



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MOLUSCOS DEL CÁMBRICO (HYOLITHIDA, SYSSOIV,
1957) DE SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA.
CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS,
PALEOECOLÓGICAS Y PALEOGEOGRÁFICAS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O G E Ó L O G O
P R E S E N T A:
A D R I A N H U E R T A R U I Z

DIRECTORA DE TESIS: DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ



MÉXICO D.F. CD. UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2011

Adrián Huerta Ruiz



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

“MOLUSCOS DEL CÁMBRICO (HYOLITHIDA, SYSSOIV, 1957) DE SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA. CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS, PALEOECOLÓGICAS Y PALEOGEOGRÁFICAS”

TITULACIÓN POR EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO POR:
HUERTA RUIZ ADRIÁN

JURADO DEL EXAMEN PROFESIONAL:

PRESIDENTE: DRA. SILVIA ELIZABETH RIVERA OLMOS _____

VOCAL: DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ _____

SECRETARIO: MTRO. EMILIANO CAMPOS MADRIGAL _____

1ER SUPLENTE: DR. JORGE NIETO OBREGÓN _____

2DO SUPLENTE: ING. JUAN JOSÉ MEDINA ÁVILA _____

Agradecimientos

Universidad Nacional Autónoma de México.

Facultad de Ingeniería.

Instituto de Geología.

Al proyecto CONACYT No. 24895 “Sonora y las facies carbonatadas de plataforma de la margen austral del Cratón Norteamericano”.

Al Dr. Emilio Almazán Vázquez, q. e. p. d. por su tiempo y dedicación

Agradezco especialmente a mi directora de tesis Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez y a los miembros del jurado: Dra. Silvia Elizabeth Rivera Olmos, Mtro. Emiliano Campos Madrigal, Dr. Jorge Nieto Obregón e Ing. Juan José Medina Ávila, por su tiempo y sus valiosas sugerencias.

Dedicatorias

A mi madre, porque eres la mujer más noble y tierna.

A mi padre, un ejemplo de lo que implica perseguir las convicciones.

A mi hermano Ángel, mi amigo, por tu confianza y la alegría que transmites.

A mi abuela Margarita, porque tuvo el generoso acto de confiar en mi, gracias por enseñarme a compartir.

A mi abuela María Luisa (o Ana Luisa), por siempre estar atenta en mis visitas a Puebla y tenerme una historia nueva para sorprenderme.

A mi abuelo Manuel, una fuente de inspiración, disciplina y trabajo honrado.

Al Dr. Alfredo, mi amigo, mi familia y sobre todo un gran ser humano.

A mi hermano Andrés.

A la Dra. Blanca, infinitas gracias, por su paciencia, su dedicación, su tiempo, sus enseñanzas y su generosidad.

A mis amigos Armando y Jesús.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y a mis maestros.

A todos los que contribuyeron y no menciono, amigos, familia y compañeros, muchas Gracias.

ÍNDICE

I.	RESUMEN	1.
II.	INTRODUCCION	2.
	• Objetivos	
	• Justificación	
	• Antecedentes	
	• Localización geográfica	
	• Vías de comunicación	
	• Población	
	• Fisiografía	
	• Hidrografía	
	• Geomorfología	
	• Flora actual	
	• Fauna actual	
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	14.
	• Materiales	
	• Método	
	• Trabajo de campo	
	• Trabajo de laboratorio	
	• Trabajo de gabinete	
IV.	MARCO GEOLÓGICO	17.
	• Consideraciones estratigráficas	
V.	RESULTADOS	26.
VI.	PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA	27.
VII.	CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS	36.
VIII.	CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS	38.
IX.	CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS	42.
X.	CONCLUSIONES	47.
XI.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	48.

ILUSTRACIONES

Figura 1. Localidades del Paleozoico Inferior en México (Modificado de Buitrón 1992).

Figura 2. Localización de la zona de estudio, San José de Gracia, Sonora.

Figura 3. Vista panorámica del Cerro Chihuarruita.

- Figura 4.** Mapa de carreteras del Estado de Sonora (Tomado de <http://www.zonu.com/fullsize1/2009-09-17-5172/Mapa-de-Sonora-1999.html>)
- Figura 5.** Mapa de la distribución de la población en el Estado de Sonora (Tomado de http://www2.ine.gob.mx/emapas/son_20.html).
- Figura 6.** Provincias fisiográficas de Sonora (Tomado de Ochoa y Sosa, 1993)
- Figura 7.** Esquema Geológico del cerro de Chihuarruita, San José de Gracia (Modificado de Nardin *et al.*, 2009).
- Figura 8.** Columna estratigráfica de la Unidad San José de Gracia del cerro de Chihuarruita, (Modificado de Nardin *et al.*, 2009).
- Figura 9.** Muestra con abundante *Girvanella* en una capa que está en contacto con la de *Hyolithes*.
- Figura 10.** Corresponde a una caliza de color morado, dónde se inicia la existencia de *Hyolithes* después de la cuarcita Proveedora.
- Figura 11.** Muestra de mano con fragmentos de *Hyolithes*.
- Figura 12.** Morfología de Hiolítidos (Baumiller, *et al.*, 2010).
- Figura 13.** Morfología de Hiolítidos tomado de Malinky (1988)
- Figura 14.** Interpretación del movimiento de los helens tomado de Malinky (1988).
- Figura 15.** Roca que muestra ejemplares de *Hyolithes sonora* Lochman
- Figura 16.** Roca que muestra ejemplares de *Hyolithes sonora* Lochman
- Figura 17.** Roca que muestra ejemplares de *Hyolithes sonora* Lochman
- Figuras 18,19.** Roca que muestra ejemplares de *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison
- Figura 20.** Fotografía del trilobite del Género *Elrathia*
- Figura 21.** *Gogia granulosa* Robison
- Figura 22.** Representación de posibles hábitos de alimentación (Modificado de Baumiller, *et al.*, 2010).
- Figura 23.** Diferentes hábitos de vida de los Hiolítidos (Modificado de Fisher 1966).
- Figura 24.** Reconstrucción paleoambiental del Cámbrico Inferior.
- Figura 25.** Mapa Paleogeográfico del Cámbrico Temprano (Modificado de Stanley, 2005)
- Figura 26.** Distribución paleogeográfica del género *Hyolithes* en la actualidad (Paleobiology Database, 2011).
- Tabla 1.** Correlación de Unidades Litoestratigráficas del Paleozoico Inferior de México (Modificada de Buitrón, 1992).
- Tabla 2.** Cuadro informativo de algunos términos ecológicos (Tomado de López Alemán, 1988).
- Tabla 3.** Distribución paleogeográfica de invertebrados marinos de Sonora, Índices estratigráficos del Cámbrico Temprano.

RESUMEN

En la región noroeste de México en el Estado de Sonora aflora una secuencia estratigráfica que consiste en calizas oolíticas, areniscas, lutitas y limolitas, localizadas en un área restringida que rodea al cerro de Chihuarruita, al sureste del rancho de San José de Gracia. Esta secuencia está caracterizada por una abundante y diversa biota fósil que consiste en estructuras algales oncoidales y especímenes de invertebrados entre ellos, esponjas, braquiópodos, hiolítidos, trilobites y edrioasteroideos.

Los moluscos-hiolítidos son abundantes en estratos de caliza con bioturbación. En este trabajo se describen dos especies de las cuales *Hyolithes sonora* Lochman fue citada anteriormente para el Cámbrico de Caborca en la región noroeste del Estado de Sonora y *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison referida para el Cámbrico Medio de la Columbia Británica en el noroeste de Canadá.

La comunidad biótica de San José de Gracia está constituida por diversos taxa de invertebrados como artrópodos, braquiópodos, moluscos, equinodermos y esponjas, que vivieron en ambientes marinos bentónicos someros cálidos de salinidad normal con abundantes nutrientes lo cual propició una gran diversidad y pronta evolución del grupo en el Paleozoico Temprano

La distribución de la biota cámbrica de San José de Gracia, entre ella los hiolítidos denota que existió una amplia provincia faunística que comprendió el suroeste de Canadá, Estados Unidos de Norte América, Groenlandia, Norte de Europa, Antártica y noreste de Australia, que formaba parte del Océano Pantalásico

INTRODUCCIÓN

Durante millones de años, la Tierra ha estado habitada por seres vivos, muchos de ellos han dejado rastros perceptibles en las rocas. Estos rastros o fósiles permiten ahora revisar la presencia de la vida sobre la Tierra, desde sus inicios (McAlester, 1973, Laporte, 1974).

Es conocido que cada sustrato rocoso contiene fósiles de diferentes grupos y por esos fósiles se puede conocer su edad relativa y así se demuestra que las rocas pertenecen a una serie de estratos de determinada edad geológica. A los organismos fósiles que han vivido en un lapso corto y con una distribución geográfica amplia se les denomina fósiles guía o índices estratigráficos.

La distribución de tierras y mares en el pasado geológico fue diferente a la actual, y se sabe gracias a la información proporcionada por los fósiles que permite conocer su distribución en relación a los movimientos de la corteza terrestre, ampliamente documentados por los conceptos de la Tectónica de Placas (Eicher, 1973).

Es interesante conocer los tipos de ambientes en los cuales florecieron diversos organismos fósiles, que grupos de organismos han evolucionado, cómo lo hicieron y a que condiciones ambientales se fueron adaptando; para comprender la evolución orgánica, es bien importante conocer los hábitats y hábitos de un organismo así como saber su morfología. La Paleogeografía y la Paleoecología proporcionan información no solo con respecto a la distribución de tierras y mares antiguos, sino también en lo referente a que tipos de ambientes terrestres y marinos en los que podrían haber existido. Tal información es valiosa en lo relacionado con los campos de la sedimentología y de la estratigrafía (Laporte, 1974).

Los fósiles principalmente de invertebrados acuáticos proporcionan datos sobre la distribución primitiva de mares profundos o someros, ríos, lagos. Los fósiles de organismos terrestres como las plantas explican la existencia de determinados climas, altitudes y topografía del pasado geológico (Laporte 1974; McAlester ;1973; Anste y Chase 1974; Meléndez 1980).

Los fósiles de los moluscos (conchas), de los vertebrados (huesos) y plantas (impresiones de hojas, polen, madera) entre otros, son la evidencia directa de su existencia sobre la Tierra. Las pistas dejadas por artrópodos, galerías hechas por vermes, huellas de pisadas por vertebrados como los dinosaurios, y los depósitos de carbón, fosfatos, azufre, producto del trabajo de microorganismos (bacterias) sobre ciertos sustratos, se consideran evidencias indirectas (McAlester, 1973; Buitrón, 1989; Buitrón *et al.*, 2010).

Los afloramientos del Paleozoico marino en México son escasos en relación a la extensión territorial, debido a que fue cubierto en gran parte por una gruesa secuencia de sedimentos mesozoicos y cenozoicos. No obstante en la región del norte del país que comprende a los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua y Tamaulipas, en la central, en el Estado de Hidalgo y en la región sur en los estados de Puebla, Oaxaca, Guerrero y Chiapas, las rocas contienen una fauna rica y variada en géneros y especies de arqueociátidos, corales, braquiópodos, trilobites, graptolitos y conodontos (Figura 1). Las esponjas, los briozoarios, moluscos y equinodermos son escasos. La flora no es abundante y consiste en formaciones ooncolíticas de algas del género *Girvanella* (Buitrón, 1992). La sedimentología y estratigrafía son relativamente bien conocidas. Sin embargo, el contenido fosilífero ha sido poco investigado, excepto por algunos grupos que se utilizan como indicadores bioestratigráficos como es el caso de los braquiópodos, trilobites, arqueociátidos y eocrinoideos (Durham, *et al.*, 1978, Nardin *et al.*, 2009)

Particularmente sobre localidades que contienen invertebrados del Cámbrico Inferior se reportan las formaciones La Ciénega, Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Cerro Prieto en la región de Caborca y en San José de Gracia (Babock, *et al.*, 2005, Debrenne, *et al.*, 1989) del Cámbrico Medio en las formaciones Arrojitos y El Tren (Buitrón, 1992).



Figura 1. Localidades del Paleozoico Inferior en México (Modificado de Buitrón

1992).

Adrián Huerta Ruiz

OBJETIVOS

- Se realizará el estudio sistemático de los fósiles de Hiolítidos recolectados en afloramientos del cerro Chihuarruita, en la cercanía del rancho San José Gracia, Sonora.
- Se actualizará su *status* taxonómico con base en nuevos descubrimientos de otras regiones del mundo y con la revisión de bibliografía actualizada. La existencia de este grupo se dio a conocer en Caborca, Sonora por Cooper en 1952.
- Se precisará la edad de los afloramientos que contienen a los Hiolítidos, pues se consideran índices estratigráficos.
- Se contribuirá al conocimiento de la Paleoeología del área de estudio.
- Se contribuirá al conocimiento de la Paleogeografía del Paleozoico Temprano del Estado de Sonora.
- Se enriquecerá la Colección Paleontológica de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo forma parte del proyecto CONACYT No. 24895 “Sonora y las facies carbonatadas de plataforma de la margen austral del Cratón Norteamericano” con el fin de describir y actualizar la sistemática de invertebrados del Paleozoico Temprano del Estado de Sonora.

Esta investigación proporcionará conocimiento sobre la edad de las rocas que los contienen, del paleoambiente donde se desarrollaron y la reconstrucción de la geografía en este lapso de tiempo.

ANTECEDENTES

Existen 150 artículos publicados sobre el Paleozoico de México lo que corresponde al 9% del total de los trabajos sobre paleontología del país hasta 2002 (Gío y Rodríguez, 2003; Rodríguez, 2003). Los afloramientos que corresponden al Paleozoico se encuentran en localidades de los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (López-Ramos, E., 1971, Buitrón, 1992, Almazán *et al.*, 2006).

Particularmente y respecto a los diversos periodos que constituyen a la Era Paleozoica, los trabajos científicos han hecho contribuciones en las diversas especializaciones de la Geología, en estudios de series lito y bioestratigráficas para los periodos Cámbrico a Pérmico.

Las investigaciones paleozoicas de Sonora comienzan con King (1940) quien en el reconocimiento de la Sierra Madre Occidental, cita rocas del Cámbrico-Ordovícico en la región de Cobachi. Posteriormente Cooper y Arellano (1946) y Cooper, *et al.* (1952) tratan sobre la estratigrafía y el contenido biótico de la región de Caborca, adjuntando las primeras descripciones de arqueociátidos, braquiópodos, trilobites y algas calcáreas.

Uno de los primeros trabajos sobre la estratigrafía y paleontología de Sonora fue realizado por Cooper *et al.* (1952) en la región de Caborca situada al noroeste del estado donde se reporta a *Hyolithes* aff. *H. princeps* Billins, *Hyolithes sonora* Lochman y *Hyolithes whitei* Resser.

Almazán-Vázquez (1989) describió formaciones del Cámbrico-Ordovícico de Arivechi en la región centro oriental del Estado del Sonora.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los afloramientos del Cámbrico Inferior de la región central del Estado de Sonora son escasos. Formando parte de esta región se localiza el cerro Chihuarruita en la proximidad del rancho San José de Gracia que se encuentra a 40 km N30°E de la ciudad de Hermosillo (Figura 2). La secuencia estratigráfica cubre un área que rodea al cerro Chihuarruita (Figura 3) con coordenadas obtenidas con GPS 29° 17'05 N, 110° 35'03 W; La localidad se encuentra a una altura de 310 metros sobre el nivel del mar.

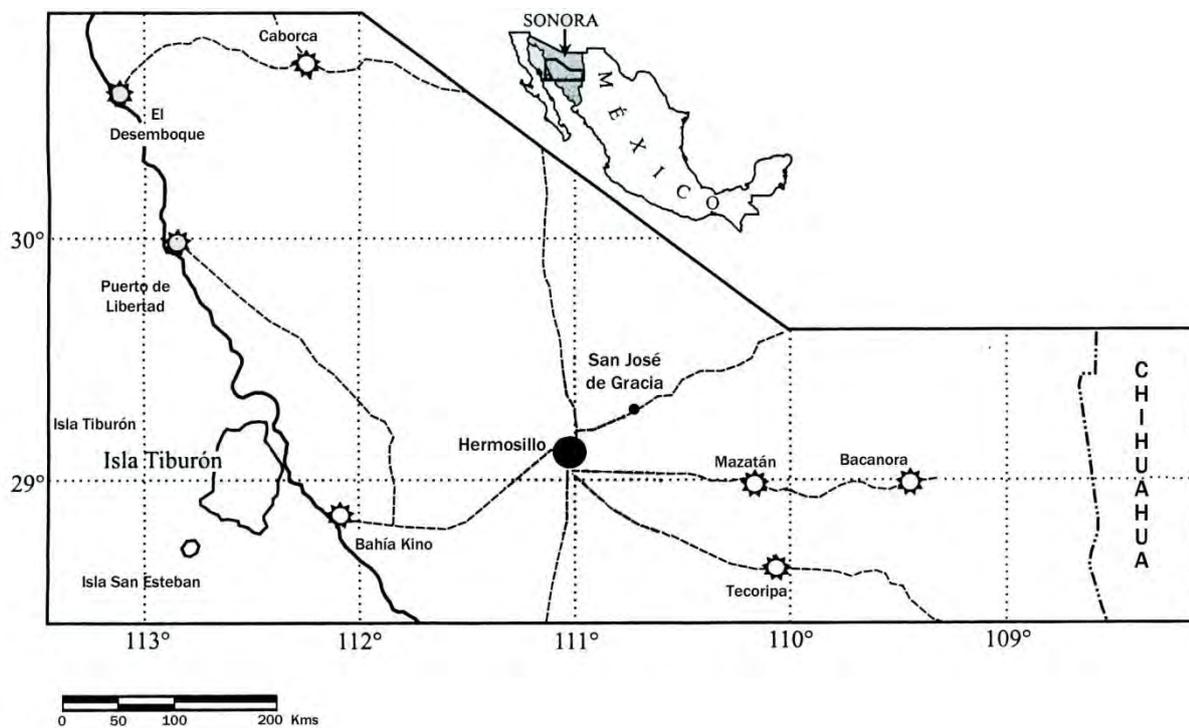


Figura 2. Localización de la zona de estudio, San José de Gracia, Sonora.



Figura 3. Vista panorámica del Cerro Chihuarruita.

POBLACIÓN

La población total de San José de Gracia es de 60 personas, de las cuales 36 son masculinos y 24 femeninas (Figura 5). San José de Gracia está situado en el Municipio de Hermosillo, Sonora.

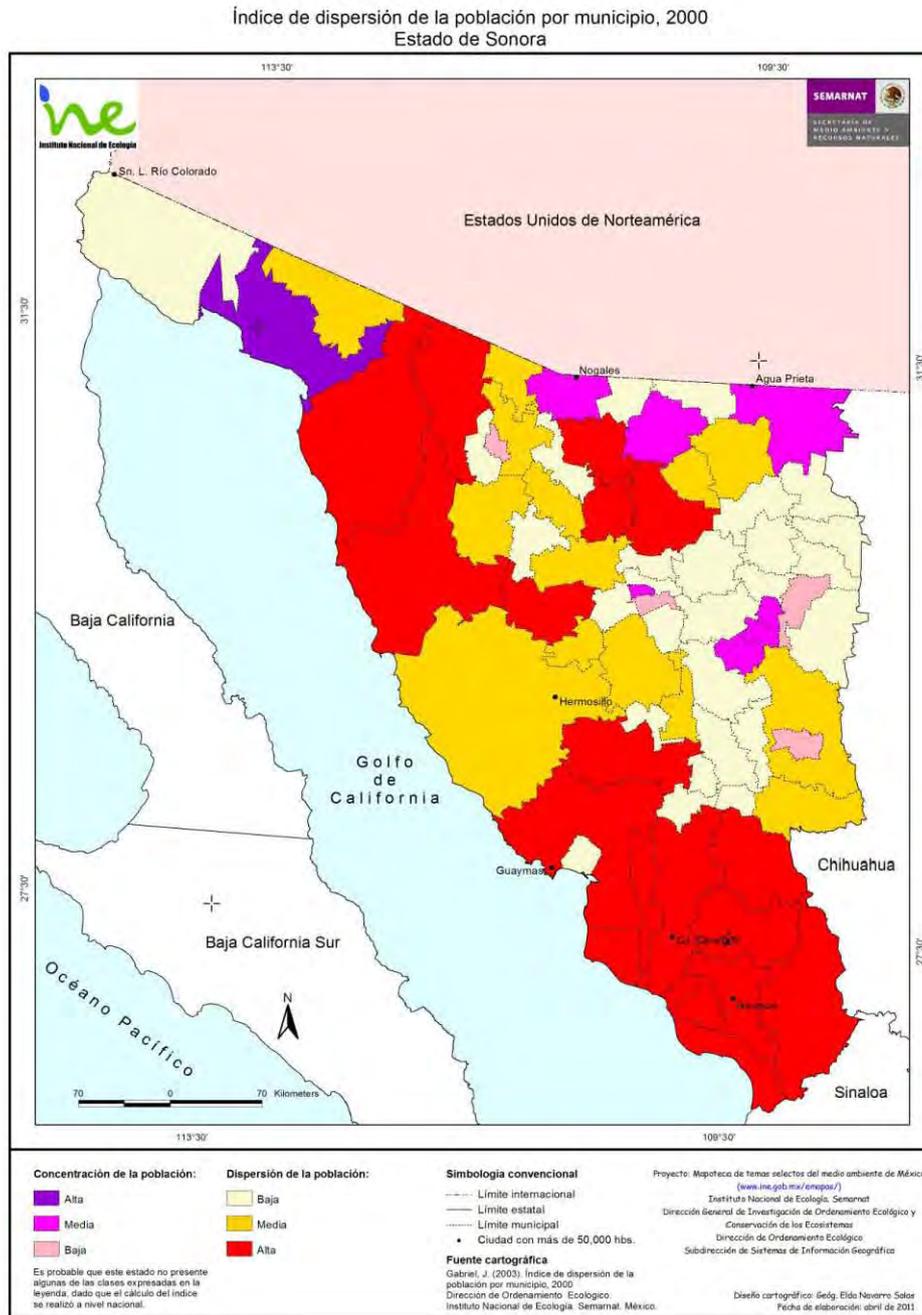


Figura 5. Mapa de la distribución de la población en el Estado de Sonora (Tomado de Instituto Nacional de Ecología, 2011).

FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la región forma parte de la provincia de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964) y específicamente de la subprovincia de Sierras Alargadas o Sierras Altas Sonorenses, que corresponden a un rasgo fisiográfico transicional entre las subprovincias de Sierras Sepultadas y Mesetas de Lavas Riolíticas.

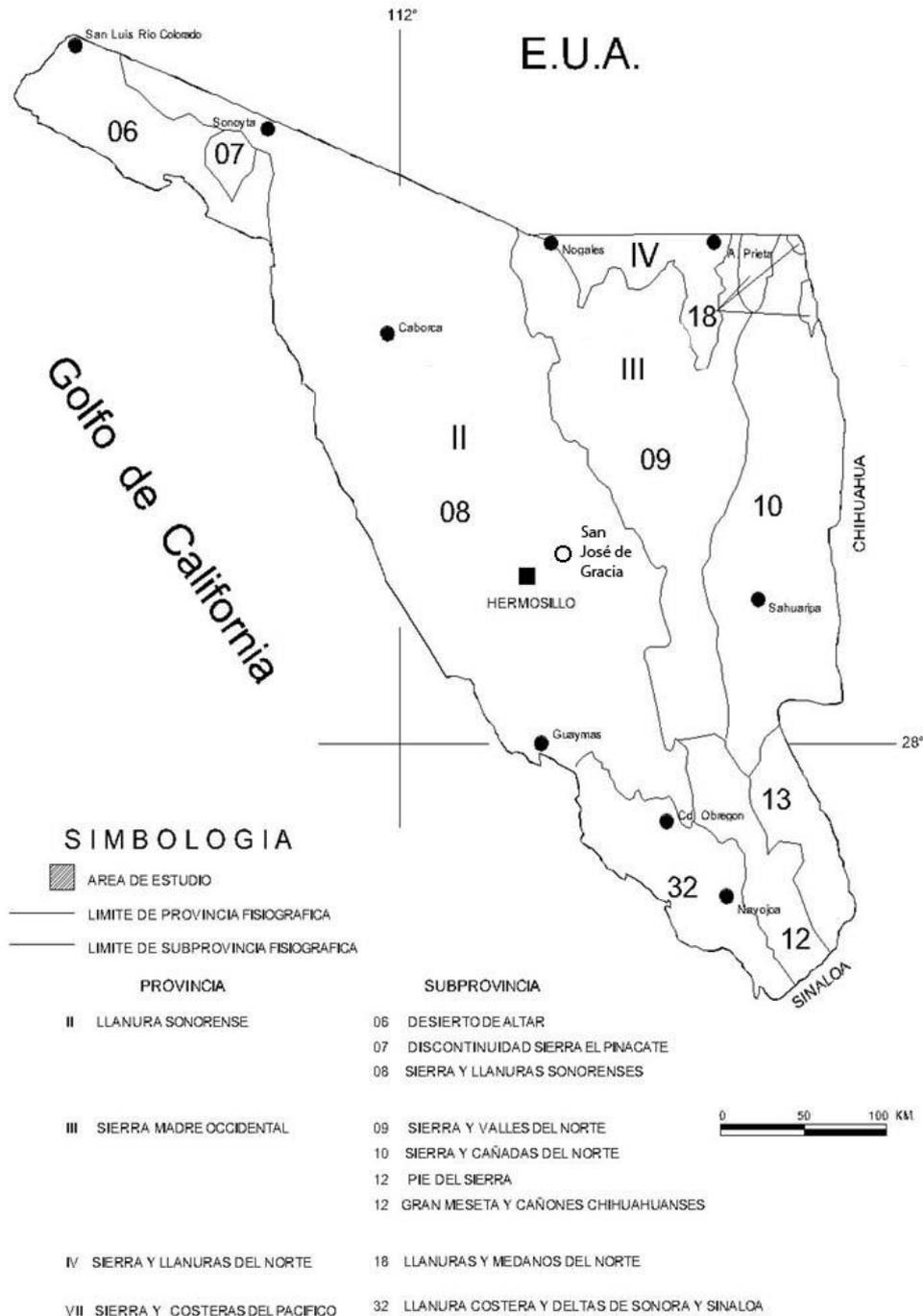


Figura 6. Provincias fisiográficas de Sonora (Tomado de Ochoa y Sosa, 1993)

HIDROGRAFÍA

El drenaje desarrollado en el área pertenece a la cuenca hidrológica del río Sonora, presenta un patrón dendrítico exorreico y se manifiesta controlado estructuralmente, solo presenta corrientes intermitentes, así como un manantial de tipo perenne (INEGI, 1985).

El arroyo principal es el de San José de Gracia el cual es tributario del río Sonora que nace en Arizpe, producto de la confluencia del río Bacamuchi y el río Bacoachi, en su curso atraviesa las poblaciones de Bacoachi, Aconchi, Babiadora, Ures, Banámichi y Hermosillo

GEOMORFOLOGÍA

La zona de San José de Gracia presenta mesetas con elevaciones máximas de 1420 m.s.n.m. particularmente en las porciones centro y noroccidente. Los perfiles de los valles tienen formas de "V", y van de simétricos a asimétricos, siendo esto función de la litología en la que se encuentra. El drenaje se encuentra controlado por rasgos estructurales, principalmente por fallas.

FLORA ACTUAL

La vegetación está representada por plantas caducifolias que se encuentran desde los 400 hasta los 1600 msnm y se intercala 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 cacaloca*), 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 encuentran 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 (*Lepus sylvaticus*), ardilla de tierra (*Spermophilus variegatus*), ardilla de árbol (*Sciurus variegatus*), así como víbora de cascabel (*Crotalus polysticus* y *Crotalus tigris*), puma (*Felix concolor*), onza real (*Felix onca*) y trigrillo (*Felixna*) (INEGI 1985).

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES.

Se utilizó el material fósil recolectado en prospecciones geológico-paleontológicas en la región de San José de Gracia.

MÉTODOS

La investigación de esta tesis se hizo en varias etapas con la asesoría de la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez del Instituto de Geología de la UNAM y por el Dr. Emilio Almazán Vázquez del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

TRABAJO DE CAMPO

En la recolecta de los ejemplares se realizaron muestreos en los diferentes yacimientos fosilíferos de la localidad de 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, colector 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 UNAM para procesarlos.

TRABAJO DE LABORATORIO.

Se empleó el *moto tool* y el *air scribe* en la limpieza de los fósiles en el laboratorio y se tomaron fotografías de los ejemplares.

- a) Limpieza mecánica. El fósil se introdujo unos minutos en agua, posteriormente se colocó 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.

- b) Posteriormente se cepillaron los ejemplares y por medio de la utilización del lápiz vibrador e instrumental odontológico se detallaron caracteres morfológicos para su posterior identificación.
- c) Limpieza química: 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 (Meléndez, 1980).

TRABAJO DE GABINETE

Esta actividad se inició con la revisión y recopilación de la literatura existente sobre aspectos geológicos y paleontológicos del área de estudio.

Para la identificación del material se procedió a seleccionar el material mejor conservado, se obtuvieron sus parámetros (altura, anchura, diámetro) y se procedió a separar el ejemplar mejor conservado y más representativo de cada especie para posteriormente ser fotografiado.

La identificación y clasificación taxonómica se realizó mediante el estudio de las diagnósticas y descripciones de los fósiles con base en libros y artículos especializados sobre el tema. Se utilizó el Tratado de Paleontología de Invertebrados editado por Moore (1960-1980) y publicaciones especializadas

(Johnson, 1952; Yochelson, 1961; Yochelson *et al.*, 1969; Marek, 1969; Durham, 1978; Malinky *et al.*, 1986; Malinky *et al.*, 1987; Bobcock y Robison, 1988; Martini y Bergstrom, 2005; Parsley y Shao, 2006; Nardin *et al.*, 2009; Buitrón *et al.*, 2011).

JOURNAL OF PALEONTOLOGY, v. 35, NO. 1, P. 152-161, PLGS. 33-34, 1 TEXT-FIG., JANUARY, 1961

THE OPERCULUM AND MODE OF LIFE OF *HYOLITHES*

ELLIS L. YOCHELSON

U. S. Geological Survey, Washington 25, D. C.²

ABSTRACT—A reexamination of *Hyolithes tenuis* Matthew from the Middle Cambrian Burgess shale has shown that the features considered by C. T. Walcott to be supports for the fins of pteropods actually appear to be outgrowths of the operculum. If the dorsal point of the operculum was hinged at the dorsal point of the aperture a push of the body outward would have swung it upward. The supports may then have served to prop up the operculum and keep it open. Because of the supports and other features of shell morphology, *Hyolithes* is interpreted as a virtually sessile, benthonic organism, the longest side of the shell being ventral.

THE UNIVERSITY OF KANSAS

PALEONTOLOGICAL CONTRIBUTIONS

December 29, 1968

Paper 121

TAXONOMY AND PALEOBIOLOGY OF SOME MIDDLE CAMBRIAN *SCENELLA* (CNIDARIA) AND HYOLITHIDS (MOLLUSCA) FROM WESTERN NORTH AMERICA¹

L. E. Babcock and R. A. Robison

Department of Geology, The University of Kansas, Lawrence, Kansas 66045

J. Paleont., 44(2), 1968, pp. 128-149
Copyright © 1968, The Paleontological Society
0022-310X/68/0002-0128\$01.00

EARLY AND MIDDLE CAMBRIAN HYOLITHA (MOLLUSCA) FROM NORTHEASTERN CHINA

JOHN M. MALINKY

University of Maryland, European Division, APO New York 09102

ABSTRACT—The hyolithid species *Hyolithes cretaceus* Reiser and Endo, *Hyolithes cybeis* Walcott, and *Hyolithes delphus* Reiser and Endo from the Middle Cambrian of China are assigned respectively to the genera *Neohyolithes* Malinky, *Neohyolithes* n. gen., family Hyolithidae, and *Coelostoma* Süssow, family uncertain, all in the order Hyolithida. Reassignment of *Neohyolithes* extends its geographic range from North America to China, and the occurrence of *Coelostoma* in the Middle Cambrian of China increases its geographic and stratigraphic distribution from the Early Cambrian of the Soviet Union.

Poor preservation of the type specimens of *Hyolithes? atiger* Reiser and Endo, *H.? opalinus* Reiser and Endo, *H.? curvifrons* Reiser and Endo, *H.? alveolus* Walcott, *H.? sinuatus* Walcott, *H.? exilis* Howell (as *H. ornatus* Reiser and Endo), *H.? montanensis* Reiser and Endo, and *H.? tenuis* Reiser and Endo renders their generic identification uncertain. *Hyolithes (Orthocheil) glabra* Reiser and Endo is here transferred to the hyolithid order Orthocheilida Marek and referred with question to *Decoratella* Süssow, family Neohyolithidae.

Morphology of the types of "*H. velites*" *juhuawensis* Reiser and Endo, "*H.*" *zhangmangensis* Reiser and Endo, "*H.*" *annalis* Reiser and Endo, "*Orthocheil*" *sinensis* Walcott, and "*O.*" *alata* Walcott does not support assignment to the Hyolithida for these species; their phylogenetic affinity is uncertain.

MARCO GEOLÓGICO

Rocas del Neoproterozoico Tardío y Paleozoico Temprano afloran en la mayor parte del Estado de Sonora. Sin embargo, algunas localidades situadas en la parte central, con rocas sedimentarias, que contienen una biota abundante y variada (esponjas, braquiópodos, trilobites y equinodermos) han sido escasamente estudiadas (Stewart *et al.*, 2002; Almazán *et al.*, 2006 Nardin *et al.*, 2009).

En el área de estudio, se han reconocido seis unidades litológicas diferentes (Figura 7):

- Una secuencia clástica y carbonatada, que comprende desde el Cámbrico Temprano al Medio. Se nombra Unidad San José de Gracia y se describe en detalle.
- Una secuencia Cámbrica Temprana de cuarcita blanca que cubre tectónicamente la secuencia anterior.
- Una secuencia de dolomita azul grisáceo de probable edad Proterozoica.
- Una brecha sedimentaria y carbonatada, que trunca 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.

CONSIDERACIONES ESTRATIGRAFICAS

La primera prospección geológico-paleontológica fue realizada por Almazán y Buitrón en el área de San José de Gracia en 2009, los resultados forman parte de la publicación de Nardin 2009 (*in* Nardin *et al.*, 2009) y la segunda prospección geológico-paleontológica la realizó el sustentante en 2010.

Con base en las observaciones en campo se determinó que la Unidad San José de Gracia que corresponde al Cámbrico Temprano-Medio presenta 232 m de espesor que se han dividido en siete diferentes miembros los cuales corresponden a biofacies litológicas con contenido biótico. De acuerdo a la

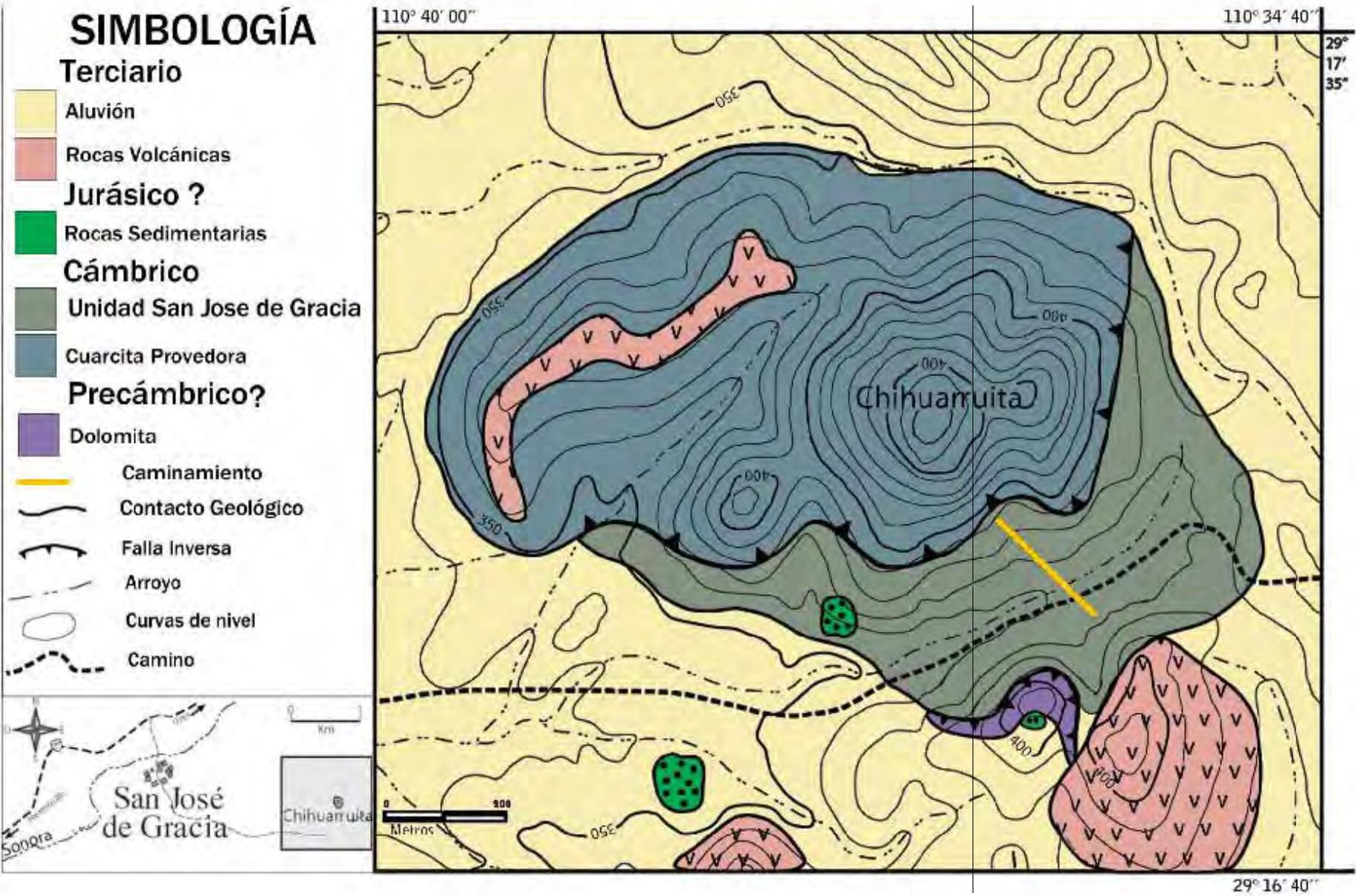


Figura 7. Esquema Geológico del cerro de Chihuarruita, San José de Gracia (Modificado de Nardin et al., 2009).

Adrián Huerta Ruiz

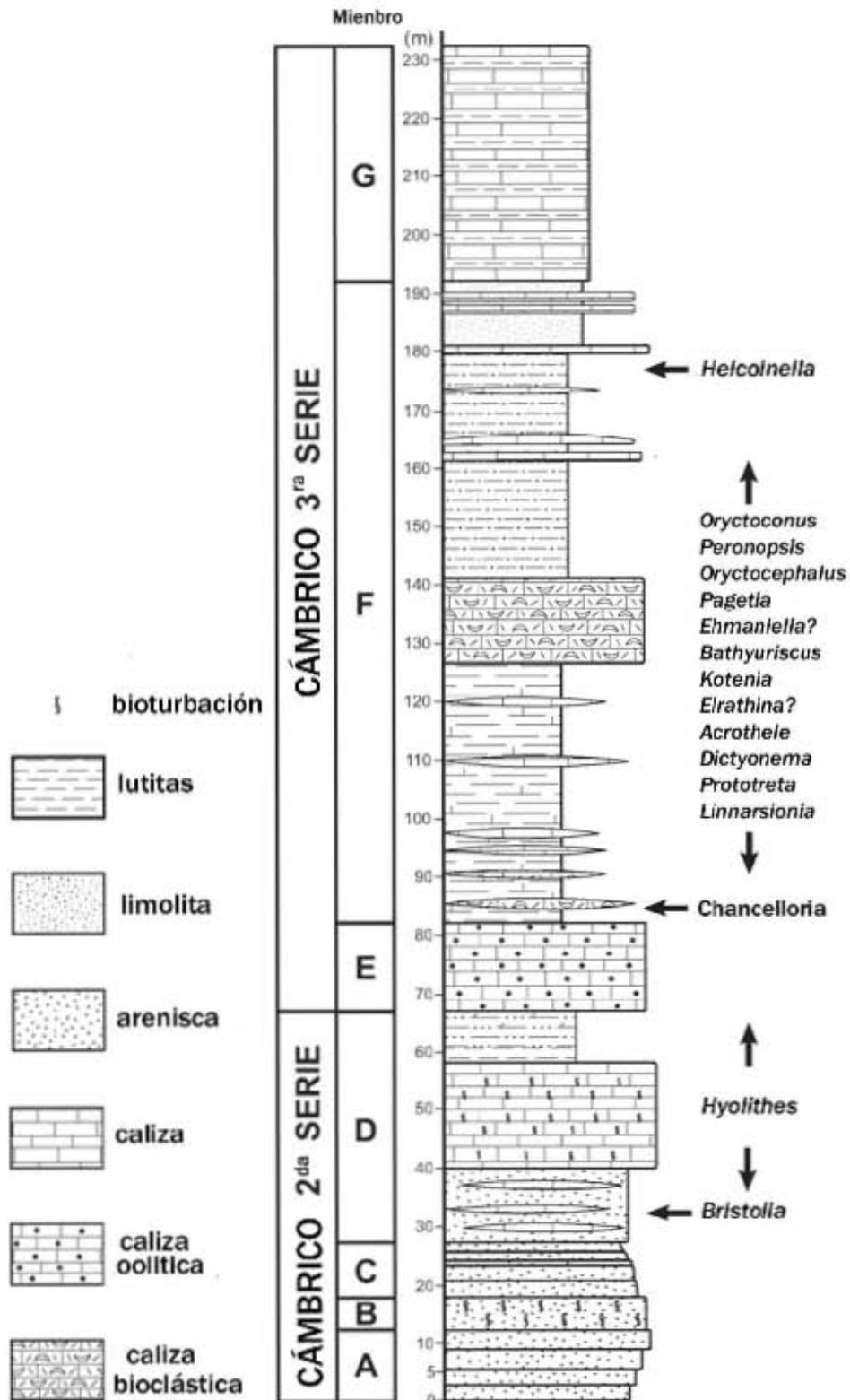


Figura 8. Columna estratigráfica de la Unidad San José de Gracia del cerro de Chihuarruita, (Modificado de Nardin *et al.*, 2009).

Tabla del Tiempo Geológico elaborada por Ogg *et al*, (2008), el intervalo estratigráfico de interés, se correlaciona con la Segunda y Tercera Serie del Cámbrico consideradas por ese autor.

La secuencia va de A a la G, de la mas antigua hasta la mas reciente, datos estructurales que no son parte de este estudio indican que la secuencia se encuentra invertida, y su base se encuentra al noroeste y la cima hacia el sureste (Figura 8).

Miembro A

La serie bioestratigráfica del Cámbrico en San José de Gracia se inicia con 12 m de cuarzo arenitas de color marrón oscuro, esta unidad posiblemente esta 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.

Miembro B

Este miembro presenta 5 m de espesor y se considera como una facies clástica. Las rocas consisten en areniscas bioturbadas 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 cuarzo arenitas oscuras color marrón sobre el miembro anterior. Los elementos epiclásticos subangulares, que presenta 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. La mayoría de las capas se identifican topográficamente debido a su moderada silicificación, induciendo una mayor resistencia a la erosión.

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 (Figura 9). Estas capas contienen abundantes moluscos Hiolítidos de las especies *Hyolithes sonora* Lochman y *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison (Figuras 10,11), algunas placas de la teca y del tallo de pelmatozoarios-eocrinoideos *Gogia granulosa* Robison, y fragmentos de trilobites identificado con la especie *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* (Resser). Es probable que el depósito de estas rocas se produjo durante la Etapa 4 del Cámbrico que duró aproximadamente de 515 a 510 Ma y probablemente corresponda a la parte superior de la biozona *Bonnia-Olenellus* (Palmer).

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 Hiolítidos 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.



Figura 9. Muestra con abundante *Girvanella* en una capa que está en contacto con la de *Hyolithes*.

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.

Los 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 niveles calcáreos y arcillosos a limolitas. Las capas de caliza están intercaladas con capas clásticas delgadas. La parte superior de las caliza 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).

En la parte superior de algunas capas de caliza, frecuentemente contienen un alto porcentaje de conchas de braquiópodos inarticulados (*Acrothele*) y articulados (*Dictyonina*, *Prototreta*, *Linnarsionia*) así como fragmentos de trilobites, entre 60% y 80%, que le confieren una estructura típica de coquina.



Figura 10. Corresponde a una caliza de color morado, dónde se inicia la existencia de *Hyalithes* después de la cuarcita Proveedora.



Figura 11. Muestra de mano con fragmentos de *Hyolithes*.

Una abundante y bien conservada fauna de braquiópodos inarticulados y trilobites se distribuye regularmente a lo largo de los 50 m de la alternancia clástica y calcárea en la columna estratigráfica. Escasos moluscos como el *Helcionella* fueron encontrados.

Miembro de 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? y riolíticas del Terciario (Figura 7).

PERIODO	SERIE	BAJA CALIFORNIA	SONORA				CHIHUAHUA	TAMAULIPAS	OAXACA	
		SAN MARCOS	SAN JOSE DE GRACIA	CABORCA	COBACHI	CANANEA	ARIVECHI	PLACER DE GUADALUPE	CANÓN DE LA PEREGRINA	IXTALTEPEC
SILURICO	SUP.							CALIZA SOLIS		
	INF.								Fm. CABALLERANGOS	
ORDOVICICO	SUP.				GRUPO GUAYUCÁN			CALIZAS VITORIA		
	MED.									
	INF.	CAPAS DEL ARENIGIANO			SERIES COBACHI		Fm. EL SANTISIMO		Fm. SOSTENES	
CAMBRICO	SUP.					Fm. ABRIGO	Fm. MILPILLAS	CONGLOMERADO NARANJAL		
	MED.		TERCERA SERIE DE SAN JOSE DE GRACIA	Fm. EL TREN Fm. ARROJOS		Fm. BOLSA	Fm. LA HUERTA Fm. EL MOGALLON Fm. LA SATA			
	INF.		SEGUNDA SERIE DE SAN JOSE DE GRACIA	Fm. CERRO PRIETO Fm. BUELNA Fm. PROVEEDORA Fm. PUERTO BLANCO						
								CUARCITA LA PRESA	Fm. TINU	

Tabla 1. Correlación de Unidades Litoestratigráficas del Paleozoico Inferior de México (Modificada de Buitrón, 1992).

RESULTADOS

El estudio sistemático de los Hiolítidos se realizó con base en los siguientes lineamientos para la identificación de los diferentes niveles taxonómicos:

- Se menciona únicamente el phylum, el orden y el suborden.
- A partir de la familia se hace una descripción más detallada, debido a la importancia de remarcar la diferencia con clasificaciones más antiguas.
- Se indica el autor y el año siguiendo las jerarquías taxonómicas.
- Se usa un tratamiento sistemático formal y completo.
- Para los géneros que se describen se indica:
 - La diagnosis resumida, se distingue el taxón en relación a otros taxa morfológicamente similares.
 - Se menciona el alcance estratigráfico.
- Para las especies que se describen se indica:
 - La sinonimia, incluyendo citas de páginas y láminas.
 - La descripción detallada del fósil.
 - Ubicación física del material,
 - Discusión.

A continuación se describen los diferentes taxa.

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

PHYLUM MOLLUSCA?- incertae sedis Linnaeus, 1758

- **Nota.** Los Hiolítidos son organismos fósiles extintos con una antigüedad de 540 millones de años y no tienen representantes actuales, por lo que no es posible su clasificación natural y por lo tanto se incluyen en el Phylum Mollusca ya que presentan algunas de las características del mismo.

Los moluscos constituyen un phylum muy numeroso y variado, de ellos se conocen los bivalvos (almejas, ostras), gasterópodos (caracoles) y cefalópodos (amonites y nautilus). Todos tienen la misma organización morfológica con ciertas variaciones. El nombre de este grupo se refiere a la presencia de un cuerpo blando no segmentado con simetría bilateral, que en los gasterópodos se pierde pues experimentan una torsión de 180°.

Paleontológicamente, la estructura más importante que tiene la gran mayoría de los moluscos es la concha que protege al cuerpo y que es secretada por el manto. Se trata de una estructura calcificada formada por aragonita o calcita. Sus formas son muy variadas pues existen univalvas (hiolítidos, escafópodos, gasterópodos, nautiloideos, amonoideos), simples o enrolladas en espiral y bivalvas (pelecípodos), con una diversidad de estructuras ornamentales como costillas, líneas de crecimiento, quillas, nódulos y perforaciones.

Son habitantes de los mares, ríos, lagos, y continentes. La distribución de los organismos marinos está relacionada con la variación de temperatura, salinidad y pH del agua, pero la gran mayoría vive a poca profundidad Moore (1956-1962); McAlester (1973); Laporte (1974); Lefebvre y Fatka (2003); Buitrón *et al.* (2010)

Clase Calyptomatida Fisher, 1962 (Marek, 1963) = Hyolitha. Cámbrico-Pérmico.

Son organismos con exoesqueleto aragonítico, de forma cónica y/o piramidal alargada (integrado por dos caras planas, más una tercera de mayor tamaño y ligeramente convexa), cerrado por un opérculo. Presentaban dos estructuras laterales conocidas como helens o varillas, articuladas en el interior del opérculo; raramente conservadas. Estas estructuras tienen el aspecto de apéndices, de aletas, aurículas, como soportes de las branquias o del opérculo. En el ápice de la concha se encuentran algunos septos cóncavos.

Diferentes opiniones sugieren que los Hiolítidos deben ser asignados a una clase dentro del Phylum Mollusca (Yochelson, 1961; Yochelson and Marek, 1969). El autor de esta investigación está de acuerdo en considerarlos dentro del Phylum Mollusca, debido a la naturaleza y estructura de la concha, así como por la organización de la musculatura (Marti-Mus y Bergstrom, 2005).

ORDEN HYOLITHIDA SYSSOIEV, 1957

SUBORDEN HYOLITHINA MATTHEW, 1899

Familia HYOLITHIDAE Nicholson, 1872 Cámbrico Inferior-Pérmico Medio

Diagnosis. La concha presenta forma cónica con la sección transversal de la abertura de forma oval, subtriangular, trapezoidal, o subpentagonal. La superficie externa es lisa con líneas de crecimiento poco aparentes, en algunos géneros se observan costillas transversales, salientes separadas por espacios ocho veces más anchos que las costillas, no presentan costillas verticales. El lado dorsal es redondeado y lado ventral es ancho y ligeramente curvo.

El opérculo es subcircular, subcuadrado o subtriangular. Comúnmente presenta un par de cicatrices musculares grandes situadas en la parte inferior del opérculo o raramente en dos soportes curvos de la concha. La diagnosis de la familia fue enmendada por Malinky (1988, p. 219-220), (Figuras 12,13,14).

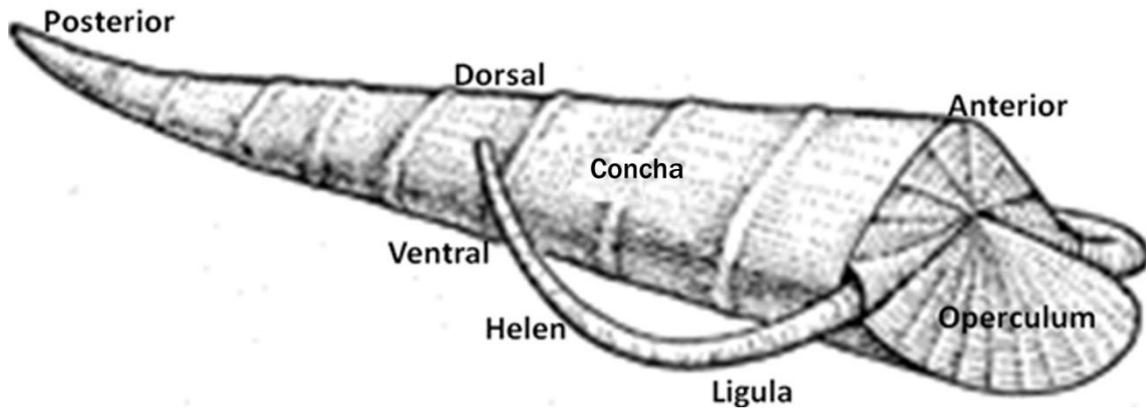


Figura 12. Morfología de Hiolítidos (Baumiller, *et al.*, 2010).

Género *Hyolithes* Eichwald, 1840

Diagnosis. Concha delgada con líneas de crecimiento cercanamente espaciadas, dorsalmente transversales, venter notablemente arqueado, surcos longitudinales débiles en el dorso, interceptados con líneas de crecimiento que pueden producir aspecto cancelado; en el escudo cónico y en el área comarginal se encuentran arrugas. Angulo inicial de 24° a 32° , en el extremo posterior de 24° a 35° . Angulo apical de la concha cónica de 100° a 137° . La conservación del intestino es factible en algunos ejemplares.

Alcance estratigráfico y distribución. Cámbrico Inferior-Pérmico. El género se encuentra distribuido en Norte América, (Canadá, Estados Unidos, México) Groenlandia, norte de Noruega, Australia y China (Fisher, 1966).

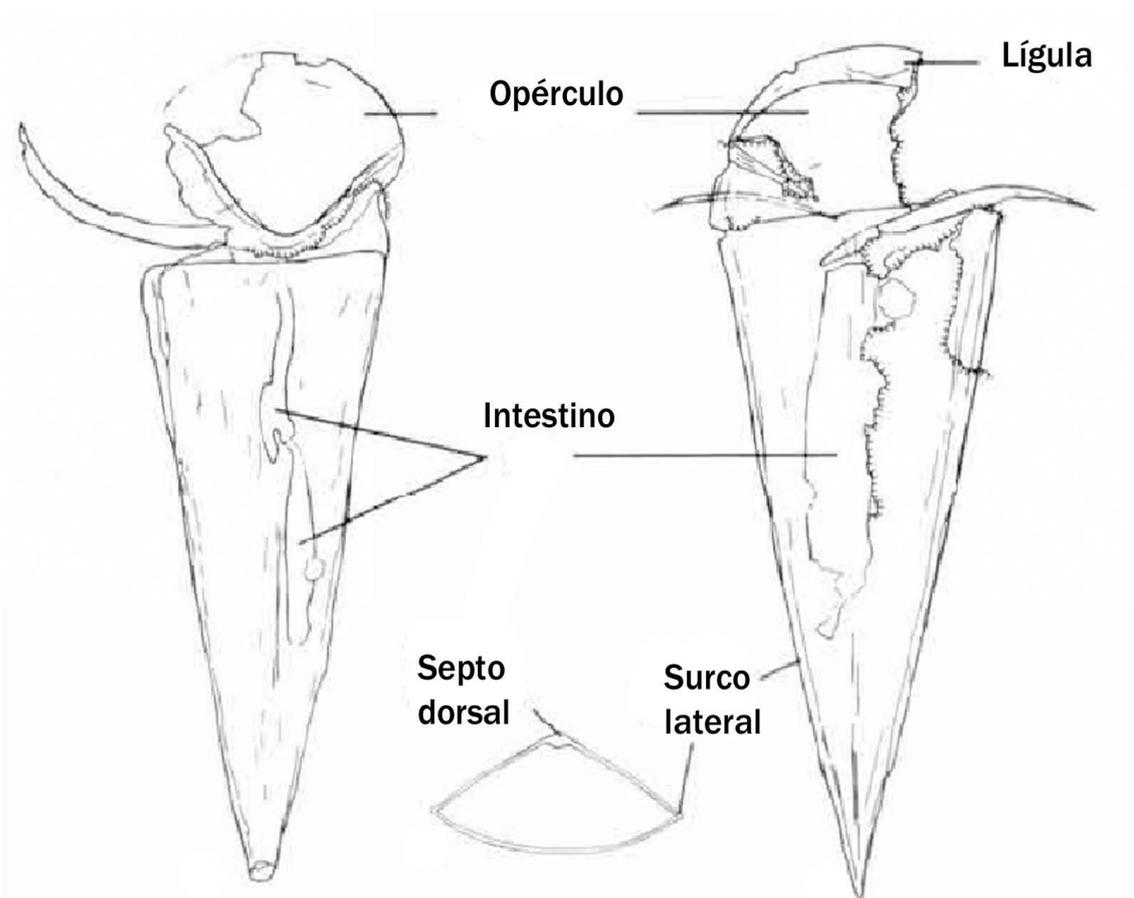


Figura 13. Morfología de Hiolítidos tomado de Malinky (1988).

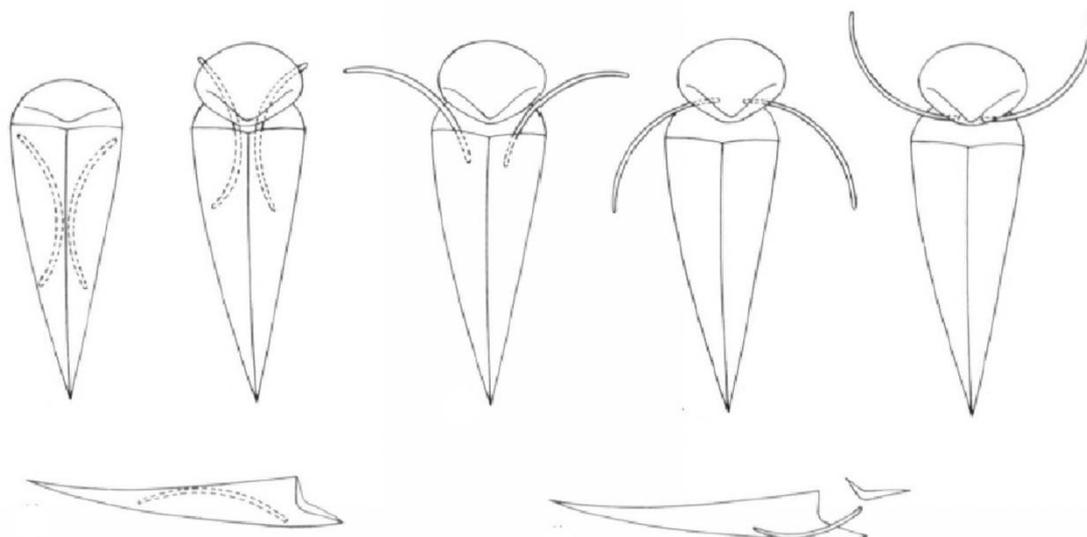


Figura 14. Interpretación del movimiento de los helens tomado de Malinky (1988).

Hyolithes sonora Lochman, 1952.

(Figuras 15, 16, 17).

Hyolithes sonora Lochman, 1952, p. 18

Descripción. La concha es cónica de lados rectos y superficie dorsal convexa y la ventral plana que se refleja en el corte transversal. Presenta una longitud de 9 mm y una anchura máxima de 4 mm, el ángulo apical tiene 6°. La mala conservación del material no permite observar la ornamentación externa, sin embargo en algunos se puede distinguir impresiones del intestino. El opérculo no se conservó.

Material: El material estudiado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora con los números USDG-188 y en la Colección Paleontológica de la División de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Discusión. Los especímenes de Hiolítidos son muy abundantes en el Miembro D, pero mal conservados. En un fragmento de roca de 5 cm x 10 cm, se encuentran un promedio de 30 ejemplares. Lochman (1952, p. 22) propone la especie *Hyolithes sonora* procedente de Cerro Prieto localizado a 2.5 km al suroeste de Caborca, Sonora, sin embargo no describe a la especie.

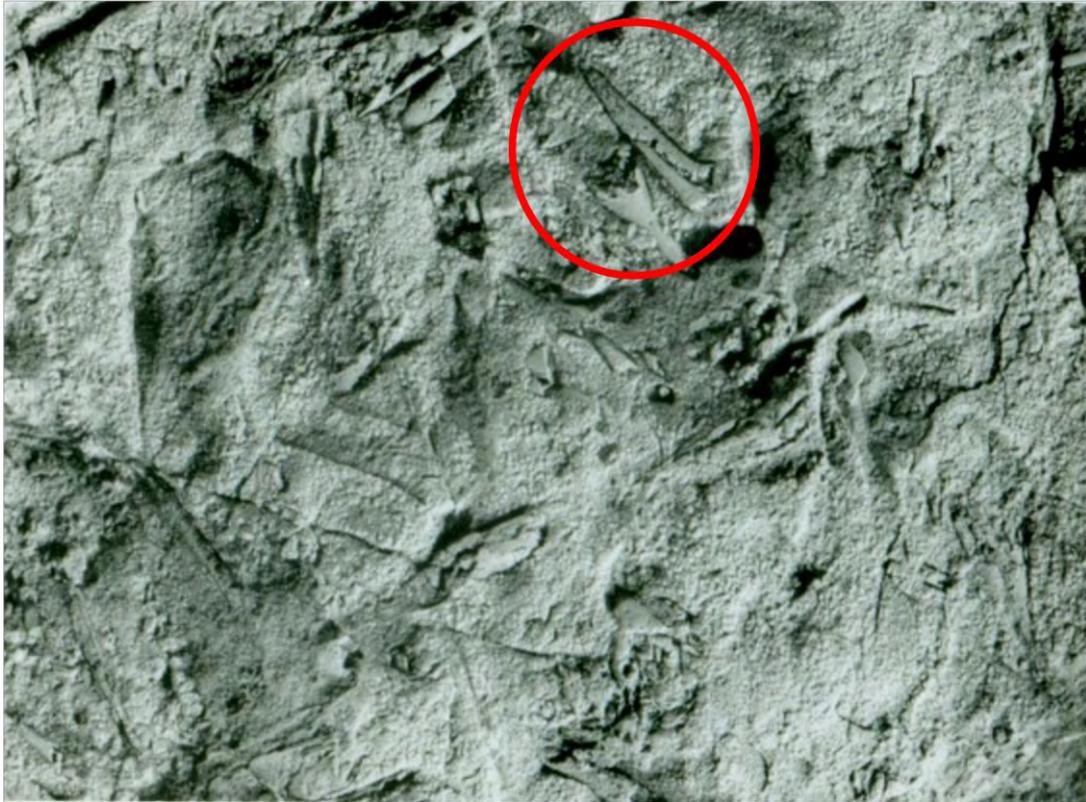


Figura 15. Roca que muestra ejemplares de *Hyolíthes sonora* Lochman



Figura 16. Roca que muestra ejemplares de *Hyolíthes sonora* Lochman



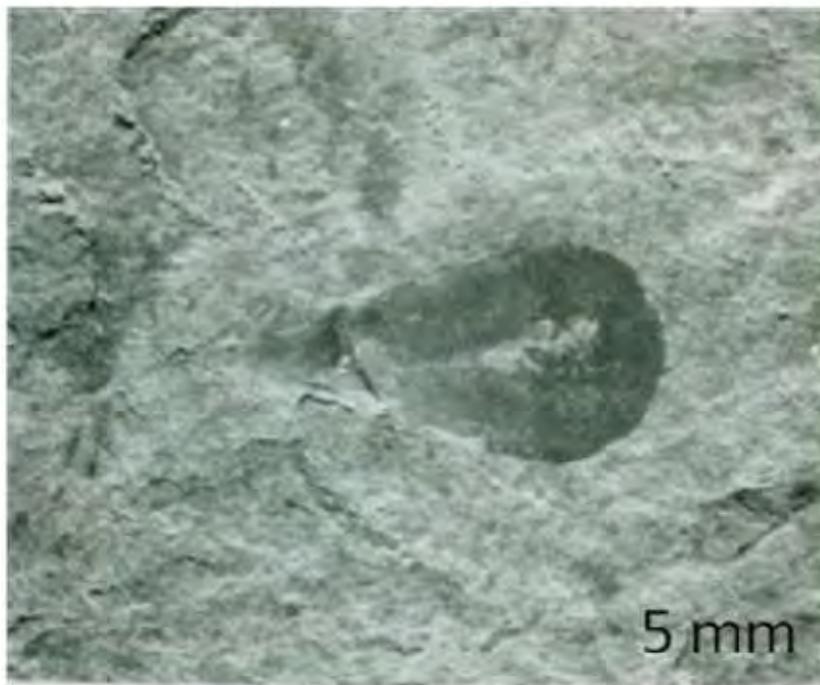
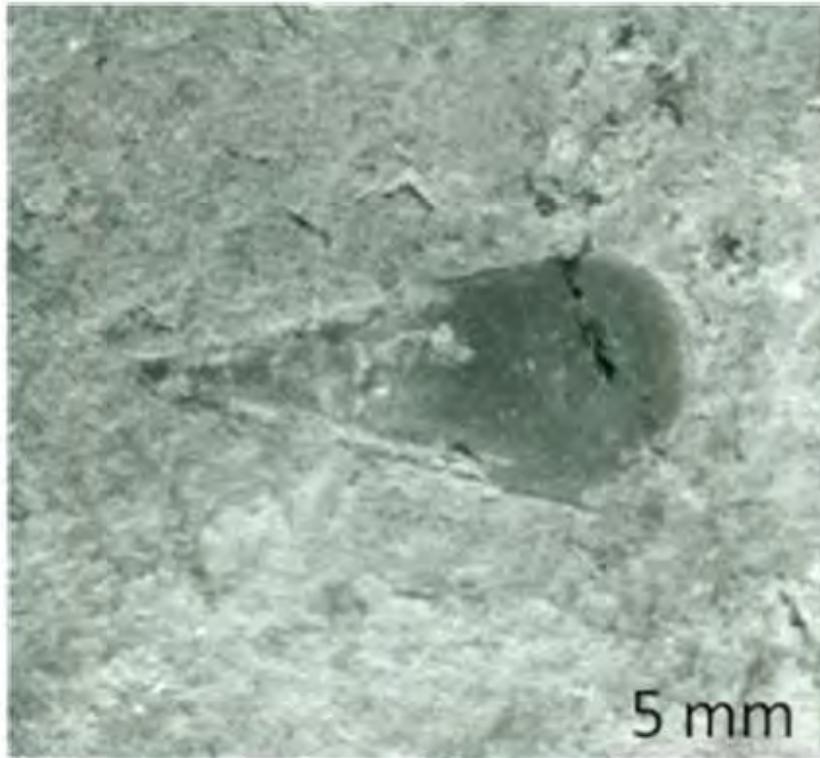
Figura 17. Roca que muestra ejemplares de *Hyolites sonora* Lochman

Género *Haplophrentis* Bobcock y Robison, 1988.

Diagnosis. Concha cónica que presenta una mayor anchura en el área terminal y aguda en el área inicial. El dorso es ventralmente subangular, los lados son rectos en la mayor parte de la concha con excepción del ápice cuyo margen es redondeado. Las llingulas son cortas., la abertura es ortogonal. La parte externa de la concha tiene líneas de crecimiento finas. El opérculo es platiclavado con contorno oval, ancho y el ápice marcadamente puntiagudo.

Alcance estratigráfico y distribución. Cámbrico Inferior-Pérmico. El género se encuentra distribuido en Canadá, Estados Unidos y México.

Haplophrentis reesei Bobcock y Robison, 1988
(Figuras 18,19)



Figuras 18,19. Roca que muestra ejemplares de *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison

Haplophrentis reesei Bobcock y Robison, 1988, p. 12, Fig. 1,5 y 6.

Descripción. La concha es cónica ancha de lados rectos con el opérculo conservado; superficie dorsal convexa. Presenta una longitud de 20 mm y una anchura máxima de 7 mm, el ángulo apical tiene 135°. En uno de los ejemplares se observa un fragmento de helen. El corte transversal de la concha no se conservó.

Material: El material estudiado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora con los números USDG-189 y en la Colección Paleontológica de la División de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Discusión. Únicamente se cuenta con dos ejemplares relativamente mal conservados debido a que no se aprecia ninguna ornamentación externa, ni impresión de estructuras internas como el intestino y procesos cardinales. El material se recolectó en el Miembro D del Cerro Chihuarruita en San José de Gracia, Sonora. Se identifica con la especie *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison (1988) descrito previamente para el Cámbrico Medio de la Columbia Británica (Bobcock y Robison, 1988, p. 12, fig. 1,5 y 6).

CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS

Al principio del periodo Cámbrico los mares estuvieron poblados por una diversa biota que incluyó representantes de la mayoría de los grupos de los invertebrados actuales; con excepción del Phylum Archaeocyatha los cuales vivieron únicamente en el Cámbrico, particularmente existen varias especies entre ellas, *Ethmophyllum cooperi* Okullitch, *E. americanum* Okullitch, *E. whitneyi* Meck, *Cocinocyathus* spp., *Archaeocyathus yavorskii* (Vologdin) *Ajacicyathus nevadensis* (Okullitch), *A. rimousky* Okullitch, descritas para la región de Caborca, Sonora (Cooper et al 1952).

Entre los phyla principales que se iniciaron en el Cámbrico están los Arthropoda, Brachiopoda, Mollusca, Echinodermata y Porifera, que persisten hasta la actualidad.

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

En la región de San José de Gracia en el miembro F que esta formado por arcillas, son abundantes los trilobites Agnóstidos (*Peronopsis*, *Pagetia*), *Oryctocephalus*, *Ehmaniella*, *Kootenia*, *Bathyriscus*, *Elrathia*. Entre los Brachiopoda tanto inarticulados y articulados se han citado los géneros *Acrothele*, *Prototreta*, *Dictyonina*, *Linnarsonia*.

Los tallos y tecas de especímenes de Echinodermata-Pelmatozoa se encuentran de manera fragmentada en las rocas Cámbricas de San José de Gracia. La especie presente es *Gogia granulosa* (Nardin et al., 2009) que es índice del Cámbrico Inferior-Medio y el género *Oryctoconus* de edad Cámbrica-Ordovícica descrito de la Cadena Montañosa Ibérica (Figura 21).

Los moluscos incertae sedis del género *Helcionella* y *Hyalíthes* son índices estratigráficos de rocas de diferentes afloramientos de rocas sedimentarias de distribución mundial y particularmente en formaciones El Tren, Arrojos, Cerro Prieto, Buena, Proveedora, Puerto Blanco de las localidades Cámbricas de

Caborca. En del miembro D constituido de caliza oolítica y arenisca en San José de Gracia es frecuente encontrar numerosos especímenes de Hiolítidos.

La existencia de espículas de esponjas hexactinélidas del género *Chancelloria* son abundantes en el miembro F como índice estratigráfico del Cámbrico tanto de Sonora y de otras regiones del Mundo.



Figura 20. Fotografía del trilobite del Género *Elrathia*

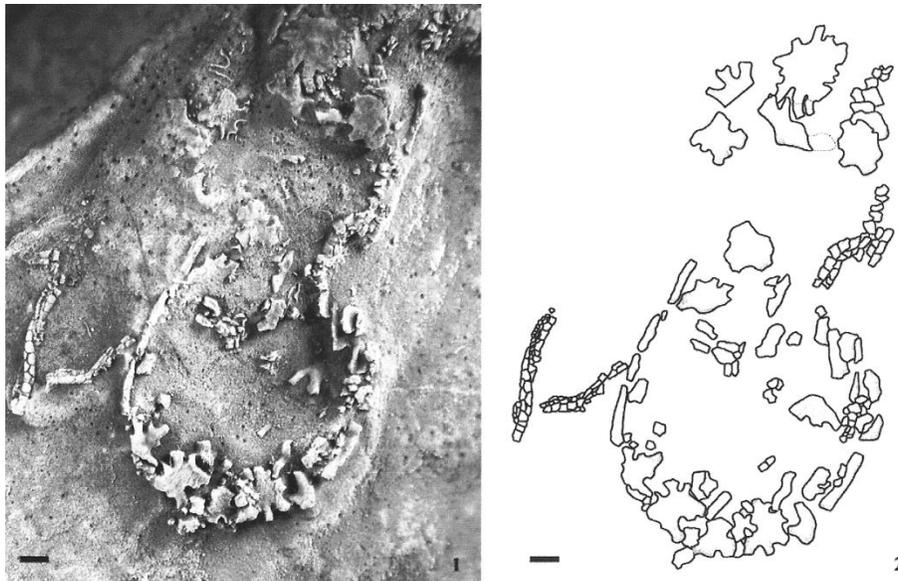


Figura 21. *Gogia granulosa* Robison

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 (Mount, 1980).

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 en relación a su defensa de los depredadores (McAlester, 1973).

La ecología se puede definir como la rama de la biología que trata de la interrelación entre los organismos y el medio ambiente (Van Morkhoven 1966) y tiene aplicación en la interpretación de la relación de los organismos y su ambiente en el pasado geológico.

La asociación de organismos muertos constituye una tanatocenosis contrariamente de la biocenosis cuando se trata de organismos recientes. El proceso de fosilización esta influido por los siguientes hechos:

- Condiciones desfavorables pueden haber impedido la fosilización de algunos organismos o parte de ellos. Es el caso particular de la escasa conservación en los Hyolíthidos de San José de Gracia.
- Ciertos elementos de la tanatocenosis por ejemplo, organismos sin partes duras que no pueden fosilizarse han desaparecido de ella. Es posible que en la localidad fosilífera del Cerro Chihuarruita existieran en la biocenosis del Cámbrico organismos del tipo de los vermes o esponjas de las que únicamente se conservaron sus espículas hexactinélidas.
- Influencia subsecuente tales como la diagénesis pueden haber causado la perdida de ciertos elementos de la tanatocenosis, o pueden haber alterado la estructura de los fósiles como es el caso de los Hiolítidos.

La comunidad biótica de San José de Gracia está conformada por diversos taxa de invertebrados como artrópodos, braquiópodos, moluscos, equinodermos y esponjas. Entre los trilobites hay una gran abundancia de especímenes bien conservados que ocuparon ambientes bentónicos marinos de salinidad normal con abundantes nutrientes que propicio una gran diversidad y pronta evolución del

grupo en el Paleozoico Temprano (Jablonski, *et al.*, 1983. Lefebvre, *et al.*, 2003 Liddell, *et al.*, 1997 Sprinkle, 1973).

Los braquiópodos están representados por inarticulados (*Acrothele*) y articulados (*Dictyonina*, *Prototreta*, *Linnarsionia*). Estos organismos fueron habitantes del bentos marino y hábitos suspensivos.

Los moluscos comprenden dos taxa como los Helcionélidos y los Hiolítidos que habrían presentado un modo de vida libre, posado, con la superficie más convexa (o cara ventral) en contacto con el sedimento. El genero *Helcionella* es considerado como un molusco de clase *incerta sedis* que vivió ambientes bentónicos de mares tranquilos constituyendo parte de del conjunto epifaunístico de hábitos detritívoros. Los Hiolítidos motivo de la presente investigación están representados por las especies: *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison y *Hyoilithes sonora* Lochman, cuyos hábitos de vida han sido estudiados por diversos autores (Fisher, 1966, Marti-Mus, *et al.*, 2005, Malinky, 1988, Syssoiev, 1957, Yochelson, 1961), quienes proponen diversas interpretaciones de su adaptación en los mares Cámbricos en los que se desarrollaron (Figuras 22, 23, 24).

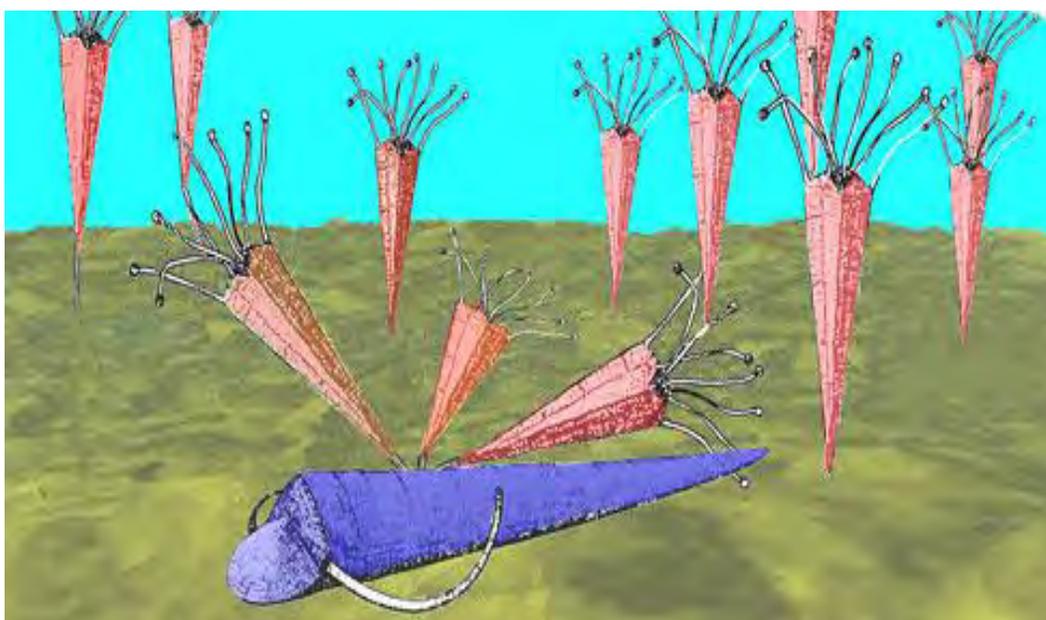


Figura 22. Representación de posibles hábitos de alimentación (Modificado de Baumiller, *et al.*, 2010).

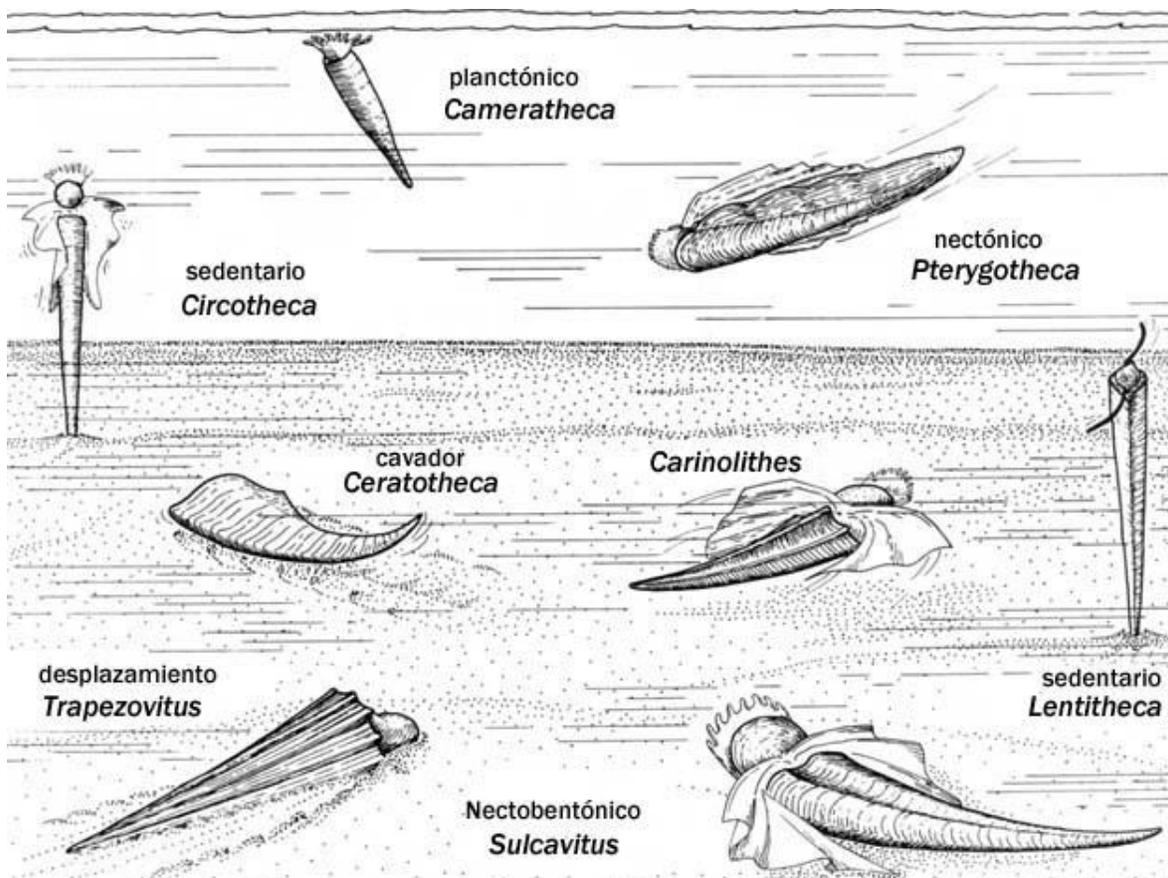


Figura 23. Diferentes hábitos de vida de los Hiolítidos (Modificado de Fisher 1966).

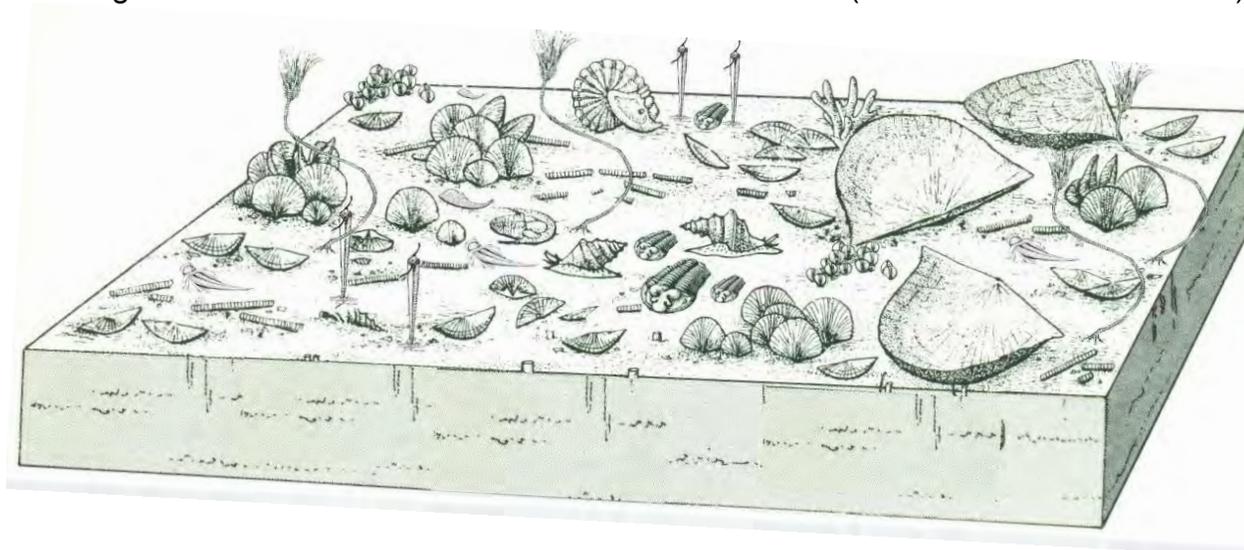


Figura 24. Reconstrucción paleoambiental del Cámbrico Inferior (Realizada por el autor).

Afinidades de organismos con sus ambientes

Alcance	Solamente organismos vivos ECOLOGIA		Organismos muertos PARA ECOLOGIA		Acontecimientos de organismos fósiles. PALEO ECOLOGIA
Comunidades ó grupos	Totalidad de organismos vivos en una localidad dada. BIO CENOSIS		Población total de cadáveres en una localidad dada. TANATOCENOSIS		Totalidad de fauna fósil en una muestra. PALEO-TANATOCENOSIS
Áreas de ocurrencia	Total de todos los ambientes habitados por un taxón. AUTO-BIOTIPO	Totalidad de todos los ambientes habitados junto con 2 ó mas taxa SYN-BIOTIPO	Área total de entierros de especímenes muertos pertenecientes a un taxón AUTO-TANATOTIPO	Área total de entierros de especímenes muertos de 2 ó mas taxa SYM-TONATOTIPO	Total de todos los sedimentos en el cual un fósil ó una colección de fósiles se encuentran PALEO-TANATOTIPO
Control de factores frecuencia y distribución.	Factores ambientales determinantes, Salinidad. Profundidad. Temperatura. Substrato. Provisión de alimento		Factores sedimentarios determinantes. Corrientes. Acción del oleaje. talla del cuerpo acuático. Topografía del pesos específico, forma y talla del organismo		Factores valor tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Primarios fosilización (presencia ó ausencia de partes duras, condiciones desfavorables, etc.) • Secundarios, renovación o alteración(diagénesis, solución perdida) • Mezclas artificiales (tipo de la muestra talla de la muestra).

Tabla 2. Cuadro informativo de algunos términos ecológicos (Tomado de López Alemàn, 1988).

CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

La evidencia geológica y paleomagnética indica que existió en el Proterozoico un Supercontinente (Rhodina), que posteriormente se fragmento y dispersó de tal manera que en el Cámbrico la paleogeografía la constituyeron masas terrestres menores que ocupaban las zonas ecuatoriales.

Reconstrucciones paleogeográficas de Norte América 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 (Figura 25).

En la región de San José de Gracia, la biota está formada por algas calcáreas del género *Girvanella* ampliamente distribuidas en el Paleozoico de varias regiones del mundo China, Australia, Francia, Canada y en Estados Unidos de Norteamérica (Johnson, 1952). El eocrinoide *Gogia* es índice del Cámbrico Inferior y Medio, se distribuye en México, Australia, Canada, Estados Unidos de Norteamérica y España (Nardin *et al.*, 2009, Sprinkle, *et al.*, 2006, Parsley, *et al.*, 2006). Los trilobites son abundantes y diversos entre ellos se identificaron a numerosos Agnóstidos de los géneros *Peronopsis* y *Pagetia* se encuentran en México, Australia, Canadá, Estados Unidos de América, Groenlandia e India; *Oryctocephalus* del cual se han reportado en Mexico, Estados Unidos de América, Asia, Australia y Europa; *Ehmaniella* distribuidos en México, Asia, Canada y Estados Unidos de América; *Kootenia* se encuentra en Norte América, Groenlandia, Norte de Europa, Asia y noreste de Australia; *Bathyriscus* descrito en México Estados Unidos de America e Inglaterra; *Elrathia* con una distribución en México, Asia, Groenlandia, Estados Unidos de América y Canadá. Los Braquiópodos están representados por los géneros *Acrothele* mencionado en México, Europa, Asia, Norte América, Australia y ?Norte de Africa; *Dictyonina* distribuido en México, Norte América, Asia y Europa; *Prototreta* se encuentran en México, Europa, Estados Unidos y Asia; por ultimo *Linnarsionia* descrito en Norte América y Europa (Tabla 3).

Tabla de la distribución paleogeográfica

	Norte América				Sud- américa	Europa		Asia	África	Antártica	Australia
	México	Canadá	EUA	Groenlandia		Occidental	Oriental				
Archaeocyatha	<i>Archaeocyathus</i>	x	x	x		x	x	x			x
	<i>Arrythmocricus</i>	x	x	x							
	<i>Aulocricus</i>	x		x							
	<i>Batenevia</i>	x	x	x			x	x			
	<i>Claruscoscinus</i>	x	x	x			x				
	<i>Cordillaracyathus</i>	x	x	x							
	<i>Dictyocoscinus</i>	x	x	x						x	x
	<i>Metaldetes</i>	x	x	x						x	x
	<i>Palmericyathellus</i>	x	x					x		x	
	<i>Palmericyathus</i>	x	x					x			
	<i>Paranacyathus</i>	x	x	x							
	<i>Parethmoohylum</i>	x		x				x	x	x	x
	<i>Protopharetra</i>	x	x	x			x	x	x		
	<i>Pycnoidocyathus</i>	x	x	x			x			x	x
	<i>Retilamina</i>	x	x	x							
	<i>Rotundocyathus</i>	x	x	x			x	x	x		
<i>Stevocyathus</i>	x										
<i>Tumulocyathellus</i>	x	x	x				x				
Arthropoda	<i>Antagmus</i>	x	x	x							
	<i>Bonnia</i>	x	x	x	x						
	<i>Caborcelia</i>	x									
	<i>Judomia</i>	x		x			x				
	<i>Laudonia</i>	x		x							
	<i>Nevadia</i>	x		x							
	<i>Ollenellus</i>	x	x	x							
	<i>Onchocephalus</i>	x		x				x	x		
	<i>Sombrerella</i>	x									
	<i>Wanneria</i>	x	x	x							
	<i>Elrathia</i>	•					x		x		
	<i>Peronopsis</i>	•	x	x	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					x			
<i>Kootenia</i>	•	x	x	x			x	x	x	x	
<i>Bathyriscus</i>	•	x	x	x		x					

Tabla 3, Distribución paleogeográfica de invertebrados marinos de Sonora,

Índices estratigráficos del Cámbrico Temprano.

Tabla de la distribución paleogeográfica (*continuación*)

	Géneros	Norte América				Sud-américa	Europa		Asia	África	Antártica	Australia
		México	Canadá	EUA	Groenlandia							
Brachyopoda	<i>Alisina</i>	x										
	<i>Lingulella</i>	x		x			x	x	x		x	
	<i>Paterina</i>	x	x	x								
	<i>Linnarssonina</i>	•	x	x	x		x	x			x	
	<i>Acrothele</i>	•	x	x	x		x	x	x		x	
	<i>Prototreta</i>	•		x	x			x			x	
	<i>Dictyonina</i>	•	x	x			x				x	
E	<i>Gogia</i>	•	x	x			x					
Mollusca	<i>Bemella</i>	x	x	x			x	x	x		x	
	<i>Helcionella</i>	•	x	x			x	x	x		x	
	<i>Pelagiella</i>	x	x	x			x	x	x	x	x	
	<i>Scenella</i>	x	x	x				x	x	x		
	<i>Hyolithes</i>	•	x	x			x	x			x	
I.	<i>Hyolithellus</i>	x	x	x	x			x	x	x	x	
	<i>Lapworthella</i>	x	x	x				x	x	x	x	
	<i>Microdictyon</i>	x	x	x	x			x	x		x	

E	Echinodermata
I.	<i>Inserta Sedis</i>
•	San José de Gracia

Tabla 3. Distribución paleogeográfica de invertebrados marinos de Sonora, Índices estratigráficos del Cámbrico Temprano.

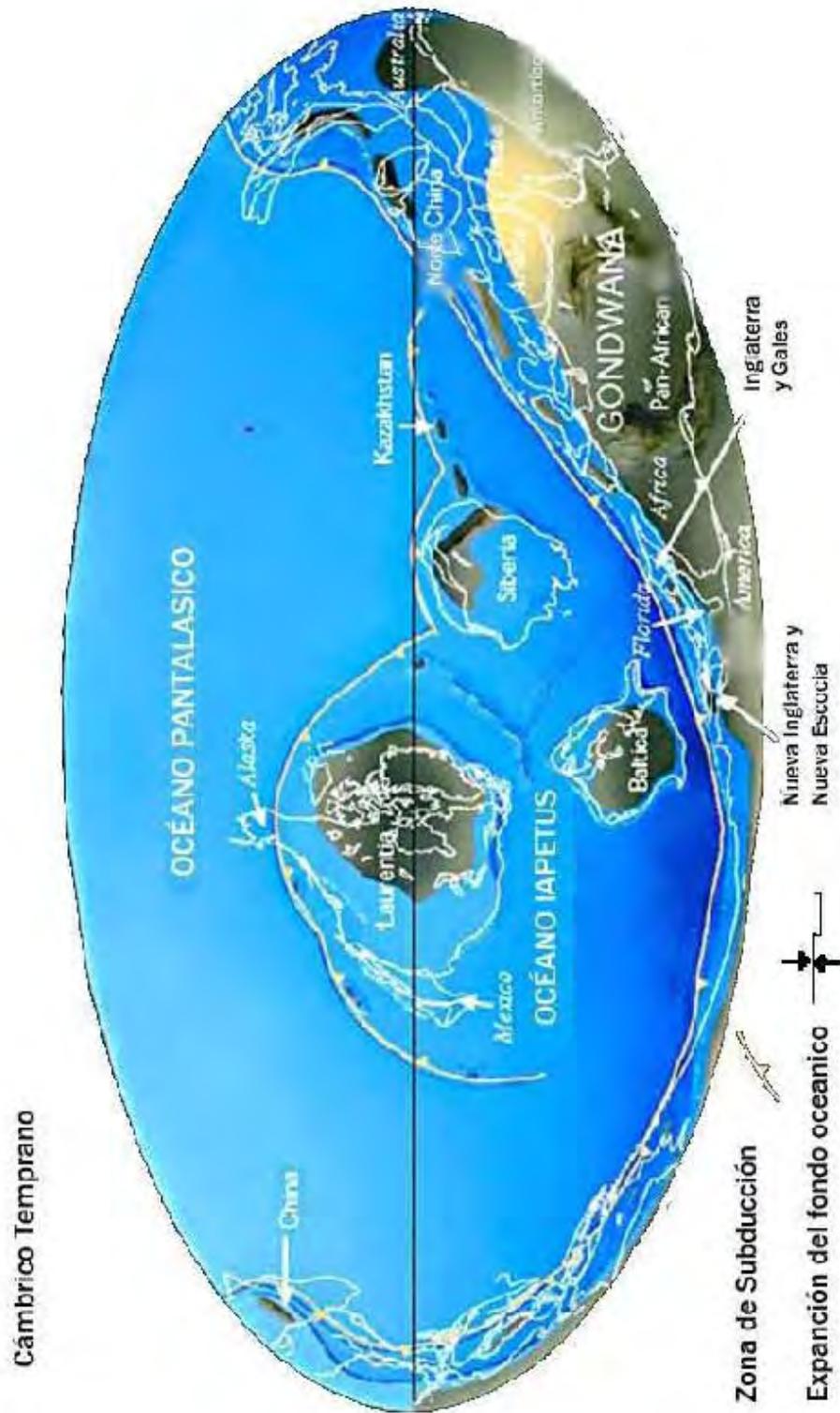


Figura 25. Mapa Paleogeográfico del Cámbrico Temprano (Modificado de Stanley, 2005)

La fauna del noroeste de Sonora, permitió establecer relaciones paleogeográficas como se muestra en la Tabla 3.

El género *Hyalithes* se encuentra distribuido en el Cámbrico de México, Estados Unidos de América, Canadá. Europa, Antártica y Australia. Considerando el mapa que ilustra la paleogeografía en el Cámbrico (Figura 25), se nota que los lugares en donde se han descrito se encontraban cerca del Ecuador, y confirma la paleogeografía que predominó hace 542 millones de años.

La distribución de los Hiolítidos comprende el suroeste de Canadá, Estados Unidos de Norte América, Groenlandia, Norte de Europa, Antártica y noreste de Australia, que formaban parte del Océano Pantalásico. De esta manera se relaciona la paleogeografía con la geografía actual (Figura 26).

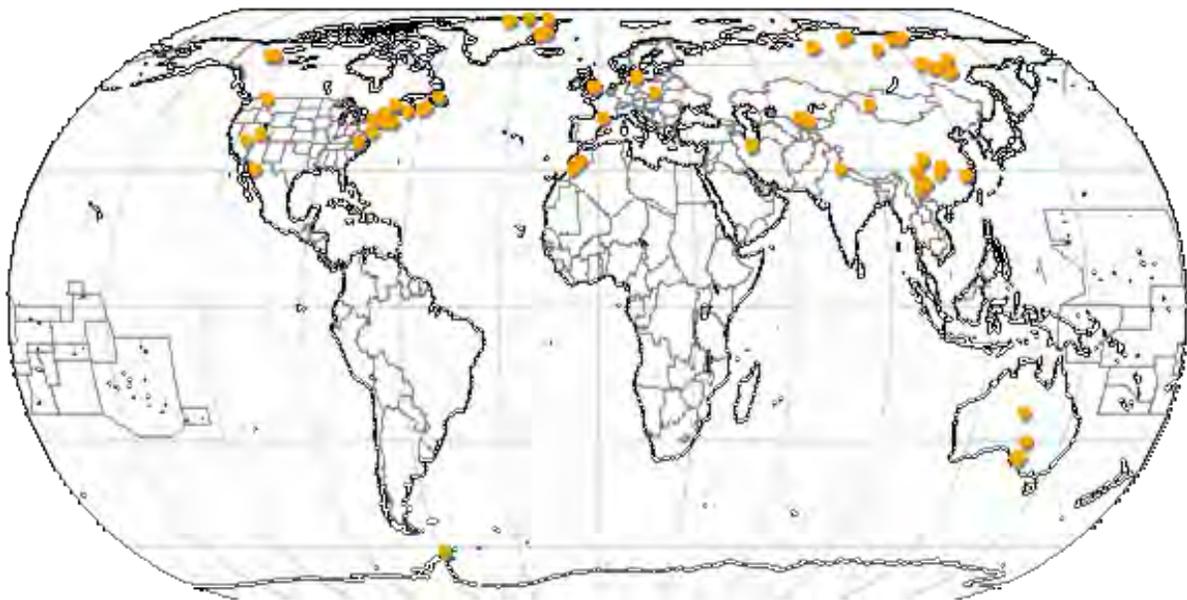


Figura 26. Distribución paleogeográfica del género *Hyolithes* en la actualidad (Paleobiology Database, 2011).

CONCLUSIONES

- La asociación biótica de la localidad fosilífera del cerro Chihuarruita en la región de San José de Gracia, Sonora, está constituida por diversos taxa de invertebrados como artrópodos-trilobites (*Peronopsis*, *Pagetia*, *Oryctocephalus*, *Ehmaniella*, *Kootenia*, *Bathyriscus*, *Elrathia*), braquiópodos inarticulados (*Acrothele*) y articulados (*Dictyonina*, *Prototreta*, *Linnarsionia*), equinodermos (*Gogia granulosa*), esponjas (Hexactinélidas), moluscos-Hyolítidos y algas ooncolíticas.
- Se describen las especies de Hiolítidos: *Hyolithes sonora* Lochman, *Haplophrentis reesei* Bobcock y Robison.
- Se confirma la edad del Cámbrico Inferior del miembro D de la columna estratigráfica de San José de Gracia con base en el estudio de los Hiolítidos.
- Con base en la composición de la comunidad biótica, se infiere que el ambiente de depósito tuvo lugar en plataformas carbonatadas de mares tropicales, someros, bien oxigenados que prevalecieron durante el Cámbrico en la región de Caborca-San José de Gracia, Sonora.
- La distribución de la biota cámbrica de San José de Gracia, entre ella los Hiolítidos denota que existió una amplia provincia faunística que comprende el suroeste de Canadá, Estados Unidos de Norte América, Groenlandia, Norte de Europa, Antártica y noreste de Australia, que formaba parte del Océano Pantalásico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 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.
- ANSTE, R. L. y CHASE, T. L., 1974. *Environments through time. A laboratory manual in the interpretation of ancient sediments and organism.* Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota, USA, 135 p.
- BABOCK, L.E., PENG, S., GEYER, G., SHERGOLD, J.H., 2005. Changing perspectives on Cambrian chronostratigraphy and progress toward subdivision of the Cambrian system. *Geosciences Journal* Vol. 9, p. 101-106.
- BOBCKOCK E.L., ROBISON A.R., 1988. Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (cnidaria) and Hyolithids (Mollusca) from western north America. *Paleontological Contributions, The University of Kansas*, paper 121, p. 1-22.
- BUITRÓN B. E., 1989. *Paleontología General, invertebrados.* Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, 352 p.
- 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 E. y GOMEZ E. C., 2010. *Paleontología General, invertebrados.* Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, 352 p.
- BUITRÓN, B.E., LAGUARDA, F.A., SOLIS, M.F., VALDEZ, DeANDA, M., 2011. The status of knowledge of fossils echinoderms of Mexico. 1º Congreso Latinoamericano de Equinodermos, Puerto Mádrin, Patagonia, Argentina. *Resúmenes*, p. 38.

- COOPER, G. A., 1952. Brachiopoda. 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 36-48.
- 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., JHONSON J., OKULITCH J., STOYANOW A. LOCHMAN C., 1952. Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 119, No 1, p 1-178.
- DEBRENNE, F., GANDIN, A., ROWLAND, S., 1989. Lower Cambrian bioconstructions in Northwestern México (Sonora). Depositional setting, paleoecology and systematic of Archaecyaths. *Geobios* Vol. 22, p. 125-131.
- DURHAM, J.W., 1978. A Lower Cambrian eocrinoid. *Journal of Paleontology* Vol. 52, p.195-199.
- FISHER D. W., 1966. Small conoidal shells of uncertain affinities in Hass, W., Hantzschel, D. W. Fischer, F. Howell, T. Rhodes, J. Muller, R. C. Moore. *Miscellanea, Conodonts, Conoidal shells of uncertain affinities, Worms, Trace fossils and problematica. Treatise on Invertebrate Paleontology, Geological Society of America y University of Kansas Press, p W98-W143.*
- GEYER y SHERGOLD, 2000. The Quest for Internationally Recognized Divisions of Cambrian Time. *Episodes* 23, p 188-195.
- GÍO-ARGÁEZ, R. y RODRÍGUEZ-ARÉVALO, Y., 2003. Panorama General de la Paleontología Mexicana. *Revista Ciencia ErgoSum*, Vol. 10, No 1, p 85-95.

- HOWELL, B. F., BRIDGE, J., DEISS, C.F., Denson, N.M., Edwards, I., Lochman, C., Mason, J.F., Raasch, G.O., Resser, C.E., 1944, Correlation of the Cambrian formations of North America: Geol. Soc. America Bull., vol: 55, p. 993-1003.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1985 Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora. Secretaría de Programación y Presupuesto. México 87 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. Mapa de la Población del Estado de Sonora. http://www2.ine.gob.mx/emapas/son_20.html mapa población, Consultada en Septiembre de 2011.
- JABLONSKI, D., SEPKOSKI, J.J., BOTTJER, D.J. SHEEHAN, P.M., 1983. Onshore-Offshore patterns in the evolution of Phanerozoic shelf communities. Science Vol. 222, p. 1123-1125.
- JOHNSON, 1952., *in* Cooper, G. A., Arellano A., Johnson J., Okulitch J., Stoyanow A., Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 119, No 1, p 60-107.
- KING ROBERT E., 1940. Pre-Tertiary history of the Sierra Madre Occidental of Sonora and Chihuahua and some adjacent parts of central Sonora, México, 6th Sexto Congreso Científico, Proceedings, Vol. 1, p 217-222.
- LAPORTE L. F., 1974. Los ambientes antiguos, Fundamentos de las Ciencias de la Tierra, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 115 p.
- LEFEBVRE, B., FATKA, O., 2003. Paleogeographical and palaeoecological aspects of the Cambro-Ordovician radiation of echinoderms in Gondwanan Africa and peri-Gondwanan Europe. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Vol. 195, p. 73-97.
- LIDDELL, W.D., WRIGHT, S.H., BRETT, C.E., 1997. Sequence Stratigraphy And Paleoecology Of The Middle Cambrian Spence Shale in northern

- Utah and southern Idaho. Brigham Young University Geology Studies, Vol. 42, p. 59-78.
- LOCHMAN C., 1952. Trilobites in Cooper, G. A., Arellano A., Johnson J., Okulitch J., Stoyanow A., Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 119, No 1, p 60-107.
- LÓPEZ ALEMÁN R. A., 1988. Esponjas y corales triásicos de la sierra en el noroeste del Estado de Sonora y sus implicaciones paleobiogeográficas. Tesis. Facultad de Ciencias, UNAM, p. 63.
- LÓPEZ-RAMOS, E., 1971. Rocas Paleozoicas marinas de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 32, No. 1, p. 15-44.
- MALINKY, J. M., 1988. Early Paleozoic *Hyolitha* from North America: Reexamination of Walcott's and Resser's Type Specimens. Journal of Paleontology, Vol. 62, No. 2, p. 218-233
- MALINKY, J. M., 1990. Early and Middle Cambrian Hyolitha (Mollusca) from Northeastern China. Journal of Paleontology, Vol. 64, No. 2, pp. 228-240.
- MARTI-MUS, M AND BERGSTROM, J. 2005. The morphology of Hyolithids and its funcional implications. Paleontology Vol. 48, p. 1139-1167.
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, 1999. Mapa de carreteras del Estado de Sonora. <http://www.zonu.com/fullsize1/2009-09-17-5172/Mapa-de-Sonora-1999.html>, Consultada en Semptiembre de 2011.
- MCALESTER A. L., 1973. La historia de la vida, Fundamentos de las Ciencias de la Tierra, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 151 p.
- MELÉNDEZ BERMUDO, 1980. Paleontología, Vol. 1, 2ª edición. Revisada y ampliada. Editorial PARANINFO, Madrid, España, 345 p.

- MOUNT, J.D., 1980. Characteristics of Early Cambrian from Eastern San Bernardino Country, California. Southern California Paleontological Society Special Publications, Vol. 2, p.19-29.
- NARDIN, ELISE, ALMAZÁN-VÁZQUEZ, E. y BUITRÓN-SÁNCHEZ, B.E. 2009. First report of *Gogia* (Eocrinoidea, Echinodermata) from de Early-Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeological comments. *Geobios* 42: 233-242.
- OCHOA C. A. y SOSA L. P., 1993. Geología y estratigrafía de la Sierra Agua Verde, con énfasis en el Paleozoico. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. Tesis de Licenciatura, 44 p.
- OGG J.G. y GRADSTEIN, F. M., 2008. The Concise Geologic Time Scale, Cambridge University Press, New York (Editors) 184 p.
- PALEOBIOLOGY DATABASE, THE. Catalogo de taxa. <http://paleodb.org>, Consultada en Octubre de 2011.
- PARSLEY, R.L., SHAO, Y.L., 2006. Long stalked eocrinoids in the basal Middle Cambrian Kaili Biota. Taijiang Country, Guizhou Providence, China. *Journal of Paleontology*, Vol. 80, p. 1050-1071.
- RAISZ, E., 1964. Landforms of Mexico, Cambridge Mass., edición privada, mapa con texto, escala 1:3'000,000.
- RESSER, C.E., 1928. Cambrian fossils from the Mohave Desert. *Smithsonian Miscellaneous Collection* 81, p. 1-15.
- RODRÍGUEZ-ARÉVALO, Y., 2003. La paleontología mexicana en los siglos XIX y XX. Tesis. Facultad de Ciencias, UNAM, p 113.
- SIGNOR P. W., 2009. Early Cambrian Biogeography of Western North America. In HALL A.C., YOUNG M.D., *Natural History of the White-Inyo Range, Eastern California and Western Nevada and High Altitude*, University of California White Mountain Research Station, Vol. 1, 240 p.

- SPRINKLE, J., 1973. Biostratigraphy and paleoecology of Cambrian echinoderms from the Rocky Mountains. Brigham Young University Geology Studies, Vol. 23, p. 61-73.
- SPRINKLE, J., GUENSBURG, T.E., 2006. New eocrinoids from the Burgess Shale, southern British Columbia, Canada, and the Spence Shale, northern Utah, USA. Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 43, p. 303-322.
- STANLEY, S.M., 2005. Earth System History. 2da edición. W.H. Freeman and CO., New York, 567 p.
- STEWART, J.H. AMAYA-MARTÍNEZ, R. PALMER, A.R., 2002. Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, México: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin. In: Barth, A. (Ed.), Crustal evolution in the southwest USA. Geological Society of America Special Paper 365, Boulder, pp. 5-48.
- SYSSOIEV, V.A. 1957. To the morphology, systematic and systematic position of the hyoliths (in Russian). Akademia Nauk SSSR Dklady, 116: 304-307.
- VAN MORKHOVEN F. P., 1966. The Concept of Paleoecology and it's practical applications. Shell Oil Company, Houston, Texas, Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies, Vol. 16, p. 306-313.
- WINSTON, G., 1946. Notes on the Nomenclature of *Hyolithes*. Journal of Paleontology, Vol. 20, No. 1, pp. 72-85
- 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. FLOWER, R. H., 1969. Late Cambrian Hyolithoid *Kygmæoceras* Redescribed. Journal of Paleontology, Vol. 43, No. 5, pp. 1274-1276