena durante el día y se alimentan de detritos por la noche. En las playas tropicales dominan cangrejos como *Ocypode* de hábitos carroñeros. Las zonas intermareales e inframareales dan soporte a una gran diversidad de macrofauna, como son almejas con forma de cuña que crean madrigueras (*Donax* y *Tellina*) y emigran de manera vertical conforme cambia la marea. Almejas similares a navajas (*Ensis* y *Siliqua*) las cuales se encuentran confinadas a costas arenosas siendo excavadoras. También existen almejas con conchas más gruesas que se colocan firmemente sobre el sustrato y poseen movimientos limitados (*Cardium* y *Macoma*). Los bivalvos son suspensívoros o detritívoros, existiendo algunas especies que pueden aprovechar ambos tipos de alimentos. De manera general, los detritívoros habitan las arenas finas debido a que la concentración de material orgánico es mayor que en las arenas gruesas (Lalli y Parsons, 1997).

Los gasterópodos también son formas comunes en estos ambientes, destacando *Oliviella*, *Natica* y *Polinices*, siendo formas depredadoras de bivalvos y alimentándose perforando sus conchas. Pocos organismos forman madrigueras debido a que la acción del oleaje y el tamaño de grano de las arenas provocan su colapso, sin embargo, existen excepciones, como en los gusanos poliquetos que crean madrigueras fijándolas con mucus o material membranoso lo cual les da estabilidad (Lalli y Parsons, 1997).

Los anélidos son vermiformes segmentados, con la presencia de cerebro y órganos sensoriales, siendo documentados en ambientes terrestres y acuáticos, con una historia evolutiva del Cámbrico al Holoceno. Dentro de los anélidos, los poliquetos son el grupo de vermes marinos más diversos. Ecológicamente pueden ser separados en los que se desplazan activamente por el sustrato a través de la arena-arcilla, y aquellos que habitan tubos o madrigueras de forma permanente. La mayoría de las especies que se desplazan, así como

algunos de los formadores de madrigueras son carnívoros y se alimentan de varios invertebrados que son capturados por las mandíbulas. Algunos de los que forman madrigueras son detritívoros y consumen arena o arcilla directamente con la boca, otros son detritívoros a través de una estructura similar a un tentáculo que se extiende en el sustrato, finalmente, algunas especies sedentarias son suspensívoras, utilizando apéndices especiales colocados en la cabeza para coleccionar plancton y detritos suspendidos en la columna de agua (Lalli y Parsons, 1997).

Los crustáceos habitan la zona intermareal destacando formas como *Emerita* de hábitos seminfaunales, proyectando a la superficie solamente las antenas que capturan partículas y las llevan hacia la boca. En las zonas inframareales destacan equinodermos de varios tipos, como son holoturias y erizos de hábitos filtradores.

Por otra parte, las trazas fósiles son estructuras producidas en el sustrato a partir de la actividad de un organismo, preservándose en el registro fósil (Buatois y Mángano in Camacho, 2007), y las cuales pueden ser excavaciones, huellas y perforaciones.

Los icnofósiles documentados en la Formación Proveedora corresponden a *Arenicolites* isp., *Planolites* isp., *Skolithos* isp., *Skolithos linearis* y *Thalassinoides* isp., los cuales corresponden a estructuras predominantemente verticales, cilíndricas o con forma de U así como pocas estructuras formadas por organismos vágiles (Pemberton *et al.*, 1992). Como ya se ha mencionado antes, pistas semejantes pueden ser originadas por diversos organismos, sin embargo, las pistas encontradas en esta unidad posiblemente fueron originadas por organismos infaunales semejantes a anélidos y/o artrópodos. Algunas pistas también son comparadas con las que realizan los bivalvos de los géneros *Mya* y *Macoma*, no obstante, aunque existen registros de bivalvos para el Cámbrico inferior estos son muy escasos, iniciando su diversificación durante el Ordovícico. Con base en lo anterior y considerando la edad de la Formación Proveedora (Cámbrico temprano) estas pistas no pueden ser asignadas a bivalvos, siendo asignadas a anélidos (poliquetos) y artrópodos primitivos que producen pistas similares a las de *Corophium*.

Las trazas fósiles identificadas en la Formación Proveedora han sido agrupadas en dos categorías principales, todos infaunales: 1) Consumidores primarios-descomponedores, dentro del cual se distinguen suspensívoros y donde son incluidos *Arenicolites* isp., *Skolithos* sp. y

Skolithos linearis. 2) Consumidores secundarios, donde se distinguen carnívoros (*Planolites* isp. y *Thalassinoides*) y detritívoros debido a la presencia de pistas similares a las generadas por *Corophium*.

Con base a los estudios de petrografía y de icnofósiles llevados a cabo en la Formación Proveedora es posible identificar el ambiente de depósito. El estudio de la asociación de icnogéneros indica la icnofacies de *Skolithos*. La icnofacies de *Skolithos* corresponde a medios depositacionales de elevada energía hidrodinámica y transporte, habitualmente donde se llevan a cabo frecuentemente 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).

Los depósitos cámbricos de la Formación Proveedora pueden ser comparados con las playas modernas o barras de arena de las lagunas costeras, donde existen fenómenos erosivos y organismos que crean madrigueras profundas para resistir la energía hidrodinámica. Cabe señalar que dentro del grupo de los poliquetos, en México se han reportado 1 500 especies, distribuidas en 460 géneros, siendo referenciados en ambos litorales mexicanos (Tovar-Hernández *et al.*, 2014), por lo tanto, el depósito puede ser comparado con cualquier litoral arenoso.

Formación Buelna

La litología de la Formación Buelna está constituida por una secuencia de caliza intercalada con lutita, con una biota fósil representada por algas oncolíticas, braquiópodos, hiolítidos, trilobites y equinodermos. En las calizas se observa en ocasiones la presencia de aporte terrígeno del exterior.

Los sedimentos de la Formación Buelna son semejantes a los que se originan en el ambiente marino somero, particularmente en las plataformas carbonatadas tropicales, donde

predominan los carbonatos y en menor proporción los sedimentos detríticos finos como los limos y arcillas. Los carbonatos marinos someros se forman por la sedimentación llevada a cabo por partículas carbonatadas, las cuales tienen su origen en procesos bióticos y abióticos, así como por estructuras arrecifales construidas por diversos organismos (Schneider *et al.*, 2006).

Para Schneider *et al.* (2006) los carbonatos marinos someros pueden ser clasificados en arrecifes coralinos y plataformas carbonatadas. Los arrecifes coralinos constituyen los ambientes marinos modernos con mayor producción de carbonatos, los cuales se originan a partir de la acreción de corales, algas verdes y en menor cantidad foraminíferos. Por otra parte, las plataformas carbonatadas constituyen ambientes tropicales y subtropicales donde altas cantidades de carbonatos son producidos y acumulados en aguas con profundidades menores a 50 m. En comparación con los arrecifes coralinos las plataformas carbonatadas poseen una importancia menor, y la producción de carbonatos es llevada a cabo principalmente por algas verde-azul, moluscos y foraminíferos bentónicos.

Las plataformas carbonatadas tropicales se caracterizan debido a que la precipitación de carbonatos está controlada por factores bióticos. Los organismos que construyen este tipo de plataforma son principalmente corales, algas verde-azules, foraminíferos, moluscos y equinodermos. Este tipo de plataformas se encuentran principalmente en aguas cálidas (más de 20°C), con salinidad normal y alta presencia de oxígeno y pocos nutrientes, ubicadas principalmente entre los 30° N y 30° S del ecuador (Carannante *et al.*, 1988).

Para estos ecosistemas, los grupos funcionales mayormente representados son los productores primarios, integrados por algas verde-azules, diatomeas y dinoflagelados. Consumidores primarios y secundarios están dados por corales, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos, entre otros.

De los grupos fósiles conservados en la Formación Buelna, las algas calcáreas y los equinodermos son formas comunes presentes en los mares actuales, destacando su presencia en las plataformas carbonatadas tropicales.

Las algas oncolíticas son incluidas dentro de las cianobacterias, siendo organismos procariotas fotosintéticos que capturan la luz solar utilizando clorofila *a*, así como varios

pigmentos accesorios (Vicent, 2009). Las formas de las cianobacterias en el fitoplancton actual marino pueden ser filamentosas en cadena denominada tricoma, cadenas de células cocoides o células esféricas. Algunas de sus especies son importantes debido a que son muy abundantes en el planeta y contribuyen de manera preponderante la productividad planctónica marina y a los ciclos del carbono y nitrógeno (Hernández-Becerril, 2014). Las cianobacterias son formas comunes en los lagos, estanques, tierras bajas y en el ambiente marino.

La aparición de las cianobacterias en el registro fósil es controversial debido a la interpretación errónea de algunos fósiles del Precámbrico, sin embargo, se considera que aparecieron hace más de dos mil millones de años, desempeñando un papel fundamental en la acumulación de oxígeno en el planeta (Vicent, 2009). Durante el Cámbrico las cianobacterias se expandieron rápidamente, siendo muy abundantes y construyendo arrecifes (Riding, 2000). Las algas calcificadas y las cianobacterias del Cámbrico se clasifican en siete grupos: Cyanobacteria (*Angusticellularia*, *Botomaella*, *Girvanella* y *Obruchevella*), posible Cyanobacteria (*Epiphyton*, *Proaulopora* y *Renalcis*), Microproblemática (*Chabakovia*, *Nuia* y *Wetheredella*), posible Dasycladales (*Amgaella*) y Problemática que en ocasiones ha sido asignado a algas rojas (*Cambroporella*, *Eldesteinia* y *Lenaella*), reconociéndose 21 géneros, sin embargo, durante la segunda mitad del siglo XX, se crearon alrededor de 125 géneros por paleontólogos rusos (Riding, 2000). Las cianobacterias actuales incluyen aproximadamente 2000 especies distribuidas en 150 géneros y 5 órdenes (Vicent, 2009).

Las preferencias ecológicas de los diversos grupos de cianobacterias durante el Cámbrico ha sido documentada por varios investigadores, existiendo un consenso para *Girvanella* y *Epiphyton* como habitantes de ambientes de alta energía, margen de plataforma y rampa interior, asociadas a caliza de tipo framestone (Riding, 2000). Actualmente las cianobacterias han sido documentadas como películas perifíticas en las rocas, sedimentos y plantas sumergidas; formadoras de *bloom* provocando un amplio rango de problemas de calidad de agua, siendo comunes en lagos ricos en nutrientes (eutróficos); y las picocianobacterias las cuales forman células extremadamente pequeñas, menores a 3 micras de diámetro y que son abundantes en aguas claras. También existen formas comunes en aguas mesotróficas y otras extremadamente salinas, por lo tanto muestran una gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales (Vicent, 2009).

Para el fitoplancton marino actual se han considerado pocos géneros de cianobacterias, distribuidos en 7 a 10 especies. En aguas mexicanas de ambos litorales se han reconocido los géneros *Prochlorococcus*, *Synechococcus* (sur del Golfo de México) y *Trichodesmium* (Hernández-Becerril, 2014). En el área de Baja California Sur se han reportado géneros de cianobacterias en ecosistemas hipersalinos, substratos marinos, estanques hidrotermales y granjas camaroneras. En Bahía Concepción se reporta la presencia de *Dermocarpa* sp., *Hyella* sp., *Geitlerinema* sp. y *Trychonema* sp., siendo consideradas como importantes productores primarios marinos, especialmente para el bentos (López-Cortés *et al.*, 2001). Para el área de Yucatán se reportan 14 especies en ambientes cársticos que varían con la salinidad (Tavera *et al.*, 2012).

Los braquiópodos constituyen uno de los phyla más recurrentes en el registro fósil, debido a su abundancia, diversidad y amplia distribución geográfica. En la actualidad habitan ambientes un poco más profundos en relación a los nichos que ocupaban en el pasado geológico cuando constituían faunas dominantes en el ambiente somero. Tuvieron su primera radiación adaptativa durante el Cámbrico temprano y se diversificaron rápidamente durante el Paleozoico, dominando los ambientes marinos someros bentónicos. Son muy abundantes en las rocas sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico, para las cuales se han documentado aproximadamente 12 000 especies (Brusca y Brusca, 2005), a diferencia de la población actual para la cual se calculan unas 335 especies distribuidas en 120 géneros (Brusca y Brusca, 2005), habitando desde la zona intermareal hasta profundidades abisales (Benton y Harper, 2009). Las faunas de braquiópodos del Cámbrico formaron paleocomunidades cercanas a la línea de costa.

Los hiolítidos y los trilobites a pesar de tener una historia evolutiva compleja a través de todo el Paleozoico, constituyendo formas comunes por más de 300 Ma, desaparecieron durante la gran Extinción del Pérmico-Triásico; sus hábitos y requerimientos ecológicos, así como su morfología funcional solo pueden ser interpretados por medio de anatomía comparada y sedimentos en que comúnmente se encuentran. En efecto, los hiolítidos ocupan una posición sistemática controversial, la mayoría de las veces comparados con los cefalópodos, gasterópodos y escafópodos. Actualmente son incluidos dentro de la clase Hyolitha Marek, 1963, dentro del Phylum Mollusca.

El grupo de los hiolítidos 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 (Landing, 1993).

Por otra parte, la sistemática de los trilobites plantea ciertos problemas debido al desconocimiento anatómico de sus partes blandas y desarrollo ontogénico, así como los frecuentes casos de convergencia morfológica y/o especiación. Frecuentemente han sido comparados con los crustáceos, sin embargo, son incluidos en la Clase Trilobita dentro de los Arthropoda.

La biota fósil identificada en la Formación Buelna ha sido agrupada en dos categorías principales, todos epifaunales: 1) Productores primarios-epifaunales, dentro del cual se distinguen epifaunales sésiles como *Girvanella* sp. (Cyanobacteria). 2) Consumidores primarios y secundarios, dentro del cual se distinguen tres subgrupos: Herbívoros y suspensívoros sésiles dentro del cual se incluye a *Obolella* sp. (Brachiopoda). Carnívoros y detritívoros vágiles conteniendo a *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y *Olenellus* sp. (Trilobita), y finalmente Carnívoros y suspensívoros sésiles incluyendo a *Gogia* sp. (Echinodermata).

Con base a los estudios paleoecológicos llevados a cabo en la Formación Buelna es posible identificar el ambiente de depósito. La asociación biótica indica un ambiente marino somero de salinidad normal, principalmente tropical, con variaciones en la intensidad de energía de depósito. En la parte inferior de la unidad se tiene una comunidad bentónica con formas principalmente sésiles, como son braquiópodos, hiolítidos, trilobites y equinodermos. En esta comunidad era recurrente el aporte detrítico del exterior, principalmente cuarzo, el cual podría haberse generado por corrientes submarinas y/o tormentas intempestivas.

En la parte superior de la unidad se tiene una población de igual manera bentónica sésil, con la presencia algas, hiolítidos y trilobites, pero depositadas en aguas con mayor energía, propiciando la formación de oncolitos como *Girvanella*. Como ya se discutió anteriormente estas estructuras generalmente se forman en ambientes de alta energía, como son márgenes de plataforma y rampa interior.

Las comunidades bentónicas representadas en la Formación Buelna pueden ser comparadas con las desarrolladas en las plataformas carbonatadas tropicales actuales, principalmente las localizadas en el Océano Atlántico y delimitadas a los 30° N y 30° S respecto al ecuador, como es la plataforma de las Bahamas y la plataforma del sur de Florida.

La plataforma carbonatada de las Bahamas provee un ejemplo de sedimentos carbonatados con poco aporte de terrígenos, principalmente aquellos eólicos y que fueron transportados desde del Sahara (Swart *et al.*, 2014). De la misma manera la plataforma de las Bahamas se localiza dentro del cinturón de vientos alisios, de tal forma que durante el verano (marzo-agosto) los vientos persistentes circulan del este y sureste, mientras que durante el invierno, los vientos provienen del noreste, provocando el aporte detrítico del exterior y generando fuerte oleaje sobre la plataforma (Tucker *et al.*, 1990), proveyendo ambientes similares a los de la Formación Buelna.

Las Bahamas poseen una gran diversidad de algas marinas, como son las de la Isla San Salvador (Richardson y Mitchell, 1994), así como las cianobacterias *Nodularia* sp. cf. *N. spumigena* y *Beggiatoa* (Littler *et al.*, 2006). Sin embargo, también ha sido un lugar para el estudio de estromatolitos principalmente con interés evolutivo (Lalli y Parsons, 2006). Por otra parte los braquiópodos se encuentran ausentes, sin embargo, es probable que hayan sido

reemplazados por moluscos bivalvos, ocupando los mismos gremios como son consumidores primarios suspensívoros, para los cuales se ha documentado la presencia de *Modiolus americanus* (Mytilidae), *Glycymeris pectinata* (Glycymerididae), y *Spondylus ictericus* (Spondylidae), entre otras. Los hiolítidos pueden ser comparados con los escafópodos, para los cuales se ha documentado la presencia de *Antalis antillarum* y *Antalis certum* en la Isla de San Salvador (Kowalewski *et al.*, 2012). Los crustáceos son abundantes y están constituidos por representantes como *Panopeus* sp. La fauna de crinoides también es abundante y está representada por formas como *Neocrinus* spp. *Cenocrinus asteriatus*, *Endoxocrinus parrae parrae*, *Davidaster discoideus*, *Neocomatella alata* (Rodríguez-Barreras y Messing, 2013).

Formación Cerro Prieto

La Formación Cerro Prieto está constituida por caliza oolítica con fragmentos de trilobites. Las oolitas son granos cubiertos por una corteza calcárea, la cual se encuentra laminada en la parte exterior; generalmente son formas esféricas o elipsoidales, destacando la presencia de ooide bahamíticos (Tucker, 1990). 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.

La biota fósil de la Formación Cerro Prieto es escasa, reportándose únicamente la presencia de trilobites, los cuales han sido asignados en la categoría de Consumidores secundarios y epifaunales vágiles, dentro de la cual se encuentra *Amecephalus* como carnívoro – detritívoro.

Es posible comparar la Formación Cerro Prieto con depósitos de alta energía saturados en carbonatos, como puede ser el Caribe mexicano y en las zonas anteriores y posteriores al arrecife. Por otra parte, la presencia de organismos es escasa debido a la zona de alta energía, por lo que la presencia de diferentes grupos puede deberse a arrastre o transporte mecánico.

Formación El Gavilán

La Formación El Gavilán está constituida por potentes capas de lutita intercalada con capas delgadas de caliza, con abundantes fósiles de poríferos, chancelóridos, braquiópodos, moluscos y trilobites.

Los sedimentos de la Formación El Gavilán son semejantes a los que se originan en el ambiente marino, específicamente en la plataforma exterior, los cuales consisten principalmente en lutita y arcilla, sin embargo, estos ambientes han sido pobremente estudiados. Los mares marginales o pericontinentales se ubican en plataformas continentales clásicas que rodean los continentes, extendiéndose hasta el talud y variando la sedimentología desde arcillas a sedimentos más gruesos en función de los controles sedimentarios. (Dabrio *in Arche*, 1992).

Para Boggs (1995) la acumulación de sedimentos corresponde principalmente a clásticos y carbonatados, aunque en la gran mayoría de los ambientes actuales la plataforma exterior está cubierta por sedimentos siliciclásticos, los cuales son afectados principalmente por corrientes oceánicas y factores como la densidad de estas debido a las diferencias de temperatura y salinidad, así como sedimentos suspendidos en las masas de agua.

Las corrientes oceánicas que operan en la plataforma exterior contienen en ocasiones suficiente velocidad como para transportar sedimentos arenosos, como ocurre en la plataforma del Golfo de México la cual es afectada por el sistema de corrientes del Golfo, y la plataforma exterior de Panamá la cual es afectada por las corrientes del Océano Índico. De manera general, estas corrientes contribuyen al transporte de grandes cantidades de sedimentos finos hacia la plataforma.

Las comunidades bentónicas de la plataforma exterior se encuentran constituidas por una gran variedad de invertebrados como poríferos, anélidos, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos, debido a que la baja energía les permite prosperar (Howard, 1978). A diferencia de los ambientes someros arenosos (playas arenosas) las cuales poseen activo transporte de carga de fondo y la biota es pobre no existiendo epifauna bentónica, en los ambientes de la plataforma exterior el sustrato es fino y de aguas más tranquilas, por lo tanto existe mayor

densidad de población bentónica y los detritivos reemplazan progresivamente a los suspensívoros (Dabrio *in Arche*, 1992).

De los grupos fósiles conservados en la Formación El Gavilán, los poríferos y los braquiópodos han llegado hasta el Holoceno, con una historia evolutiva de aproximadamente 540 Ma. Los chancelóridos son considerados un grupo enigmático del Cámbrico parecidos a las esponjas, aunque existen algunas diferencias que fueron discutidas en el apartado de Paleontología sistemática. Finalmente, los hiolítidos y trilobites se extinguieron al finalizar el Paleozoico, pero existen formas actuales con las cuales pueden ser comparados, como son los esclafópodos y los crustáceos respectivamente. Respecto a los productores primarios, seguramente en la comunidad existieron algas que no requieren luz solar, como ocurre con las algas rojas, sin embargo, en el área de estudio estas no se conservaron en el registro fósil.

Dentro de los poríferos preservados en el área de estudio, *Diagoniella* sp. corresponde a una esponja silíceica incluida en las hexactinélidas. En el pasado geológico este grupo posiblemente ocupaba ambientes someros dominando las facies siliciclásticas, sin embargo, las hexactinélidas actuales ocupan un mayor rango de ambientes, habitando a profundidades que varían generalmente de 200 a 600 m, extendiéndose inclusive a profundidades abisales (Benton y Harper, 2009). Un ejemplo común corresponde con *Euplectella* la cual ha sido documentada hasta profundidades de 5 000 m (Aizenberg *et al.*, 2005).

Los braquiópodos dominaron los ambientes bentónicos someros del Paleozoico, sin embargo, hoy en día no poseen la misma abundancia y habitan diferentes ambientes. En latitudes altas los braquiópodos habitan desde el ambiente intermareal hasta el de cuenca, en profundidades de hasta 6000 m, siendo formas comunes en Canadá, Noruega y Escocia, en los mares de la Antártida y Nueva Zelanda. En los trópicos son especies pequeñas que explotan hábitats crípticos, ocultándose en arrecifes. Las formas más grandes habitan aguas profundas, fuera del alcance de predadores como erizos de mar (Benton y Harper, 2009).

Los trilobites constituyeron un grupo dominante durante el Paleozoico, siendo formas comunes en el ambiente marino, ocupando una gran variedad de nichos ecológicos, algunos como formas bentónicas ágiles y otros se adaptaron a formas de vida pelágica. Hoy en día se conocen aproximadamente 15 000 especies (Benton y Harper, 2009). 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.

La biota fósil identificada en la Formación El Gavilán ha sido agrupada en dos categorías principales: 1) Consumidores primarios y epifaunales, dentro de la cual se distinguen herbívoros, carnívoros y suspensívoros, epifaunales sésiles como *Diagoniella* sp. (Porifera); así como herbívoros y suspensívoros, epifaunales sésiles como *Lingulella proveedorensis*, *Prototreta attenuata*, *Acrothele concava*, *Dictyonina minutipuncta* y *Dictyonina ornatella*. 2) Consumidores secundarios, dentro de la cual se distinguen carnívoros y detritívoros epifaunales vágiles como *Hyolithes sonora* y *Haplophrentis reesei* (Hyolitha), y *Elrathina antiqua* (Trilobita). Carnívoros y suspensívoros, nectónicos como *Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis*, *Ptychagnostus praecurrens* y *Pagetia resseri* (Trilobita). Carnívoros, detritívoros, demersales como *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp., *Oryctocephalus* sp. y *Oryctocephalites walcotti* (Trilobita).

Con base a los estudios paleoecológicos llevados a cabo en la Formación El Gavilán es posible identificar el ambiente de depósito. La asociación biótica indica un ambiente marino de plataforma exterior, de salinidad normal y con aguas tranquilas, permitiendo el depósito de arcillas y sedimentos finos. A través de toda la unidad se tiene una comunidad de ambiente bentónico nerítico, constituida por formas sésiles, vágiles y planctónicas. Dentro de las formas sésiles se tienen poríferos y braquiópodos, desarrollando gremios principalmente de tipo

suspensívoros epifaunales. Para los vágiles se tiene a hiolítidos y trilobites ambos explotando recursos de carnívoros y detritívoros. Finalmente, como formas planctónicas se tienen trilobites agnóstidos que posiblemente habitaron aguas pelágicas como se mencionó anteriormente.

La comunidad bentónica nerítica de la Formación El Gavilán puede ser comparada con las comunidades que se desarrollan hoy en día en ambientes de plataforma exterior, con sedimentos siliciclásticos y ubicadas principalmente en latitudes tropicales. En estas plataformas habitan formas esponjas silíceas semejantes a las que habitaron los mares del Cámbrico, como son *Euplectella* y *Caulophacus*. Los braquiópodos son un grupo residual que no presentan la amplia distribución geográfica que tuvieron en el pasado geológico, sin embargo, es posible que hayan sido reemplazados por formas que explotan el mismo recurso y además tienen los requisitos ecológicos que estos tuvieron en el Cámbrico, como son los moluscos bivalvos. Los moluscos bivalvos son formas comunes hoy en día y han sido documentados hasta profundidades abisales. Los hiolítidos como ya se mencionó antes son formas extintas, sin embargo, pueden ser comparadas con los escafópodos actuales, los cuales han sido documentados hasta profundidades de 4 500 m (Brusca y Brusca, 2005). Finalmente, los trilobites probablemente fueron reemplazados por los crustáceos, teniendo requerimientos ecológicos similares a los congrejos actuales. Desde el punto de vista morfológico son similares a los crustáceos de la Familia Triopsidae con formas como *Triops*, donde se observa claramente un cefalón diferenciado de diversas patas articuladas pero sin presentar una trilobación.

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones son agrupadas conforme a los objetivos específicos y objetivo general planteado en el presente trabajo de investigación:

1. Caracterizar los ecosistemas desarrollados en ambientes paleogeográficos de plataforma, arrecifales o periarrecifales, expuestos en el Cámbrico de Sonora.
 - a. Los principales afloramientos del Cámbrico en Sonora se localizan en las áreas de Caborca, Cananea, Mazatán y Arivechi. En general la distribución de faunas marinas del Paleozoico del noroeste de México y suroeste de los Estados Unidos de América sugieren que durante ese tiempo existieron amplias provincias faunísticas, representadas por una gran variedad de invertebrados. El contenido biótico está representado por algas oncolíticas, poríferos, arqueociatos, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos como elementos predominantes.
 - b. En el área de Caborca afloran las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren, las cuales comprenden un amplio rango de biozonas, desde la Zona de *Fritzaspis* hasta la Zona de *Glossopleura walcotti*, con una edad del Piso 3 al Piso 5. La biota fósil está constituida por icnofósiles, algas calcáreas, poríferos, braquiópodos, agmatos, moluscos y trilobites. Lo anterior indica diversos ambientes marinos.
 - c. En el área de Cananea afloran las formaciones Cuarcita Bolsa y Caliz Abrigo. Las rocas del miembro 2 de la Caliza Abrigo son asignadas a la Zona de *Cedaria/Cedarina dakotaensis* y el miembro 4 se considera de la Zona de *Crepicephalus*, indicando una edad Serie 3, Guzhangiano. Los fósiles identificados corresponden principalmente a trilobites indicando un ambiente marino somero.
 - d. Las rocas del área de Mazatán son asignadas a la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella*, indicando una edad Serie 3, Piso 5. Los fósiles se componen principalmente de trilobites, indicando un ambiente marino de plataforma exterior.

- e. En el área de Arivechi afloran las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas, con un rango de zonas que varía desde la Zona de *Poliella denticulata* (Serie 3, Piso 5) hasta la Zona de *Elvinia* (Furongiano, Paibiano). La biota fósil está compuesta por algas calcáreas, poríferos, braquiópodos, moluscos y trilobites, indicando en general un ambiente marino de plataforma exterior.
2. Identificar mediante estudios de estratigrafía, paleontología y sedimentología las características paleoecológicas de los ecosistemas del Cámbrico de Sonora.
 - a. El registro estratigráfico del Cámbrico del área de San José de Gracia está constituido por cuatro unidades litoestratigráficas, correspondiendo con las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán. Las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto fueron descritas previamente en el área de Caborca en 1952, sin embargo, en este trabajo se reconoce formalmente por primera vez la presencia de estas unidades en el área de San José de Gracia. La Formación El Gavilán es propuesta en el presente trabajo como una nueva unidad litoestratigráfica formal.
 - b. La Formación Proveedora está constituida por cuarzoarenita de grano fino a grueso con alta bioturbación e icnofósiles como son *Arenicolites* isp., *Skolithos* isp., *Skolithos linearis* y *Thalassinoides* isp., indicando un ambiente marino somero de alta energía, similar a la icnofacies de *Skolithos* la cual es representativa de ambientes arenosos como zonas de litorales y sublitorales de playa, barras de arena o frentes deltaicos.
 - c. La Formación Buelna está constituida por caliza intercalada con lutita, así como por una biota fósil representada por icnofósiles (*Planolites* isp.), algas calcáreas (*Girvanella* sp.), braquiópodos (*Obolella* sp.), agmatos (*Salterella* sp.), moluscos (*Hyolithes sonora*, *Haplophrentis reesei*) trilobites (*Olenellus* sp., *Bristolia bristolensis*) y equinodermos (*Gogia granulosa*). Lo anterior indica un ambiente marino somero similar a las plataformas carbonatadas con variaciones en la energía de depósito.
 - d. La Formación Cerro Prieto está constituida por una caliza oolítica fuertemente recristalizada con la presencia de fragmentos de trilobites

(*Amecephalus arrojensis*) y braquiópodos indeterminados. Lo anterior indica un ambiente marino somero de alta energía, con saturación de carbonatos, debido a la presencia de oolitas.

- e. La Formación El Gavilán está constituida por potentes capas de lutita intercaladas con caliza, con una abundante biota fósil constituida por poríferos (*Diagoniella* sp.), chancelóridos (*Chancelloria eros*), braquiópodos (*Acrothele concava*, *Dictyonina minutipuncta*, *Prototreta attenuata*, *Lingulella proveedoraensis*), moluscos (*Haplophrentis reesei*) y trilobites (*Pentagnostus (Meragnostus) bonnerensis*, *Ptychagnostus praecurrens*, *Pagetia resseri*, *Bathyriscus* sp., *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Ogygopsis typicalis* y *Elrathina antiqua*). Lo anterior indica un ambiente marino relacionado con la plataforma exterior.
3. Realizar una comparación de los ecosistemas marinos del Cámbrico con los ecosistemas marinos actuales.
 - a. Los ecosistemas de la Formación Proveedora son comparados con los existentes en las playas arenosas modernas o barras de arena de las lagunas costeras, debido a los diversos factores bióticos y abióticos como son diversos grupos funcionales y la sedimentología.
 - b. La comunidad fósil de la Formación Buelna es similar a las que se desarrollan en las plataformas carbonatadas actuales con aporte terrígeno debido a corrientes y/o transporte eólico.
 - c. La Formación Cerro Prieto corresponde a ambientes desarrollados actualmente en plataformas carbonatadas de alta energía, donde existe saturación de carbonato de calcio generando oolitas.
 - d. La Formación El Gavilán posee una paleocomunidad similar a las que existen actualmente en el ambiente marino de plataforma exterior, con sedimentos siliciclásticos y con una gran abundancia de invertebrados.

VII. RECOMENDACIONES

No obstante que en el presente trabajo de investigación se realizó un análisis bioestratigráfico basado en trilobites así como de faunas relacionadas, de los diferentes depósitos del Cámbrico de Sonora, se recomienda realizar secciones estratigráficas detalladas en las diferentes localidades mencionadas, manteniendo un estricto control estratigráfico, para de esta manera realizar zonaciones bioestratigráficas de alta resolución y conocer la distribución detallada de las especies en el espacio y en el tiempo.

De igual manera, se recomienda realizar una comparación detallada con los depósitos del Cámbrico del área de Norteamérica, con el objetivo de identificar faunas endémicas y/o expresar la magnitud espacial de las provincias faunísticas durante el Cámbrico y su extensión hacia el cratón norteamericano. Lo anterior permitirá conocer también el límite de los diversos ambientes de depósito, relacionados principalmente con la plataforma interior y exterior.

Las características paleoecológicas del Cámbrico de San José de Gracia documentadas en el presente trabajo pueden ser retomadas para realizar otros estudios paleoecológicos detallados en otras partes del estado, ayudando de esta manera a entender la dinámica de los ecosistemas del pasado.

Se recomienda, mediante la implementación de isotopos de N, C, y O un estudio para obtener detalles del pH, productividad, concentración de nutrientes y circulación de masas de agua en el área de estudio. Por otra parte, la relación de Cd/Ca indica la cantidad de nutrientes y Ba/Ca la productividad y alcalinidad.

También se recomienda realizar un inventario detallado de las diferentes especies localizadas en el Cámbrico de Sonora, las cuales proporcionen información acerca de la evolución y morfología funcional, en relación a los organismos actuales.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aizenberg, J., J. Weaver, M. S. Thanawala, V. C. Sundar, D. E. Morse y P. Fratzl. 2005. Skeleton of *Euplectella* sp: Structural hierarchy from the nanoscale to the macroscale. *Science* 309:275-278.
- 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* 08(1):58-66.
- Almazán-Vázquez, E. 2002. El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. *Unión Geofísica Mexicana* 22(2):333.
- Almazán-Vázquez, E., B. Buitrón y O. Franco-Vega. 2006. Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23(1):23-38.
- Alpert, S. 1975. *Planolites* and *Skolithos* from the Upper Precambrian – Lower Cambrian White Inyo Mountains, California. *Journal of Paleontology* 49(3):508-521.
- Álvarez, M., 1949. Notas sobre el Paleozoico mexicano. *Mexicana de geólogos petroleros*. *Boletín* gorda la Asociación 1(1):47-56.
- Arche, A. 1992. *Sedimentología*. Volumen 1. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- Babcock, L. E. y R. A. Robison. 1988. Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America. *University of Kansas Paleontological Contributions* 121:1-22.
- Babcock, L.E., R. A. Robison y S.C. Peng. 2011. Cambrian stage and series nomenclature of Laurentia and the developing global chronostratigraphic scale. 12-26 p. En: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. y Foster, J.R. (Eds), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern Arizona and Southern Nevada*. *Museum of Northern Arizona Bulletin*, 67. Flagstaff, Arizona.

- Bartolini, C., M. Morales-Montaña y M. Damon. 2001. Estratigrafía del Terciario y Geocronología (K – Ar) del área sur de San José de Gracia, Sonora central, México. *Geological Society of America* 24:6.
- Beecher, C. E. 1897. Outline of a Natural Classification of the Trilobites. *American Journal of Science* 4 (3):89-106.
- Bell, W. C. 1938. *Prototreta*, a new genus of brachiopod from the Middle Cambrian of Montana. *Michigan Academy of Science, Arts, and Letters* 23:403-408.
- Bengtson, S., V. Missarzhevsky. 1981. Coeloscleritophora - a major group of enigmatic Cambrian metazoans. *United States Geological Survey, Open-File Report* 81(743): 19-21.
- Benton M. J. 2005. *When life nearly died: the greatest mass extinction of all time*. London: Thames & Hudson.
- Benton, M. J., D. A. T. Harper. 2009. *Introduction to Paleobiology and the Fossil Record*. Wiley-Blackwell. Republica de Singapur.
- Beraldi-Campesi, H., B. Buitrón, F. Cuen y A. Montijo. 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.
- Beresi, M. S. y K. J. Rigby. 1994, Sponges and Chancelloriids from the Cambrian of Western Argentina. *Journal of Paleontology* 68:208-217.
- Billings, E. 1861. On some new or little known species of Lower Silurian fossils from the Potsdam group (Primordial zone). *Geological Survey of Canada, Palaeozoic Fossils* 1:1-18.
- Binney, E. W. 1852. On some trails and holes found in rocks of the Carboniferous strata, with remarks on the *Microconchus carbonarius*. *Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society* 2:181-201.

- Blaker, M. y J. S. Peel. 1997. Lower Cambrian trilobites from North Greenland. *Meddelelser om Groenland, Geoscience* 35:145.
- Boggs, S. 1995. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Prentice Hall.
- Bordonaro, O.L. y C. F. Fojo. 2011. *Bathyriscus mendozanus* (Rusconi, 1945), trilobites del Cámbrico medio de la Precordillera Argentina. *Revista Española de Paleontología*, 26(1).
- Broadhead, T. W. 1982. Reappraisal of class Eocrinoidea (Echinodermata). 125-131 p. En Laurence, J. M. (Ed.), *Echinoderms. Proceedings of the 4th International Echinoderm Conference, Tampa Bay, Florida, 14–17 September 1981*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Bromley, R. G. 1996. *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications*. Chapman and Hall, London.
- Bromley, R. G. y U. Asgaard. 1991. Ichnofacies: a mixture of taphofacies and biofacies. *Lethaia* 24:153-164.
- Brusca, R. C. Y G. J. Brusca. 2005. *Invertebrados*. 2da edición. McGraw Hill/ Interamericana de España, S.
- Brunton, D. I. y D. A. T. Harper. 2000. A mid-Cambrian shelly fauna from Ritland, western Norway and its palaeogeographical implications. *Western Norway and its palaeogeographical implications. Bulletin of the Geological Society of Denmark, Copenhagen* 47:29-51.
- Buatois, L. y M. G. Mángano. 2007. Trazas fósiles de invertebrados. 751-786 p. En: Camacho, H., Longobucco, M.I. (Eds), *Los Invertebrados Fósiles*. Buenos Aires, Argentina.
- Buatois, L. y M. G. Mángano. 2011. *Ichnology: Organism-Substrate Interactions in Space and Time*: Cambridge University Press.
- 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., D. Vachard, S. Clausen y E. C. Gómez. 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyolithida Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México. Reunión Internacional de Malacología. 175.
- Buitrón, B. E., E. Almazán y C. Gómez. 2010. Paleontología general de Invertebrados. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México.
- Buitrón, B. E., E. Almazán y C. Mendoza. 2004. *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México. Unión Geofísica Mexicana (24)2:251.
- Buitrón, B.E. y E. Rivera-Carranco. 1984: Lingulidos (Brachiopoda-Inarticulata) del Ordovícico de Oaxaca, México. Memoria Congreso Latinoamericano de Paleontología 3:54-61.
- Buitrón-Sánchez B., N. Corona-González, F. Cuen-Romero, J. J. Palafox-Reyes y G. Ramírez-Guerrero. 2016. Icnofósiles del Cámbrico Inferior de San José de Gracia, Sonora. Paleontología Mexicana 5(1):33-40.
- Campbell, D. P. 1974. Biostratigraphy of the *Albertella* and *Glossopleura* zones (Lower Middle Cambrian) of northern Utah and southern Idaho. Unpublished M.S. thesis, University of Utah, Salt Lake City.
- Carannante G., J. D. Milliman y L. Simone. 1988. Carbonate lithofacies as paleolatitude indicators: problems and limitations. *Sedimentary Geology* 60:333-346.
- Carrera, M. G., 2007. Porifera, 147-169 p. En: Camacho, H., Longobucco, M.I. (Eds), *Los Invertebrados Fósiles*. Buenos Aires, Argentina.
- Ceballos, C. 2001. Especies raras, el conocimiento de la diversidad biológica y la conservación. *CONABIO. Biodiversitas* 38:9-13.
- Chao, A. 2004. Species richness estimation. En Balakrishnan, N., Read, C. B. y Vidakovic, B. (Eds.), *Encyclopedia of Statistical Sciences*. New York: Wiley. A comprehensive review of the statistical methods for estimating richness.

- Cirett, G. J. y R. F. Aguilar. 1989. Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. Hermosillo, Sonora, México.
- Clarkson, N. K. 2007. Invertebrate Paleontology and Evolution. Blackwell Science. 4th Edition.
- CNNE, Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica. 2010. Código Estratigráfico Norteamericano. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Cooper, G. 1942. New genera of North American brachiopods. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 32:228-235.
- Cooper, G.A. y A.R.V. Arellano. 1946. Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México. *Bulletin American Association Petroleum Geologists* 30(4):606-611.
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V. J., Stoyanow, A. y Lochman, C., 1952. Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México. *Smithsonian Miscellaneous Collections*. 119. Estados Unidos de America.
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V. J., Stoyanow, A., y Lochman, C., 1956. Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Pt. 1ª. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Estados Unidos de America.
- Cuen-Romero, F. J., L. Radelli. 2007. Un problema estratigráfico en el Cámbrico y Precámbrico de Caborca. 6 p. En: Montijo-González, A. (Eds). Resúmenes de la XXXI Semana Cultural de Geología. 26 al 30 de mayo de 2007. Hermosillo, Sonora, México.
- Cuen-Romero, F. J., E. Almazán-Vázquez, A. Montijo, I. Minjárez, F. Grijalva, R. Monreal, T. Schwennicke y A. Ochoa. 2009. Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico temprano y medio en la parte central del estado de Sonora, México. *Unión Geofísica Mexicana* 29(1):91.

- Cuen-Romero, F. J. 2012. Sobre la Estratigrafía y Paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora central. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. Hermosillo, Sonora, México.
- Cuen-Romero, F. J., A. Montijo-González, I. Minjarez-Sosa, M. De la O, B. Buitrón-Sánchez y F. Sundberg. 2012. La biota del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora: Consideraciones Bioestratigrafías, Sistemáticas y Paleogeográficas. XXXV Semana Cultural de Geología. 26 al 30 de Marzo de 2012. Hermosillo, Sonora, México.
- Cuen-Romero, F. J. 2013. Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. Hermosillo, Sonora, México.
- Cuen-Romero, F. J., M. S. Beresi, A. Montijo, B. E. Buitrón, I. Minjárez, M. De la O, J. J. Palafox. 2013. Chancelloriia Walcott, 1920 y Reticulosa Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 65(3):581-590.
- Cuen-Romero, F. J., J. E. Valdez-Holguín, B. E. Buitrón, R. Monreal, F. Sundberg, A. Montijo-González e I. Minjarez-Sosa. 2016. Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 68(3):429-441.
- Dall, W. H. 1870. A revision of the Terebratulidae and Lingulidae, with remarks on and descriptions of some Recent forms. American Journal of Conchology 6: 88-168.
- Dawson, J. W. 1889. New species of fossil sponges from the Siluro-Cambrian at Little Métis on the Lower St. Lawrence (including notes on the specimens by Dr. G. J. Hinde, F. G. S.). Transactions of the Royal Society of Canada 7(4):31-55.
- Doré, E. y R. E. H. Reid. 1965. *Allonnia tripodophora* nov. gen., nov. sp., nouvelle éponge du Cambrien inférieur de Carteret (Manche). Comptes Rendus Sommaires Séances Société Géologique de la France, 20-21.

- Duméril, A. M. C. 1806. Zoologie analytique ou méthode naturelle de classification des animaux: XXIV. Allais, Paris.
- Dunham, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. 108-121 p. En Ham, W. E. (Eds.), Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists.
- Ehrenberg, K. 1944. Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozan von Burgschleinitz beschriebenen Gangkern und Bauten dekapoder Krebse. Palaeontologische Zeitschrift 23:354-359.
- Eichwald, K. E. 1840. Über das silurische Schichtensystem in Esthland. Zeitschrift für Natur- und Heilkunde der Königlichen Medicinisch-chirurgischen Akademie St. Petersburg 1/2:1-210.
- Einsele, G. 2000. Sedimentary Basins. Evolution, Facies, and Sediment Budget. Springer. Berlin.
- Elenkin, A. A. 1938. Sinezelénye vodorosli SSSR, 1. – Moskva–Leningrad.
- Folk, R. L. 1962. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas.
- Gibert, J. M. y J. Martinell. 1998. El modelo de icnofacies 30 años después. Revista española de Paleontología 13(2):167-174.
- González-León, C. 1986. Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noroeste de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. 06(2):117-135.
- Gorjansky, V. y L. E. Popov. 1985. Morfologiya, sistematicheskoe polozhenie i proiskhozhdenia bezzamkovykh brachiopod s karbonatnoj rakovinoj. Paleontologicheskii Zhurnal, 1985(3):3-14.
- Grant, R. E. 1836. Animal Kingdom, 107-118 p. En: Todd, R. B. (Ed), The Cyclopaedia of Anatomy and Physiology 1. Londres.

- Häntzschel, D. W. 1962, Trace Fossils and Problematics: Treatise on Invertebrate Paleontology: Geological Society of America and University of Kansas Press.
- Haldeman, S. S. 1840. Supplement to Number one of A monograph of the Limniades, and other freshwater univalve shells of North America, containing descriptions of apparently new animals in different classes, and the names and characters of the subgenera Paludina and Anculosa. Philadelphia, Privately printed.
- Hall, J. 1859. Trilobites of the shales of the Hudson River Group. 12th Annual report of the New York Cabinet for Natural History. Albany, NY: State of New York.
- Hall, J. 1862. Supplementary note to the thirteenth report of the Regents of the State Cabinet. 15th Annual Report of the New York Cabinet for Natural History. Albany, NY: State of New York.
- Harrington, H. J. 1956. Olenellidae with advanced cephalic spines. *Journal of Paleontology* 30:56-61.
- Hernández-Becerril, D. U. 2014. Biodiversidad de algas planctónicas marinas (Cyanobacteria, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Bacillariophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:S44-S53.
- Hinde, G. J. 1887. A monograph of the British Fossil sponges: Palaeontographical Society of London, 1-92.
- Hooper, J. N., R. Van Soest, F. Debrenne. 2002. Phylum Porifera Grant, 1836, 9-13 p. En: Hooper, J. N. y Van Soest, R. (Eds), *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Hollingsworth, J.S. 2005. A trilobite fauna in a storm bed in the Poleta Formation (Dyeran, Lower Cambrian), western Nevada, U.S.A. *Goesciences Journal* 9(2):129-143.

- Hollingsworth, J.S. 2007. Fallotaspidoid trilobite assemblage (Lower Cambrian) from the Esmeralda Basin (western Nevada, USA): The oldest trilobites from Laurentia. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists* 33:123-140.
- Hollingsworth, J.S., L. E. Babcock. 2011. Lithostratigraphy and biostratigraphy of Cambrian Stage 3 in western Nevada and eastern California, 26-42 p. En: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. y Foster, J.R. (Eds), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern Arizona and Southern Nevada*. Museum of Northern Arizona Bulletin, 67. Flagstaff, Arizona.
- Howard, J. D. 1978. Sedimentology and trace fossils. En Basan, P. B. (Ed.), *Trace Fossil Concepts*. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Short Course 5:13-47.
- Huerta-Ruiz, A. 2011. Moluscos del Cámbrico (*Hyalolithida* Syssoiv, 1957) de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, Paleoecológicas y Paleogeográficas. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México D.F., México.
- Hunt, C. B. y D. R. Mabey. 1966. *Stratigraphy and Structure Death Valley, California*. Geological Survey Professional Paper 494–A. Washington D.C. USA.
- Hutchinson, G. E. 1953. The concept of patten in Ecology. *Proceedings Academy Natural Sciences, Philadelphia, PA*.
- Huxley, T. H. 1869. *An Introduction to the Classification of Animals*. John Churchill and Sons, London.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Carta Topográfica H12-D32 Ures 2011. México.
- Jaekel, O. 1918. Phylogenie und System der Pelmatozoen. Sonderabdruck aus des *Paläontologischen Zeitschrift* 3:1–124.
- King, W. 1846. Remarks on certain Genera belonging to the Class Palliobranchiata. *Annals and Magazine of Natural History (London) (Series 1)*, 18:26-42.

- Klein, J. T. 1734. *Naturalis disposition Echinodermstium. Accesseit Lucubrationum de aculeis echinorum marinarum, cun Spicilegio de belemnitis. Liutteris Schreiberianis, Gedani.*
- Knaust, D. y R. G. Bromley. 2012. Trace fossils as indicators of sedimentary environments. *Developments in Sedimentology* 64:924.
- 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):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):69-198.*
- Kobayashi, T. 1943. Brief notes on the eodiscids I, their classification with a description of a new species and a new variety. *Proceedings of the Imperial Academy, Tokyo* 19:37-42.
- Kuhn, O. 1949. *Lehrbuch der Palaozoologie.* Stuttgart: E. Schweizerbart.
- Kobayashi, T. 1935. The Cambro-Ordovician formations and faunas of south Chosen. *Paleontology, Part 3: Cambrian faunas of south Chosen with a special study on the Cambrian trilobite genera and families.* *Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II.* 4(2):49-344.
- Lalli, C. y T. Parsons. 1997. *Biological Oceanography: An Introduction.* 2nd. Edition. Elsevier. Butterworth-Heinemann.
- Landing, E. 1993. In situ earliest Cambrian tube worms and the oldest etazoanconstructed biostrome (Placentian series, southeastern Newfoundland). *Journal of Paleontology* 67:333-342.
- Laurie, J. 1987. The musculature and vascular systems of two species of Cambrian Paterinide (Brachiopoda). *BMR, Journal of Australian Geology and Geophysics,* 10:261-265.

- Lermontova, E. V. 1940. Class Trilobita. 112-162 p. En Atlas rukovodyash chikh form iskopaemykh faun SSSR. Kembrii (Atlas of the Key Forms of Extinct Faunas of the USSR: Cambrian), Moscow: Gosgeolizdat.
- Lieberman, B.S. 1999. Systematic revision of the Olenelloidea (Trilobita, Cambrian). Bulletin 45 of the Peabody Museum of Natural History. Yale University. Connecticut, USA.
- Linnaeus, C. 1758. Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Stockholm.
- Linnarsson, J. G. O. 1876. On the Brachiopoda of the *Paradoxides* Beds of Sweden. Svenska Vetenskap-Akademiens Handlingar 3:1-34.
- Liñán, E. 1996. Los pisos estratigráficos y la paleogeografía del Cámbrico en España: una visión retrospectiva. Geogaceta 20(7): 1661-1664.
- Liñán, E. y M. Mergl. 2001. Lower and Middle Cambrian brachiopods from the Iberian Chains and Sierra Morena Spain. Revista Española de Paleontología, 16(2):317-337.
- Littler, M. M., D. S. Littler, B. E. Lapointe, P. J. Barile. 2006. Toxic Cyanobacteria (blue-green algae) associated with groundwater conduits in the Bahamas. Coral Reefs 25:186.
- Lochman, C., 1948. New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, México. Journal of Paleontology 22(4):451-464.
- Lochman, C. y J. Lee. 1958. Cambrian Biostratigraphy in North America. Journal of Paleontology 32(2):312-350.
- López-Cortés, A., F. García-Pichel, U. Nübel y R. Vázquez-Juárez. 2001. Cyanobacterial diversity in extreme environments in Baja California, Mexico: a polyphasic study. Int. Microbiol. 4:227.
- Luchina, V. A. 1975. Characteristic palaeobiocoenosis from the Early Cambrian of the Siberia Platform. Akad. Nauk SSSR. Sibiriskoe Otdel., Novosibirisk 216:1-97.

- Ludwing, J. A. y J. F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology. A primer method and computing.* John-Wiley & Sons. Canadá.
- Manceñido, M. O., S. E. Damborenea. 2007. Brachiopoda. 243-292 p. En: Camacho, H., Longobucco, M.I. (Eds), *Los Invertebrados Fósiles.* Buenos Aires, Argentina.
- Marek, L. 1963. New knowledge on the morphology of Hyolithes. *Sbor. Geol. Ved. Paleont.* 1:53-73.
- Matthew, G. F. 1888. *Illustrations of the Fauna of the St. John Group. No. IV. - Part 1. 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):115-166.*
- Maytorena-Silva, J. F. y F. A. Esparza-Yañez. 1990. The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications. *Geological Society of America. Abstracts with ptograms* 22(3):65.
- M'Coy, F. 1851. On some new Cambro-Silurian Mollusca.- *Annals and Magazine of Natural History, 2nd Series, 8:387-409.*
- McAlester, A. L. 1973. *La historia de la Vida. Omega.* Barcelona, España.
- McCollum, L.B. y F.A. Sundberg. 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. y B. B. Enbysk. 1950. Middle Cambrian Trilobites from Pend Oreille County, Washington. *Journal of Paleontology* 24(4):466-471.
- McMenamin, M.A. 1987. Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, México. *Journal of Paleontology* 61(4):738-749.

- Meek, F. B. 1873. Preliminary paleontological report, consisting of lists and descriptions of fossils, with remarks on the ages of the rocks in which they were found, etc. Sixth Annual Report of the United States Geological Survey of Montana, Idaho, Wyoming and Utah.
- Menhinick, E. F. 1964. A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. *Natura* 45(4):859-861.
- Miller, J. S. 1821. A Natural History of the Crinoidea or lily-shaped Animals, with observations on the genera Asteria, Euryale, Comatula and Marsupites. Bryan & Co., Bristol.
- Moore, R. C. 1959. Treatise on Invertebrate Paleontology. Parts A - W. Geological Society of America and Lawrence. Kansas: University Kansas Press. Boulder, Colorado.
- Mude, S. 2012. Paleoenvironmental significance of ichnofossils from the Kand Formation of the Cambay Basin, Gujarat, India. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences* 2012, 2(1):12-20.
- Naimark, E. B. 2012. Hundred Species of the Genus *Peronopsis* Hawle et Corda, 1847. *Paleontological Journal* 46(9):945-1057.
- Nardin, E., E. Almazán-Vásquez y B. E. Buitrón-Sánchez. 2009. First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early – Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeoecological comments. *Geobios* 42:233-242.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and stratigraphy*. Wiley-Blackwell. United Kingdom.
- Nicholson, H. A. 1872. On *Ortonia*, a new genus of tubicolar annelides, with notes on the genus Tentaculites. *Geological Magazine* 9:446-449.
- Nicholson, H. A. 1873. Contributions to the study of the errant annelids of the older Paleozoic rocks. *Proceedings of the Royal Society of London* 21:288-290.
- Nicholson, H. A. y G. J. Hinde. 1875. Notes on the fossils of the Clinton, Niagara, and Guelph Formations of Ontario, with descriptions of new species. *Canadian Journal of Science, Literatura and History* 2(14):137-160.

- Nicholson, H. A. y R. J. Etheridge. 1878. A monograph of the Silurian fossils of the Girvan district, Ayrshire, with special reference to those contained in the "Gray Collection". Edinburgh and London 1.
- Odum, E. P. 1972. Ecología. Interamericana. México.
- Oehlert, D. P. 1887. Brachiopodes. 1189-1334 p. En Fischer, P. (Ed.), Manuel de Conchyliologie et de Paleontologie conchyliologique ou histoire naturelle des Mollusques vivants et fossiles. F. Savy, Paris.
- Pack, P.D. y H. D. Gayle. 1971. A new olenellid trilobite, *Biceratops nevadensis*, from the Lower Cambrian near Las Vegas, Nevada. Journal of Paleontology 45:893-898.
- Palmer, A. R. y R. B. Halley. 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.
- Payne, J. L. y M. E. Clapham. 2012. End-Permian Mass Extinction in the Oceans: An Ancient Analog for the Twenty-First Century?. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 40:89-111.
- Pemberton, S.G., J. A. MacEachern y R. W. Frey. 1992. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. 47-72 p. En Walker, R. G., James, N. P. (Eds.), Facies Models: Response to Sea-Level Change, Geological Association of Canada.
- Peng, S., L. E. Babcock y R. A. Cooper. 2012. The Cambrian Period, 437-488 p. En: Gradstein, F., Ogg, J., Schmitz, M., Ogg, G. (Eds), The Geologic Time Scale 2012. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- Peters S. E. y Foote M. 2001. Biodiversity in the Phanerozoic: a reinterpretation. Paleobiology. 27:583-601.

- Pillans, B. y P. Gibbard. 2012. The Quaternary Period. 979-1010 p. En En: Gradstein, F., Ogg, J., Schmitz, M., Ogg, G. (Eds), The Geologic Time Scale 2012. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- Popov, L. E., M. G. Basset, L. E. Holmer y J. Laurie. 1993. Phylogenetic analysis of higher taxa of Brachiopoda. *Lethaia* 26 (1):1-5.
- Popov, L. E., L. E. Holmer, y V. J. Gorjansky, 1996. Middle Cambrian lingulate brachiopods from the Tarbagatay Range, Kazakhstan. *Acta Paleontológica Polonica* 41(3):299-317.
- Rasetti, F. 1951. Middle Cambrian stratigraphy and faunas of the Canadian Rocky Mountains. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 128 (7):01-35.
- Rauff, H. 1894, Palaeospongiologie. *Palaeontographica* 40:233-346.
- Raymond, P. E. 1913. Some changes in the names of genera of trilobites. *The Ottawa Naturalist*, 26(11):137-142.
- Reid, R. E. H. 1958, A monograph of the Upper Cretaceous Hexactinellida of Great Britain and Northern Ireland, part I: Palaeontographical Society Monograph, London.
- Reinech, H. E. y I. B. Singh. 1980. *Depositional Sedimentary Environments. With Reference to Terrigenous Clastics*. Springer. Alemania.
- Resser, C. E. 1928. Cambrian fossils from the Mohave Desert. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 21(2):1-14.
- Resser, C. E. 1937. Third contribution to nomenclature on Cambrian trilobites. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 95(22):001-140.
- Resser, C. E. 1938. Middle Cambrian fossils from Pend Oreille Lake, Idaho. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 97:1-12.
- Resser, C. E., 1939. The *Ptarmigania* strata of the northern Wasatch Mountains. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 95(24).

- Richter, R. 1932. Crustacea (Paläotologie), 840-864 p. En: Dittler, R., Korschelt, E., Linek, G., Oltmanns, F., Schaum, K. (Eds), Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Alemania.
- Riding, R. 2000. Calcified Algae and Bacteria. 445-473 p. En Zhuravlev A. Y y Riding R (Eds.), Ecology of the Cambrian Radiation. Columbia University Press, New York.
- 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 07(1):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 07(2):163-167.
- Robison, R. A. 1965. Middle Cambrian Eocrinoids from Western North America. Journal of Paleontology 39(3):355-364.
- Robison, R. A. 1984. Cambrian Agnostida of North America and Greenland. Part I, Ptychagnostidae. Paleontological Contributions. The University of Kansas. Paper 109:59.
- Rodríguez-Barreras, R. y C. Messing. 2013. A new list of Cuban crinoids (Echinodermata: Crinoidea). Caribbean Journal of Science 47(2-3):198-212.
- Rominger, C. 1887. Description of primordial fossils from Mt. Stephens, N.W., Territory of Canada. Proceedings Academy of Natural Sciences Philadelphia 6:12-19.
- Rothfus, T. A., M. Kowalewski, D. Smith y R. Zipper. 2012. Taphonomy of scaphopod assemblages from shallow-water, carbonate environments of San Salvador, Bahamas. Geological Society of America Abstracts with Programs 44(7):476.
- Rowell, A. J. 1980. Inarticulate brachiopods of the Lower and Middle Cambrian Pioche Shale of the Pioche district, Nevada. Paleontological contributions, The University of Kansas. USA.

- Rowell, A. J. 1965. Inarticulata. H260-H296 p. En Moore, R. E. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Palaeontology, Part H. Brachiopoda 1*. Geological Society of America, Boulder, CO y University of Kansas Press, Lawrence.
- Sabattini, N. 2007. Problemáticos, 494-499 p. En: Camacho, H., Longobucco, M.I. (Eds), *Los Invertebrados Fósiles*. Buenos Aires, Argentina.
- Salter, J. W. 1857. On annelide – burrows and surface markins from the Cambrian rocks of the Longmynd. *Geological Society of London Quarterly Journal* 13:199-206.
- Salter, J. W. 1864. A monograph of the British Trilobites from Cambrian, Silurian, and Devonian Formations. *Palaeontogr. Soc. Monogr.* 1:1-80.
- Schmidt, O. 1870. 1870. Grundzüge einer Spongien-Fauna des atlantischen Gebietes. ihhelm Engelmann: Leipzig.
- Schneider, R. R., H. D. Schulz y C. Hensen. 2006. Marine Carbonates: Their Formation and Destruction. 311-337 p. En Schulz H. D. y Zabel M. (Eds.), *Marine Geochemistry*. Springer, Alemania.
- Schuchert, C. 1893. A classification of the Brachiopoda: *Am. Geologist*, v. 11(3):141-167.
- Sdzuy, K. 1969. Unter- und mittelkambrische Porifera (Chancelloriida und Hexactinellida). *Palaontologische Zeitschrij* 43 (3/4):115-147.
- Seilacher, A. 1955. Spuren und Fazies im Unterkambrium, 11-143 p. En: Schindewolf, O. H., Seilacher, A. (Eds.), *Beitrage zur Kenntuis des Kambrium in der Salt Range (Pakistan)*. Akad. Wiss. Lit. Mainz, Ahb. Math-naturwiss.
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. 296-316 p. En Imbrie J. y Newell N. (Eds.), *Approaches to paleoecology*. Wiley, New York. USA.
- Seilacher, A. 1967, Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology* 5:413–428.
- Seilacher, A. 1990, The Paleozoic trace fossils. 649-670 p. En Said, R. (Eds.), *The Geology of Egypt*, Balkema, Rotterdam.

- Servicio Geológico Mexicano. 2002. Carta Geológico-Minera Ures H12-D32 2002. SGM. Pachuca, Hidalgo, México.
- Shannon, C. E. y W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, USA.
- Shu, D. G., S. Conway-Morris, J. Han, L. Chen, X. L. Zhang, Z. F. Zhang, H. Q. Liu, Li. Y., J. N. Liu. 2001. Primitive Deuterostomates from Chengjiang Lagerstätte (Lower Cambrian, China). *Nature* 414:419-424.
- Silver, L. T. y T. H. Anderson. 1974. Possible left – lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North America craton margin. *Geological Society of America. Abstract with programs* 6(7):955-956.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of the diversity. *Nature* 163:688.
- Smith, T. M. y R. L. Smith. 2007. *Ecología*. 6a Edición. Pearson Educación, S. A. Madrid.
- Snodgrass, R. E. 1938. Evolution of the Annelida, Onychophora, and Arthropoda. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 97(6):1-159.
- Solé, R. V. y M. Newman. 2002. Extinctions and Biodiversity in the Fossil Record. 297-301 p. En: Munn, T. (Ed.), *Encyclopedia of Global Environmental Change*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Somerfield, P. J., K. R. Clarke, R. M Warwick, y N. K. Dulvy. 2008. Average functional distinctness as a measure of the composition of assemblages. – *ICES Journal of Marine Science*, 65:1462-1468.
- Sour-Tovar, F., J. W. Hagadorn, T. Huitrón-Rubio. 2007. Ediacaran and Cambrian Index Fossils from Sonora, Mexico. *Paleontology*: 50:169-175.
- Stanier, R. Y. y G. Cohen-Bazire. 1977. Phototrophic Prokaryotes: The Cyanobacteria. *Annual Review of Microbiology* 31:225-274.

- Stewart, J. H., A.S. McMenamin y J.M. Morales-Ramirez. 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.
- Stewart, J., F. G. Poole, A. G. Harris, J. E. Repetski, B. R. Wardlaw y B. L. Mamet. 1999. Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in sierra Agua Verde, Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 16:35.
- Stewart, J. H. y F. G. Poole. 2002. Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico. United States Geological Survey. 1-50.
- Stewart, J. H., R. Amaya-Martinez y A. R. Palmer. 2002. Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, México. Rodinian Super continent to Laurentian Cordilleran Margin. Geological Society of America. Special Paper 36:9-15.
- Stoyanow, A. 1942. Paleozoic Paleogeography of Arizona. *Bulletin Geological Society of America* 53:1255-1282.
- Streng, M., B. B. Mellbin, E. Landing y D. Keppie. 2011. Linguliform brachiopods from the Terminal Cambrian and Lowest Ordovician of the Oaxaquia Microcontinent (Southern Mexico). *Journal of Paleontology*, 85(1): 122–155.
- Sundberg, F.A. 1994. Corynexochida and Ptychopariida (Trilobita, Arthropoda) of the Ehmaniella Biozone (Middle Cambrian), Utah and Nevada. *Contributions in Science* 446:001-137.
- 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* 73(6):1126-1143.
- Sunderberg, F. A. 2007. Nightmare on Resser Street—Dealing with Resser’s Trilobite Taxonomy. 213-224 p. En: Mikulic, D. G., Landing, E. y Kluessendorf, J. (Eds.), *Fabulous Fossils-300 Years of Worldwide Research on Trilobites*. The University of the State of New York.

- Sundberg, F.A., 2011. Delamarian biostratigraphy and Lithostratigraphy of the southern Nevada. 321 p. En: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. y Foster, J.R. (Eds), Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern Arizona and Southern Nevada. Museum of Northern Arizona Bulletin, 67. Flagstaff, Arizona.
- Sundberg, F. A., y L. B. McCollum. 1997, Oryctocephalids (Corynexochida: Trilobita) of the Lower-Middle Cambrian boundary interval from California and Nevada. Journal of Paleontology 71:1065-1090.
- Sundberg, F. A. y L. B. McCollum. 2003. Trilobites of the lower Middle Cambrian *Poliella denticulata* Biozone (New) of southeastern Nevada. Journal of Paleontology 77(22):331-359.
- Swart, P. K., A. M. Oehlert, G. J. Mackenzie, G. P. Eberli y J. J. G. Reijmer. 2014. The fertilization of the Bahamas by Saharan dust: A trigger for carbonate precipitation? Geology 42(8):671.
- Swinnerton, H. H. 1915. Suggestions for a revised classification of trilobites. Geological Magazine 6(2):487-496.
- Sysoiev, V. A. 1957. About the morphology, systematic position and systematics of Hyolithoidea. Dokl. Akad. Nauk. USSR 116:304-307.
- Tavera R., E. Novelo y S. López. 2013. Cyanoprokaryota (Cyanobacteria) in Karst Environments in Yucatán, México. Botanical Science 91(1):27-52.
- Tchernysheva, N.E. 1962. Kembriishie trilobity Semeista Oryctocephalidae. Problemy neftegazonosnosti Sovetskoi Arktiki. Paleontologiya I, Biostratigrafiya 3. Tr. Nauchonoissled. Geol. Ist. Arktiki, 127:3-52.
- Tiwari, R. P., C. Rajknowar, Lalchawimawii., P. L. J. Malsawma, V. Z. Ralte y S- Paterl. 2011. Trace fossils from Bhuban Formation, Surma Group (Lower to Middle Miocene) of Mizoram India and their palaeoenvironmental significance. J. Earth Syst. Sci. 120(6):1127-1143.

- Tovar-Hernández, M. A., P. Salazar-Silva, J. A. León-González, L. F. Carrera-Parra y S. I. Salazar-Vallejo. 2014. Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:S190-S196.
- Tortello, M.F., B. G. Waisfeld y N. E. Vaccari. 2007. Trilobita, 535-562 p. En: Camacho, H., Longobucco, M.I. (Eds), *Los Invertebrados Fósiles*. Buenos Aires, Argentina.
- Tucker, M. y Wright, P. V. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science. Oxford. United Kingdom.
- Vega, G. R. 1996. Geología de la sierra de Mazatán. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son.* 13(1):89-102.
- Vicent, W. F. 2009. *Cyanobacteria*. Elsevier. Canada.
- Von Siebold C. T. 1848. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomieder Wirbellosen Thiere. Erster Theil*. En von Siebold C. T. & Stannius H. (Eds.), *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie*. – Verlag von Veit & Comp., Berlin.
- Vologdin, A. G. 1937. *Arkheotsiaty i rezul'taty ikh izucheniya v SSSR USSR (A brief review)*. *Problemy Paleontologii* 2-3:453-481.
- Waagen, W. H. 1885. Salt Range fossils, Part 4(2), Brachiopoda. *Paleontologic Indica, Mem.*, Ser. 13:1.
- Walch, J. E. I. 1771. *Die Naturgeschichte der Versteinerungen. Dritter Theil.*, Paul Jonathan Felstecker. Nuremberg.
- Walcott, C. D. 1886. Second contribution to the studies on the Cambrian faunas of North America. *United States Geological Survey Bulletin* 30.
- Walcott, C. D. 1889. Description of new genera and specimens of fossils from the Middle Cambrian. *Proceedings of the United States National Museum* 11:441-446.
- Walcott, C. D. 1910. *Olenellus* and other genera of the Mesonacidae. *Smithsonian Miscellaneous Collection* 53(6)231-422.

- Walcott, C. D. 1913. Cambrian geology and paleontology, No. 11, New Lower Cambrian subfauna. Smithsonian Miscellaneous Collections 67(11):309-326.
- Walcott, C. D. 1916. Cambrian trilobites. Smithsonian Miscellaneous Collection. Vol. 64:303-456.
- Walcott, C. D. 1917. Cambrian geology and paleontology. IV, Fauna of the Mount Whyte Formation. Smithsonian Miscellaneous Collections 67:61-114.
- Walcott, C. D. 1920. Cambrian geology and Paleontology IV: 06, Middle Cambrian Spongiae. Smithsonian Miscellaneous Collections 67:261-364.
- Walcott, C.D. y C. Schuchert. 1908. Cambrian geology and paleontology. No. 3. Cambrian Brachiopoda, descriptions of new genera and species. Smithsonian Miscellaneous Collections 53:53-165.
- Webster, M. 2011. Upper Dyeran trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy in the southern Great Basin, 121-154 p. En: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. y Foster, J.R. (Eds), Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern Arizona and Southern Nevada. Museum of Northern Arizona Bulletin, 67. Flagstaff, Arizona.
- Webster, M. y Bohach, L. L. 2014. Systematic revision of the trilobite genera *Laudonia* and *Lochmanolenellus* (Olenelloidea) from the lower Dyeran (Cambrian Series 2) of western Laurentia. Zootaxa 3824(1):001-066.
- Weil, A.B., R. Van der Voo, C Mac-Niocaill y J. G. Meert. 1998. The Proterozoic supercontinent Rodinia: Paleomagnetically derived reconstructions for 1100 to 800 Ma. Earth and Planetary Science Letters, Elsevier, 154:13-24.
- Westergård, A. H. 1936. *Paradoxides oelandicus* beds of Oland: With the account of a diamond boring through the Cambrian at Mossberga. Sveriges Geologiska Undersökning, Series C. no. 394, Årsbok 30(1):1-66.

- White, C. 1874. Preliminary Report upon Invertebrate Fossils Collected by the Expeditions of 1871, 1872 and 1873 with Descriptions of New Species. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Williams, A., C. H. C. Brunton y S. J. Carlson. 2007. Brachiopoda. Treatise on Invertebrate Paleontology, Part H. En Selden P. (Ed.), Geological Society of America and The University of Kansas. Kansas. USA.
- Williams, A., S. J. Carlson, C. Howard, C. Brunton, L. E. Holmer y L. Popov. 1996. A Supra-ordinal classification of the Brachiopoda. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 351:1171-1193.
- Wilson, J. L. 1975. Carbonate facies in geologic history. Springer Verlag, New York. USA.
- Woote, T. y M. Mergl. 2007. Brachiopods from the Lower-Middle Cambrian Láncara Formation of the Cantabrian Mountains, Northwest Spain. Memoirs of the Association of Australasian Paleontologists 33:101-122.
- Yochelson, E. L. 1977. Agmata, a proposed extinct phylum of Early Cambrian age. Journal of Paleontology 51(3):437-454.
- Zarco-Espinosa V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez, O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura Y Diversidad de la Vegetación Arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia Tropico Humedo. 26(1):1-17.
- Zell, M.G. y A. J. Rowell. 1988. Brachiopods of the Holm Dal Formation (late Middle Cambrian), central North Greenland. Meddr Gronland, Goesci, 20: 119-144.
- Zhang, X.L. y D. G. Shu. 2013. Causes and consequences of the Cambrian Explosion. Science China: Earth Sciences 56:1-13.