



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LA BIOTA DEL CÁMBRICO TEMPRANO-MEDIO DE
LA REGIÓN DE SAN JOSÉ DE GRACIA, CENTRO-
ORIENTE DE SONORA**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A

MARÍA DEL CARMEN ESPARZA RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

RECONOCIMIENTOS

El trabajo constituye la tesis de la autora para obtener el título de Ingeniero Geólogo, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuya investigación fue llevada a cabo en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez sugirió el tema, así como el seguimiento en el trabajo y en la revisión de gabinete. La investigación se llevó a cabo en el marco de los Proyectos CONACyT No. 165826; ECOS-Francia; CONACYT-México No. M13U01: "Evolución de los Ecosistemas del Paleozoico de México" y CONACyT No. 235970: "La Revolución del Cámbrico y la gran radiación del Ordovícico en el norte de México y Oaxaca".

La autora reconoce las facilidades brindadas por el Departamento de Paleontología del Instituto de Geología en especial agradece a la Directora Dra. Elena Centeno García.

Finalmente, la autora expresa su agradecimiento a los sinodales Doctoras Silvia Elizabeth Rivera Olmos, Dalia del Carmen Ortiz Zamora, Maestros Emiliano Campos Madrigal y Noé Santillán Piña cuyos comentarios y sugerencias contribuyeron a la mejora del presente trabajo.

La autora agradece al M. en C. José Carlos Jiménez López y a la Biól. Greta Margarita Ramírez Guerrero por haber realizado el formato final de la tesis y por el apoyo en la elaboración de varias de las figuras que ilustran este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
Objetivos Generales.....	9
Objetivos Particulares.....	9
Hipótesis	9
Localización Geográfica.....	10
Población.....	12
Provincias Fisiográficas de Sonora.....	12
Hidrografía	13
Flora Actual.....	13
Fauna Actual	13
MATERIAL Y MÉTODO	14
Trabajo de campo	14
Actividades de gabinete	14
Actividades de laboratorio	15
MARCO GEOLÓGICO	15
RESULTADOS	22
ASOCIACIÓN BIÓTICA DE LOS MIEMBROS A, B y C.....	22
Icnogénero <i>Arenicolites</i> Salter, 1857.....	22
<i>Arenicolites</i> sp.....	22
Icnogénero <i>Palaeophycus</i> Hall, 1847	23
<i>Palaeophycus</i> sp.....	23
Icnogénero <i>Thalassinoides</i> Ehrenberg, 1944.....	24

<i>Thalassinoides</i> sp.....	24
Icnogénero <i>Skolithos</i> Haldeman, 1840.....	25
<i>Skolithos</i> sp.	25
IMPORTANCIA DE LOS ICNOFÓSILES.	25
ASOCIACIÓN BIÓTICA DEL MIEMBRO D.....	26
Phylum Echinodermata	29
Clase Blastoidea	29
Subclase Eocrinoidea.....	29
ASOCIACIÓN BIÓTICA DEL MIEMBRO F	31
Phylum Brachiopoda.....	35
Subphylum Linguliformea.....	35
CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS	39
CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS.....	40
CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS	43
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFÍA CITADA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la región de San José de Gracia	10
Figura 2. Localización del Cerro Chihuarruita, en San José de Gracia	11
Figura 3. Vista panorámica del cerro Chihuarruita	11
Figura 4. Provincias fisiográficas de Sonora.....	12
Figura 5. Esquema geológico del área de estudio en San José de Gracia.....	16
Figura 6. Columna estratigráfica de la secuencia Cámbrico Inferior y Medio de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora	17
Figura 11. <i>Thalassinoides</i> sp.	24
Figura 13. Oncolitos de cianobacterias.....	27
Figura 15. <i>Hyolithes sonora</i> Lochman	29
Figura 16. <i>Haplophrentis reesei</i> Bobcok y Robison	29
Figura 17. Hábitos de alimentación de Hyolíthidos	29
Figura 18. <i>Gogia granulosa</i> Robison.....	30
Figura 19. Reconstrucción de <i>Gogia</i> sp.	30
Figura 20. <i>Chancelloria eros</i> y reconstrucción de un chancelórido	31
Figura 22. Reconstrucción de un trilobites agnóstido.....	33
Figura 23. <i>Peronopsis</i> sp.....	34
Figura 24. <i>Kootenia</i> sp., <i>Pagetia</i> sp., <i>Bathyriscus</i> sp.	34
Figura 25. <i>Oryctocephalus</i> sp., <i>Oryctocara</i> sp., <i>Elrathina</i> sp.	35
Figura 26. Reconstrucción de un braquiópodo.....	36
Figura 27. Representación de un braquiópodo linguliforme.....	36
Figura 28. <i>Linnarsonia</i> sp., <i>Lingulella</i> sp., <i>Acrothele</i> sp.....	38
Figura 29. <i>Dictyonina</i> sp.....	38
Figura 30. Principales grupos pertenecientes al periodo Cámbrico	42

Figura 31. Asociación biótica del Cámbrico de San José de Gracia.....	43
Figura 32. Correlación de los trilobites de San José de Gracia con otras regiones del mundo.	44
Figura 33. Correlación de la biota de San José de Gracia con otras regiones del mundo.	44

RESUMEN

Los fósiles proceden de una potente secuencia sedimentaria marina constituida por caliza, lutita y arenisca cuyo depósito ocurrió en una plataforma somera de mares cálidos del Cámbrico Inferior-Medio, que se localiza en el municipio de Ures, en la localidad de San José de Gracia, región centro-oriental del estado de Sonora.

La asociación biótica está constituida por algas oncolíticas y diversos phyla de invertebrados con valor estratigráfico, entre ellos son escasas las espículas de esponjas Hexactinélida, abundantes braquiópodos de los géneros *Dictyonina*, *Acrothele* y *Linnarsonia*; moluscos hiolítidos de las especies *Hyolithes sonora* Lochman y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison. Formando parte de las cuarcitas con alta bioturbación se encuentran icnofósiles como *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides* y *Palaeophycus*.

Entre los artrópodos son numerosas las especies de trilobites de los géneros *Bristolia*, *Bathyriscus*, *Kootenia*, *Orytocephalus*, *Orytocara*, *Elrathina*, *Pagetia*, *Ehmaniella* y *Peronopsis*. Los Echinodermata-Eocrinoidea de la especie *Gogia granulosa* Robison, 1965 confirman la edad del Cámbrico Temprano-Medio de las rocas que los contienen.

La composición de la comunidad biótica sugiere que el ambiente de depósito tuvo lugar en una plataforma carbonatada de mar tropical, somero, con agua bien oxigenada y que prevaleció durante el Cámbrico en la región de San José de Gracia, Sonora.

La biota denota que existió una amplia provincia que comprende varias localidades en México como en Sonora (Caborca y Ures) y en los Estados Unidos de Norteamérica (Idaho, Utah y California), en América del Sur (Argentina), en Europa (Italia), Asia (India y Pakistán) y en Australia (Tasmania) que formaban parte del Océano Pantalásico.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones sobre rocas del Paleozoico Inferior de Sonora comienzan con los estudios de King (1940) quien en el reconocimiento de la Sierra Madre Occidental cita rocas del Cámbrico-Ordovícico en la región de Cobachi. Cooper y Arellano (1946) y Cooper *et al.* (1952) tratan sobre la estratigrafía y el contenido biótico de la región de Caborca, que se localiza al noroccidente de Sonora, quienes dan a conocer las primeras descripciones de algas calcáreas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos y trilobites.

En la década de los setentas, Longoria *et al.* (1978) y Longoria y Pérez (1979) publicaron sobre la estructura del Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera. Peiffer *et al.* (1980) descubrieron graptolites en la región noreste del estado. Baldis y Bordonaro (1981) escribieron sobre la correlación paleogeográfica de los trilobites de Sonora con la Precordillera Argentina. Stewart *et al.* (1984) correlacionó las unidades del Cámbrico de Sonora con las del oeste de los Estados Unidos de Norteamérica. González-León (1986) publicó sobre la estratigrafía de la Sierra del Tule situada al norte del estado. Brunner (1975) informó sobre los conodontos con una edad del Ordovícico-Silúrico de la región de Bísani. McMenamin (1985, 1987) estudió en detalle pequeños invertebrados del Cámbrico Inferior y basó su bioestratigrafía en los trilobites cámbricos de la región de Puerto Blanco.

Rivera-Carranco (1988) definió las condiciones paleoambientales del depósito en las diferentes unidades sedimentarias cámbricas de Sonora. Almazán (1989) escribió sobre el Cámbrico-Ordovícico de la región de Arivechi. Riva y Ketner (1989) aportaron nuevas descripciones de graptolites, ordovícicos y arqueociatos cámbricos. Buitrón (1992) publicó sobre las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico Inferior de México y su contenido biótico. Almazán *et al.* (2006) estudiaron el Ordovícico de la región de Pozo Nuevo.

Particularmente, sobre el Paleozoico Inferior de la región de San José de Gracia en el Municipio de Ures, son escasos los trabajos, entre ellos, son significativos los de Nardin *et al.* 2009 quienes dieron a conocer la existencia de blastoides y precisaron la edad cámbrica de los afloramientos; Cuen (2012) estudió diferentes aspectos de la geología y estratigrafía del cerro Chihuarruita. Cuen *et al.* (2013) describieron restos de esponjas

cámbricas de San José de Gracia y Regalado y Sour (2013) publicaron sobre trilobites agnóstidos de la región.

Objetivos Generales

- 1) Coadyuvar al conocimiento integral del Paleozoico sedimentario Inferior del Estado de Sonora. El estudio integral de las secuencias de estas rocas marinas y su contenido biótico permitirá conocer sobre las migraciones faunísticas con referencia a facies de carbonatos de las secuencias paleozoicas.
- 2) Contribuir al conocimiento de la estratigrafía y composición faunística del Cámbrico Inferior-Medio del centro-este de Sonora.
- 3) Contribuir al conocimiento de la paleogeografía de la región.

Objetivos Particulares

- 1) Estudiar los componentes principalmente faunísticos desde los puntos de vista morfológico y taxonómico de la región de San José de Gracia.
- 3) Establecer su correlación estratigráfica con el Cámbrico Inferior-Medio de otras localidades de Sonora y de las Provincias del Continente Medio Americano y Euroasiático-Ártico.

Hipótesis

- 1) Se considera que el contenido biótico fósil que caracteriza a la región de San José de Gracia, se encuentra constituido principalmente por algas, esponjas, braquiópodos, moluscos, trilobites y equinodermos, por su presencia en otras localidades del Paleozoico Inferior de México, particularmente en Sonora (Caborca, Arivechi).
- 2) La biota se desarrolló en una región tropical de mares someros.

- 3) Se considera que las rocas sedimentarias marinas de la región de San José de Gracia formaron parte de una gran provincia marina que comprendió también el suroeste de Estados Unidos de Norteamérica.

Localización Geográfica

El Estado de Sonora se localiza en el noroeste de México y colinda al norte con Estados Unidos de América del Norte, al este con el Estado de Chihuahua, al sur con el Estado de Sinaloa, al oeste con el Golfo de California y el Estado de Baja California. Sus coordenadas geográficas son 32°29' y 26°17' de latitud norte; 108°25' y 115°03' de longitud oeste (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la región de San José de Gracia (Tomada de Cuen, 2012).



Figura 2. Localización del Cerro Chihuarruita, en San José de Gracia (Modificada de Google Earth).

En el Municipio de Ures ubicado al centro-orienté del estado de Sonora, se localiza, en la cercanía de San José de Gracia, el cerro Chihuarruita cuyos afloramientos de rocas sedimentarias del Cámbrico Inferior-Medio tienen coordenadas obtenidas con GPS de $29^{\circ} 17' 5''$ N y $110^{\circ} 35' 3''$ W (Figura 2 y 3).



Figura 3. Vista panorámica del cerro Chihuarruita,

Población

La población total de San José de Gracia corresponde a 60 personas, de las cuales 24 son mujeres y 36 hombres.

Provincias Fisiográficas de Sonora

Fisiográficamente la región de San José de Gracia forma parte de la provincia Llanura Sonorense y de la subprovincia de Sierras y Llanuras Sonorenses (Raisz, 1964), (Figura 4).

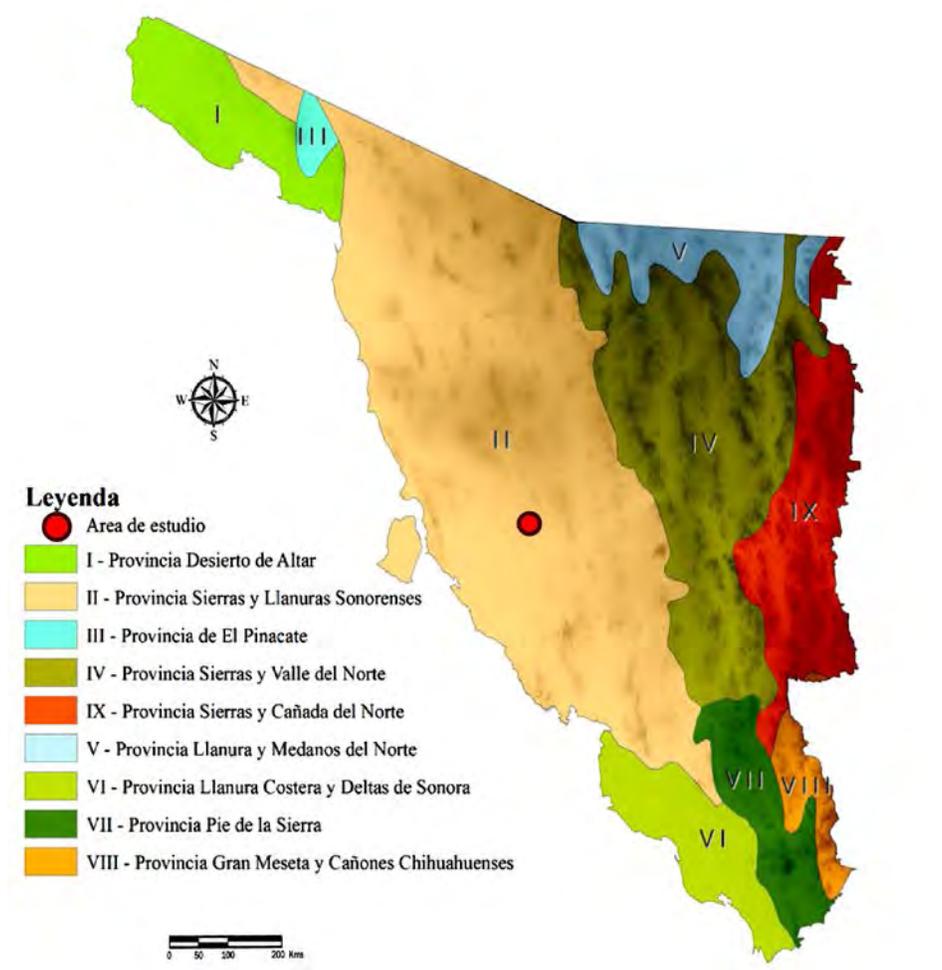


Figura 4. Provincias fisiográficas de Sonora (Modificado de Raisz, 1964).

Hidrografía

El río Sonora drena la región del noreste al suroeste, siendo sus principales afluentes los arroyos Sunibiate, Morales, La Cañada y Topah en la margen norte y La Estancia, Lovenaya y El Gavilán en el sur. El área de estudio solo presenta corrientes intermitentes, así como un manantial de tipo perenne (INEGI, 1985).

Flora Actual

La vegetación está representada por plantas caducifolias que se encuentran desde los 400 hasta los 1600 msnm con áreas de pastizales inducidos. Esta flora se compone de árboles inferiores a los 15 metros de altura, donde no existe disturbio, tiene una cubierta vegetal densa y uniforme que por lo común no presenta estratos arbustivos o herbáceos (INEGI 1985). Las especies características de la región consisten en anona (*Annona reticulata*), balsa (*Lagenaria natans*), capiro (*Sideroylon-capiri*), cascalote (*Caesalpinia caloca*), cuajilote (*Parmentiera edulis*), cueramo (*Cordia sp.*), encino (*Quercus sp.*), huizache (*Acacia hindsu*), mezquite (*Prosopis juliflora*), zacate (*Sporobolus argutus*), zacatón (*Sporobolus wrighti munro*), (INEGI 1985).

Fauna Actual

Entre las múltiples especies de animales que existen en la región, se encuentra las siguientes: coyote (*Canis latrans*), zorra (*Vulpes cinereo-argentatus*), venado de cola blanca (*Cariacus virginianus*), tejón (*Procyon lotor* y *Nasus nacica*), zorrillo (*Mephitis macrura*), conejo (*Lepues sylvaticus*), ardilla de tierra (*Spermophilus variegatus*), ardilla de árbol (*Sciurus variegatus*), así como víbora de cascabel (*Crotalus polusticus* y *Crotalus tigris*), puma (*Felix concolor*) y onza real (*Felix onca*), (INEGI 1985).

MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de campo

La prospección geológico-paleontológica fue realizada en tres ocasiones en 2009, 2010 y 2012 por la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez del Instituto de Geología de la UNAM y posteriormente en 2013 y 2014 con los Maestros en Geología Alejandra Montijo González y Francisco Javier Cuén Romero del Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Sonora.

Se realizaron muestreos en los diferentes yacimientos fosilíferos de la localidad del Cerro Chihuarruita, donde se obtuvieron los fósiles en sitios bien expuestos y con ayuda de un martillo de geólogo y cinceles de diferentes tamaños que facilitó la extracción del material. Posteriormente, los ejemplares se colocaron en bolsas de plástico con sus respectivas etiquetas con datos de la localidad, fecha, recolector y nivel estratigráfico.

Después se transportaron a los laboratorios de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México con objeto de su preparación por la autora de la tesis.

Actividades de gabinete

Esta actividad se inició con la revisión y recopilación de la literatura existente sobre aspectos geológicos y paleontológicos sobre la localidad de estudio. Para la identificación del material se procedió a seleccionar el mejor conservado, se obtuvieron sus parámetros (altura, anchura, diámetro) y se separó el ejemplar más representativo de cada especie para posteriormente ser fotografiado. La identificación y clasificación taxonómica y parataxonómica del material fósil se realizó mediante el estudio de las diagnósis y descripciones de los especímenes, con base en libros y artículos sobre el tema. Principalmente se utilizó el Tratado de Paleontología de Invertebrados (Moore editor et al., 1966) que comprende el estudio de los diferentes taxa tratados en este trabajo y otras

publicaciones especializadas entre ellas, Cooper et al. (1952), Seilacher (1967; 1981), Malinky, (1990) Romley (1996), Bromley y Asgard (1991), Schwennicke (2009), Nardin et al. (2009), Buitrón et al. (2010), Silva Romo y Mendoza Rosales (2010), Buitrón et al. (2011).

Actividades de laboratorio

Los fósiles se introdujeron en recipientes con agua para iniciar su limpieza, posteriormente se colocaron sobre un saco de arena y utilizando martillo y cinceles de diversos tamaños, se les quitó el exceso del material rocoso que no formaba parte del fósil, esta acción se hizo cuidadosamente mediante golpes bien dirigidos. Se emplearon herramientas como *Moto tool* y el *Air Scribe*, para detallar caracteres morfológicos que facilitaron la identificación.

En los casos necesarios, se realizó la limpieza de los ejemplares por medio de métodos químicos, tomando en cuenta la composición del fósil y de la roca que lo contiene. Esta limpieza se hizo por medio de la utilización de ácido clorhídrico al 10%, procurando que cubriera perfectamente la superficie del fósil. Posteriormente esta se lavó con agua corriente a manera de eliminar el ácido y se dejó secar el espécimen.

MARCO GEOLÓGICO

Rocas del Neoproterozoico Superior y Paleozoico Inferior afloran extensamente en todo el territorio de Sonora. Sin embargo, escasas localidades ubicadas en la parte central del estado, entre ellas el Cerro Chihuarruita, en el Municipio de Ures, muestran rocas problemáticas respecto a la edad y su contenido fósil sigue siendo poco conocido.

En el área de estudio, siguiendo la propuesta de Almazán *in* Nardín *et al.* (2009) se han reconocido seis unidades litológicas diferentes (Figura 5).

- Una secuencia clástica y carbonatada, cuya edad queda comprendida entre el Cámbrico Temprano y el Medio se describe en detalle.
- Una secuencia del Cámbrico Inferior de cuarcita blanca que cubre tectónicamente la secuencia anterior.

- Una secuencia de dolomita azul grisáceo de probable edad Proterozoica.
- Una brecha sedimentaria y carbonatada trunca, que interrumpe la tercera secuencia de una superficie de erosión importante.
- Una secuencia volcánica terciaria de composición ácida.
- Terrazas aluviales que cubren la última secuencia sedimentaria y se encuentran discordantes.

Con base en las observaciones en campo que realizó el Dr. Emilio Almazán, se determinó que la secuencia del Cámbrico Temprano-Medio presenta 232 m de espesor que se dividieron en siete diferentes miembros, los cuales corresponden a biofacies litológicas con contenido biótico. Se mencionan de la A a la G, desde la más antigua hasta la más reciente siguiendo la propuesta de Ogg y Gradstein (2008) y Geyer y Shergold, (2000); (Figura 6).

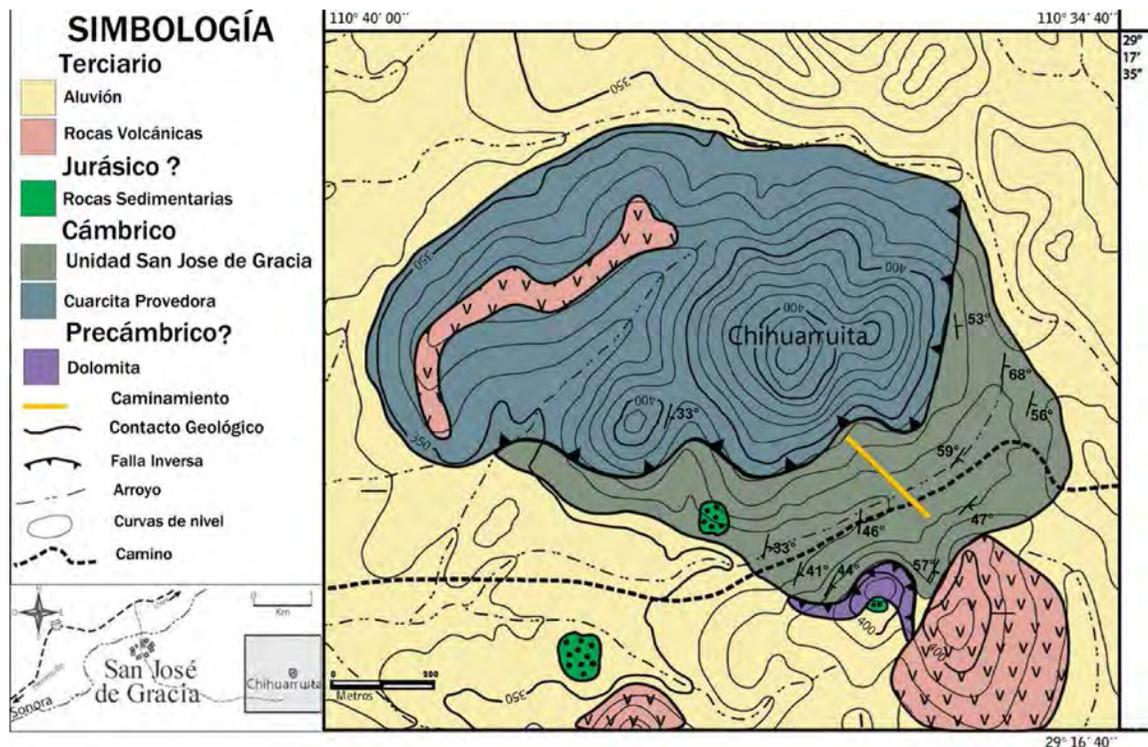


Figura 5. Esquema geológico del área de estudio en San José de Gracia (Tomado de Almazán *in*: Nardin *et al.*, 2009).

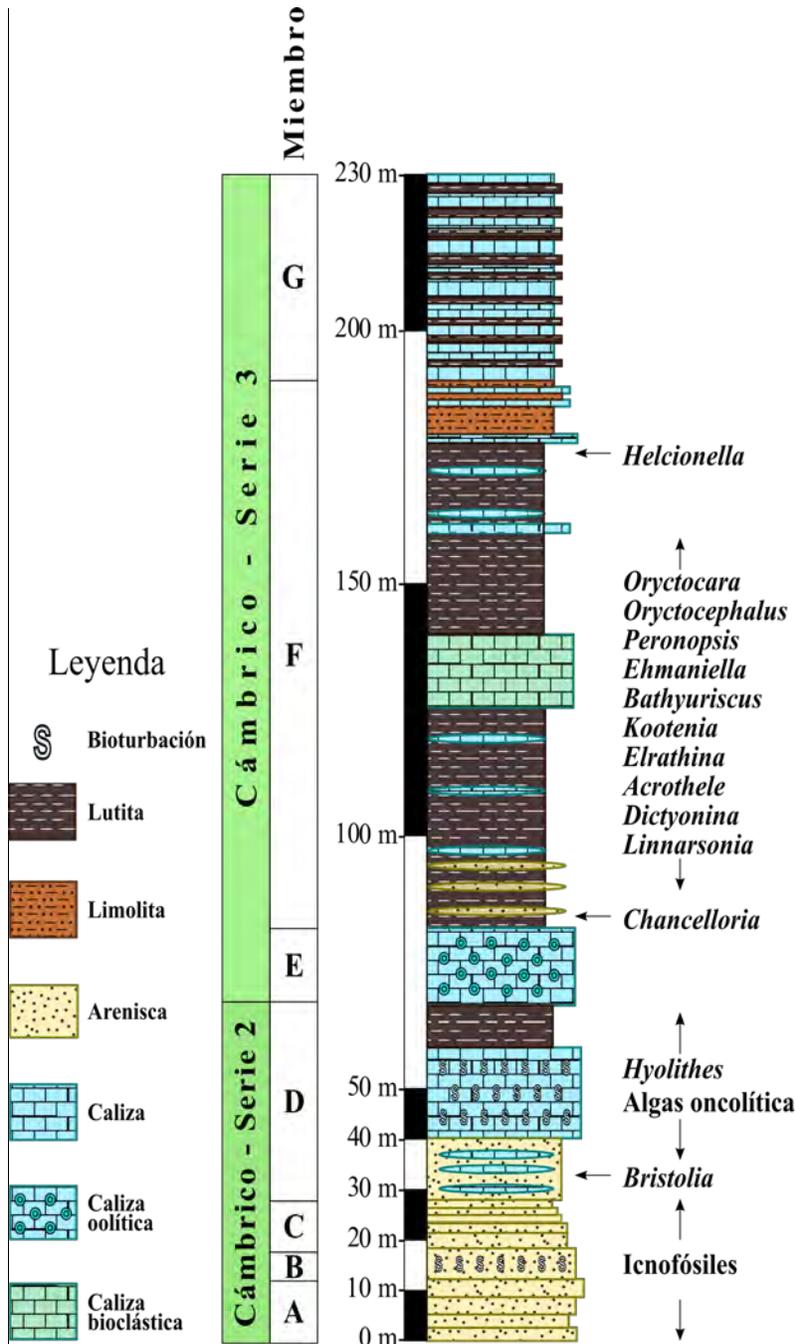


Figura 6. Columna estratigráfica de la secuencia Cámbrico Inferior y Medio de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora (Modificada de Cuen, 2012).

Miembro A

La serie bioestratigráfica del Cámbrico en el Cerro Chihuarruita se inicia con 12 m de cuarcitas de color marrón oscuro, esta unidad posiblemente está incompleta debido a que su base está cubierta por una falla inversa (Figura 7).

Las rocas clásticas están constituidas por granos milimétricos de cuarzo subredondeados, con una tendencia al engrosamiento. Los estratos del miembro superan con frecuencia un metro de espesor (Figuras 8 y 9).



Figura 7. Vista del afloramiento fosilífero en la región de San José de Gracia.



Figura 8. Afloramiento en donde se observan las cuarcitas

Miembro B

Este miembro presenta 5 m de espesor y se considera como una facies clástica. Las rocas consisten en areniscas con bioturbación, ricas en cuarzo de color marrón amarillento, la fuerte bioturbación elimina las estructuras sedimentarias. Esta unidad está cubierta por sedimentos aluviales.

Miembro C

Se encuentran concordantemente diez metros de cuarcitas oscuras color marrón sobre el miembro anterior. Los elementos epiclásticos subangulares, que presenta tienen dimensiones menores de un milímetro de diámetro. Las condiciones hidrodinámicas de la sedimentación dieron origen a una clara gradación del tamaño de grano, desde granos gruesos a medios.

La roca fue piritizada y es posible observar las concentraciones de acumulaciones dispersas de cristales euhedrales de pirita hasta de un milímetro de longitud, parcialmente oxidada.

Miembro D

Este miembro denota un claro cambio en la sedimentación a horizontes clásticos y carbonatados. Su espesor total es de 40 m. La litología predominante es arenisca rojiza y amarillenta. La parte inferior del miembro se compone de capas de arenisca, con lentes de pedernal, que varían en longitud lateral de 5 a 15 m.

En la parte media hay calizas con bioturbación que tienen un espesor de 20 m, con estructuras oncoidales de algas del género *Girvanella* con dimensiones entre 0,5 a 4 cm de diámetro. También estas capas contienen abundantes moluscos-Hyolítidos de las especies *Hyolithes sonora* (Lochman) y *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison, placas de la teca y columna de pelmatozoarios-eocrinoideos de la especie *Gogia granulosa* Robison, así como fragmentos de trilobites del género *Bristolia*. Es probable que el depósito de estas rocas se produjera durante la Etapa/Estado 4 del Cámbrico entre los 514 a 509 Ma, y probablemente corresponda a la biozona *Bonnia-Olenellus* (Cuen, 2013).

La parte superior del miembro está formada por lutitas grises con estructura masiva. Está intensamente fracturada y erosionada en láminas finas (0,5 a 3 cm). Estas lutitas localmente evolucionan a limolita con tonos verdosos y horizontes delgados de calizas color gris, con frecuencia contienen conchas de Hyolítidos asociados con varios fragmentos de trilobites.

Miembro E

El miembro E se encuentra concordantemente sobre el miembro D, está constituido por 15 m de caliza gris oscura, sus estratos varían de 60 cm a 5 m de espesor. Contiene oolitos de forma esférica (su diámetro es más pequeño a un milímetro). Además, la caliza presenta microfracturas rellenas de calcita y algunos nódulos de hematita y pirita.

Miembro F

El miembro F constituye una de las biofacies más expuestas de la secuencia del Cámbrico de San José de Gracia, ya que está formada por una gruesa columna estratigráfica de 110 m constituida por arcillas alternando con horizontes calcáreos delgados a medianos. Este miembro se compone principalmente de estratos arcillosos de color rojizo claro, con estratificación masiva, parcialmente cementadas por carbonatos.

La intensa fracturación tiene como resultado la separación de la roca en láminas pequeñas de menos de 2 cm de longitud. Existen cambios litológicos en los estratos calcáreos y arcillosos a limolitas. Las capas de caliza están intercaladas con capas clásticas delgadas. La parte superior de las calizas muestra irregularidades más fuertes, probablemente como resultado de una intensa bioturbación. Numerosos horizontes calcáreos en forma de lente, presentan erosión en las superficies superior e inferior, y su grosor está comprendido entre 3 a 15 metros. En la base del miembro varias capas de caliza contienen espículas de esponjas Hexáctinellidas de la especie *Chancelloria eros*, Walcott y eocrinoideos de la especie *Gogia granulosa* (Lochman, 1952; Cuen *et al.*, 2013).

En la parte superior, algunas capas de caliza contienen frecuentemente un alto porcentaje (60% y 80%) de fragmentos de pigidios y cefalones de trilobites de los géneros *Elrathina*, *Peronopsis*, *Oryctocara*, *Bathyriscus*, *Ehmaniella*, *Kootenia* y *Oryctocephalus*. También contienen las rocas una abundante y bien conservada fauna de braquiópodos como *Dictyonina*, *Acrothele*, *Linnarsonia* y *Lingulella*.

Miembro G

La parte superior de la columna del Cámbrico de San José de Gracia está formada predominantemente por 40 m de horizontes de tamaño mediano de calizas que varían de 2 a 20 cm de espesor con intercalaciones delgadas de arcilla calcárea de 3 a 35 cm de espesor. El miembro G está tectónicamente cubierto por rocas dolomíticas precámbricas.

RESULTADOS

ASOCIACIÓN BIÓTICA DE LOS MIEMBROS A, B y C.

Las rocas de los miembros A, B y C de la columna estratigráfica de San José de Gracia, principalmente en las areniscas con bioturbación (miembro B), se presentan icnofósiles que consisten en huellas, galerías y perforaciones que fueron el resultado de la actividad de invertebrados posiblemente de vermes, equinodermos y trilobites, entre otros.

El estudio de los icnofósiles del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora central, reflejó una abundancia de ejemplares, pero escasa en diversidad (Corona, 2014). Los icnofósiles identificados en estos miembros corresponden a *Arenicolites* (Figura 10), *Palaeophycus* (Figura 11), *Thalassinoides* (Figura 12) y *Skolithos* (Figura 13).

ICNOGÉNERO *Arenicolites* Salter, 1857

***Arenicolites* sp.**

Descripción. En las areniscas con bioturbación se encontraron galerías con el contorno delgado y las paredes sin escultura, que tienen forma semicircular abierta, con orificios que sugieren una posible entrada y salida del organismo. No hay presencia de estructuras que las comuniquen. La separación entre estos dos segmentos de la galería presenta en promedio ocho centímetros de separación.

Discusión.- Se observó en campo que las rocas presentaban las galerías perpendiculares al plano de estratificación. Seilacher (2007) y Mendoza-Rosales (2010, p. 262, fig.104) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies *Skolithos*.



Figura 9. *Arenicolites* sp.

Ichnogénero *Palaeophycus* Hall, 1847

***Palaeophycus* sp.**

Descripción. Se observan galerías no ramificadas generalmente rectas, con paredes lisas de diámetro variable y típicamente sin estructura, cuyo relleno es parecido al de la roca madre. Se consideran galerías de tipo vivienda o madrigueras generadas por invertebrados excavadores marinos.

Discusión.- De acuerdo a varios autores existe confusión en la determinación morfológica entre *Planolites* y *Palaeophycus*. El ichnogénero *Planolites*, aunque estrictamente es un sinónimo menor de *Palaeophycus*, se puede considerar como icnotaxón con base en la nomenclatura actualizada, y enmendada por Pemberton y Frey (1982) y adoptada consistentemente por autores posteriores, *Planolites* se diagnostica principalmente sobre la base de que es una madriguera sencilla sin protección, mientras que *Palaeophycus* es una madriguera recubierta con protección externa.



Figura 10. *Palaeophycus* sp.

Iconogénero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

***Thalassinoides* sp.**

Descripción. El icnofósil consiste en galerías con ramificación en forma de “T” o “Y” con redes o ampliaciones ya sean horizontales, oblicuas o verticales, con paredes lisas y en algunos casos se observan perforaciones.

Discusión. Se interpreta como una combinación de galería de vivienda y alimentación. El probable productor de estas estructuras fue un crustáceo decápodo.



Figura 117. *Thalassinoides* sp.

Iconógeno *Skolithos* Haldeman, 1840

***Skolithos* sp.**

Descripción. Galerías en forma de tubos rectos orientados verticalmente, nunca ramosos, que muestran una longitud mucho mayor en comparación con la anchura, con diámetros de 0.2 a 1 centímetro, en algunos casos cerrados, raramente anillados.

Discusión. Se encuentran generalmente en arenisca. Se interpretan como galerías de vivienda hechas por invertebrados, como gusanos o phoronidios.



Figura 12. *Skolithos* sp.

IMPORTANCIA DE LOS ICNOFÓSILES.

Los icnofósiles se consideran como evidencias indirectas de la existencia del organismo. 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.

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 los sedimentos (Seilacher, 1967, 1981; Schwennicke, 2009).

Una de las aplicaciones del conocimiento de los icnofósiles es en el análisis de estructuras biogénicas en las rocas sedimentarias que da información sobre las propiedades petrofísicas o calidad de un yacimiento como porosidad y permeabilidad.

Con relación a la diferente distribución que presentaban los continentes y mares en tiempos geológicos pasados, los icnofósiles indican que no hubo desplazamiento secundario, pues se encuentran en el mismo lugar donde fueron generados por los diversos organismos que habitaron determinados lugares (Laporte, 1974). La integración de evidencias icnológicas con datos sedimentológicos y estratigráficos permite caracterizar sucesiones sedimentarias para detectar tendencias transgresivas y regresivas.

ASOCIACIÓN BIÓTICA DEL MIEMBRO D

En la parte media del miembro D se localizan calizas con bioturbación que tienen un espesor de 20 m. La asociación biótica está constituida por abundantes ejemplares de algas con estructura oncoidal cuyas dimensiones se encuentran entre 0.5 cm a 4 cm de diámetro.

Descripción. En la Figura 14 se observa que los oncolitos son muy abundantes (~100 oncolitos por m²), miden de 5 a 25 mm de diámetro y están laminados concéntricamente (láminas de 0.2-1.0 mm de espesor). Son de color gris a negro en una matriz tipo packstone muy hematizada.

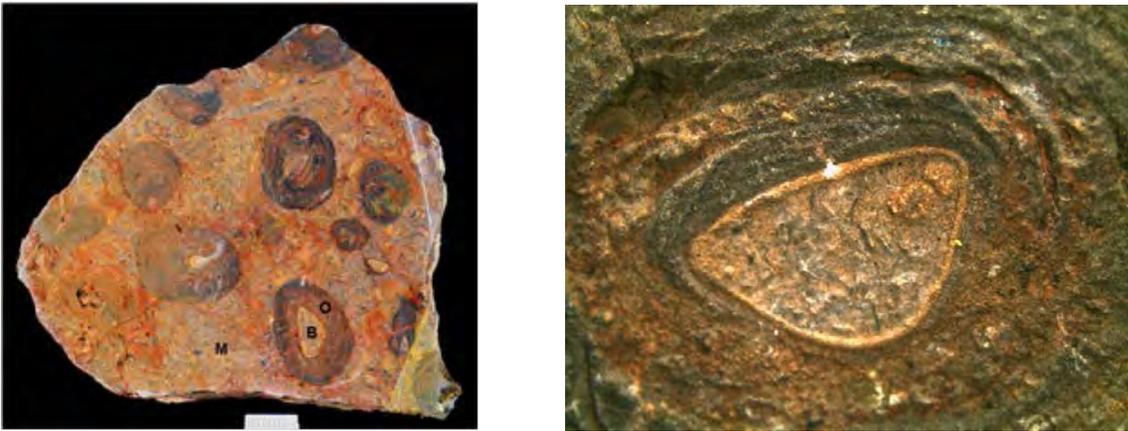


Figura 13. Oncolitos de cianobacterias.

También se observa que la diferencia de tamaño indica la presencia de generaciones mixtas depositadas en la misma cuenca. La laminación gemela observada en calcita, indica procesos de disolución después del enterramiento. Es posible que las fluctuaciones del nivel del mar influyeran en la diagénesis temprana de estas rocas. Estos procesos pudieran ser también responsables de su hematización.

Discusión. La composición de la roca en sección delgada sugiere que los organismos se depositaron en una plataforma carbonatada, marina-marginal, tal vez en una laguna costera. El retrabajo de los granos esqueléticos denota un ambiente de media a alta energía, necesaria para promover el crecimiento radial de los oncolitos.

Familia HYOLITHIDAE Nicholson, 1872

Los hiolítidos son un grupo de organismos paleozoicos extintos, aparecen en el Cámbrico temprano y se extinguen en el Paleozoico tardío, pero son más abundantes en el Paleozoico temprano, se consideran dentro del Phylum Mollusca, algunos autores proponen a la clase Hyolithida y otros autores opinan que son un orden dentro de la clase Monoplacophora (Yochelson, 1961; Yochelson *et al.* 1969).

Actualmente los hiolítidos están divididos en dos grupos morfológicamente distintos: el Hyolithida y el Orthothecida. El grupo de los Hyolithida comprende a numerosas especies. El esqueleto de los hiolítidos consiste en cuatro elementos: una concha cónica con una placa ventral sobresaliente llamado lígula, un opérculo externo y un par de espinas curvas llamadas helens. El Grupo Orthothecida es heterogéneo y escasamente estudiado incluye formas con concha cónica y un opérculo retráctil. Los diferentes elementos esqueléticos no están articulados por charnelas pero seguramente estuvieron articulados por tejido suave, la relación anatómica entre la concha y el opérculo es relativamente sencilla, pero la articulación y orientación precisa de los helens está sin resolverse. Es más, su morfología y estructura detallada también es desconocida. Hasta el momento se tienen registrados 165 géneros de hiolítidos.

La presencia de hiolítidos procedentes de la Formación la Ciénaga en Caborca, Sonora, fue mencionada previamente por McMennamin (1985) pero este autor no los estudió. En la caliza oolítica también hay presencia de diversos phyla de invertebrados con valor estratigráfico, entre ellos moluscos enigmáticos del grupo de los hiolítidos de las especies *Hyolithes sonora* Lochman y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison (Figuras 15-17).

Descripción. La concha presenta forma cónica. La superficie externa es lisa con líneas de crecimiento poco aparentes, en algunos géneros se observan costillas transversales.

El opérculo es subcircular, subcuadrado o subtriangular.

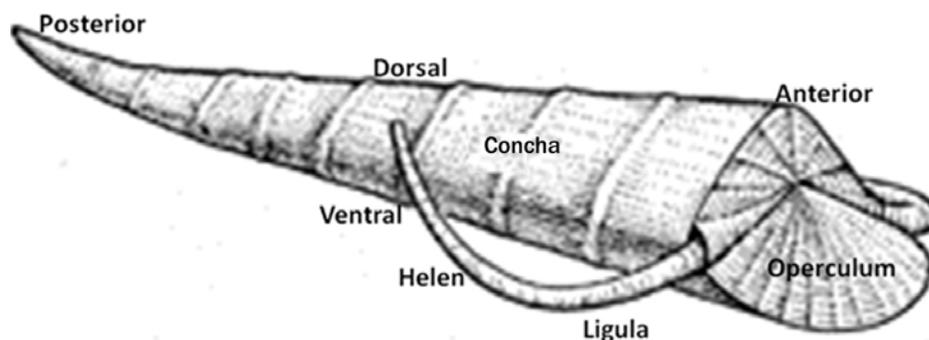


Figura 14. Morfología de un hiolítido.



Figura 8. *Hyolithes sonora* Lochman

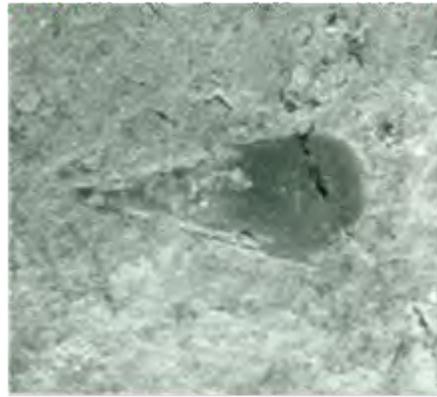


Figura 9. *Haplophrentis reesei* Bobcok y Robison

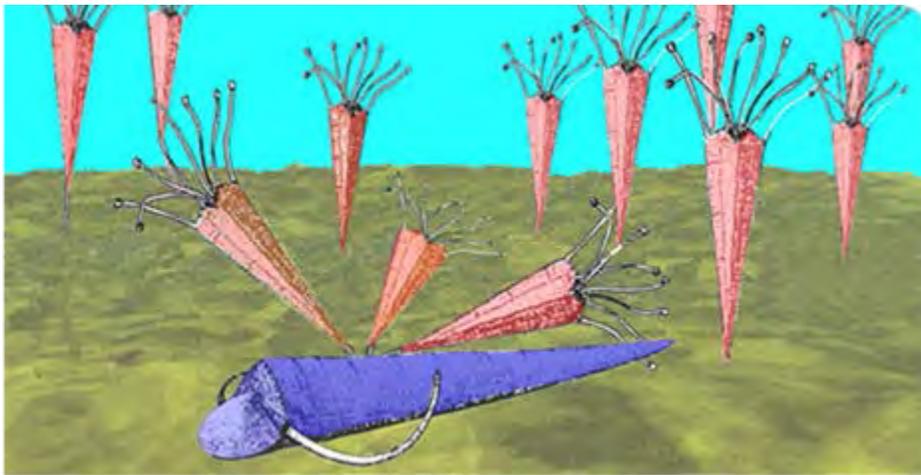


Figura 10. Hábitos de alimentación de Hyolítidos (Tomada de Baumiller, *et al* 2010).

Phylum Echinodermata

Clase Blastoidea

Subclase Eocrinoidea

También se encontraron en estos estratos placas de la teca y columna de pelmatozoarios-eocrinoideos que se identificaron con la especie *Gogia granulosa* Robison (Figuras 19 y

20). Es probable que el depósito de estas rocas se produjera durante la Etapa/Estado 4 del Cámbrico que duró aproximadamente de 517 a 510 Ma.



Figura 11. *Gogia granulosa* Robison

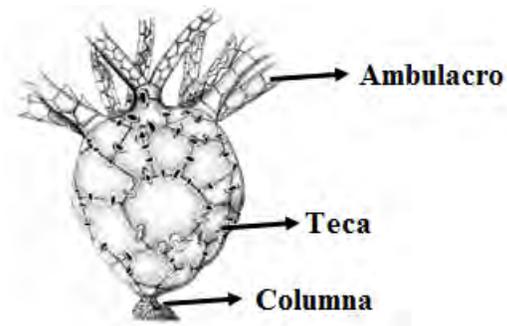


Figura 1912. Reconstrucción de *Gogia* sp.

La parte superior del miembro está formada por lutitas grises con estructura masiva. Está intensamente fracturada y erosionada en láminas finas (0,5 a 3 cm). Estas lutitas localmente evolucionan a limolita con tonos verdosos y horizontes delgados de calizas color gris, con frecuencia contienen conchas de hyolítidos asociados con varios fragmentos de trilobites.

Descripción. La teca tiene el contorno subredondeado y está formada por numerosas placas desarticuladas, al menos están conservadas 15 de ellas. Las placas tienen 7 mm de diámetro, son de forma irregular y presentan numerosas suturas.

Discusión. Nardin et al. (2009) describieron por primera vez para México un espécimen casi completo y numerosas placas aisladas de un blastoide de la especie *Gogia granulosa* Robison.

ASOCIACIÓN BIÓTICA DEL MIEMBRO F

El miembro F está representado en el cerro Chihuahuita por arcillas que alternan con horizontes calcáreos con un espesor aproximado de 110 m. La intensa fracturación tiene como resultado la separación de la roca en láminas pequeñas de menos de 2 cm de longitud. La parte superior de las calizas muestra irregularidades más fuertes, probablemente como resultado de una intensa bioturbación. Numerosos horizontes calcáreos en forma de lente, presentan erosión en las superficies superior e inferior, y su grosor está comprendido entre 3 a 15 metros. En la base del miembro varias capas de caliza contienen abundantes espículas de esponjas Hexáctinellidas, de la especie *Chancelloria eros* Walcott (Lochman, 1952; Cuen *et al.*, 2013) (Figuras 21 y 22).

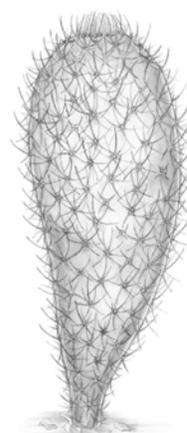


Figura 130. *Chancelloria eros* (30X) y reconstrucción de un chancelorido (1X)



Figura 21. Espículas de esponja hexactinélida (40X).

En la parte superior de algunas capas de caliza se presenta frecuentemente un alto porcentaje (60% y 80%) de fragmentos de trilobites de los géneros *Elrathina*, *Peronopsis*, *Ogygopsis*.

Descripción. Los escleritos presentan 6 a 7 rayos tangenciales con forma de estrella y un rayo central vertical perpendicular. La base o disco central desde el cual se articulan los rayos es aparentemente abultado o discoideo con un diámetro aproximado de 0.53 mm. Las facetas basales de articulación de los rayos no se observaron (Cuen *et al.* 2013).

Discusión. Las esponjas están únicamente representadas por espículas hexactinélidas que constituyeron el esqueleto de las mismas.

Importancia. Las esponjas hexactinélidas se consideran como índices estratigráficos, paleoecológicos y paleogeográficos. Anteriormente fueron descritas espículas de esponjas del Cámbrico de Caborca, Sonora (Cooper *et al.* 1952).

Phylum Arthropoda

Clase Trilobita

Los trilobites pertenecen al Phylum Arthropoda, son marinos, caracterizados por presentar el exoesqueleto quitinoso dividido longitudinalmente en tres partes o lóbulos que corresponden a dos partes torácicas laterales y una central o axis (Stormer Leif ,1968). Los primeros aparecieron en el Cámbrico Temprano y alcanzaron su máximo desarrollo en el Cámbrico Tardío, son típicamente de contorno ovoide a subelíptico. El rango de longitud promedio de los trilobites es de 3 a 10 cm, algunas especies son menores a 5 mm (*Pagetia*) y otra tiene 75 cm de longitud (*Phacops rana*).

Descripción. Horizontalmente tienen la región cefálica, en general bien desarrollada (cefalón o cranidio), articulada con el tórax formado por un número variable de segmentos y termina con una placa (pigidio). En el cefalón se distingue una porción central (glabella) y líneas de fractura (suturas), y la mayoría tiene ojos compuestos, pero también hay formas

ciegas (agnóstidos). En la región lateral del cuerpo puede haber espinas cefálicas, torácicas y pigidiales. Los apéndices locomotores raramente se conservaron y en algunos casos se preservaron antenas no ramosas (Buitrón et al. 2010) (Figura 23).

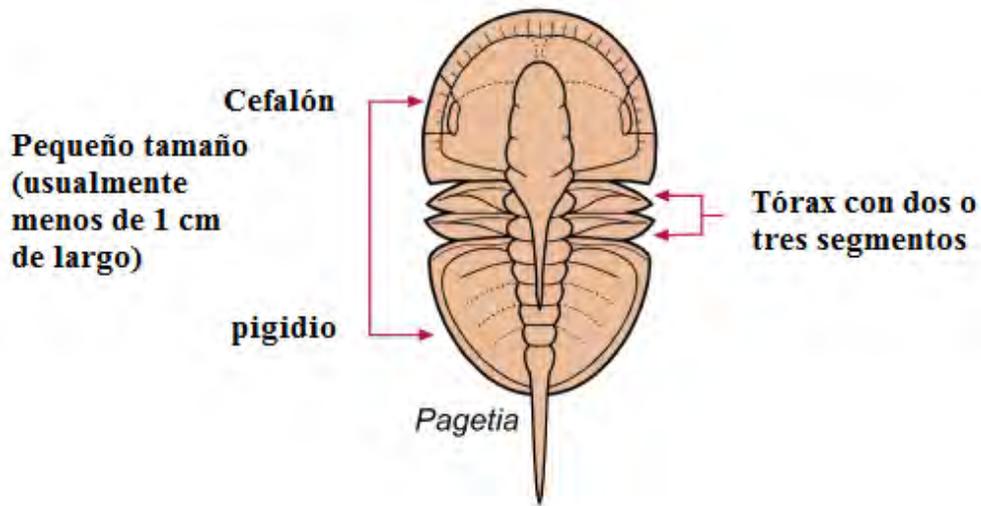


Figura 142. Reconstrucción de un trilobites agnóstico

Discusión. Los géneros de trilobites que se encontraron en la región de San José de Gracia en el estado de Sonora son: *Ehmaniella*, *Bristolia*, *Peronopsis* (Figura 24), *Kootenia*, *Pagetia* y *Bathyriscus* (Figura 25), *Oryctocephalus*, *Oryctocara*, *Elrathina* (Figura 26).





Figura 15. *Peronopsis* sp. (35X)

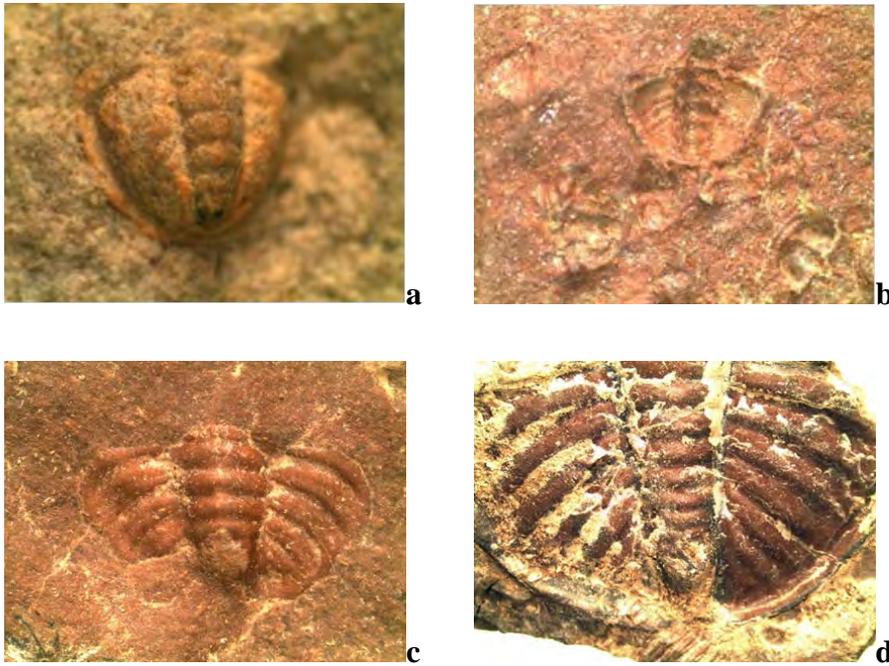


Figura 16. A) *Kootenia* sp. (30X), B) *Pagetia* sp. (30X), C, D) *Bathyriscus* sp. (12X).

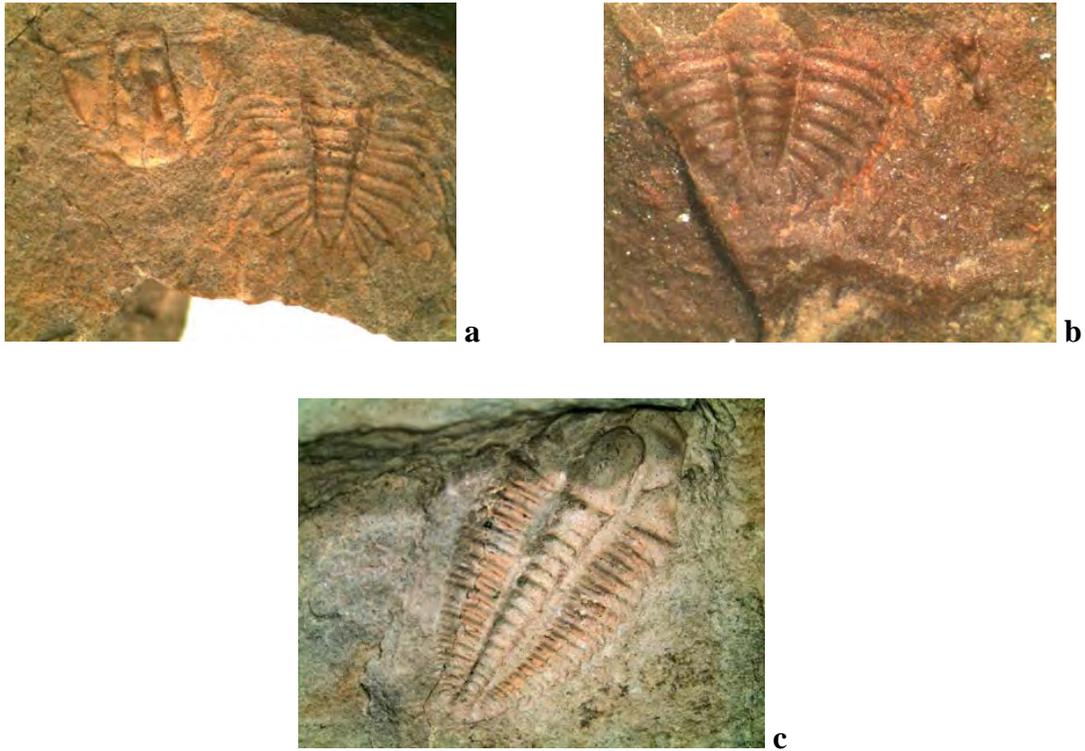


Figura 17. A) *Oryctocephalus* sp. (25X), B) *Orytocara* sp. (35X), C) *Elrathina* sp. (20X)

Phylum Brachiopoda

Subphylum Linguliformea

También estas rocas contienen una diversa pero mal conservada fauna de braquiópodos linguliformes.

Descripción. Los braquiópodos tienen dos valvas, la valva ventral que es generalmente convexa y la valva dorsal que frecuentemente es cóncava; las valvas se encuentran en contacto entre sí mediante comisuras (anteriores y laterales) (Figura 27 y Figura 28).

Braquiópodo
(concha parcialmente cortada por la parte superior)

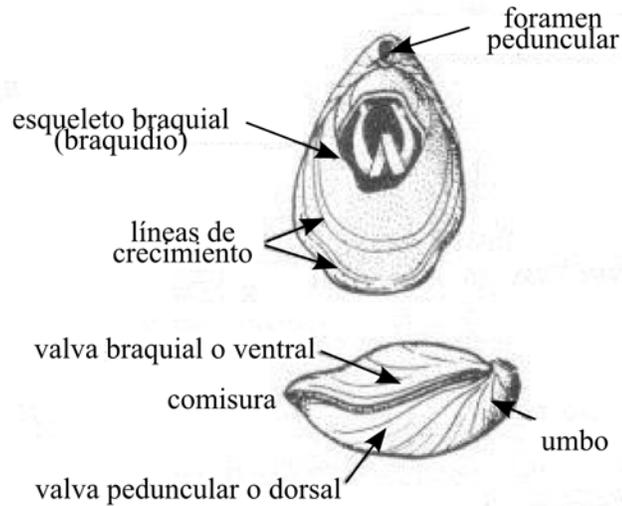


Figura 186. Reconstrucción de un braquiópodo.

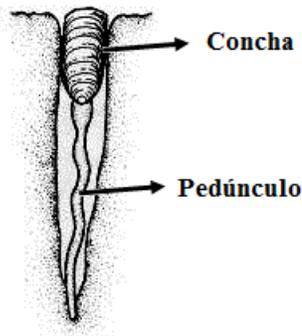


Figura 197. Representación de un braquiópodo linguliforme.

En la valva ventral, la interárea se divide formando una abertura triangular conocida como delthyrium, que puede presentarse parcialmente cerrada por una extensión en forma de “V”, que se desarrolla a partir del margen posterior en la valva ventral, que forma una estructura conocida como lofidium. Cuando esta estructura es continúa por una placa plana o convexa, recibe el nombre de pseudodelthyrium. La cara interna del lofidium puede

extenderse ventralmente y formar una cresta angular adherida a la cara externa de los procesos cardinales (Muir-Wood y Cooper, 1960).

Una diferencia importante entre la valva dorsal y la ventral, es que ésta última se proyecta hacia atrás del margen formando el umbo; en la concha pueden formarse acanaladuras u ondulaciones hacia el margen ventral de la misma, también en dirección al margen posterior de la charnela se pueden presentar extensiones laminares de la concha con terminación redondeada o alada.

La ornamentación de los braquiópodos pueden ser más o menos marcada longitudinalmente formando una concha *capilada*, con costillas o *costellae*, las cuales se encuentran separadas por espacios deprimidos denominados surcos intercostales. Se dice que la superficie es *capilada* cuando la concha está cubierta con líneas radiales en número mayor a 25 por cada centímetro (en este caso las estructuras son llamadas estrías). Las *costellae* se presentan en números de 15 a 25 por cada centímetro, si estas estructuras están fuertemente redondeadas se les llama *costae* y, finalmente a las líneas radiales que se observan más gruesas se les conoce como *costillas* (Muir-Wood y Cooper, 1960).

Discusión. En algunos casos, la ornamentación consiste en arrugas adicionalmente a las líneas radiales, cuando se presentan estas últimas se forman ondulaciones regulares e irregulares que se sitúan concéntricamente o pasan tangencialmente entre las líneas de crecimiento (Muir-Wood y Cooper, 1960). Los géneros identificados corresponden a *Linnarsonia*, *Lingulella*, *Acrothele* y *Dictyonina* (Figuras 29 y 30).



a



b



c



d

Figura 208. A) *Linnarsonia* sp. (25X), B) *Lingulella* sp. (35X), C y D) *Acrothele* sp. (23X).



Figura 2921. *Dictyonina* sp. (8X)

CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS

Al principio del periodo Cámbrico los mares estuvieron poblados por una abundante y diversa biota, que incluyó representantes de la mayoría de los grupos de los invertebrados actuales. Entre los phyla principales que se iniciaron en el Cámbrico, se encuentran los Porifera, Brachiopoda, vermes, Mollusca, Artrophoda y Echinodermata que continuaron evolucionado, con valor estratigráfico hasta la actualidad. También en el Cámbrico se encuentran evidencias de la actividad de los invertebrados, que son considerados como icnofósiles de gran valor estratigráfico.

La edad de los icnofósiles descritos en este trabajo se determinó por su posición estratigráfica en la columna y por las rocas que los suprayacen con especímenes del trilobite *Bristolia*, ampliamente registrado en rocas del Cámbrico Inferior del mundo (Nardin *et al.* 2009).

Los oncolitos que formaron las cianobacterias, anteriormente conocidas como algas cianofíceas, son abundantes e importantes como índices estratigráficos, que en San José de Gracia confirman la edad cámbrica de los estratos que las contienen.

Los moluscos del género *Hyolithes* son índices estratigráficos de diferentes afloramientos de rocas sedimentarias con distribución mundial. En México, se encuentran en las localidades cámbricas de Caborca (Cooper *et al.*, 1952), al norte del estado de Sonora y particularmente en San José de Gracia donde se citan del miembro D.

La existencia de espículas de esponjas hexactinélidas del género *Chancelloria* son escasas en el miembro F y son consideradas índices estratigráficos del Cámbrico, tanto de Sonora y de otras regiones del mundo (Cooper *et al.*, 1952; Cuen *et al.*, 2012, 2013).

Las columnas y tecas de ejemplares de Echinodermata-Pelmatozoa se encuentran de manera fragmentada en las rocas Cámbricas de San José de Gracia. La especie presente es *Gogia granulosa* que es índice del Cámbrico Inferior-Medio (Nardin *et al.*, 2009).

Los Arthropoda en el Cámbrico incluyen a los trilobites, cuya diversidad y abundancia es notable en varias localidades del Cámbrico Temprano de México como particularmente en la región de Caborca en Sonora, representados por los géneros *Bristolia*, *Olenellus*, *Padeumias*, *Wanneria*, *Bonnia*, *Antagmus* y *Onchocephalus* (Lochman, 1952).

Los trilobites tuvieron gran importancia estratigráfica desde el Cámbrico al Devónico, debido a que evolucionaron rápidamente en el tiempo y tuvieron una distribución geográfica amplia, por lo tanto son índices. Después del Devónico sólo existió una familia (Lochman, 1952).

En la región de San José de Gracia son abundantes los trilobites *Peronopsis*, *Pagetia*, *Oryctocephalus*, *Kootenia*, *Bathyriscus* y *Elrathina*. Entre los Brachiopoda se han citado los géneros *Acrothele*, *Prototreta*, *Dictyonina* y *Linnarsonia* que son índices estratigráficos.

CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS

Es en el Paleozoico Temprano cuando aparecen la mayoría de los phyla que hoy en día existen. En el Cámbrico se da la “explosión de la vida”, sin embargo hay episodios masivos de extinción. La vida en este periodo se desarrolló en su mayoría en el mar con organismos de cuerpo blando que a través del tiempo formaron conchas como protección de los depredadores (McAlester, 1973).

En el oeste de Norte América, un cinturón extenso de sedimentos de carbonatos, formaron una plataforma carbonatada, durante el Cámbrico Medio y Tardío. Este cinturón separa a una región interna conformada por sedimentos terrígenos, generalmente asociada con caliza oscura y estratificada.

La mayoría de los depósitos de las plataformas carbonatadas y los sedimentos más profundos dentro de la zona detrítica, contiene fauna característica de la zona cratónica.

Depósitos de los márgenes oceánicos de la plataforma de carbonatos y de los sedimentos profundos del agua fuera de la faja detrítica contiene fauna característica de la zona extra cratónica- intermedia. La fauna de las dos primeras biofacies ha sido representativa de la provincia de Norte América en el Pacífico, mientras que la extra cratónica- euxínica ha sido representativa de provincias del Atlántico.

La asociación de organismos fósiles constituye una tanatocenosis, contrariamente de la biocenosis cuando se trata de organismos vivos. El proceso de fosilización está influido por ciertos factores desfavorables entre ellos biológicos, físicos y químicos que pueden haber impedido la fosilización de los organismos o parte de ellos. La influencia subsecuente de procesos diagenéticos pudo haber causado la pérdida de ciertos componentes de la tanatocenosis o pudieron haber alterado la estructura de los fósiles como es el caso de los hiolítidos o la fragmentación del cuerpo de las esponjas de San José de Gracia.

Los trilobites eran invertebrados marinos nadadores o reptadores del fondo, existen formas ciegas como los agnóstidos-pagétidos en San José de Gracia, que con seguridad vivían enterrados en el sedimento (Buitrón *et al.*, 2010). Los trilobites de Norte América se volvieron cada vez más diversos y cosmopolitas. La fauna del interior del continente consiste en especies endémicas de trilobites no Agnóstidos.

Durante el Cámbrico Medio hasta el Cámbrico Tardío, el contraste es llamativo y es difícil marcar una correlación de secuencias faunísticas; por ejemplo, los trilobites de la parte interna de la plataforma carbonatada y de la zona detrítica durante el Cámbrico Medio son formas endémicas como *Bathyriscus* y *Kootenia*. Los trilobites externos incluyen a los doripígidos y a los abundantes Agnóstidos (Hallam, 1973).

Ciertos elementos de la tanatocenosis por ejemplo, organismos sin partes duras que no pueden fosilizarse han desaparecido de esta asociación. Es posible que en la localidad fosilífera del Cerro Chihuarruita, en San José de Gracia existieran en la biocenosis del Cámbrico organismos del tipo de los vermes (gusanos), artrópodos crustáceos (cangrejos)

o esponjas, de las últimas únicamente se conservaron sus espículas hexactinélidas (Figura 31).

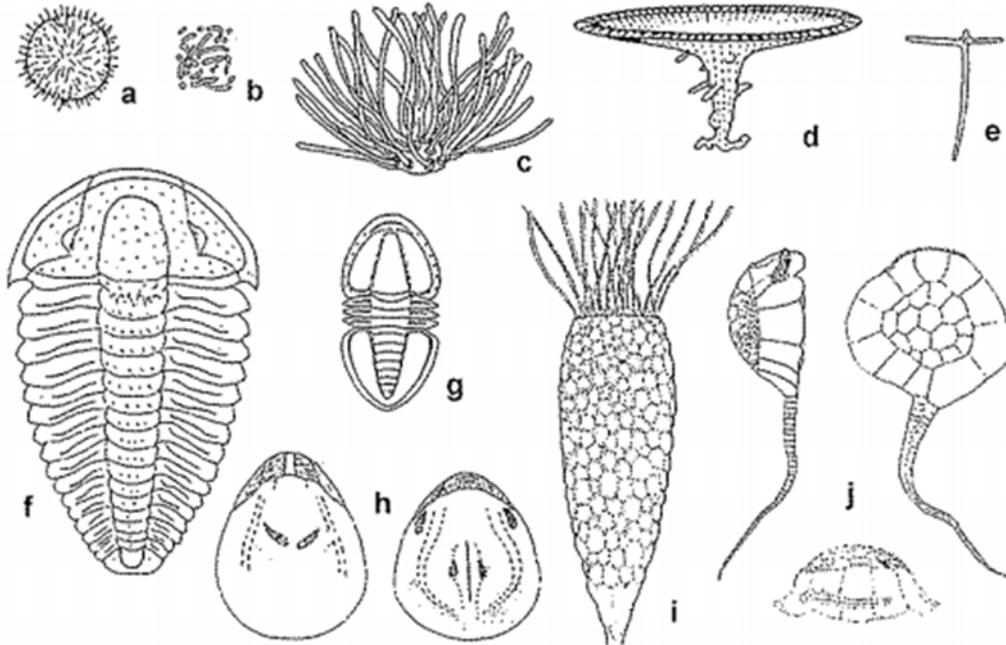


Figura 22. Principales grupos pertenecientes al periodo Cámbrico. (a) acritarca, (b) calcimicrobio, (c) alga, (d) arqueociato, (e) espícula de esponja hexactinélida, (f, g) trilobites, (h) braquiópodo (i) eocrinoideo, (j) carpoideo (Modificado de Liñán y Gámez-Vintaed, ,1999).

Entre los trilobites hay una gran abundancia de especímenes bien conservados que ocuparon ambientes bentónicos marinos de salinidad normal con abundantes nutrientes que propiciaron una gran diversidad y pronta evolución del grupo en el Paleozoico Temprano.

Los braquiópodos están representados principalmente por linguliformes (*Acrothele* sp.). Estos organismos fueron habitantes del bentos marino y de hábitos suspensívoros.

Según la interpretación de Mount (1980) y Briggs y Mount (1982) la asociación biótica vivió en condiciones paleoambientales correspondientes a una plataforma detrítica interna con una relativa alta energía (Figura 32).

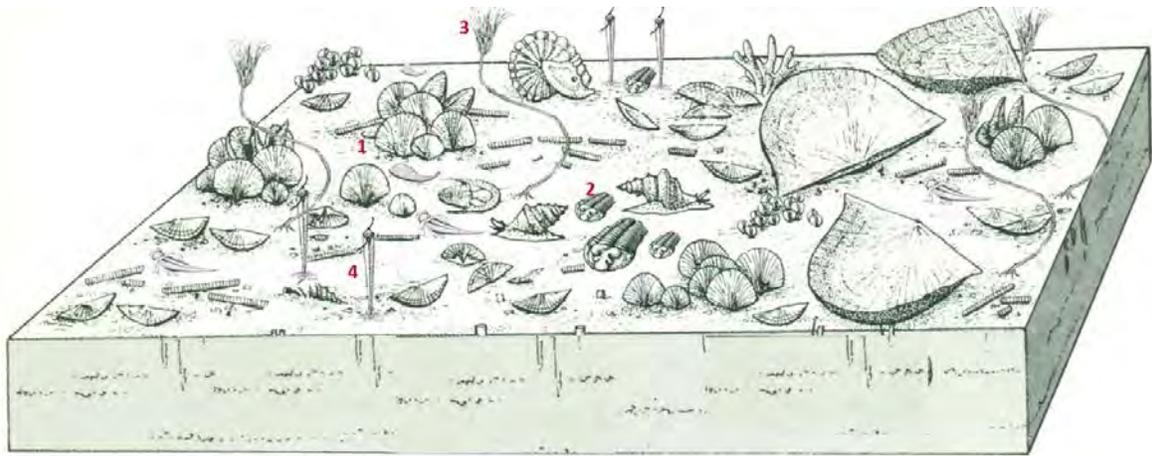


Figura 231. Asociación biótica del Cámbrico de San José de Gracia: 1. Braquiópodos, 2. Trilobites, 3. Eocrinoideo, 4. Hiolíthidos.

CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

La asociación biótica de San José de Gracia, Sonora central, permitió establecer relaciones paleogeográficas con faunas del norte de Utah y con el sureste de Idaho. La evidencia geológica y paleomagnética que se tiene indica que en el Precámbrico existió un Supercontinente.

Reconstrucciones paleogeográficas de Norteamérica sugieren que el margen occidental se encontraba localizado en los trópicos, orientado este-oeste durante el Cámbrico Temprano. Como consecuencia de esta posición, la fauna de esta zona es muy particular y única.

Lochman y Wilson (1958) en su síntesis del Cámbrico sobre Norteamérica reconocen aparentemente tres biofacies caracterizadas por criterios tectónicos y ambientales: una con característica cratónica, otra zona extracratónica-intermedia y otra extracratónica-euxínica.

En la región de San José de Gracia, particularmente los icnofósiles de los icnogéneros *Skolithos*, *Arenicolites*, *Palaeophycus* y *Thalassinoides*, proceden de los miembros A, B y C que están conformados por arenisca con bioturbación.

También se han reportado algas oncolíticas calcáreas ampliamente distribuidas en el Paleozoico de varias regiones del mundo China, Australia, Francia, Canadá y en Estados Unidos de Norteamérica en Nevada, California y Arizona (Cooper *et al.* 1952), (Figuras 34-35).

	Géneros	Norte América	Sudamérica	Europa	Asia	África	Antártica	Australia
Arthropoda	<i>Elrathia</i>	x		x	x	x		
	<i>Peronopsis</i>	x	x	x	x			x
	<i>Pagetia</i>	x		x	x	x		x
	<i>Oryctocephalus</i>	x	x	x	x			x
	<i>Ehmaniella</i>	x			x			
	<i>Kootenia</i>	x		x	x		x	x
	<i>Bathyriscus</i>	x		x				

Figura 242. Correlación de los trilobites de San José de Gracia con otras regiones del mundo.

	Géneros	Norte América	Sudamérica	Europa	Asia	África	Antártica	Australia
Brachyopoda	<i>Linnarssonina</i>	x		x				x
	<i>Acrothele</i>	x		x	x			x
	<i>Prototreta</i>	x	x	x		x	x	x
	<i>Dictyonina</i>	x		x				x
Echino-dermata	<i>Gogia</i>	x		x				
Mollusca	<i>Helcionella</i>	x		x	x			x
	<i>Hyolithes</i>	x	x	x	x		x	x

Figura 253. Correlación de la biota de San José de Gracia con otras regiones del mundo.



Figura 34. Reconstrucción paleogeográfica del Cámbrico (Scotese, 2003)

CONCLUSIONES

La asociación biótica de la localidad fosilífera en la región de San José de Gracia, Sonora, está constituida por diversos taxa de invertebrados como oncolitos de cianobacterias, esponjas-hexactinélidas (*Chancelloria*), braquiópodos (*Dictyonina*, *Acrothele*, *Linnarsonia*, *Prototreta*), moluscos (*Hyolithes*), artrópodos-trilobites (*Bathyriscus*, *Kootenia*, *Orytocephalus*, *Elrathina*, *Pagetia*, *Peronopsis*) y equinodermos-eucrinoideos (*Gogia*).

Se da a conocer por primera vez la existencia de cianobacterias para San José de Gracia.

Se confirma la edad del Cámbrico Inferior de los miembros A, B y C de la columna estratigráfica de San José de Gracia con base en el estudio de los icnofósiles *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides*, y *Palaeophycus*.

La composición de la comunidad biótica sugiere que el ambiente de depósito tuvo lugar en una plataforma carbonatada de mar tropical, somero, con agua bien oxigenada y que prevaleció durante el Cámbrico en la región de San José de Gracia, Sonora.

La distribución de la biota denota que existió una amplia provincia faunística que comprende varias localidades en México (Caborca y Ures) y en los Estados Unidos de Norteamérica (Idaho, Utah y California) que formaban parte del Océano Pantalásico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ALMAZÁN, E. 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 8(1):58-66.

ALMAZÁN V. E., BUITRÓN-SÁNCHEZ, B. E. y FRANCO-VEGA, O. 2006. Formación Pozo Nuevo: una secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 23: 23-38.

BALDIS B. A. J. y BORDONARO O. L. 1981. Vinculación entre el Cámbrico del noroeste de México y la Precoordillera Argentina. Porto Alegre, Brasil, II Congreso Latinoamericano de Paleontología, Annals. Vol.1, p 1-10.

BAUMILLER, T. K., SALAMON, M. A., GORZELAK, P., MOOI, R., MESSING, C. G. y GAHN, F. J. 2010. Post Paleozoic crinoid radiation in response to benthic predation preceded the Mesozoic Marine revolution. Proceedings of the Natural Academy of Sciences, 107(13):5893-5896.

BRIGGS, D. E. G. y MOUNT, J. D. 1982. The occurrence of the giant arthropod *Anomalocaris* in the Lower Cambrian of Southern California and the overall distribution of the genus. Journal of Paleontology, 56:1112-1118.

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: 193-201.

BUITRÓN B. E., ALMAZÁN-VÁZQUEZ, E. y GOMÉZ-ESPINOSA, C. 2010. Paleontología General, Invertebrados. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, 352 p.

BUITRÓN, B., ALMAZÁN, E., CLAUSEN, S. y GÓMEZ, C. 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyolithida, Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noreste de México. Reunión Internacional de Malacología. Libro de resúmenes, 175 p.

BRUNNER, P. 1975. Estudio estratigráfico del Devónico en el área de Bisani, Caborca, Sonora. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 7:16-45.

BROMLEY, R. G. y ASGARD, U. 1991. Ichnofacies: a mixture of taphofacies and biofacies. Lethaia, vol. 24, p. 153-163.

COOPER, G. A. y ARELLANO, A., 1946. Stratigraphy near Caborca, northwestern México, Sonora. Vol. 30, No 4, p 606-610.

COOPER, G. A., ARELLANO, A., JOHNSON, J., OKULITCH, J., STOYANOW, A. y LOCHMAN, C. 1952. Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, 119(1):1-178.

CUEN, R. F. 2012. Sobre la estratigrafía y paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora central. Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura. 65 p.

CUEN, R. F. 2013. Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones paleogeográficas. Universidad de Sonora, Tesis de Maestría. 141 p.

CUEN, F., BERESI, M., MONTIJO, A., BUITRÓN, B., MINJÁRES, S., DE LA O, M. y PALAFOX, J. J. 2013. *Chancelloria* Walcott, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico Medio de San José de Gracia, Sonora, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65:581-590.

GEYER, G. y SHERGOLD, J. 2000. The Quest for Internationally Recognized Divisions of Cambrian Time. Episodes 23, p 188-195.

GONZÁLEZ-LEÓN, C. 1986. Evolución de los terrenos mesozoicos en el noreste de México. Boletín del Departamento de Geología del estado de Sonora, 6:39-54.

Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), 1985. Información General sobre el estado de Sonora.

LAPORTE, L.F. 1974. Los ambientes antiguos, Fundamentos de las Ciencias de la Tierra, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 115 p.

LIÑÁN, E. y GÁMEZ-VINTANED, J. 1999. La radiación Cámbrica: ¿Explosión de biodiversidad o de fosilización? Boletín S. E. A, 26:133-143.

LOCHMAN, C. 1952. Trilobites in Cooper, G. A., Arellano A., Jhonson J., Okulitch J., Stoyanow A., Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 119, No 1, p 60-107.

LOCHMAN, C. y WILSON, J. 1958. Cambrian biostratigraphy in North America. Journal of Paleontology, 32(2):312-350.

LONGORIA, F., GONZÁLEZ, M., MENDOZA, J. y PÉREZ, V. 1978. Consideraciones estructurales en el cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NO de Sonora. Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, 1(1):61-67.

LONGORIA, J. y PÉREZ, V. 1979. Bosquejo geológico de los cerros Chino y Rajón, cuadrángulo Piquito-La Primavera, NW de Sonora. Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, 1:119-144.

MALINSKY, J. M. 1990. Early and Middle Cambrian Hyolitha (Mollusca) from Northeastern China. Journal of Paleontology, Vol. 64, No. 2, pp. 228-240.

McALESTER, A. L. 1973. La historia de la vida, Fundamentos de las Ciencias de la Tierra, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 151 p.

McMENAMIN, M. A. S. 1985. Basal Cambrian small shelly fossils from the La Ciénega Formation, northwestern Sonora, México. Journal of Paleontology, 59(6):1414-1425.

- MOORE, R. 1966. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda, XXXII. Geological Society of America and University of Kansas Press. 927 p.
- MOUNT, J. D. 1980. Characteristics of Early Cambrian faunas from eastern San Bernardino County, California. Southern California Paleontological Society, Special Publication, 2:19-29.
- MUIR-WOOD, H. M. y COOPER, G. A. 1960. Morphology, classification and life of the Productoidea. Geological Society of America. Memoir 81, 447 p.
- NARDIN, E., ALMAZÁN-VÁZQUEZ, E. y BUITRÓN-SÁNCHEZ, B. E. 2009. First report of Gogia (Eocrinoidea, Echinodermata) from the Early-Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and paleoecological comments. Geobios 42: 233-242.
- OGG J.G. y GRADSTEIN, F. M. 2008. The Concise Geologic Time Scale, Cambridge University Press, New York (Editors) 184 p.
- PEIFFER, R. F., ECHEVARRI-PEREZ, A., SALAS, G. A. y RANGIN, C. 1980. Sur la présence de l'Ordovicien supérieur á graptolites dans le nord-ouest du Mexique. C.R. Acad. Sciences, Paris, 290, p. 13-16.
- RAISZ, E. 1964. Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., mapa de escala 1:3 000 000.
- RIVA, J. y KETNER, K. 1989. Ordovician graptolites from the northern Sierra de Cobachi, Sonora, Mexico. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences, 80:71-90.
- RIVERA-CARRANCO, E. 1988. Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora Noroccidental. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 7(1):22-27.
- REGALADO, O. y SOUR, F. 2013. Análisis morfométrico de meraspis de agnóstidos: aplicación en taxonomía de formas juveniles. VIII Congreso Latinoamericana de Paleontología.

SCHWENNICKE, T. 2009. Curso de Icnología. Universidad Autónoma de Baja California Sur La Paz, B.C.S. p. s/n.

SEILACHER, A. 1953. Studien zur Palichnologie. I. Über die Methoden der Palichnologie. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, vol. 96, p. 421-453.

SEILACHER, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. Marine Geology, vol.5, p. 413-428.

SEILACHER, A. 2007. Trace Fossils Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 226 p.

SCOTESE, C. 2003. Paleomap project. Disponible en <http://www.scotese.com/Default.htm>

SILVA-ROMO, G. Y MENDOZA-ROSALES, C. 2010. Manual para el Trabajo Geológico de Campo. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), Proyecto PAPIME PE-101909, 374 p.

STEWART, J., McMENAMIN, A. y MORALES-RAMÍREZ, J. 1984. Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico - Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleocurrent Studies and Regional relations. U.S. Geological Survey Professional Paper 1309, 36 p.

YOCHELSON, E. 1961. The Operculum and Mode of Life of Hyolithes. Journal of Paleontology, Vol. 35, No. 1, pp. 152-161

YOCHELSON, E., MAREK, L. y FLOWER, R. H. 1969. Late Cambrian Hyolithoid *Kygmæoceras* Redescribed. Journal of Paleontology, Vol. 43, No. 5, pp. 1274-1276.