



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ICNOFÓSILES DE INVERTEBRADOS DEL CAMBRICO
TEMPRANO-MEDIO DE LA REGIÓN DE SAN JOSÉ DE
GRACIA, SONORA CENTRAL. CONSIDERACIONES
BIOESTRATIGRÁFICAS, PALEOECOLÓGICAS Y
PALEOGEOGRÁFICAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEÓLOGA

P R E S E N T A:

NICTZIA DALIA NAYIT CORONA GONZALEZ



DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“Cuando quieres algo, todo el universo conspira para que realices tu deseo”.

Paulo Coelho

Es por eso que sé que el sacrificio y constancia para concluir esta etapa no solo se debe a mi esfuerzo, también a esas personas que con su apoyo, aliento y estímulo me motivaron a lograr la más grande de mis metas.

Gracias a esas personas importantes en mi vida que siempre estuvieron listas para brindarme todo su apoyo. Ahora me toca regresarles un poco de todo lo inmenso que me han otorgado, es por ello que esta tesis lleva mucho de ustedes, gracias por estar siempre a mi lado.

En especial, se la dedico con todo mi cariño, amor y admiración a mis padres (Irene y Oscar) que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a su paciencia y comprensión durante todo este tiempo, por su bondad y sacrificio que me inspiraron para ser mejor cada día. Gracias infinitas.

A mis hermanas (Shahin e Indira) de quienes espero se sientan orgullosas de mí como yo lo estoy de ellas, pero más que nada para que vean que por más difícil que sea el camino siempre se puede llegar a la meta. Recuerden que yo estaré siempre para ustedes apoyándolas, ayudándolas, cuidándolas y queriéndolas.

A German, quien fue mi compañero y amigo durante todo este trayecto, gracias por tu cariño, amor, estímulo, comprensión, dedicación, fuerza y apoyo incondicional. Gracias por siempre exigir e impulsarme a dar lo mejor de mí, por nunca permitirme darme por vencida, por ser quien me cuida, quien siempre quiso lo mejor para mí, por las sonrisas, lágrimas y todas esas experiencias que hicieron más llevadero y feliz el camino. De verdad nunca podré recompensarte todo lo que hiciste.

A la Dra. Blanca Buitrón por aceptarme y permitirme desarrollar este trabajo, por sus conocimientos, por su valioso tiempo, por su paciencia y por su cariño.

A mis amigos, quienes me han mostrado su amistad y cariño incondicional y a quienes agradezco el tiempo, la confianza, las experiencias, los consejos, las risas y todo aquello que contribuyó a mi formación. ¡Gracias!

Finalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y a sus profesores, cuyas lecciones y experiencias me influenciaron para formarme como una persona de bien, preparada para los retos de la vida.

Este es un testimonio de infinita gratitud, porque quiero que sientan que este objetivo logrado también es suyo, que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo y que mi esfuerzo estuvo inspirado en ustedes.

Y por último deseo dedicar este momento tan importante a mí misma, ya que en muchas ocasiones el principal obstáculo se encuentra dentro de uno mismo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
ESTUDIOS PREVIOS	9
OBJETIVOS	10
JUSTIFICACIÓN.....	10
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	11
POBLACIÓN.....	12
PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DE SONORA.....	12
HIDROGRAFÍA.....	12
FLORA ACTUAL.....	14
FAUNA ACTUAL	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
MATERIALES.....	15
MÉTODOS.....	15
TRABAJO DE CAMPO	15
TRABAJO DE LABORATORIO.....	16
TRABAJO DE GABINETE	17
MARCO GEOLÓGICO	18
Miembro A.....	20
Miembro B.....	20
Miembro C	20
Miembro D	21
Miembro E.....	22
Miembro F.....	22

Miembro G	23
PALEOICNOLOGÍA	25
IMPORTANCIA	26
PROBLEMÁTICA.....	28
CLASIFICACIÓN.....	28
DIFERENTES FORMAS DE LA PRESERVACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LOS ORGANISMOS.	30
APLICACIONES DE LA ICNOLOGÍA	30
RESULTADOS.....	31
PALEOINCNOLOGÍA SISTEMÁTICA.....	31
CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRAFICAS.....	41
EDAD.....	42
CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS	42
CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.....	44
CONCLUSIONES.....	45
RECONOCIMIENTOS.....	46
BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.- Distribución de las rocas del Paleozoico Inferior en México	8
Figura 2.- Localización de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora (Huerta, 2011).	11
Figura 3.- Vista panorámica del Cerro Chihuarruita.	12
Figura 4.- Mapa de la distribución de la población (INEGI, 1985).	13
Figura 5.- Mapa de provincias fisiográficas de Sonora (Tomado de Ochoa y Sosa, 1993).	14
Figura 6.- Brigada de campo en el cerro Chihuarruita.	16
Figura 7. Esquema geológico del área de estudio en San José de Gracia	19
Figura 8. Vista de las areniscas pertenecientes al miembro B.	20
Figura 9.- Perfil del Cerro Chihuarruita, sección NW-SE. (Tomado de Cuen 2013).	21
Figura 10.- Columna estratigráfica de la secuencia Cámbrico temprano y medio de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora.	23
Figura 11. La icnología y las especialidades afines (Modificado de Schwennicke, 2009).	25
Figura 12.- Aspectos sobre el estudio de los icnofósiles (Schwennicke, 2009).	26
Figura 13. Icnofacies (Tomada de Pemberton <i>et al.</i> , 1992).	27
Figura 14. Clasificación etológica de los icnofósiles. (Modificado de Ekdale <i>et al.</i> 1984).	29
Figura 15. Morfología del Icnofósil encontrado en campo.	31
Figura 16. Orificios de entrada y salida de la galería.	32
Figura 17. <i>Arenicolites</i>	32
Figura 18. Forma en "bajo relieve" del Icnofósil.	
Figura 19. Huellas de tipo filoide del <i>Palaeophycus</i>	34
Figura 20. Huellas dejadas en el sedimento por un posible verme.	34
Figura 21. Galerías con ramificaciones en forma de "Y".	35
Figura 22. Galerías de <i>Thalassinoides</i>	36

Figura 23. Galería, relleno y orificio de entrada.....	37
Figura 24. Galería y orificio de entrada de <i>Skolithos</i>	37
Figura 25. La roca muestra la forma estelar de <i>Asteriacites</i>	38
Figura 26. Capas concéntricas del <i>Asterosoma</i>	39
Figura 27. Terminación de uno de los brazos de un equinodermo.....	40
Figura 28. La cuarcita arenosa presenta numerosas estructuras de un equinodermo.	40
Figura 29. Cámbrico Inferior-Medio del Norteamérica (Modificado de Stanley, 2005)	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correlación Litoestratigráfica del Paleozoico Inferior de México (Modificada de Buitrón, 1992 y de Cuen 2012).	24
Tabla 2. Cuadro informativo de algunos términos ecológicos.	43

RESUMEN

En este trabajo se describen por primera vez, los icnofósiles *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides*, *Palaeophycus*, *Asterosoma* y *Asteriacites*, cuya edad se determinó para el Cámbrico Inferior. El material procede del cerro Chihuarruita, ubicado en la proximidad del rancho San José de Gracia, Municipio de Ures, en la región central del estado de Sonora.

Los icnofósiles fueron recolectados en la parte basal de una amplia secuencia sedimentaria del Cámbrico Inferior y Medio, con un espesor de 232 metros y particularmente proceden de los miembros A, B y C, cuya litología consiste principalmente en arenisca con bioturbación.

La asociación biótica ha permitido inferir que se desarrolló en ambientes marinos bentónicos, someros, cálidos, de salinidad normal con abundantes nutrientes que propiciaron una gran diversidad y pronta evolución de los diferentes taxa en el Paleozoico temprano-medio de la región central de Sonora.

La distribución de la biota cámbrica de San José de Gracia, entre ella los icnofósiles, denota que existió una amplia provincia faunística que comprende varias localidades en México (Caborca, Ures) y en los Estados Unidos de Norte América (Idaho, Utah y California), en Europa (Italia), Asia (India y Pakistán) y Tasmania que formaban parte del Océano Pantalásico.

INTRODUCCIÓN

Los afloramientos del Paleozoico marino en México son escasos en relación con la extensión territorial del país, debido a que fueron cubiertos en gran parte por una gruesa secuencia de sedimentos mesozoicos y cenozoicos. No obstante, en la región del norte del territorio 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, se encuentra representantes de diversos géneros y especies de invertebrados, entre ellos arqueociátidos, corales, braquiópodos, trilobites, graptolites y conodontos. En general, las esponjas, los briozoarios, moluscos, equinodermos e icnofósiles son escasos. La flora marina no es abundante y consiste en estructuras oncolíticas formadas por la acción de cianobacterias (Buitrón, 1992). En la figura 1 se presenta la distribución de las rocas de edad Paleozoico Inferior existentes en nuestro país.



Figura 1.- Distribución de las rocas del Paleozoico Inferior en México

Las investigaciones sobre la estratigrafía y sedimentología de diversas localidades del Paleozoico sedimentario de México son relativamente conocidas (González León, 1986). Sin embargo, el contenido fosilífero ha sido escasamente estudiado, con excepción de algunos grupos que se utilizan como indicadores bioestratigráficos como es el caso de los braquiópodos, trilobites, arqueociátidos, eocrinoideos e icnofósiles, entre otros.

Existen aproximadamente 150 artículos publicados hasta 2002 sobre el Paleozoico de México que corresponde al 9% del total de los trabajos sobre paleontología del país (Rodríguez y Gío, 2003).

ESTUDIOS PREVIOS

Las investigaciones sobre el Paleozoico Inferior 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. Cooper y Arellano (1946) y Cooper *et al.* (1952) tratan sobre la estratigrafía y el contenido biótico de la región de Caborca, dando a conocer las primeras descripciones de arqueociátidos, braquiópodos, trilobites y algas calcáreas.

En la década de los setentas, Longoria *et al.* (1978) y Longoria y Pérez (1979) analizaron la estructura del Cuadrángulo de Pitiquito-La Primavera. Peiffer *et al.* (1980) descubrieron graptolites en la región noreste del estado. Baldis y Bordonaro (1981) escribieron sobre la correlación de los trilobites cámbricos de Sonora y de la Precordillera Argentina.

Stewart (1984) correlacionó las unidades del Cámbrico de Sonora con las del oeste de EUA. González (1986) publicó sobre la estratigrafía de la Sierra del Tule, situada al norte del estado. Brunner (1975) comentó sobre el descubrimiento de conodontos en Bísani, con una edad probable del Ordovícico-Silúrico. 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 (1988 a,b) 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) y Debrenne *et al.*, (1989) aportaron nuevas descripciones de graptolites ordovícicos y arqueociátidos cámbricos. Almazán, *et al.*, (2006) estudiaron el Ordovícico de la región de Pozo Nuevo. Cuen (2009, 2012a, 2012b) publica sobre diferentes aspectos de la geología y paleontología del cerro Chihuahuíta. Cuen *et al.*, (2013) describen restos de esponjas cámbricas de San José de Gracia.

OBJETIVOS

- Se realizará el estudio sistemático de los icnofósiles recolectados en afloramientos del cerro Chihuarruita, en la cercanía del rancho San José de Gracia, Municipio de Ures, Sonora central.
- Se precisará la edad de los afloramientos que contienen a los icnofósiles, pues posiblemente se consideran como índices estratigráficos.
- Se contribuirá al conocimiento de la Paleoeología del área de estudio.
- Se contribuirá al conocimiento de la Paleogeografía del Paleozoico Inferior del estado de Sonora.
- Se enriquecerá la Colección Paleontológica de la División de Ciencias Exactas y Naturales resguardada en el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. Archivo de fotografías con los números USON-DG-231-USON-DG-240.

JUSTIFICACIÓN

Comprender la evolución orgánica de la biota, ya que es fundamental saber sobre las estructuras morfológicas de los organismos tanto en los invertebrados como en los vertebrados y las plantas, ahora fósiles. Asimismo, es importante conocer sobre el comportamiento en vida (etología) de los organismos.

Contribuir con el conocimiento aportado por los icnofósiles sobre los diferentes ambientes en los que se desarrollaron y a que situaciones de cambios ambientales se fueron adaptando en el Paleozoico temprano.

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 encuentra a 40 km N 30° E de la ciudad de Hermosillo (Figura 2).

La secuencia estratigráfica cubre un área que rodea al cerro Chihuarruita (Figura 3) con coordenadas 29° 17'05 N, 110° 35'03 W; la localidad se encuentra a una altura media de 310 metros sobre el nivel del mar.

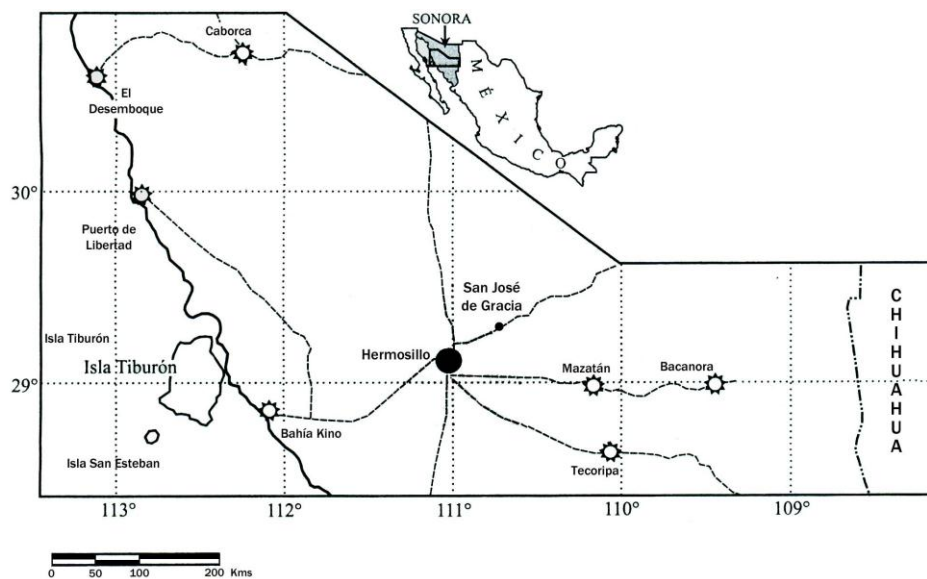


Figura 2.- Localización de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora (Huerta, 2011).



Figura 3.- Vista panorámica del Cerro Chihuarruita.

POBLACIÓN

La población total de San José de Gracia corresponde a 60 personas, de las cuales 36 son masculinos y 24 femeninas, como se muestra en la figura 4.

PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DE SONORA

Fisiográficamente la región de San José de Gracia forma parte de la provincia de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964) y particularmente se encuentra en la provincia Llanura Sonorense y en la subprovincia de Sierras y Llanuras Sonorenses. En la figura 5 se pueden observar las Provincias Fisiográficas presentes en el estado de Sonora.

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).

Índice de dispersión de la población por municipio, 2000
Estado de Sonora

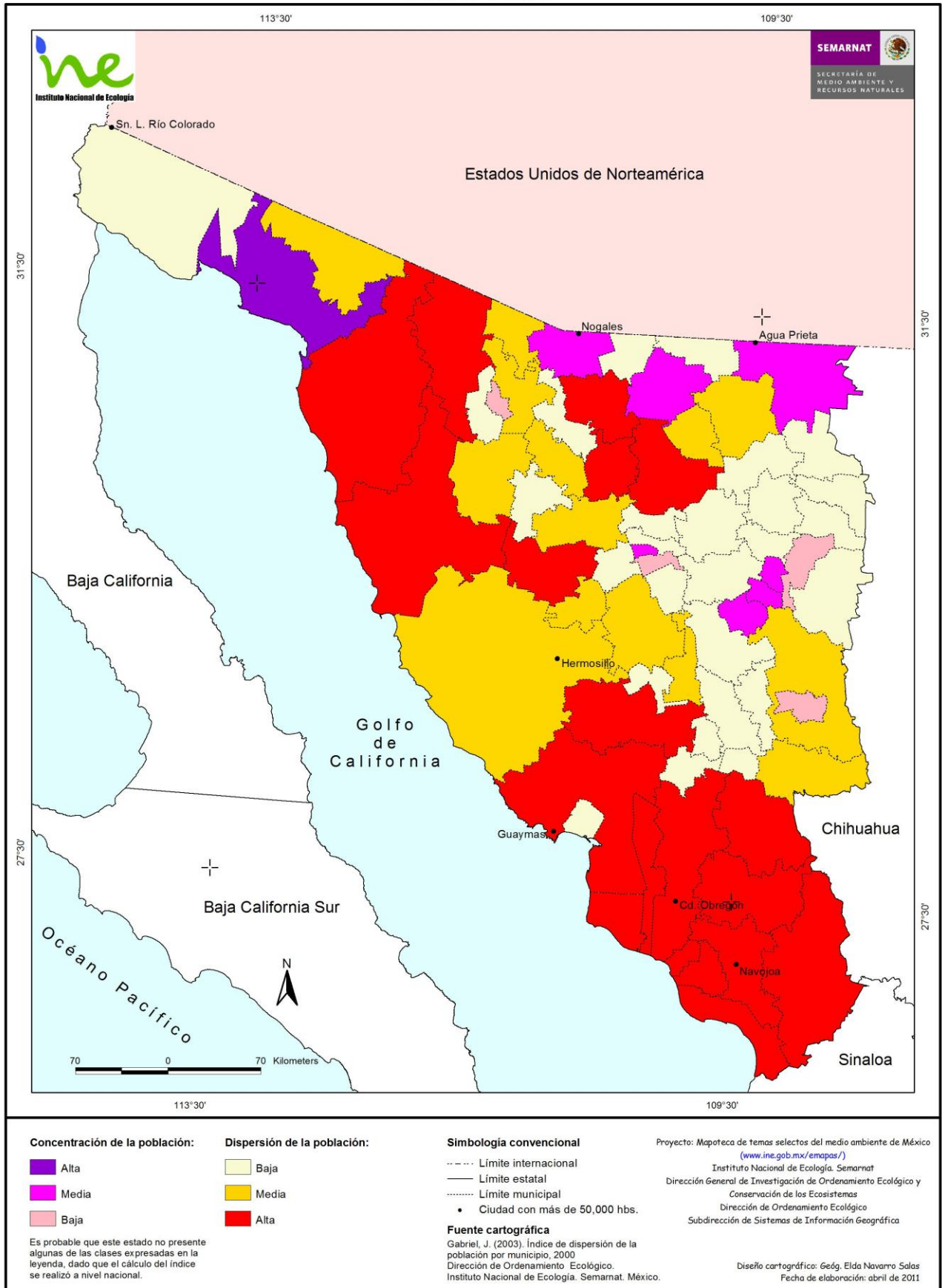


Figura 4.- Mapa de la distribución de la población (INEGI, 1985).

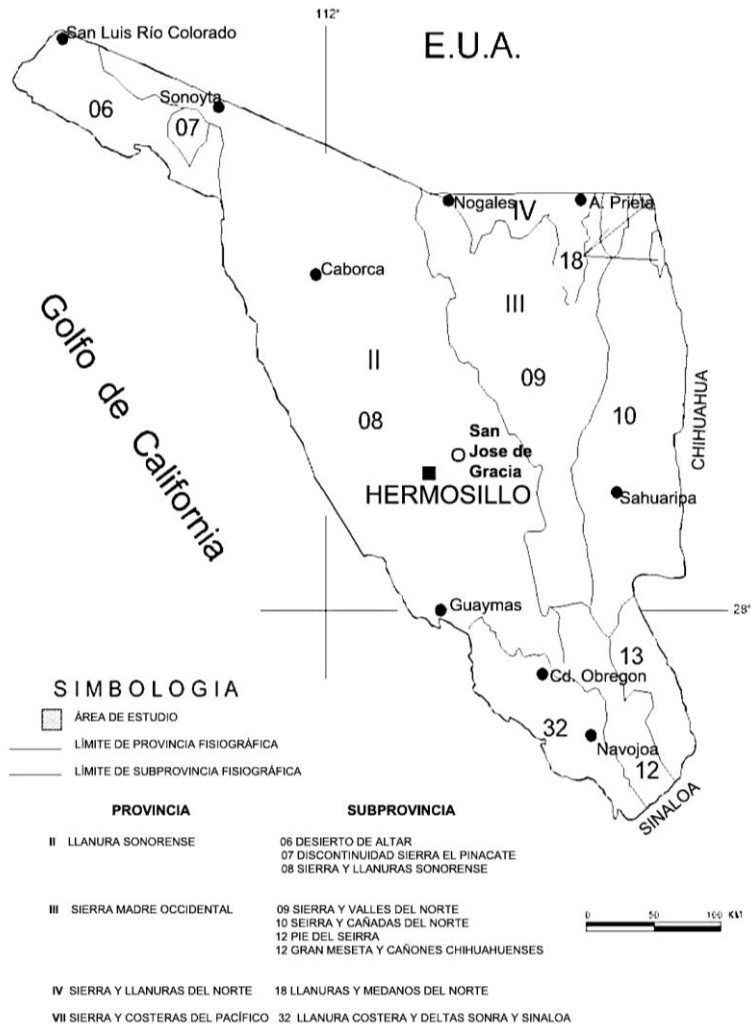


Figura 5.- Mapa de provincias fisiográficas de Sonora (Tomado de Ochoa y Sosa, 1993).

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*), onza real (*Felix onca*) y trigrillo (*Felix na*) (INEGI 1985).

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES.

Se utilizó el material fósil recolectado en varias etapas de trabajo de campo en la región de San José de Gracia, particularmente en afloramientos del cerro Chihuarruitia. Se utilizaron las fotografías tomadas en campo pues muchos de los icnofósiles se encontraban incluidos en rocas de gran tamaño que dificultaron su extracción o transporte.

MÉTODOS

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 por los Maestros en Geología Alejandra Montijo González y Francisco Javier Cuén Romero del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y particularmente por la suscrita en febrero de 2014, bajo la asesoría de los académicos antes citados. En la figura 6 se observa a la brigada de campo en el cerro Chihuarruita para la prospección de 2014.



Figura 6.-Brigada de campo en el cerro Chihuarruita.

En la recolecta de los ejemplares 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.

Se tomaron fotografías de los ejemplares en aquellos casos que no fueron posibles su extracción de la roca. 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 emplearon herramientas como *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 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 parataxonómica se realizó mediante el estudio de las diagnósticas y descripciones de los icnofósiles con base en libros y artículos sobre el tema. Se utilizó el Tratado de Paleontología de Invertebrados (Häntzschel, 1966; 1975) y publicaciones especializadas entre ellas, Fedonkin *et al.*, (1983); Anste y Chase (1974); Seilacher (1967); Frey (1981), Bromley, (1996), Bromley y Asgard, 1991), Schwennicke (2009), Silva y Mendoza (2010).

MARCO GEOLÓGICO

Rocas del Neoproterozoico Superior y Paleozoico Inferior afloran extensamente en todo el territorio de Sonora. Sin embargo, son escasas las localidades ubicadas en la parte central del estado. Entre ellas se encuentra San José de Gracia, esta región muestra rocas problemáticas respecto a la edad y su contenido fósil, el cual sigue siendo poco conocido. Entre los últimos trabajos geológico-paleontológicos sobre la región se encuentran los de Nardin *et al.*, (2009) que tratan sobre placas aisladas del tallo y teca de equinodermos pelmatozoarios, particularmente del género *Gogia*; Cuen, (2012 y 2013) y Cuen *et al.* (2013) que se refieren al estudio de las esponjas, braquiópodos y trilobites.

En el área de estudio, siguiendo la propuesta de Almazán *in* Nardín *et al.* (2009) se han reconocido seis unidades litológicas diferentes, que se pueden observar en la Figura 7 y se enuncian a continuación desde la más antigua a la más reciente.

- Una secuencia de dolomita azul grisáceo de probable edad Proterozoica.
- Una secuencia del Cámbrico Inferior de cuarcita blanca que cubre tectónicamente la secuencia clástica carbonatada del Cámbrico temprano-medio.
- Una secuencia clástica y carbonatada, que van desde el Cámbrico temprano al medio, y se describe en detalle.
- Una brecha sedimentaria carbonatada de edad jurásica, que interrumpe la tercera secuencia con una superficie de erosión importante.
- Una secuencia volcánica terciaria de composición ácida.
- Terrazas aluviales que cubren la última secuencia sedimentaria y se encuentran discordantes.

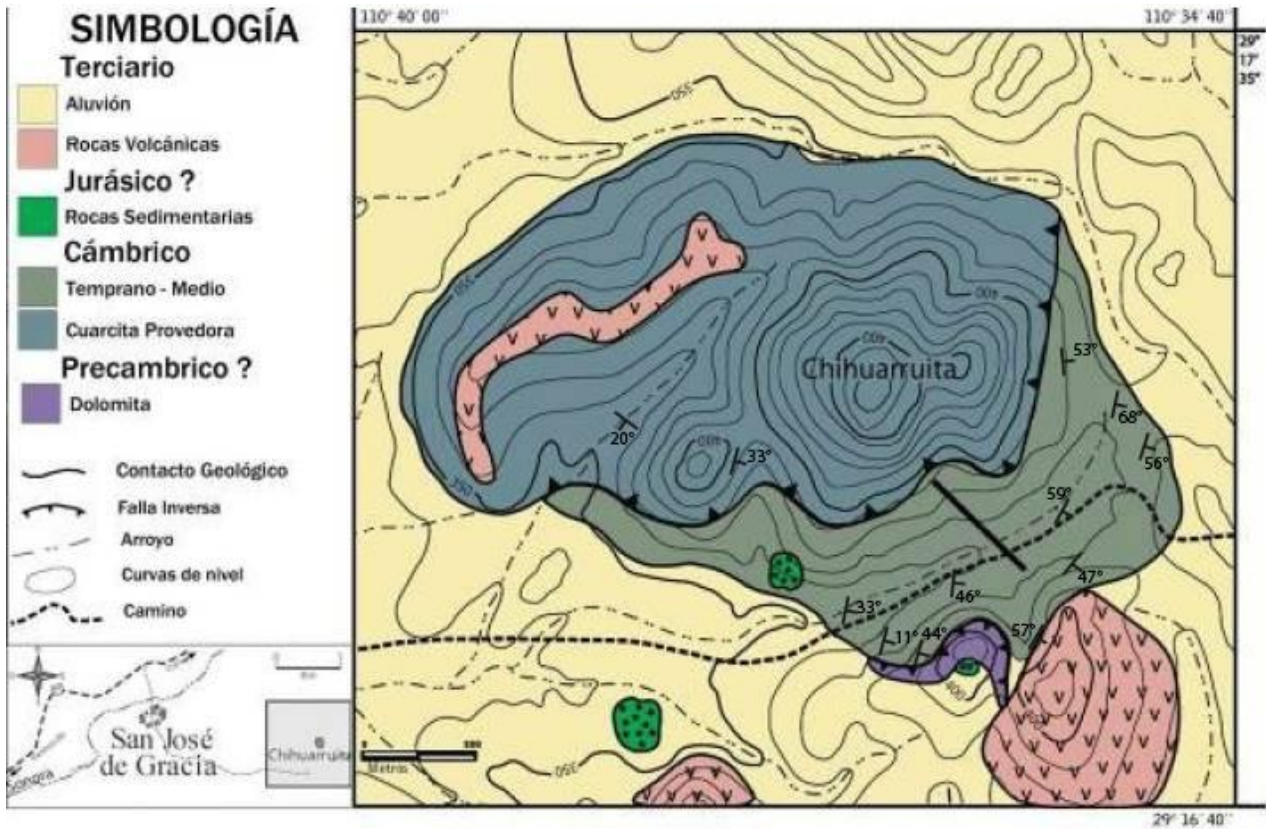


Figura 7. Esquema geológico del área de estudio en San José de Gracia (Realizado por Almazán in Nardin et al., 2009).

La primera prospección geológico-paleontológica fue realizada por Almazán y Buitrón en el área de trabajo en 2007 y las siguientes fueron llevadas a cabo por dichos autores y publicadas en colaboración con varios especialistas en el tema (Nardin *et al.*, 2009; Buitrón *et al.*, 2011; Huerta Ruiz, 2011; Cuen *et al.*, 2012a; 2012b; Cuen Romero, 2013) y en 2014 se hizo el reconocimiento en el área para este estudio por la autora.

Con base en las observaciones en campo 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. Se mencionan de 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).

Miembro A

La serie bioestratigráfica del Cámbrico en San José de Gracia se inicia con 12 m de cuarcitas de color marrón oscuro, esta unidad posiblemente está incompleta debido a que su base está truncada 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 con bioturbación, ricas en cuarzo de color marrón amarillento, la fuerte bioturbación elimina las estructuras sedimentarias. Esta unidad está cubierta por sedimentos aluviales. (Figura 8)

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



Figura 8. Vista de las areniscas pertenecientes al miembro B.

En la figura 9 se puede observar un perfil esquemático del Cerro Chihuarruita en donde se aprecian los tipos de litología así como los miembros estudiados para la realización de este trabajo.

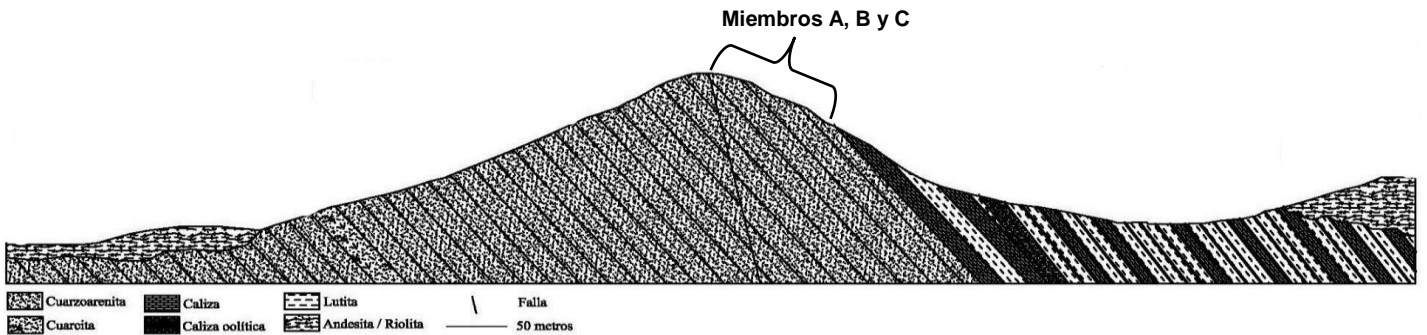


Figura 9.- Perfil del Cerro Chihuarruita, sección NW-SE. (Tomado de Cuen 2013).

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 con dimensiones entre 0,5 a 4 cm de diámetro.

También estas capas contienen abundantes moluscos-Hiolíthidos de las especies *Hyolithes sonora* (Lochman) y *Haplophrentis reesei* Bobcock y placas de la teca y columna de pelmatozoarios-eocrinoideos que se identificaron con la especie *Gogia granulosa* Robison. 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.

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 lutitas 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.

El intenso fracturamiento genera como resultado la separación de la roca en lascas 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 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).

En la parte superior de algunas capas de caliza se encuentra frecuentemente un alto porcentaje (60% y 80%) de fragmentos de trilobites de los géneros *Elrathina*, *Peronopsis*, *Ogygopsis*. También contienen las rocas una abundante y bien conservada fauna de braquiópodos inarticulados y articulados.

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 lutitas calcáreas de 3 a 35 cm de espesor. El miembro G está tectónicamente cubierto por rocas dolomíticas precámbricas(?) y riolíticas del Terciario.

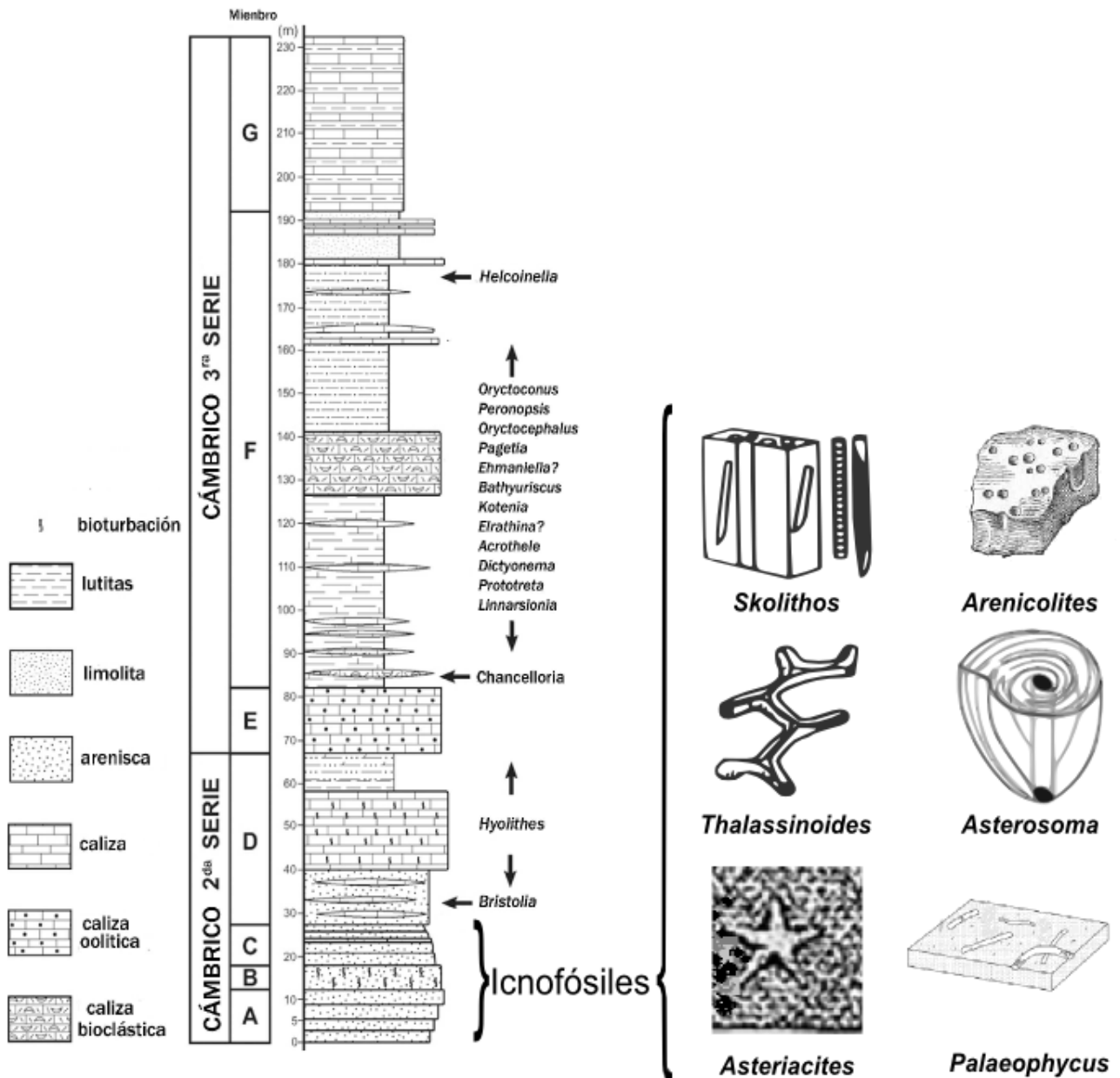


Figura 10.- Columna estratigráfica de la secuencia Cámbrico temprano y medio de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora.

Tabla 1. Correlación Litoestratigráfica del Paleozoico Inferior de México
(Modificada de Buitrón, 1992; Cuen 2012).

PERIODO	SERIE	BAJA CALIFORNIA	SONORA					CHIHUAHUA	TAMAULIPAS	OAXACA
		SAN MARCOS	SAN JOSE DE GRACIA	CABORCA	COBACHI	CANANEA	ARIVECHI	PLACER DE GUADALUPE	CAÑON DE LA PEREGRINA	IXTALTEPEC
SILÚRICO	SUP.							CALIZA SOLIS		
	INF.								Fm. CABALLERANGOS	
ORDOVÍCICO	SUP.				GRUPO			Fm. SÓSTENES	CALIZAS VITORIA	
	MED.				GUAYUCÁN					
	INF.	CAPAS DEL ARENIGIANO			SERIES COBACHI		Fm. EL SANTÍSIMO			
CÁMBRICO	SUP.					Fm. ABRIGO	Fm. MILPILLAS		CONGLOMERADO NARANJAL	Fm. TINÚ
	MED.		Miembros F y G	Fm. EL TREN Fm. ARROJOS		Fm. BOLSA	Fm. LA HUERTA Fm. EL MOGALLÓN Fm. LA SATA		LA PRESA CUARCITA	
	INF.		Miembro E Miembro D Miembros A, B y C	Fm. CERRO PRIETO Fm. BUELNA Fm. PROVEEDORA Fm. PUERTO BLANCO						

PALEOICNOLOGÍA

La Paleoicnología es una rama de la Paleontología que se refiere al estudio de las pistas o rastros dejados por moluscos pelecípodos, artrópodos como los trilobites y cangrejos, equinodermos como asteroideos, entre otros; la figura 11 muestra las especialidades afines a la icnología. También durante sus desplazamientos, perforaciones o galerías hechas por vermes (anélidos) en busca de alimento y pisadas por vertebrados como los dinosaurios y aves, en fin como resultado de las actividades inherentes a la vida. A estos restos se les denomina icnofósiles o fósiles traza. Asimismo, algunos autores, consideran como icnofósiles a los coprolitos o excrementos de animales y a los rizofitos que son marcas de raíces de plantas (Schwennicke, 2009).

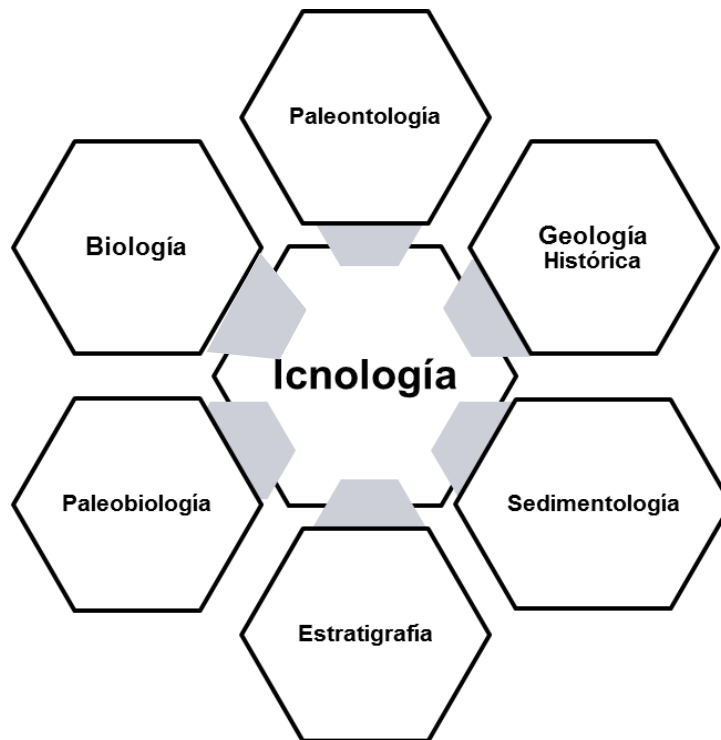


Figura 11. La icnología y las especialidades afines (Modificado de Schwennicke, 2009).

Los estudios sobre la Icnología se iniciaron con las huellas dejadas a su paso por vertebrados, aunque ya había ciertas interpretaciones sobre las actividades de invertebrados y de las perforaciones de las raíces de plantas. Algunos aspectos importantes para el estudio de icnofósiles se enlistan en la figura 12.

Los icnofósiles se conservaron mejor en rocas sedimentarias con tamaño de grano pequeño, por ejemplo en las calizas, lutitas, areniscas y también se pueden encontrar en rocas metamórficas como esquistos y filitas (Schwennicke, 2009).

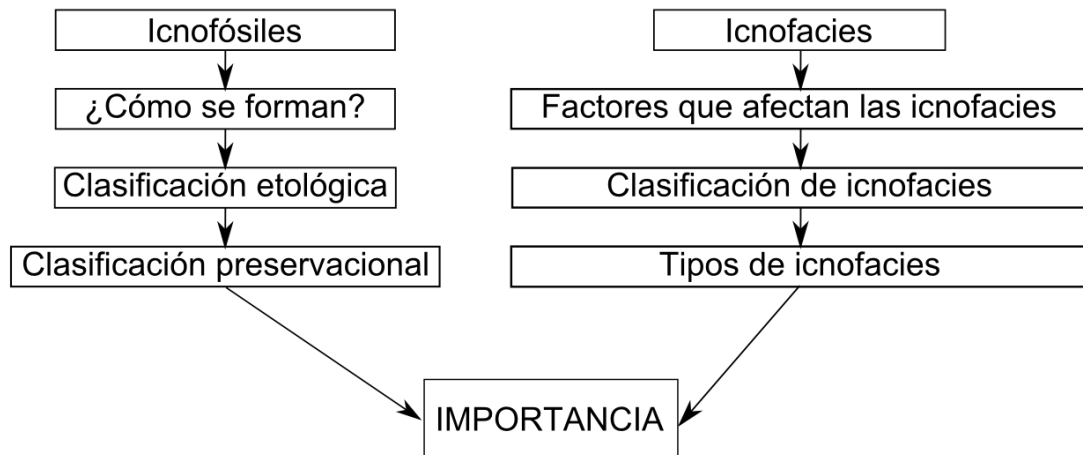


Figura 12.- Aspectos sobre el estudio de los icnofósiles (Schwennicke, 2009).

En los sedimentos marinos, lacustres y continentales actuales también existen evidencias de las actividades inherentes a la vida de los invertebrados y vertebrados que se aplican en la interpretación de los icnofósiles y es motivo del estudio de la Neoicnología. Sin embargo, en varios casos en los fósiles no es posible interpretar algunos fósiles traza, mediante su comparación con restos modernos, a pesar de que pudieron ser producidos por organismos afines.

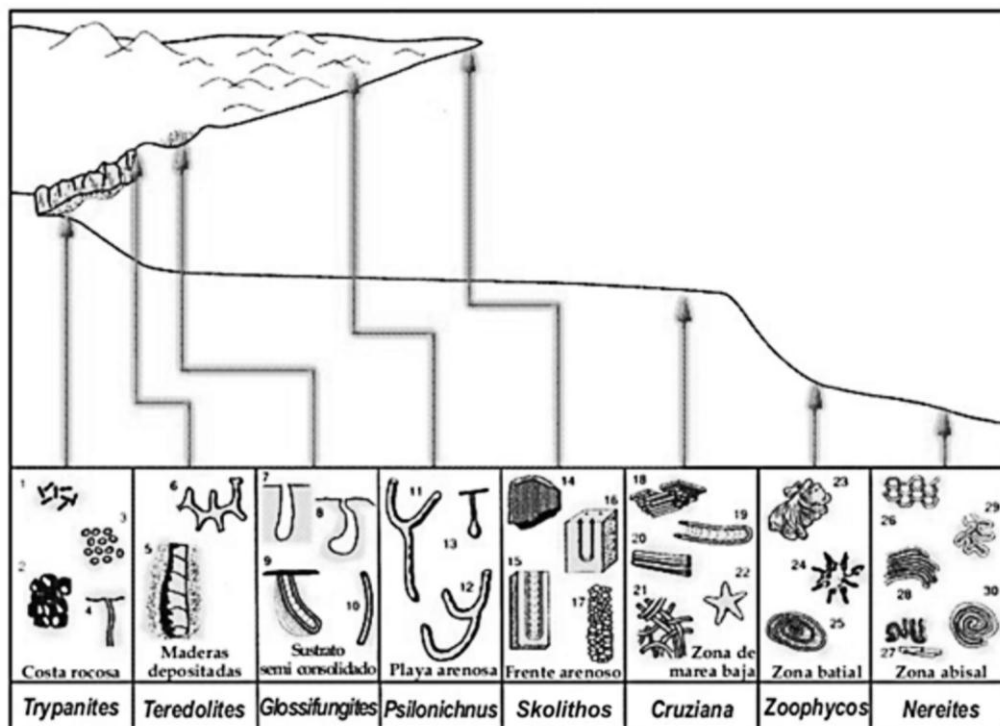
IMPORTANCIA

El estudio de los icnofósiles es importante porque proporcionan información sobre organismos no preservados que complementan el conocimiento sobre la vida del pasado geológico y su evolución. Se utilizan como indicadores 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 la

interpretación paleoecológica (icnofacies), pues se han utilizado como indicadores paleoambientales debido a que las diferentes icnofacies proporcionan información sobre la batimetría, salinidad, cantidad de oxígeno presente y características del sustrato como la polaridad de las capas y también en lo referente a que tipos de ambientes terrestres y marinos podrían haber existido; la figura 13 presenta un diagrama de icnofacies tomada de Pemberton et al, 1992. Tal información es valiosa en lo relacionado con los campos de la sedimentología (Seilacher, 1967; Frey y Seilacher, 1981; Schwennicke, 2009)

En relación a la diferente distribución de los continentes y mares, 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).



Ejemplificación de uno de los modelos de icnofacies pertenecientes a ambientes marinos, así como algunos de los icnofósiles característicos de éstas: 1) *Caultrepsis*; 2) *Entobia*; 3) raspaduras originadas por equinodermos; 4) *Trypanites*; 5) *Teredolites*; 6) *Thalassinoides*; 7 y 8) *Gastrochaenolites*; 9) *Diplocaterion*; 10) *Skolithos*; 11 y 12) *Pylonichnus*; 13) *Macanopsis*; 14) *Skolithos*; 15) *Diplocaterion*; 16) *Arenicolites*; 17) *Ophiomorpha*; 18) *Phycodes*; 19) *Rhizocorallium*; 20) *Teichnus*; 21) *Planolites*; 22) *Asteriacites*; 23) *Zoophycos*; 24) *Lorenziana*; 25) *Zoophycos*; 26) *Pa-leodycton*; 27) *Taphrhelminthopsis*; 28) *Helminthoidea*; 29) *Cosmorhapha*; 30) *Spirorhapha*.

Figura 13. Icnofacies (Tomada de Pemberton et al., 1992).

PROBLEMÁTICA

Las trazas fósiles proporcionan evidencia indirecta de la vida en el pasado geológico, tales como las huellas, madrigueras, perforaciones y heces dejadas por los animales, en lugar de las evidencias directas como los restos fósiles de las estructuras originales de los organismos, tanto invertebrados como vertebrados y de las plantas.

Es por este motivo que uno de los principales problemas al estudiar icnofósiles es el hecho de que no se tiene certeza del organismo generador de dichos rastros o huellas, pudiendo haber dos huellas similares creadas por organismos totalmente diferentes o por el contrario huellas totalmente diferentes creadas por el mismo organismo; sin embargo la aplicación de su estudio proporciona evidencia de la consistencia de los sedimentos en el momento de su deposición y el nivel de energía del ambiente de depósito.

A diferencia de la mayoría de los fósiles, que se produjeron después de la muerte del organismo en cuestión, las huellas fósiles proporcionan un registro de la actividad de un organismo durante su vida útil.

CLASIFICACIÓN

Las trazas fósiles son generalmente difíciles o imposibles de asignar en lo particular a un determinado organismo, aunque en algunas y raras veces se encuentran asociados a sus actividades. También existe la confusión de que diferentes organismos pueden producir el mismo tipo de huellas. Por tal motivo la taxonomía convencional no es aplicable en su determinación y se utilizan los taxa con el prefijo **icno**. La clasificación se basa en la forma y el modo de comportamiento implícito.

Seilacher (1953) propone una clasificación, en relación a diferentes comportamientos inherentes a las actividades de la vida de los invertebrados. A continuación se describen algunas de ellas.

- Domichnia. Corresponde a estructuras de habitación que refleja la posición de la vida del organismo que lo creó.
- Fodinichnia. Estructuras tridimensionales dejadas por el desplazamiento a través de los sedimentos en relación a la búsqueda de alimento.
- Pascichnia. Huellas dejadas por herbívoros en la superficie de un sedimento blando o un sustrato duro.
- Cubichnia. Impresiones de descanso, dada por un organismo en un sedimento blando;
- Repichnia. Rastros superficiales por arrastre.

También Ekdale *et al* (1984), siguiendo el modelo de Seilacher (1953) sobre el comportamiento de las actividades inherentes a la vida de invertebrados que poblaron los fondos marinos, proponen el siguiente esquema (Figura 14).

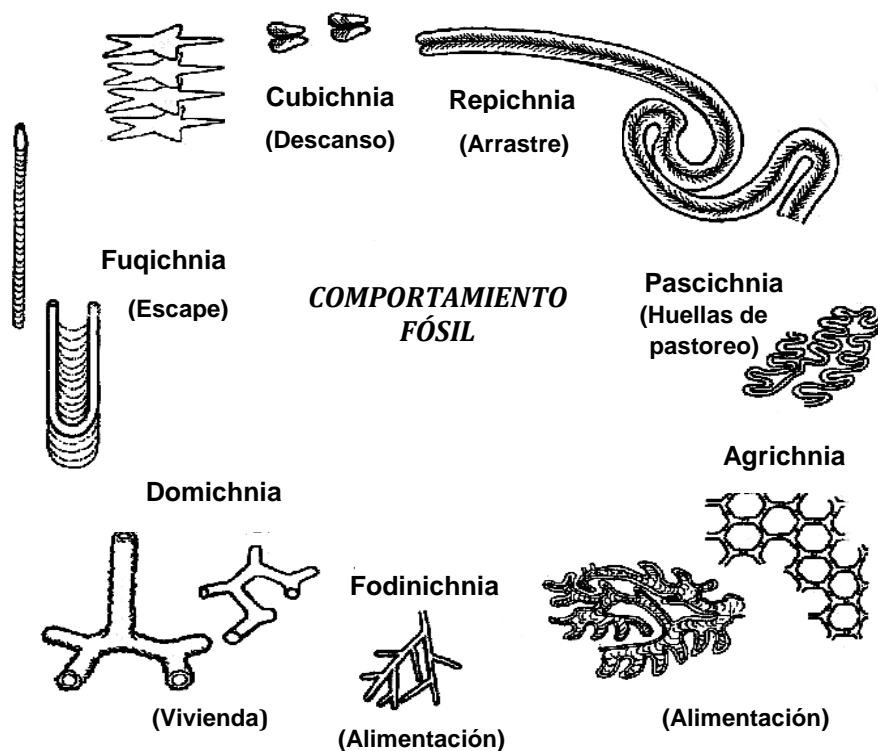


Figura 14. Clasificación etológica de los icnofósiles. (Modificado de Ekdale *et al*/1984).

Por otro lado el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica contiene un conjunto de reglas y recomendaciones para la clasificación científica de los animales, entre ellos los invertebrados. Dicha obra reconoce como icnofósiles los resultados de las pruebas o huellas de la actividad inherente de la vida de los organismos (etología). También propone como icnotaxa al resultado de dichas actividades sin tomar en cuenta a su creador en contra parte de los biotaxa. En esta investigación se sigue la propuesta sobre Icnopaleontología Sistemática de Häntzschel (1966).

DIFERENTES FORMAS DE LA PRESERVACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LOS ORGANISMOS.

Según Seilacher, 1964, se refiere a la posición de la actividad en el estrato.

- Epirelieve: La huella ocupa el tope del estrato.
- Hiporelieve: La huella ocupa la base del estrato.
- Relieve completo: La huella ocupa el estrato completo.

También hay que observar en el sustrato si la huella es positiva “n” o negativa “u”.

APLICACIONES DE LA ICNOLOGÍA

Una de las aplicaciones del conocimiento de los icnofósiles es en la industria petrolera, debido a que el análisis de estructuras biogénicas proporciona información de alta resolución sobre la modificación de las propiedades petrofísicas de un yacimiento debido a la bioturbación, caracterización e interpretación de facies sedimentarias en términos de proceso y ambientes de depositación y reconocimiento de variaciones relativas del nivel del mar.

La integración de evidencias icnológicas con datos sedimentológicos y estratigráficos permite caracterizar sucesiones sedimentarias para detectar tendencias transgresivas y regresivas (Knaust y Bromley, 2012).

RESULTADOS

PALEOICNOLOGÍA SISTEMÁTICA

El estudio de los icnofósiles del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora central, reflejó una abundancia de ejemplares, pero escasa en diversidad. El material parcialmente obtenido en el campo se encuentra depositado en la Colección Paleontológica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora con los números de Catálogo **USON-DG-231-USON-DG-244**. También se encuentran depositadas las fotografías de las muestras que no pudieron obtenerse en el campo por sus grandes dimensiones.

El Código Internacional de Nomenclatura Zoológica contiene un conjunto de reglas y recomendaciones para la clasificación científica de los animales, entre ellos los invertebrados. Dicha obra reconoce como icnofósiles a las huellas de la actividad inherente de la vida de los organismos (etología).

También propone como icnotaxa al resultado de dichas actividades sin tomar en cuenta a su creador en contra parte de los biotaxa.

En esta investigación para la identificación de los icnotaxa se sigue la propuesta de Häntzschel (1966) sobre Paleoicnología Sistemática.

Ichnogénero *Arenicolites* Salter, 1857, Häntzschel, 1966. Figura 15 y 16.

Arenicolites isp.



Figura 15. Morfología del Icnofósil encontrado en campo.



Figura 16. Orificios de entrada y salida de la galería.



Figura 17. *Arenicolites*

Descripción. Las rocas presentan galerías en forma de “U” abierta, simples, donde se observa una posible entrada y salida de forma circular, entre ellas no se encuentran estructuras que las comuniquen. Estas galerías presentan una separación, aproximadamente de ocho centímetros, son perpendiculares al plano de estratificación con el contorno delgado y las paredes sin escultura.

Alcance estratigráfico. Cámbrico-Reciente.

Distribución geográfica. Europa y Norteamérica

Discusión. Los diferentes tipos de *Arenicolites* se pueden diferenciar con base en la amplitud de la forma de la "U". La interpretación que se da a esta estructura es la de una galería de vivienda, posiblemente hecha por un verme, en la que se observan dos orificios, uno de entrada y otro de salida.

Seilacher (2007) y Mendoza-Rosales (2010, p.262, fig.104) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies Skolithos.

ICNOGÉNERO *Palaeophycus* Hall, 1847. Häntzschel, 1966. Figuras 17, 18 y 19.

Palaeophycus isp.



Figura 18. Forma en "bajo relieve" del Icnofósil.



Figura 19. Huellas de tipo filoide del *Palaeophycus*.



Figura 20. Huellas dejadas en el sedimento por un posible verme.

Descripción. El icnogénero tiene forma de galerías no ramificadas, cilíndricas o subcilíndricas alineadas, predominantemente horizontales, rectas y con paredes lisas, de diámetro variable y comúnmente sin estructura. El relleno de la galería es similar al de la roca sede.

Alcance estratigráfico. Paleozoico-Mesozoico.

Distribución geográfica. Europa y Norteamérica.

Discusión. Se consideran como galerías de vivienda o madrigueras hechas por diversas especies de invertebrados excavadores tanto marinos como continentales. Según varios autores existe confusión en la determinación morfológica entre *Planolites* y *Palaeophycus* pues son semejantes en la forma y dirección de los surcos o pistas, hacen énfasis que *Palaeophycus* se encuentra generalmente en bajo relieve. Al icnogénero *Planolites* es considerado como un sinónimo menor de *Palaeophycus*.

El ambiente puede ser marino o continental incluyendo aluvial, lacustre y eólico. Seilacher (2007) y Mendoza-Rosales (2010) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies Skolithos.

Ichnogénero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944. Häntzschel, 1966. Figuras 20 y 21.

Thalassinoides isp.



Figura 21. Galerías con ramificaciones en forma de "Y".



Figura 22. Galerías de *Thalassinoides*.

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

Alcance estratigráfico. Paleozoico-Terciario

Distribución geográfica. Europa, Asia y Norteamérica

Discusión. Se interpreta como una combinación de galerías de vivienda y alimentación. El probable productor de estas estructuras fue un crustáceo decápodo. Seilacher (2007) y Mendoza-Rosales (2010) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies Skolithos.

Ichnogénero *Skolithos* Haldeman, 1840. Häntzschel, 1966. Figuras 22 y 23.

Skolithos isp.



Figura 23. Galería, relleno y orificio de entrada.



Figura 24. Galería y orificio de entrada de *Skolithos*.

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

Alcance estratigráfico. Cámbrico- Ordovícico

Distribución geográfica. Europa, América, Groenlandia, Tasmania.

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

Seilacher (2007) y Mendoza-Rosales (2010) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies Skolithos.

Asteriacites Schlotheim, 1820. Häntzschel, 1966. Figura 24.

Asteriacites isp.



Figura 25. La roca muestra la forma estelar de *Asteriacites*.

Descripción. La impresión del Icnofósil tiene forma estelar con brazos anchos y separados. El ejemplar se observan en bajo relieves.

Alcance estratigráfico. Cámbrico-Terciario.

Distribución geográfica. Europa y Norteamérica.

Discusión. Estas impresiones estelares se interpretan como huellas de descanso cuyos posibles productores son equinodermos-asteleroideos (estrellas de mar). Son de ambiente totalmente marino.

Según Pemberton *et al.*, (1992) y Mendoza-Rosales (2010) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies Cruziana.

Ichnogénero *Asterosoma* Von Otto, 1854. Häntzschel, 1966.

Asterosoma Von Otto, 1854. Hofmann, 2012. Figuras 25, 26 y 27.

Asterosoma isp.



Figura 26. Capas concéntricas del *Asterosoma*.



Figura 27. Terminación de uno de los brazos de un equinodermo.



Figura 28. La cuarcita arenosa presenta numerosas estructuras de un equinodermo.

Descripción. Estructuras con diámetro amplio y aberturas con capas concéntricas redondas, alrededor de un eje cilíndrico central; con dimensiones de 1 a 5 mm de diámetro y surcos de 4 a 13 mm.

Alcance estratigráfico. Paleozoico-Cretácico Superior

Distribución geográfica. Europa y Norteamérica

Discusión. El icnogénero *Asterosoma* Von Otto, 1854 corresponde a una estructura que pudo ser el producto de la actividad de un organismo vermiforme en busca de alimento (Chamberlain, 1971) o de un crustáceo (Neto de Carvalho *et al*, 2007). Seilacher (2007) interpreta como un patrón causado por la actividad de organismos estacionarios en el sedimento marino (Hofmann, *et al.*, 2012)

Según Pemberton *et al.*, (1992) y Mendoza-Rosales (2010) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies Cruziana.

CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRAFICAS

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 Archaeocyata, que vivieron únicamente en el Cámbrico inferior y medio y existen varias especies 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 continúan hasta la actualidad y dejaron también huellas de sus actividades inherentes a la vida.

En la región de San José de Gracia son abundantes los fósiles traza que corresponden a los siguientes incnogéneros: *Skolithos*, *Arenicolites*, *Palaeophycus*, *Asterosoma* y *Asteriacites* que fueron recolectados en las unidades A, B y C. En estratos suprayacentes, particularmente en el Miembro F son numerosos 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* (Nardin *et al.*, 2009) que es índice del Cámbrico inferior-medio.

Los moluscos *incertae sedis* del género *Helcionella* y moluscos del género *Hyalithes* son índices estratigráficos de rocas de diferentes afloramientos sedimentarios de distribución mundial. Particularmente en las formaciones de localidades cámbricas de Caborca al norte del estado de Sonora y en San José de Gracia del centro del estado, se citan dichos organismos dentro del miembro D (Nardin, *et al.*, 2009).

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 (Cuen, *et al.*, 2013).

EDAD

La edad de los icnofósiles descritos en este trabajo se determinó fundamentalmente por su posición estratigráfica en la columna y en relación a las rocas que los suprayacen con especímenes del trilobite índice *Bristolia* ampliamente registrado en rocas del Cámbrico Inferior del mundo.

CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS

La paleoecología se puede definir como la rama de la Biología que trata de la interrelación entre los organismos y el medio ambiente en el pasado geológico (Van Morkhoven, 1966; Buitrón y Gómez, 2010; Mude, 2012). En el Paleozoico temprano, particularmente en el Cámbrico, se da la “explosión de la vida”, con algunos episodios masivos de extinción, sin embargo es en este periodo cuando aparecen la mayoría de los phyla que hoy en día existen. La vida en este periodo se desarrolló en el mar con organismos de cuerpo blando que a través del tiempo formaron conchas como protección de los depredadores (McAlester, 1973).

La asociación de organismos fósiles constituye una tanatocenosis en la que el proceso de fosilización estuvo influido por las condiciones desfavorables que pudieron haber impedido la fosilización de algunos organismos o parte de ellos, como por ejemplo una baja tasa de sedimentación, alta energía en el medio de conservación, entre otras.

Ciertos elementos de la tanatocenosis por ejemplo, organismos sin partes duras que no pudieron fosilizarse han desaparecido de esta asociación. En la tabla 2 se pueden consultar algunos términos ecológicos.

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), pero únicamente se conservaron los fósiles traza y espículas de esponjas hexactinélidas.

Siguiendo la interpretación propuesta por Mount (1980) y Briggs y Mount (1982) se intuye que la asociación biótica de San José de Gracia vivió en condiciones paleoambientales correspondientes a una plataforma carbonatada de mares tropicales, someros, bien oxigenados.

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

Comunidades o grupos	Totalidad de organismos vivos en una localidad dada. BIOECENOSIS		Población total de cadáveres en una localidad dada. TANATOCENOSIS		Totalidad de fauna fósil en una muestra. PALEO-TANATOCENOSIS (ORICTOCENOSIS)
Áreas de ocurrencia	Total de todos los ambientes habitados por un taxón. AUTO-BIOTIPO	Totalidad de todos los ambientes habitados junto con 2 o más 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 o más taxa SYN-TANATOTIPO	Total de todos los sedimentos en el cual un fósil o 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 peso específico, forma y talla del organismo		Factores valor tales como: Primarios fosilización (presencia o ausencia de partes duras, condiciones desfavorables, etc.) Secundarios (diagénesis) Mezclas artificiales (tamaño de la muestra).
Alcance	Solamente organismos vivos ECOLOGIA		Organismos muertos PARAECOLOGIA		Acontecimientos de organismos fósiles. PALEOECOLOGIA

CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

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

La asociación faunística de San José de Gracia, Sonora central, permitió establecer relaciones paleogeográficas con faunas del norte de Utah y en el sureste de Idaho.

La evidencia geológica y paleomagnética indica que en el Precámbrico se tenía un Supercontinente.

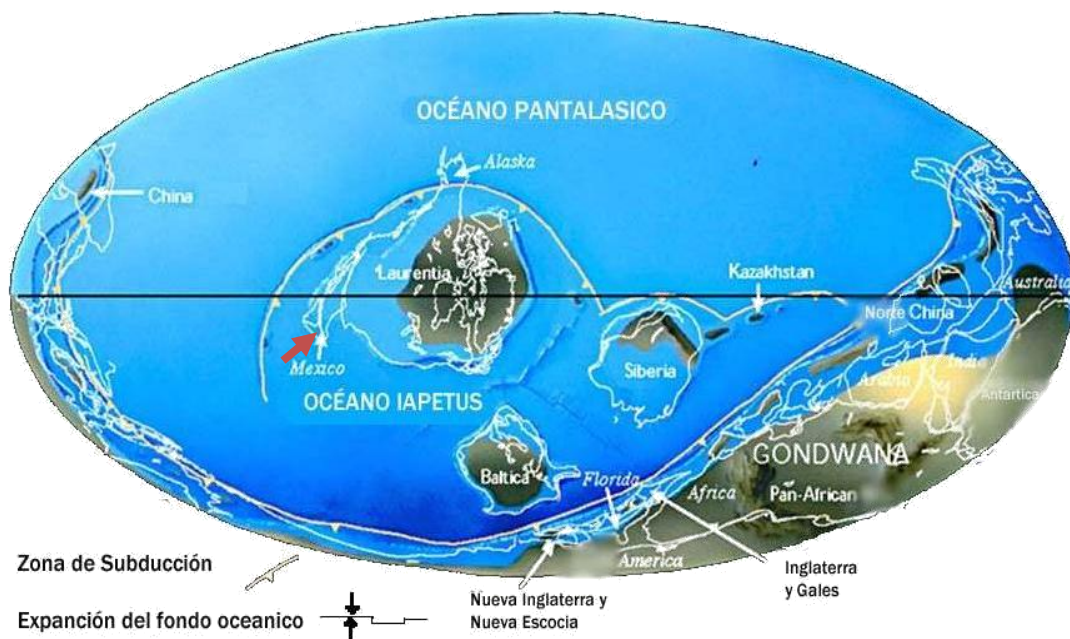


Figura 29. Cámbrico Inferior-Medio del Noroeste de América (Modificado de Stanley, 2005)

Reconstrucciones paleogeográficas de Norteamérica sugieren que su 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.

CONCLUSIONES

Se describen por primera vez en esta región de Sonora los icnofósiles *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides*, *Asterosoma*, *Asteriacites* y *Palaeophycus*.

La asociación biótica de los miembros A, B y C de la localidad fosilífera del cerro Chihuarruita en la región de San José de Gracia, Sonora, está constituida por diversos taxa de icnofósiles que se interpretan como galerías, pistas, de invertebrados como vermes, artrópodos-crustáceos, equinodermos-asteroideos y algas.

La edad de los icnofósiles descritos en este trabajo se determinó fundamentalmente por su posición estratigráfica en la columna y en relación a las rocas que los suprayacen con especímenes del trilobite índice *Bristolia* ampliamente registrado en rocas del Cámbrico Inferior del mundo.

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 San José de Gracia, Sonora.

La distribución de la biota cámbrica de San José de Gracia, entre ella los icnofósiles denota que existió una amplia provincia faunística que comprende varias localidades en México (Caborca, Ures) y en los Estados Unidos de Norte América (Idaho, Utah y California), en Europa (Italia) Asia (India y Pakistán) y Tasmania que formaban parte del Océano Pantalásico.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el marco de los proyectos CONACYT Núm. No.165826, UNAM-DGAPA-PAPIIT No. IN101512 y ECOS FRANCIA-MEXICO No. M13-01 sobre investigaciones geológico-paleontológicas del Paleozoico de México.

Se agradece al Dr. Guadalupe Espinosa Jefe del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, quien apoyó el aspecto logístico para llevar a cabo el trabajo de campo y a los Maestros Alejandra Montijo González y José Francisco Cuen Romero quienes participaron en la prospección geológica en San José de Gracia.

También se agradece a la Dra. Elena Centeno García Directora del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, quien permitió utilizar las instalaciones del Departamento de Paleontología y a la Biblioteca Conjunta de las Ciencias de la Tierra donde se consultó material bibliográfico para llevar a cabo la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Almazán V. E., 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista, vol. 08, no. 01, p. 58-67.

Almazán V. E., Buitrón B.E. y Franco 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.

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

Briggs D.E.G., 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, vol. 56, p. 1112-1118.

Bromley R.G., 1996. Trace fossils. Biology, Taphonomy and Applications . London: Chapman & Hall, 361 p.

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

Brunner Palmira, 1975. Estudio estratigráfico del Devónico en el área de Bisani, Caborca, Sonora. Revista Instituto Mexicano del Petróleo, vol. 7, p 16-45.

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., Gómez Espinosa C., 2010. Paleontología y colecta de fósiles. Manual Para el trabajo Geológico de Campo (edit. Silva Romo y Mendoza-Rosales), p. 246-261.

Buitrón B.E., Vachard D., Clausen S., Gómez E.C., 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyolithida Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México. Reunión Internacional de Malacología. Libro de resúmenes p. 175.

Cooper G. A., 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.

Cuen R.F.J., Almazán V.E., Montijo G.A., Minjáles S.I., Grijalva N.F.J., Monreal S.R, Schwenicke T., Ochoa G.J.A., 2009. Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico Temprano y Medio en la parte Central del estado de Sonora, México. GEOS. Unión Geofísica Mexicana (UGM). Resúmenes, vol. 29, no.1, p 91.

Cuen R.F.J., 2012a. Sobre la Estratigrafía y Paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora Central. Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología. Tesis Profesional de Licenciatura, p 65.

Cuen R.F.J., Almazán V.E., Montijo G.A., Minjáles S.I., De la O V.M, Buitrón S.B., Sundberg F., 2012b. La biota del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, sistemáticas y paleogeográficas. Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología. XXXV Semana Cultural. Libro de Resúmenes.

Cuen R.F.J., 2013. Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas. Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología. Tesis de Maestro en

Ciencias-Geología, p. 142.

Cuen R.F.J., Beresi M., Montijo G.A., Buitrón B.E., Minjáles S.I., De la O M., Palafox R.J.J., 2013. *Chancelloriia* Walcott, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico Medio de San José de Gracia, Sonora, México. Boletín Sociedad Geológica Mexicana, no. 65, p. 581-590.

Chamberlain C.K., 1971. Morphology and ethology of trace fossils from the Ouachita Mountains, SE Oklahoma. *Journal of Paleontology.*, Vol. 45, no. 2, p. 212-246.

Debrenne F., Gandin A., and Rowland S. M., 1989. Lower Cambrian bioconstructions in northwestern Mexico (Sonora) - Depositional setting, paleoecology and systematics of archaeocyaths. *Geobios*, vol. 22, núm. 2, p. 137-195.

Ekdale A. A., Bromley R.G., y Pemberton S.G., 1984. *Ichonology: The Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy.* Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 15, 317 p.

Fedonkin M., Liñán E. y Perejón A., 1983. Icnofósiles de las rocas precámbrico-cábricas de la Sierra de Córdoba, España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, vol. 81, p. 125-138.

Geyer Gerd and Shergold John, 2000. The Quest for Internationally Recognized Divisions of Cambrian Time. *Episodes*, vol. 23, p 188-195.

González León C., 1986. Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, Noreste de Sonora. *Revista del Instituto de Geología*, vol. 6, núm. 12, p. 117-135.

Frey R.W. and Seilacher Adolf, 1981. Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, vol. 13, p. 183–207.

Häntzschel D. W., 1966. *Trace Fossils and Problematica. Treatise on Invertebrate Paleontology*, Geological Society of America y University of

Kansas Press, p. W177-W259.

Häntzschel D. W., 1975. Trace Fossils and Problematica. Treatise on Invertebrate Paleontology, Geological Society of America y University of Kansas Press, W269 p.

Hofmann R., Mángano M.G., Elicki O. y Shinaq R., 2012. Paleoeologic and biostratigraphic significance of trace fossils from Shallow-to marginal-marine environments from the middle cambrian (stage 5) of Jordan. *Journal of Paleontology*, 86 (6), p. 931-955.

Huerta Ruiz A. 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyolithida, Sissoiv 1957) San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas y paleogeográficas. UNAM, Facultad de Ingeniería, tesis profesional 53 p.

Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), 1985.

King R. 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.

Knaust Dirk y Bromley R.G, 2012. Trace Fossils as indicators of sedimentary environments. *Developments in Sedimentology* 64, Elsevier, 924 p.

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

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, núm. 1, p 60-107.

Longoria J. F., González M. A, Mendoza J. J, Pérez V. A., 1978. Consideraciones estructurales en el cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW de Sonora. Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, *Boletín* vol.1, p. 61-67.

Longoria J. F., Pérez V. A., 1979. Bosquejo geológico de los cerros Chino y Rajón, cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW de Sonora. Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Boletín vol.1, p. 119-144.

López A.A., 1988. Esponjas y corales triásicos de la Sierra El Álamo en el noroeste del Estado de Sonora y sus implicaciones paleogeográficas. UNAM, Facultad de Ciencias, tesis profesional, p. 63.

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 N.M., 1985. Basal Cambrian small shelly fossils from La Ciénega Fm. NW, Sonora. Journal of Paleontology, vol. 59, p. 1414-1425.

McMenamin M.N., 1987. Lower Cambrian zonation and correlation of the Puerto Blanco Fm., Sonora. Journal of Paleontology, vol.4, p. 738-749.

Meléndez Bermudo, 1980. Paleontología, vol. 1, 2ª edición. Revisada y ampliada. Editorial PARANINFO, Madrid, España, 345 p.

Mendoza- Rosales C., 2010. Icnofósiles. Manual Para el trabajo Geológico de Campo (edit. Silva Romo y Mendoza-Rosales), p. 262-269.

Mount J.D., 1980. Characteristics of Early Cambrian Faunas from Eastern San Bernardino Country, California. Southern California Paleontological Society Special Publications 2, 19-29.

Mude S.N., 2012. "Paleoenvironmental significance of ichnofossils from the Kand Formation of the Cambay Basin, Gujarat, India. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2(1):12-20.

Neto de Carvalho, Rodrigues N.P.C., Viegas P.A., Baucon A., Santos V.F. 2010. Patterns of occurrence and distribution of crustacean ichnofossils in the Lower Jurassic–Upper Cretaceous of Atlantic occidental margin basins, Portugal. Acta Geologica Polonica, 60 (1).

Nardin E., Almazán-Vázquez E. y Buitrón B. E., 2009. First report of *Gogia*

(Eocrinoidea, Echinodermata) from the 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., 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 à graptolites dans le nord-ouest du Mexique. *C.R. Acad. Sciences, Paris*, 290, p. 13-16.

Pemberton S. G., MacEachern J. A., and Frey R. W., 1992. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. In : Walker, R. G., and James, N. P. (Eds.). *Facies Models: Response to Sea-Level Change*. Geological Association of Canada: 47-72.

Raiz E., 1964. Provincias Fisiográficas de la República Mexicana.

Riva J. and Ketner K.B. 1989. Ordovician graptolites from the northern Sierra de Cobachi, Sonora, Mexico. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, vol. 80, p. 71-90.

Rivera-Carranco E. 1988a. Condiciones Paleoambientales de depósito de las Formaciones Cámbricas del área de Caborca, Sonora. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, vol.7, no.1, p. 22-27.

Rivera-Carranco E. 1988b. Génesis de la Formación Proveedora (Cámbrico Inferior) del área de Caborca, Sonora, Noroccidental. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, vol.7, no.2, p. 163-167.

Rodríguez Y. y Gío-Argáez R., 2003. Panorama General de la Paleontología Mexicana. *Revista Ciencia ErgoSum*, Vol. 10, No 1, p 85-95.

Schwennicke Tobias, 2009. Curso de Icnología. Universidad Autónoma de

Baja California Sur La Paz, B.C.S. p. s/n.

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

Seilacher Adolf, 1964. Biogenic sedimentary structures. In Approaches to paleoecology (Eds. J. Imbrie & N. Newell). Willey, New York, pp. 296-316.

Seilacher Adolf, 1967. Bathymetry of trace fossils. Marine Geology, vol.5, p. 413-428.

Seilacher Adolf, 2007. Trace Fossils Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 226 p.

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.

Stanley S.M., 2005. Earth System History. 2da. Edición. W. H. Freeman and CO., New York, 567 p.

Stewart J.H., McMenamin A.S., Morales-Ramirez J.M., 1984. Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, México- Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleocurrent Studies and Regional relations. U.S. Geological Survey Professional Paper 1309. Pp. 36.

Stewart J.H. Amaya-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, p. 5-48.

Van Morkhoven F. P., 1966. The Concept of Paleoecology and its practical applications. Shell Oil Company, Houston, Texas, Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies, Vol. 16, p. 306-313.

FUENTES CONSULTADAS

http://www2.ine.gob.mx/emapas/son_20.html mapa población

<http://www.envs.emory.edu/faculty/MARTIN/ichnology/ichnofacies.htm>

http://ichnology.ku.edu/invertebrate_traces/tfimages/palaeophycus.html

<http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/03.html>

<http://www.monografias.com/trabajos10/paleon/Image136.gif>

http://www.biology-online.org/user_files/Image/Paleontology/Patagonichnus%20f10.gif

<http://palaios.geoscienceworld.org/content/23/9/601/F3.large.jpg>