

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

**ICNOFÓSILES DE LA FORMACIÓN
PROVEEDORA (CÁMBRICO) DEL
MUNICIPIO DE URES, SONORA.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
GEÓLOGO**



**PRESENTA:
LUIS ALFONSO YANEZ ROMERO**

HERMOSILLO, SONORA, NOVIEMBRE DE 2015

M.C. ALEJANDRA MONTIJO GONZÁLEZ

Departamento de Geología – Universidad de Sonora

M.C. ISMAEL MINJÁREZ SOSA

Departamento de Geología – Universidad de Sonora

DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA

Departamento de Geología – Universidad de Sonora

M.C. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO

Departamento de Geología – Universidad de Sonora

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento, y agradezco a él y a la vida por permitirme llegar a este momento, en el cual concluyo una de las etapas más hermosas de mi vida: terminar mi carrera.

A mis padres **Luis Alfonso** y **Margarita** con quienes estaré eternamente agradecido por la oportunidad de vida que me dieron, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por ser el motivo de inspiración y de superación profesional todos los días de mi vida. A mis hermanos **Omar Andrés**, **Alan Francisco** y **Obed Alejandro**, agradezco la confianza depositada en mí, el apoyo que me brindaron en esta gran aventura, porque ustedes siempre creyeron que podía lograrlo y me alentaron a que este sueño se hiciera realidad.

A mi bella esposa **Jeannette**, gracias a ti ahora sé que nada es imposible, me enseñaste que en tanto nos esforcemos para lograr nuestros objetivos así será, hoy con gran orgullo puedo decir "Si se puede". A mis hermosas princesas **Ángela Sofía** y **Anna Lucía**, hermoso regalo que me dio la vida, mi orgullo y mi gran motivación, libran mi mente de todas las adversidades que se presentan y me impulsan a superarme cada día para poder ofrecerles lo mejor. No ha sido fácil, pero si no las tuviera en mi vida no habría logrado tantas grandes cosas como lo es este momento que estoy viviendo. Las **AMO** mucho familia!

Agradezco infinitamente al **M.C. Francisco Javier Cuen Romero** y a la **M.C. Alejandra Montijo González** por aceptarme en este gran proyecto, por todo su apoyo, sus conocimientos, su paciencia, su valioso tiempo, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación, que han sido fundamentales para mi formación como profesionista. A su manera, han sido capaces de ganarse mi lealtad y mi admiración; así como sentirme eternamente en deuda y agradecido con ellos por todo lo recibido durante el tiempo que ha durado este proyecto. Al **M.C. Ismael Minjárez Sosa** y **Dr. Francisco Grijalva**, por su invaluable ayuda. **Mil GRACIAS!**

A la **Universidad de Sonora**, en donde decidí el rumbo que quería tomar en la vida y en donde pude obtener los conocimientos para lograrlo. A mis maestros que por sus enseñanzas y experiencias tuve mi formación académica con las que me enfrentare a la vida como profesionista.

ÍNDICE

1. Resumen.....	7
2. Introducción	8
3. Objetivos.....	13
4. Generalidades.....	14
4.1. Antecedentes y trabajos previos.....	14
4.2. Metodología	17
4.3. Clima	17
4.4. Vegetación	18
4.5. Fisiografía	18
4.6. Geomorfología	20
4.7. Localización del área de estudio	20
5. Marco Geológico Regional.....	21
6. Estratigrafía.....	25
7. Ambiente de depósito de la Formación Proveedora	32
8. Paleoicnología sistemática.....	34
9. Discusiones	47
10. Resultados y conclusiones	48
11. Bibliografía.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Clasificación etológica de trazas fósiles (Modificado de Buatois <i>et al.</i> , 2002).....	10
--	----

Figura 2.- Distribución paleoambiental de las icnofacies arquetípicas en medios continentales y marinos. (Modificado de Buatois & Mangano, 2011).	13
Figura 3.- Provincias fisiográficas del estado de Sonora, según la clasificación de CONABIO (1990). Tomado de Cuen (2012).	19
Figura 4.- Localización del área de San José de Gracia, Sonora. (Cuen, 2013).	21
Figura 5.- Mapa Geológico regional. Modificado de SGM (2002), Tomado de Cuen (2013).	24
Figura 6.- Columna estratigráfica del área de estudio. Modificada de Cuen (2013)	30
Figura 7.- Mapa Geológico regional. Modificado de SGM (2002), Tomado de Cuen (2013).	31
Figura 8.- <i>Arenicolites</i> isp.	41
Figura 9.- <i>Arenicolites</i> isp.	41
Figura 10.- ? <i>Diplocraterion</i> isp.	42
Figura 11.- ? <i>Diplocraterion</i> isp.	42
Figura 12.- ? <i>Monocraterion</i> isp.	43
Figura 13.- <i>Palaeophycus</i> isp. cf. <i>P. tubularis</i>	43
Figura 14.- <i>Planolites</i> isp.	44
Figura 15.- <i>Skolithos</i> isp. cf. <i>S. linearis</i>	44
Figura 16.- <i>Skolithos</i> isp.	45
Figura 17.- <i>Skolithos</i> isp.	45
Figura 18.- <i>Thalassinoides</i> isp.	46
Figura 19.- <i>Thalassinoides</i> isp.	46

1. RESUMEN

La Formación Proveedora del área de San José de Gracia, Sonora central, constituye depósitos sedimentarios del Cámbrico inferior, los cuales se caracterizan principalmente por cuarcita y cuarzoarenita de grano medio a grueso, los cuales se depositaron en un ambiente marino somero, con alta bioturbación e icnofósiles. La morfología de las pistas permite su asignación a los icnotaxa *Arenicolites* isp., *?Diplocraterion* isp., *?Monocraterion* isp., *Palaeophycus* isp. cf. *P. tubularis*, *Planolites* isp., *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, *Skolithos* isp. y *Thalassinoides* isp.

Con base al estudio de icnogéneros presentes en esta unidad es posible determinar el ambiente de depósito de estas rocas, caracterizando dos icnofacies marinas de substrato blando. La primera conformada por la icnoasociación de *Planolites* y *Thalassinoides* caracteriza la icnofacies de *Cruziana* (Seilacher, 1964). La segunda se compone por la icnoasociación de *Arenicolites*, *?Diplocraterion*, *?Monocraterion*, *Palaeophycus* y *Skolithos*, constituyendo la icnofacies de *Skolithos* (Seilacher, 1964).

La icnofacies de *Cruziana* indica condiciones de depósito en substrato blando, asociada a condiciones de energía baja o moderada, permitiendo que las estructuras más superficiales no sean eliminadas por la erosión. La icnofacies de *Skolithos* indica condiciones de energía moderada a alta en un ambiente mixto con baja icnodiversidad.

2. INTRODUCCIÓN

Los afloramientos del Cámbrico en el estado de Sonora, se caracterizan por constituir secuencias aisladas y diversas en composición, con un registro estratigráfico representado generalmente por el depósito de rocas sedimentarias de ambiente marino somero. De manera relativa, estos afloramientos poseen fauna en buen estado de conservación, dentro del cual los invertebrados han despertado el creciente interés de diversos investigadores desde principios del siglo pasado (Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952; 1956). El estudio de trazas o pistas fósiles, llamados icnofósiles, ha sido relegado a un segundo plano debido no solo al desconocimiento morfológico y posición sistemática controversial sino también a que pistas semejantes, pueden ser originadas por diversos organismos. Los icnofósiles son muy abundantes en diversos ambientes, principalmente en el marino y poseen una utilidad relevante en interpretaciones paleoecológicas y ambientales.

Bajo la categoría de trazas o pistas fósiles se incluyen diversas estructuras de origen biogénico, tales como excavaciones, huellas, pistas y perforaciones. Las excavaciones (*burrows*) constituyen estructuras generadas en sustratos no litificados, de carácter permanente o semipermanente, ya que son mantenidas por sus ocupantes (Bromley, 1996). Por su parte, las pistas (*trails*) representan estructuras continuas de desplazamiento, tanto superficiales como subsuperficiales, que no muestran expresiones significativas de apéndices. Las huellas o pisadas (*tracks*) corresponden a impresiones dejadas en el sedimento por un apéndice locomotor individual sea éste un vertebrado o invertebrado. Las perforaciones (*borings*) son estructuras producidas en un sustrato duro, ya sea éste una superficie endurecida (*hardground*), en un sustrato rocoso (*rockground*) o material esquelético. (Mángano & Buatois, 2007).

La icnología corresponde a una ciencia relativamente nueva, la cual se originó a principios de siglo XIX, destacando los trabajos de [Buckland \(1836\)](#) y [Hitchcock \(1850\)](#), sin embargo, no adquirió importancia científica relevante hasta mediados de siglo XX, gracias a los trabajos de [Seilacher \(1963, 1964, 1967\)](#). Hoy en día, la icnología (*ijnos* = huella y *logos* = estudio) es tratada como una disciplina geológica que estudia las estructuras etológicas, es decir, el registro de comportamiento de los seres vivos en soportes naturales. [Seilacher \(1953\)](#) propuso una clasificación etológica que ha alcanzado gran aceptación entre los icnólogos. En esta clasificación se define un número reducido de categorías básicas de comportamiento, que surgieron del estudio del registro icnológico marino. Este esquema es de gran utilidad en análisis de tipo paleoecológico y paleoambiental, ya que la caracterización etológica de los componentes de una asociación es relevante para establecer la estructura de la paleocomunidad y las condiciones de sedimentación imperantes. Lo anterior incluye la descripción, clasificación e interpretación de estos registros. La paleoicnología comprende por lo tanto, el estudio de fósiles que muestran evidencias indirectas del comportamiento de los seres vivos. ([Gámez & Liñán, 1996](#)). (Figura 1).

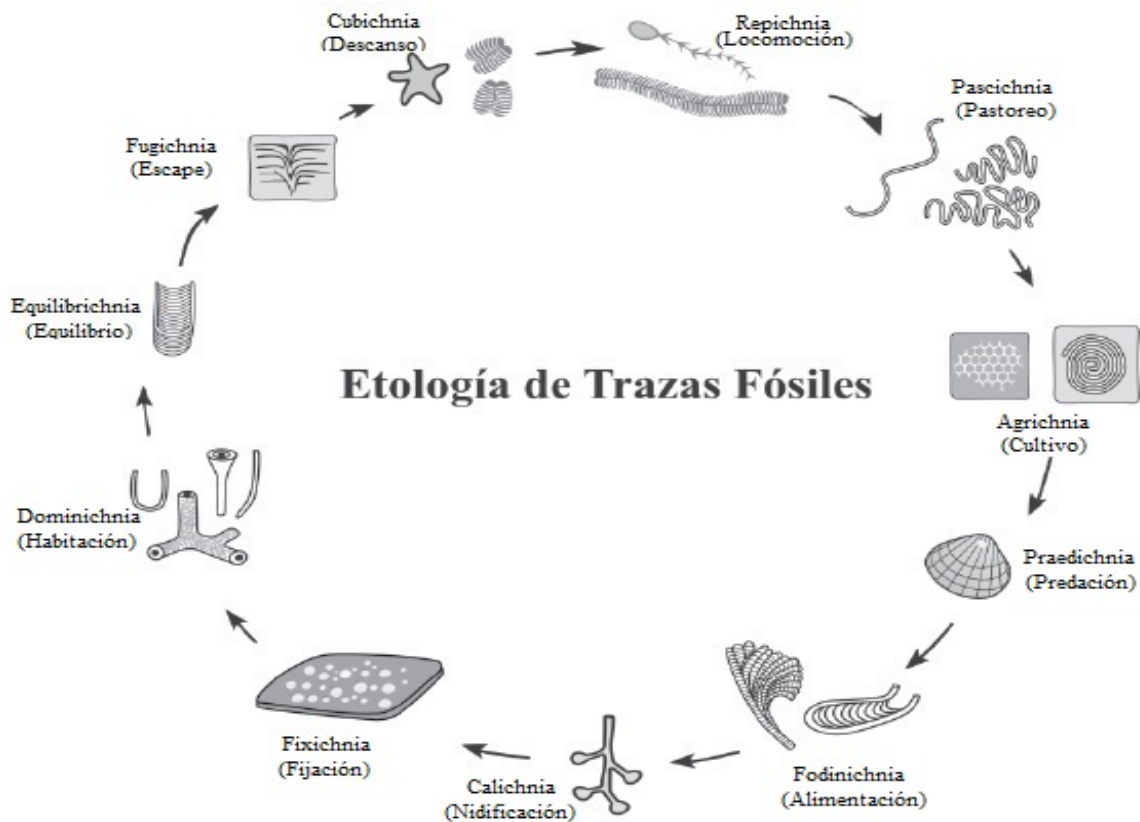


Figura 1.- Clasificación etológica de trazas fósiles (Modificado de [Buatois et al., 2002](#)).

El concepto de icnofacies ha sido uno de los más exitosos de la icnología, derivando en un modelo de gran aplicación y que, desde una perspectiva epistemológica e histórica, fue crucial para el desarrollo conceptual y metodológico de la icnología ([Mángano & Buatois, 2001](#)). Una icnofacies es una asociación característica de pistas fósiles, recurrente en el espacio y en el tiempo, que refleja directamente condiciones ambientales tales como batimetría, salinidad y tipo de sustrato ([Gámez & Liñán, 1996](#); [Bromley, 1990](#)). Es decir, los icnofósiles son en gran medida, un reflejo indirecto de parámetros ambientales presentes en determinado espacio y tiempo. Es importante destacar, que no existen icnotaxa individuales que indiquen ambientes en particular, es la totalidad de la icnoasociación la que debe ser objeto de estudio, basados en una paleoicnocenosis, la cual es un conjunto de

pistas halladas en un estrato o en estratos sucesivos genéticamente relacionados que registran la actividad de una comunidad concreta. (Gámez & Liñán, 1996).

Hasta la fecha se han reconocido seis icnofacies en ambientes marinos, dentro de las cuales seis corresponden a sustratos blandos: *Psilonichus* (Frey & Pemberton, 1987), *Skolithos* (Seilacher, 1964), *Arenicolites* (Bromley & Asgaard, 1991), *Cruziana* (Seilacher, 1964), *Zoophycus* (Seilacher, 1964) y *Nereites* (Seilacher, 1964). Estas icnofacies reflejan adaptaciones de los organismos a factores ambientales y estímulos del medio, tales como la consistencia del sustrato, abundancia y aporte de alimentos, energía hidrodinámica, salinidad, tasa de sedimentación, turbidez del agua, entre otros. (Figura 2).

Icnofacies de *Psilonichnus*: Representa ambientes marginales marinos en condiciones supralitorales, incluyendo zonas supralitorales de playas, dunas litorales y llanuras supramareales, siendo fundamentalmente una icnofacies subaérea, pero algunos de sus elementos son marinos. Los elementos más característicos son madrigueras de habitación de cangrejos asociadas a madrigueras y rastros de insectos y vertebrados. El registro fósil de esta icnofacies está limitado al Pleistoceno, sin embargo existe una cita para el Jurásico. (Gibert & Martinell, 1998).

Icnofacies de *Skolithos*: Corresponde a medios deposicionales de elevada energía hidrodinámica, con frecuentes fenómenos erosivos, los cuales eliminan estructuras biogénicas. Posee una asociación baja en diversidad dominada por estructuras más profundas que incluyen estructuras más profundas, como pozos verticales y estructuras de equilibrio. Esta icnofacies es típica de ambientes arenosos, tales como zonas litorales y sublitorales de playas, barras de arenas o frentes deltaicos. (Gibert & Martinell, 1998; Cuen, 2013).

ICNOFACIES DE *ARENICOLITES*: Corresponde a una icnoasociación de trazas fósiles con baja diversidad y dominada por madrigueras verticales de organismos suspensívoros que aparecen asociadas a niveles arenosos resultado de depositación episódica en medios texturalmente incongruentes. Esta icnofacies aparece en depósitos de costa principalmente, y también en depósitos marinos profundos y continentales (Gibert & Martinell, 1998).

ICNOFACIES DE *CRUZIANA*: Inicialmente fue definida para medios de plataforma somera entre el nivel del oleaje normal y el nivel del oleaje de tormenta, pero posteriormente ha sido reconocida en otros ambientes someros de energía baja o moderada, como lagunas y estuarios. La icnofacies de *Cruziana* corresponde a condiciones de menor energía que la de *Skolithos* y *Arenicolites*, permitiendo que las estructuras más superficiales no sean eliminadas por la erosión. En ocasiones aparece alternada con la icnofacies de *Arenicolites*, representando cada una depósitos normales y tempestivos (Gibert & Martinell, 1998).

ICNOFACIES DE *ZOOPHYCUS*: Corresponde a una icnofacies controversial. Se caracteriza por depósitos de grano fino, en general completamente bioturbados con *Zoophycus*, *Chondrites* y *Planolites*. Ocurre en medios de elevada estabilidad, baja energía y tasa de sedimentación. El elevado grado de bioturbación hace que sólo las estructuras más profundas sean generalmente conservadas y al sobreimponerse. Se asocia a ambientes circalitorales a batiales. (Gibert & Martinell, 1998).

ICNOFACIES DE *NEREITES*: Está constituida por géneros tales como *Nereites*, *Helminthoida*, *Paleodictyon* o *Cosmorhappe*, que aparecen en la base de niveles turbidíticos en ambientes marinos profundos. Durante el Cámbrico pareciera que la icnofacies de *Nereites* ocupaba mares someros para migrar más tarde a zonas profundas durante el Ordovícico. (Gibert & Martinell, 1998).

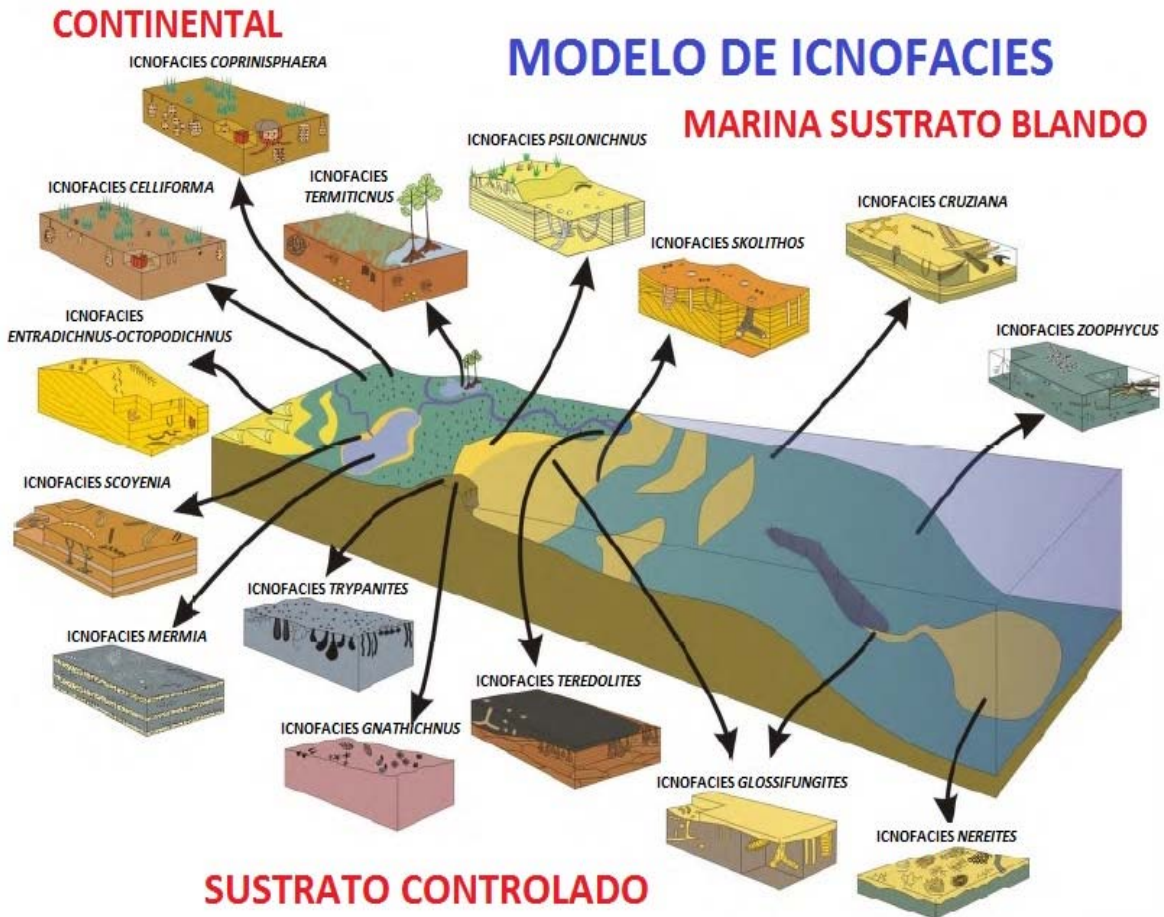


Figura 2.- Distribución paleoambiental de las icnofacies arquétipicas en medios continentales y marinos. (Modificado de Buatois & Mangano, 2011).

3. OBJETIVOS

El principal objetivo que persigue este trabajo es estudiar la estratigrafía a detalle de la Formación Proveedora del área de San José de Gracia, Sonora, discutiendo aspectos relacionados con su petrografía y contenido en icnofósiles.

La descripción sistemática de los icnotaxa presentes en esta unidad, proporcionando a través de ellos el ambiente de depósito de estos sedimentos. Contribuir al conocimiento del Cámbrico en el estado.

4. GENERALIDADES

4.1. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

Los primeros estudios con enfoque al Sistema Cámbrico en México, se llevaron a cabo en las rocas del área de Caborca, Sonora, las cuales fueron descubiertas en 1941 por los geólogos Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal (Cooper & Arellano, 1946; Álvarez, 1949; Cooper *et al.*, 1956).

Cooper & Arellano (1946) realizan el primer estudio de la estratigrafía de las rocas cámbricas de esta región. Posteriormente Cooper *et al.*, (1952; 1956) proponen la existencia de seis unidades litoestratigráficas con una abundante fauna fósil del Cámbrico inferior y medio en las cercanías de la ciudad de Caborca, designando las formaciones: Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren.

Lochman (1948) describe siete especies nuevas del área de Caborca, entre ellas *M. mexicana* y *Provedoria starquistae*. González-León (1986) reporta la presencia de rocas cámbricas en el área de la Sierra del Tule, Cananea; mencionando la presencia de una secuencia sedimentaria constituida principalmente por arenisca, caliza y capas de lodolita, limolita y arenisca de grano muy fino.

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

Los depósitos del área de San José de Gracia fueron estudiados por Cirett & Aguilar (1989) en su tesis de licenciatura. Posteriormente Maytorena-Silva (1990) estudian las implicaciones tectónicas de estas rocas.

La Paleontología de las rocas cámbricas del área de la loma El Chihuarruita, San José de Gracia, Sonora, ha sido analizada y discutida en diversos trabajos (Almazán, 2002; Cuen *et al.*, 2009; Nardin *et al.* 2009; Buitrón *et al.*, 2011; Huerta–Ruiz, 2011; Montijo *et al.*, 2012; Cuen, 2012; Cuen, 2013). En particular se han reconocido restos de fósiles de trilobites, braquiópodos, moluscos y esponjas. Desafortunadamente los antecedentes particulares sobre la icnología de la Formación Proveedora, son escasos; reduciéndose a unas cuantas menciones realizadas por Nardin *et al.*, (2009) y Cuen (2012).

Almazán–Vázquez (2002) realiza los primeros estudios paleontológicos de las rocas cámbricas de la región, mencionando la presencia de una abundante fauna del Cámbrico temprano y medio, dividiendo la secuencia sedimentaria de la loma El Chihuarruita en siete miembros (A–G). Posteriormente Stewart *et al.*, (2002) colectaron fósiles de trilobites, entre ellos *Oryctocara* sp., *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*, *P. brighamensis*, *Oryctocephalus* sp., *Pagetia* sp. y ?*Ehmaniella* sp.

Buitrón *et al.* (2004) mencionan la presencia del eocrinoide *Gogia spiralis* Robison, 1965, y de los trilobites índice *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*. Cuen *et al.* (2009) asigna las rocas portadoras de *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* a la Zona de *Olenellus* y las relaciona con depósitos del sur de los Estados Unidos de América. Nardin *et al.* (2009), realiza un estudio sistemático y paleoecológico de *Gogia granulosa* Robison, 1965, y una descripción detallada de los miembros litológicos propuestos por Almazán–Vázquez (2002).

Buitrón *et al.* (2011) reportan la presencia de los moluscos *Hyolithes sonora* Lochman, 1952, y *Haplophrentis reesei* Babcock & Robison, 1988. Posteriormente Huerta–Ruiz (2011) en su tesis de licenciatura realiza el estudio detallado, así como la descripción sistemática de estas especies.

Cuen (2012) realiza un estudio detallado de la estratigrafía y paleontología de estas rocas cámbricas y las establece como secciones de referencia del Cámbrico del área de Caborca, identificando las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos, pero con un cambio de facies hacia ambientes más externos. El mismo autor realiza una reevaluación del material fósil e identifica la presencia de *Ogygopsis* sp., *Pagetia* sp., *Lingulella* sp. y escleritos de *Chancelloria* sp., además de la presencia de *Salterella* sp.

Cuen *et al.* (2012) hablan de la presencia de la Zona de *Albertella* en la Formación Arrojos debido a la abundancia de *Oryctocephalus* sp., *Ogygopsis typicalis*, *Elrathina antiqua*, *Bathyriscus* sp., *Peronopsis bonnerensis* y *Pagetia resseri*.

Cuen (2013) en un estudio bioestratigráfico y paleogeográfico de las rocas cámbricas del estado de Sonora, propone de manera informal la formación El Gavilán para sustituir la Formación Arrojos del área de San José de Gracia, debido a que su litoestratigrafía es diferente. Las rocas de la Formación Buelna las asigna a la Zona de *Bristolia mohavensis* o *Bristolia insolens*, confiriéndoles una edad Serie 2, Piso 4 (Cámbrico inferior tradicional). Las rocas de la formación El Gavilán las coloca en la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis* o *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta, con una edad del Cámbrico Serie 3, Piso 5.

Cuen *et al.* (2013) reportan la presencia de *Chancelloria eros* y *Diagoniella* sp. en la formación El Gavilán, confirmando la existencia de abundantes invertebrados marinos en esta unidad.

4.2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo en diferentes etapas, las cuales se mencionan a continuación:

Recopilación bibliográfica: Esta etapa consistió en la búsqueda y recopilación de información relacionada con el Cámbrico en México, especialmente enfocada a su estratigrafía e icnofósiles. La información obtenida fue resumida y se realizaron fichas bibliográficas para su uso posterior.

Visitas al área de estudio: Durante esta etapa se hicieron visitas a las localidades cámbricas de San José de Gracia, para realizar una sección medida y recolectar icnofósiles para su posterior estudio.

Análisis de icnofósiles: El material paleontológico recolectado fue procesado para su identificación, lo anterior se hizo con base a la diagnosis propuesta para cada taxón según su autor original o enmienda.

Análisis petrográfico: Las muestras de roca recolectadas, especialmente de la Formación Proveedora fueron analizadas bajo el microscopio petrográfico, para realizar la descripción y una identificación a detalle de la muestra.

Integración de datos: Consistió en la última etapa de la investigación, el material recolectado y analizado fue integrado en el presente documento para realizar una interpretación y obtener resultados y conclusiones.

4.3. CLIMA

Según la carta de climas de la República Mexicana (García & CONABIO, 1998) escala 1:000 000 el área de estudio se caracteriza por ser un tipo de clima BWh(x') el cual corresponde a muy árido, semicálido, con una temperatura media anual que varía entre 18 y 22°C, siendo la temperatura máxima anual de 38°C y se

presenta en los meses de junio y julio. La temperatura del mes más frío corresponde a 5°C y se presenta en enero. La precipitación media anual varía de 125 a 400 mm. (Vidal – Zepeda, 1990).

La edafología de la región está conformada en su mayoría por litosol (30%) caracterizando suelos someros menores a 10 cm de profundidad; regosol (50%) comprendiendo materiales no consolidados, alterados y de textura fina. La rendzina (10%) es un suelo oscuro rico en humus.

4.4. VEGETACIÓN

La carta de suelo y vegetación de INEGI (2011) indica que en la región se tiene la presencia de matorral espinoso del género *Prosopis* (mezquite) el cuál es muy abundante en la mayor parte del estado. También se tiene la presencia de *Parkinsonia* (palo verde), *Mimosa* (uña de gato) y *Fouquieria* (ocotillo). Las cactáceas son muy abundantes, sobresaliendo la presencia de *Cylindropuntia* (siviri) y *Opuntia* spp. (nopales).

4.5. FISIOGRAFÍA

Según la clasificación de CONABIO (1990) el área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses (Figura 3), la cual comprende más del 50% de la superficie del estado. Esta provincia fisiográfica es dividida en tres subprovincias: Desierto de Altar, Sierras y Llanuras Sonorenses y Sierra del Pinacate. De las anteriores la más extensa es Llanuras Sonorenses la cual se prolonga hacia el norte con el límite de los Estados Unidos de América y continúa a través del Desierto de Mojave y de Gila. Se caracteriza por la disposición discontinua y paralela de sierras aisladas, alargadas con rumbos preferenciales NW – SE.

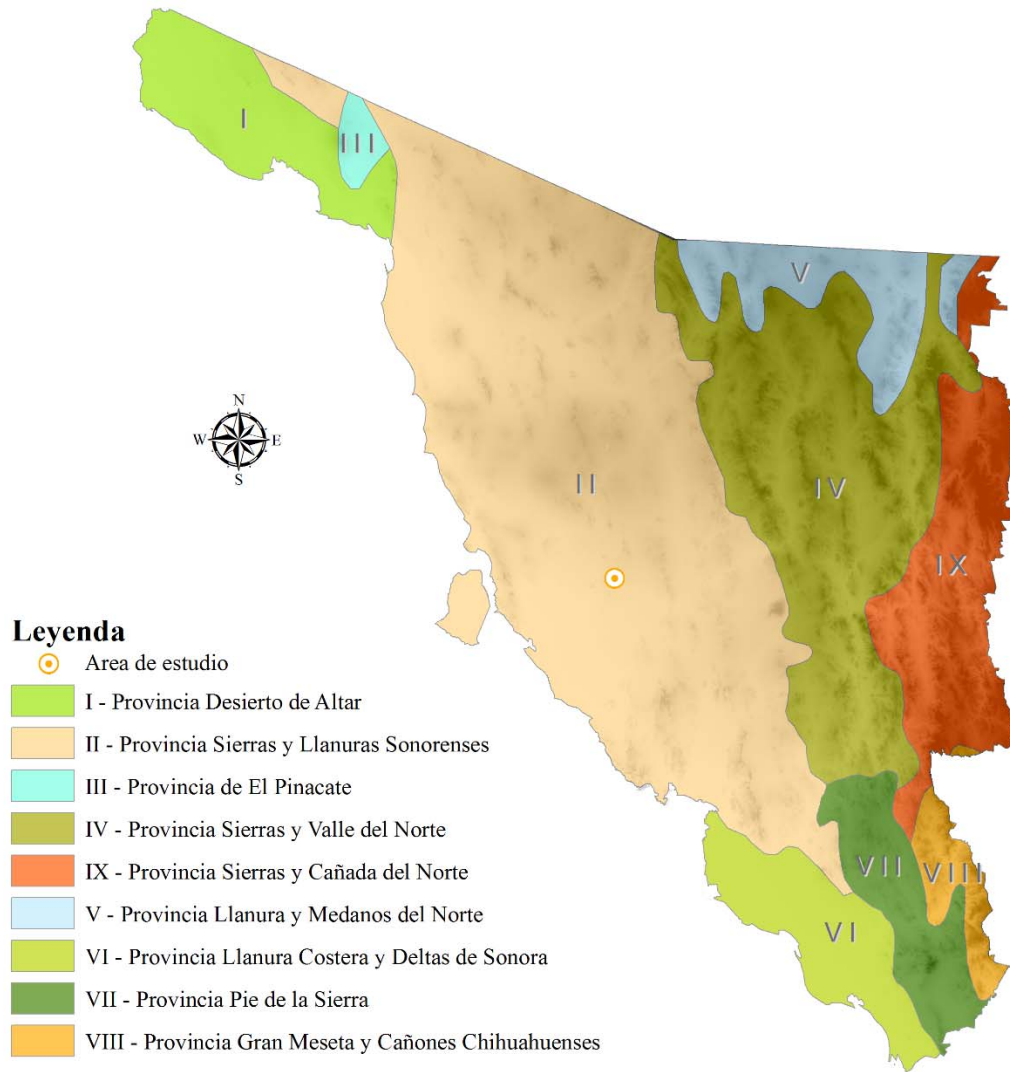


Figura 3.- Provincias fisiográficas del estado de Sonora, según la clasificación de CONABIO (1990). Tomado de Cuen (2012).

4.6. GEOMORFOLOGÍA

Dentro del área de estudio existe un conjunto de altos topográficos referidos como cerros y lomas. La parte más baja corresponde a 300 msnm y la parte más alta corresponde a la loma El Chihuarruita, 470 msnm.

En el área de estudio afloran ocho unidades geomorfológicas principales, entre las que destacan lomerío estable de origen denudativo, lomerío estable de origen cárstico, piedemonte de origen denudativo, lomerío estable de origen volcánico denudativo, planicie de patrón divergente superior de origen fluvial y zona cultivada de origen antropogénico.

La mayor área de estudio se localiza en la unidad lomerío estable de origen cárstico denudativo, la cual está compuesta por lomerío de pendiente estable, formado por caliza y arenisca del Paleozoico inferior (Loma El Chihuarruita).

4.7. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El poblado de San José de Gracia se localiza en la parte central del estado de Sonora, a 36 km al noreste de Hermosillo, capital de la entidad. El área de interés aflora en la carta topográfica H12-D32 de INEGI (2001). La loma El Chihuarruita, correspondiente a los afloramientos cámbricos se localiza a 2 km al sureste del poblado, en las coordenadas geográficas 29°17'06" N y 110° 35'05" W. (Figura 4)

El acceso principal es por la carretera federal núm. 15 y la carretera federal núm. 21, en el tramo Hermosillo-Ures.



Figura 4.- Localización del área de San José de Gracia, Sonora. (Cuen, 2013).

5. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el área de estudio se pueden distinguir diez unidades litológicas con edades que varían del Cámbrico al Reciente. La unidad más antigua es denominada Unidad caliza, dolomía y arenisca (EiPcpCz, Do, Ar), comprendiendo rocas del Cámbrico al Pérmico. La litología predominante corresponde a caliza, dolomía y arenisca, las cuales posiblemente se depositaron en un mar somero, posiblemente de plataforma o bancos calcáreos. Dentro de esta unidad se colocan las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro, Prieto, Arrojos y El Tren, las cuales fueron definidas por Cooper & Arellano (1946) y Cooper *et al.* (1956) en el área de Caborca. (Figura 5)

Posteriormente aflora la Unidad de Andesita y Toba Andesítica (KsTpaA-TA) y la Unidad de Riolitas y Tobas Riolíticas (KsTpaR-Tr), las cuales consisten de tobas y derrames de composición andesítica y toba riolítica con depósitos sedimentarios intercalados de la Formación Tarahumara, con edades entre 70 y 90 Ma (Cretácico Superior). Dentro de estas unidades se colocan las formaciones El Chanate, Mesa y El Tuli.

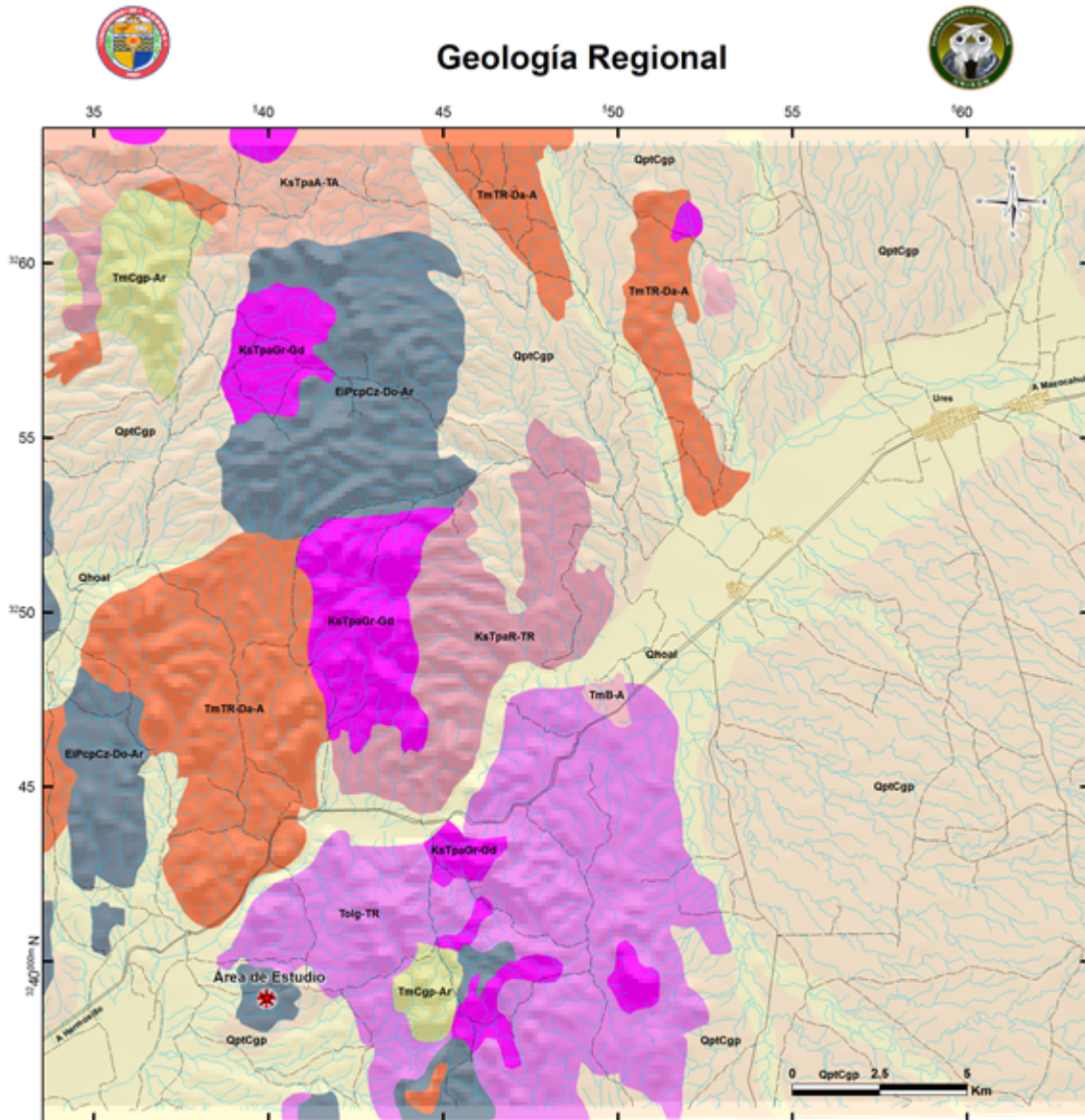
Sobreyaciendo las unidades anteriores se encuentra la Unidad Ignimbrita – Toba Riolítica (Tolg-TR), la cual comprende rocas volcánicas y piroclásticas de composición ácida con basaltos que afloran principalmente en la porción superior de la Sierra Madre Occidental en Sonora. En esta unidad se coloca la formación Yécora, considerada de carácter informal y propuesta por Grijalva–Noriega & Roldán–Quintana (1998), quienes la ubican en el Oligoceno. Posteriormente se encuentra la Unidad Andesita (ToA), compuesta principalmente por andesita con un espesor aproximado de 200 m, la cual es también considerada del Oligoceno.

La Unidad Basalto – Andesita (TmB–A), corresponde a flujos de basalto intercalado con aglomerados basálticos sobre los que descansa el conglomerado Báucarit. Posteriormente aflora la Unidad Conglomerado Polimíctico – Arenisca (TmCgp–Ar), constituida por fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de arenisca y basalto, gravas y arenas poco consolidadas. Dentro de esta unidad se incluye la Formación Báucarit del Mioceno.

La Unidad Toba Riolítica, Dacita, Andesita (TmTR, Da, A), corresponde a la parte superior del Grupo Yécora y está constituida por una secuencia de toba riolítica, riolita, ignimbrita, dacita, andesita, aglomerado andesítico, capas de basalto, traquita y algunos domos andesíticos.

La Unidad Conglomerado Polimíctico (QptCgp), consiste de conglomerado polimíctico semiconsolidado y consolidado, con fragmentos de rocas riolíticas, andesíticas, graníticas, metamórficas y calcáreas conteniendo una matriz arenosa, formando depósitos de talud y terrazas con espesores variables de 20 a 50 m. Finalmente la Unidad Aluvión (Qhoal), está compuesta por sedimentos no consolidados, principalmente gravas, arenas, limos y arcillas con espesores variables de más de 50 m. Aflora en los valles y en los arroyos del área de estudio.

Las rocas intrusivas están compuestas por las unidades Granito – Granodiorita (KsTpaGr–Gd), Pórfido Cuarzomonzónico (TpaPqMz–PMz), conformando en batolito Laramide (informal), suite intrusiva El Jaralito (informal). Esta unidad forma parte del batolito Laramide que aflora ampliamente en el noroeste de México. Esta unidad trata de agrupar aquellos afloramientos de rocas intrusivas de composición ácida a intermedia, cuyas edades varían desde el Cretácico Temprano al Eoceno.



Simbología

 Qhoal	 TmTR-Da-A
 TpaPMz-PqMz	 ToA
 KsTpaGr-Gd	 Tolg-TR
 OptCgp	 KsTpaR-TR
 TmCgp-Ar	 KsTpaA-TA
 TmB-A	 ElPcpCz-Do-Ar

Figura 5.- Mapa Geológico regional. Modificado de SGM (2002), Tomado de Cuen (2013).

6. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía del área de estudio comprende rocas del Cámbrico inferior al Reciente, sin embargo, en este trabajo se hace énfasis en las unidades del Cámbrico, específicamente en la Formación Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (informal). (Figura 6)

Formación Proveedora: Esta unidad fue definida por Cooper *et al.* (1952; 1956) en los cerros La Proveedora del área de Caborca, donde afloran cuarcita y arenisca. La cuarcita aflora en la base y es de color blanco con tonalidades grises y manchas de óxidos de fierro. La arenisca es de color café oscuro – verde y de grano fino. Esta unidad posee un espesor de 226 m, aunque puede variar. Ha sido reconocida en diferentes localidades del estado de Sonora, como Mazatán (Stewart *et al.*, 1999), San José de Gracia (Cirett & Aguilar, 1988; Cuen, 2012; 2013).

En el área de San José de Gracia aflora en las coordenadas geográficas 29°17'05"N y 110°34'60"W, donde se observa como un paquete de cuarzoarenita de color rosa con manchas de óxidos. En la loma El Chihuarruita, en la base de la unidad aflora un paquete de cuarcita de color café, con granos de cuarzo menores a 1 mm en tamaño y con una buena clasificación granulométrica. Estas capas formar estratos menores a 1 metro en espesor, pudiéndose observar estratificación laminar y cruzada, sugiriendo que estas rocas estuvieron sometidas a cambios en la mecánica de fluidos donde se depositaron.

Posteriormente aflora un paquete de arenisca de cuarzo de color café – amarillo, con una estructura preferentemente conglomerática, la cual posee clastos subangulosos – subredondeados y con un diámetro de 02 a 03 mm. Después aflora un paquete de cuarzoarenita de grano fino de color guindo y café oscuro, seguido por arenisca de color rosa y en ocasiones de color café rojizo, debido a la presencia

de óxidos de hierro. Estas capas poseen estratificación laminar y cruzada, así como abundante fracturamiento. En estas capas se recolectaron ejemplares de *Planolites* isp. y *Thalassinoides* isp. Finalmente aflora una cuarzoarenita en forma masiva, con abundantes icnofósiles, como *Diplocraterion* isp., *Monocraterium* isp., *Palaeophycus* isp. cf. *P. tubularis*, *Planolites* isp., *Skolithos* isp. cf. *S. linearis* y *Skolithos* isp.

Las capas de la Formación Proveedora poseen un rumbo preferencial de N30E, y se considera que posee un espesor de 225 m. El contacto inferior de la unidad no se observa ya que se encuentra cubierto por depósitos andesíticos – riolíticos del terciario, mientras que es sobreyacida en forma concordante por la Formación Buelna.

La Formación Proveedora no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo, debido a su posición estratigráfica, debajo de la Formación Buelna es considerada del Cámbrico inferior.

Formación Buelna: Fue definida por Cooper *et al.* (1952; 1956) en el cerro Buelna, área de Caborca. Consiste principalmente de caliza granular que pasa a arenisca calcárea en algunas capas. La arenisca es de color café de grano fino, delgada, pasando a fisil en la parte baja y con lutita roja lenticular en contacto con la Formación Cerro Prieto. En la mitad superior de la unidad se encontraron los trilobites *Onchocephalus*, “*Antagmus*” y *Bonnia*. Esta unidad posee un espesor de 70 m. (Cooper *et al.*, 1952).

En el área de San José de Gracia, de la base a la cima, consiste en caliza arenosa intercalada con lutita. En la base aflora una caliza arenosa de color morado en estratos de hasta 1 m la cual presenta granos de cuarzo en una matriz calcárea muy alterada con óxidos. Posteriormente afloran intercalaciones de lutita y caliza, constituyendo packstones, con abundantes fósiles de trilobites e hiolítidos, como

Bristolia sp. cf. *B. bristolensis*, *Olenellus* sp., *Hyolithes sonora* y *Haplophrentis reesei* (Cuen *et al.*, 2009; Nardin *et al.*, 2009; Cuen, 2012; 2013). Después aflora una lutita de 6 m, aparentemente sin fósiles, observándose muy erosionada y parcialmente cubierta. Seguido se encuentra una capa de caliza de color amarillo y café, la cual posee algas oncolíticas (Beraldi *et al.*, 2013). Finalmente se encuentra una capa de caliza gris – oscuro, con clastos arenosos de color amarillo en forma tabular que varían en tamaño de 10 a 15 cm. Para esta unidad se considera un espesor de 74 m. La Formación Buelna sobreyace de manera concordante a la Formación Proveedora y es sobreyacida por la Formación Cerro Prieto de igual manera.

Con base al contenido de fósiles, Cuen (2013) asigna estas rocas a la Zona de ?*Bristolia mohavensis* o ?*Bristolia insolens*, correspondiéndole una edad de Serie 2?, Piso 4? (Cámbrico inferior).

Formación Cerro Prieto: Fue definida por Cooper *et al.* (1952) en el área de Caborca, donde aflora como una caliza negra masiva con algunos horizontes oncolíticos, posiblemente de *Girvanella*. En el área de San José de Gracia, la unidad se encuentra representada por caliza oolítica masiva, de color gris – oscuro, con un espesor de 17 m. la cual se encuentra ligeramente dolomitizada y con un fuerte intemperismo cárstico.

En muestra mano las oolitas se observan oxidadas, de color rojizo y con un diámetro menor a 1 mm, observándose esporádicamente cristales de hematita y pirita oxidada. En lámina delgada se observa una matriz micrítica con oolitos recristalizados, con un diámetro aproximado de 100 micras, tratándose de una oomicrita. Esta unidad sobreyace de manera concordante a la Formación Buelna y es sobreyacida de la misma manera por la formación El Gavilán. Esta unidad no proporcionó fósiles indicadores de edad.

Formación El Gavilán (informal): Está unidad fue definida por Cuen (2013) para englobar el conjunto de materiales detríticos y carbonatados, principalmente de lutita color rojo y caliza de color gris – oscuro que afloran en la parte superior de la loma El Chihuarruita.

La formación El Gavilán está compuesta por intercalaciones de lutita de color rojo con caliza de color gris – oscuro, con abundantes fósiles del Cámbrico medio. La litología predominante es lutita de color rojo, intensamente fracturada y formando laminas menores a 03 cm de espesor. Las capas de calizas varían en espesor desde 30 hasta 50 cm. Esta unidad posee un espesor de 233 m, sobreyace de manera concordante a la Formación Cerro Prieto y es sobreyacida de manera discordante por rocas volcánicas del terciario.

Cuen (2012; 2013) reporta la presencia de *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*, *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Elrathina antiqua*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp. y *Pagetia* sp., abundantes braquiópodos inarticulados y escleritos de *Chanelloria eros* y espículas de *Diagoniella* sp. (Cuen *et al.*, 2013). Asignando estas rocas a la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis* o bien *Ptychagnostus praecurrens* para ambientes de plataforma abierta. La edad de estas rocas corresponde a la Serie 3?, Piso 5?

Mioceno: El terciario inferior está representado por rocas volcánicas, principalmente andesita y riolita, cubriendo discordantemente las rocas preexistentes. El Mioceno medio está representado por dos unidades compuestas por conglomerados polimícticos, areniscas y riolitas, constituyendo la Formación Báucarit. El Mioceno superior está representado por derrames de andesita, andesita basáltica y basalto, que sobreyacen discordantemente las unidades anteriores (SGM, 2002).

Cuaternario: Comprende depósitos de talud y terrazas, constituidas por conglomerados y gravas, el tamaño de los componentes es variado desde bloques hasta el tamaño de arcillas de edad pleistocena. Finalmente se tiene aluvión compuesto por arcillas y arenas, los cuales se observan en los arroyos del área de estudio. (Figura 7).

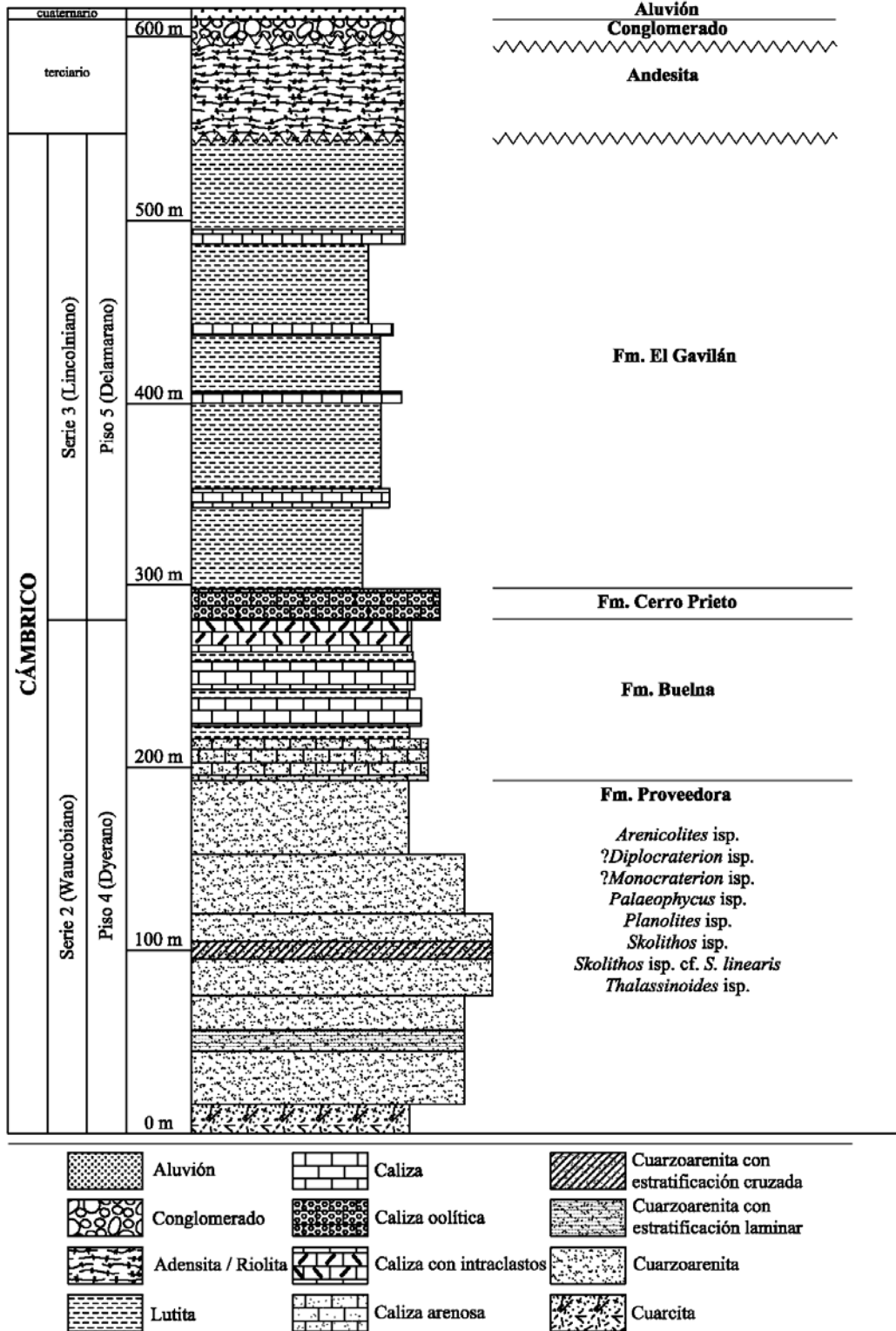


Figura 6.- Columna estratigráfica del área de estudio. Modificada de Cuen (2013)

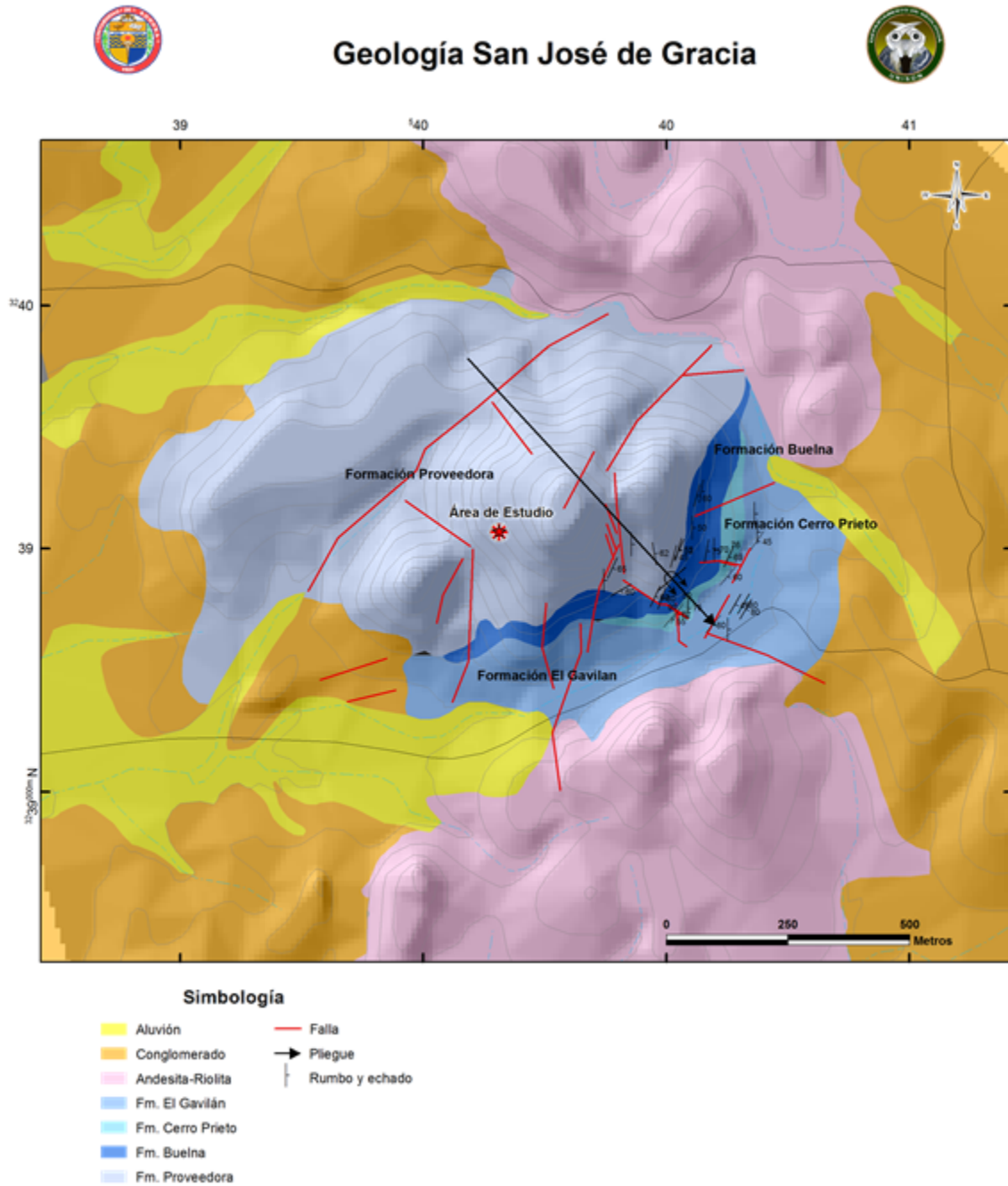


Figura 7.- Mapa Geológico regional. Modificado de SGM (2002), Tomado de Cuen (2013).

7. AMBIENTE DE DEPÓSITO DE LA FORMACIÓN PROVEEDORA

Con base al estudio de icnofósiles llevado a cabo en la Formación Proveedora, es posible identificar dos ambientes de depósito (icnofacies de *Skolithos* y *Cruziana*), basado en asociaciones de icnogéneros, ya que como se discutió en el Capítulo 2, un solo icnogénero no es indicativo de un ambiente de depósito, sino un conjunto de estos.

Icnofacies de *Skolithos*: La icnofacies de *Skolithos* corresponde a medios depositacionales de elevada energía hidrodinámica, habitualmente donde se llevan a cabo frecuentemente fenómenos erosivos, los cuales eliminan posibles estructuras biogénicas, producidas por organismos bentónicos y/o filtradores. El resultado es una asociación con baja diversidad dominada por abundantes estructuras más profundas que incluyen tubos verticales (*Skolithos* isp., *Ophiomorpha* isp., *Arenicolites* isp.) así como estructuras de equilibrio (*Diplocraterion* isp. y *Conichnus* isp.). La icnofacies de *Skolithos* es representativa de ambientes arenosos, tales como zonas de litorales y sublitorales de playa, barras de arena o frentes deltaicos (Gibert *et al.*, 1998). La icnofacies de *Arenicolites* es muy similar a la icnofacies de *Skolithos*, sin embargo, ambas corresponden a condiciones ambientales muy diferentes, mientras la icnofacies de *Skolithos* representa la actividad de comunidades bentónicas adaptadas a energía elevada y sustratos móviles, la icnofacies de *Arenicolites* es producida por la colonización bajo condiciones energéticas tranquilas de sustratos arenosos depositados en eventos depositacionales de alta energía. Por otra parte, algunas asociaciones correspondientes a la colonización de depósitos tempestivos por organismos sedimentívoros vágiles que daría lugar a trazas de pastoreo tipo *Planolites* isp. o *Scalarituba* isp. no tendría lugar en la icnofacies de *Arenicolites*, mientras que en la icnofacies de *Skolithos* sí (Gibert *et al.*, 1998). Con base a lo anterior y teniendo en

cuenta la presencia de *Skolithos*, *Arenicolites*, *Planolites*, *Paleophycus* y *Thalassinoides*, se considera la Formación Proveedora de San José de Gracia de un ambiente marino somero, de intermarea y submarea de la icnofacies de *Skolithos*. Lo anterior es congruente con lo propuesto por Rivera-Carranco (1998a), quién supone la Formación Proveedora del área de Caborca depositada en un medio somero de inframareas e intermareas, es decir, por la actividad del oleaje cerca de la línea de costa.

8. PALEOICNOLOGÍA SISTEMÁTICA

El material estudiado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica Nacional de la Universidad de Sonora. Siguiendo las prácticas convencionales, los icnotaxa se encuentran listados alfabéticamente.

Icnogénero *Arenicolites* Salter, 1857

Icnoespecie tipo *Arenicola carbonaria* Binney, 1852

Diagnosis.– Tubos verticales en forma de U sin spreite (Cónsole & Aceñaloza, 2009).

Arenicolites isp.

Lámina 1, Figura 18 y 19.

Diagnosis.– Igual que para el género.

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

Icnofacies.– *Skolithos*.

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

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

ICNOGÉNERO *Diplocraterion* Torell, 1870

ICNOESPECIE TIPO *Diplocraterion parallelum* Torell, 1870

Diagnosis.– Tubos en U, con brazos paralelos y spreite unidireccional (Cónsole & Aceñaloza, 2009).

?*Diplocraterion* isp.

Lámina 2, Figura 10 y 11.

Diagnosis.– La misma que para el género.

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

ICNOFACIES.– *Skolithos*.

Observaciones.– Los ejemplares son asignados a ?*Diplocraterion* isp. de manera reservada debido a que no ha sido posible observar detalladamente el spreite unidireccional, sin embargo la estructura es similar a este género.

Diplocraterion es un icnogénero cosmopolita el cual ha sido ampliamente documentado, destaca *Diplocraterion parallelum* Torell, 1870, del Triásico Inferior de la Sucesión Drienok Nappe en Eslovaquia, en asociación con *Arenicolites* isp. y *Skolithos* isp. Esta asociación de icnogéneros es asignada a la icnofacies de *Skolithos*, de aguas someras por (Simo & Olsavsky, 2007). También ha sido reportado para la Formación Majanillos de la Zona Subbética, en asociación con *Thalassinoides*, *Chondrites*, *Planolites*, *Diplocraterion* y *Rhizocorallium* (Pérez-López, 1997), siendo relacionado con una zona somera de plataforma carbonatada con tasa de sedimentación variable, con un contexto de mayor energía.

ICNOGÉNERO *Monocraterion* Torell, 1870

ICNOESPECIE TIPO *Monocraterion tentaculatum* Torell, 1870

Diagnosis.– Estructuras de embudo penetradas por una recta central o tubo ligeramente curvo, perpendicular al plano de estratificación, nunca ramificado. (Häntzschel *in* Moore *et al.*, 1975).

?*Monocraterion* isp.

Lámina 3, Figura 12.

Diagnosis.– Igual que la del género.

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

Iconofacies.– *Skolithos*.

Observaciones.– *Monocraterion* ha sido reportado en la Formación Candelaria (Furongiano – Ordovícico inferior) en la Sierra de la Candelaria, Salta, Argentina, en asociación con *Palaeophycus tubularis* y *Skolithos linearis*, interpretados en un paleoambiente de energía media a alta. (Nieva & Aceñaloza, 2006). También ha sido reportado en el miembro Tongue River de la Formación Fort Union del Paleoceno medio al oeste de Williston. (Belt *et al.*, 2005).

Iconogénero *Palaeophycus* Hall, 1847

Iconoespecie tipo *Palaeophycus tubularis* Bassier, 1915

Diagnosis.– Excavación cilíndrica horizontal a levemente inclinada, con relleno pasivo por el mismo sedimento que la rodea. En general la pared posee un recubrimiento suave del tubo, denominado *lining* y que puede presentar además estrías longitudinales o transversales (Richiano, 2012).

Palaeophycus isp. cf. *P. tubularis* Hall, 1847

Lámina 3, Figura 13.

Diagnosis.– Galerías de diámetro más o menos constantes, cilíndricas, de sección subcircular, lisas y sin ornamentación, con un forro o película de refuerzo extremadamente fino (Clauss & Mayoral, 1992).

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

ICNOFACIES.– *Skolithos*.

Observaciones.– La distinción entre *Palaeophycus*, *Planolites* y *Macaronichnus* es parcialmente controversial, sin embargo, *Palaeophycus* es considerado un icnogénero representante de facies preferentemente bentónicas, producido por poliquetos o anélidos (Tiwari *et al.*, 2011). Abundantes especies de *Palaeophycus* han sido reportadas para la Formación Bhuban (Mioceno) del área de Bawngkawn, Aizawl, India, entre las cuales se mencionan *P. heberti*, *P. sulcatus*, *P. alternatus*, entre otras.

ICNOGÉNERO *Planolites* Nicholson, 1873

ICNOESPECIE TIPO *Planolites vulgaris* Nicholson & Hinde, 1875

Diagnosis.– Sin líneas, raramente ramificado, suave, irregular, amurallado, elíptico a circular en sección transversal, dimensiones variables, madriguera de relleno de diferente litología, generalmente el color de la madriguera difiere de la roca huésped. (Pemberto & Frey, 1982).

Planolites isp.

Lámina 4, Figura 14.

Diagnosis.– La misma que para el género.

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

ICNOFACIES.– *Cruziana*.

Observaciones.– Ejemplares de *Planolites* han sido reportados de la Formación Bhuban (Mioceno) del área de Bawngkawn, Aizawl, Mizoram, India, principalmente *P. beverleyensis* y *P. annularis* (Tiwari *et al.*, 2011). También ha sido

reportado para la Formación Kand de la cuenca de Cambay, Gujarat, India, del Mioceno (Mude, 2012), en asociación con *Laevicyathus mongraensis*, *Planolites bervelensis*, *Planolites montanus*, *Thalassonoids paradoxicum* y *Thalassonoids suevicus*. En Norteamérica *Planolites* es considerado como una de las trazas fósiles más abundantes en el Precámbrico superior – Cámbrico inferior de las Montañas White – Inyo en California, donde es reportado para las formaciones Wyman y Saline Valley. (Alpert, 1975).

Icnogénero *Skolithos* Haldeman, 1840
Icnoespecie tipo *Fucoides? Linearis* Haldeman, 1840

Diagnosis.– *Skolithos* es un tubo simple, no bifurcado, no decorado, que se extiende a lo largo de un eje, a veces levemente curvo, y orientado en sentido perpendicular a la estratificación (Haldeman, 1840, citado por Cónsole & Aceñaloza, 2009).

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

Lámina 4, Figura 15.

Diagnosis.– Tubo simple, no bifurcado con un espesor máximo de 4 a 6 mm. (Alpert, 1975).

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

Icnofacies.– *Skolithos*.

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

Skolithos isp.

Lámina 5, Figura 16 y 17.

Diagnosis.– La misma que para el género.

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

Icnofacies.– *Skolithos*.

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

Icnogénero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

Icnoespecie tipo *Thalassinoides callianassae* Ehrenberg, 1944

Diagnosis.– Sistema extenso de túneles con elementos verticales y horizontales. Excavaciones cilíndricas de entre 2 y 20 cm de diámetro. La ramificación es regular, caracterizada por la forma de bifurcaciones en Y, y engrosamientos en los puntos de bifurcación. Los sistemas horizontales se conectan a la superficie mediante túneles verticales o fuertemente inclinados, asociados frecuentemente con restos de callianásidos (Cónsole & Aceñaloza, 2009).

Thalassinoides isp.

Lámina 6, Figura 18 y 19.

Diagnosis.– La misma que para el género.

Posición estratigráfica.– Formación Proveedora, San José de Gracia.

Icnofacies.– *Cruziana*.

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



Figura 8.- *Arenicolites* isp.



Figura 9.- *Arenicolites* isp.

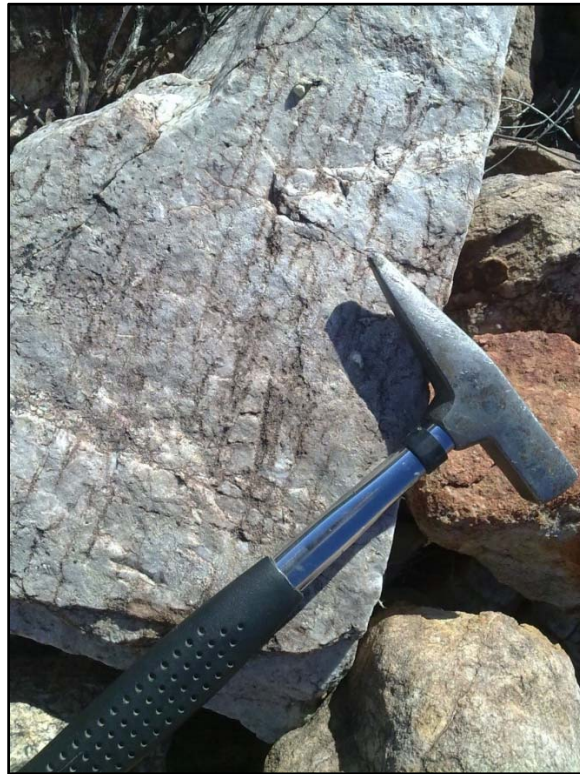


Figura 10.- ?*Diplocraterion* isp.



Figura 11.- ?*Diplocraterion* isp.



Figura 12.- ?*Monocraterion* isp.



Figura 13.- *Palaeophycus* isp. cf. *P. tubularis*



Figura 14.- *Planolites* isp.



Figura 15.- *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*



Figura 16.- *Skolithos* isp.



Figura 17.- *Skolithos* isp.



Figura 18.- *Thalassinoides* isp.



Figura 19.- *Thalassinoides* isp.

9. DISCUSIONES

La Formación Proveedora del área de Caborca posee fragmentos de trilobites olenélidos y braquiópodos lingúlidos en mal estado de conservación, así como también una gran abundancia de *Skolithos* isp., sin embargo, la Formación Proveedora del área de San José de Gracia únicamente ha proporcionado icnofósiles tales como *Arenicolites* isp., *?Diplocraterion* isp., *?Monocraterion* isp., *Palaeophycus* isp. cf. *P. tubularis*, *Planolites* isp., *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, *Skolithos* isp. y *Thalassinoides*, no encontrándose invertebrados complejos. Con base en lo anterior se infiere que la Formación Proveedora del área de Caborca podría corresponder a la icnofacies de *Skolithos*. Según los estudios de Rivera – Carranco (1988a, 1988b), las rocas cámbricas de la Formación Proveedora de Caborca, presentan más tendencia hacia la icnofacies de *Skolithos*, es decir, depositadas en un medio muy somero de inframareas e intermareas, inclusive con la influencia de un delta, debido a la presencia de feldespatos.

La Formación Proveedora del área de San José de Gracia presenta dos icnofacies de substrato blando: 1) la primera está constituida por la icnofacies de *Cruziana* y la cual está representada por la icnoasociación de *Planolites* y *Thalassinoides*. Esta icnofacies, como ya se mencionó antes, corresponde a medios de plataforma somera entre el nivel del oleaje normal y el nivel de tormenta, pero que también ha sido reconocida en ambientes someros de energía baja o moderada, como lagunas y estuarios. 2) La segunda está constituida por la icnofacies de *Skolithos*, y la cual está representada por los icnogéneros *Arenicolites*, *?Diplocraterion*, *?Monocraterion*, *Palaeophycus* y *Skolithos*. La icnofacies de *Skolithos* corresponde a medios deposicionales de elevada energía hidrodinámica.

10. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se reportan para la Formación Proveedora del área de San José de Gracia los icnotaxa *Arenicolites*, ?*Diplocraterion*, ?*Monocraterion*, *Palaeophycus* isp. cf. *P. tubularis*, *Planolites* isp., *Skolithos* isp. cf. *S. linearis*, *Skolithos* isp., *Thalassinoides* isp.

Se identifica por primera vez para esta área dos icnofacies marinas de substrato blando: la icnofacies de *Cruziana* representada por *Planolites* y *Thalassinoides*. La icnofacies de *Skolithos* representada por *Arenicolites*, ?*Diplocraterion*, ?*Monocraterion*, *Palaeophycus* y *Skolithos*. La presencia de estas icnofacies en el área de estudio sugieren cambios en la sedimentación para la Formación Proveedora, la cual varía de zonas de plataforma somera a la zona supramareal, lo anterior se hace evidente al tener fósiles traza que forman madrigueras profundas en el sedimento para poder resistir el oleaje y los cambios en la energía hidrodinámica, respondiendo rápidamente a las condiciones de stress ambiental.

La Formación Proveedora del área de San José de Gracia no proporcionó fósiles indicadores de edad, sin embargo, debido a su posición estratigráfica de manera concordante debajo de la Formación Buelna, sugiere una edad igual o anterior a la Serie 2 (Waucobiano) – Piso 4 (Dyerano).

La amplia distribución de invertebrados marinos del Cámbrico en Sonora, denota que existió una amplia provincia faunística que probablemente se extendería hasta el suroeste de Canadá, Estados Unidos de América y México.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Almazán-Vázquez, E., 1989. *El Cámbrico – Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista. Vol. 08, núm. 01, pp. 58 – 66.
- Almazán, V.E., 2002. *El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México*. Unión Geofísica Mexicana, V. 22 – 2. p. 333.
- Almazán, V.E., Buitrón, B.E., Franco-Vega, O., 2006. *Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México*. Rev. Mex. Cienc. Geol. Vol. 23, no. 1.
- Alpert, S., 1975. *Planolites and Skolithos from the Upper Precambrian – Lower Cambrian White Inyo Mountains, California*. Journal of Paleontology, v. 49, No. 3, pp. 508-521.
- Álvarez, M., 1949. *Notas sobre el Paleozoico mexicano*. Mexicana de geólogos petroleros. Boletín de la Asociación. Vol. 1, núm. 1, pp. 47 – 56.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., 1988. *Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian Scenella (Cindaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America*. University of Kansas Paleontological Contributions 121. Pp. 1 – 22.
- Beraldi-Campesi, H., Buitrón, S.B., Cuen, R.F., Montijo, G.A., 2013. *Oncolitos del Cámbrico inferior de la región de San José de Gracia, Sonora*. VIII Congreso Latinoamericano de Paleontología, XIII Congreso Mexicano de Paleontología. Programa y resúmenes. P. 37.
- Belt, E., Tibert, N., Curran, H., Diemer, J. Hartman, J., Kroeger, T., Harwood, D., 2005. *Evidence for marine influence on a low-gradient coastal plain: Ichnology and invertebrate paleontology of the lower Tongue River Member (Fort Union Formation, middle Paleocene), western Williston Basin, U.S.A*. Rocky Mountain Geology, vol. 40, núm. 1, pp. 1-24.

- Bromley, R.G., 1996. *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications*. Chapman and Hall, London.
- Bromley, R.G., Asgaard, U., 1993 *Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change*. *Geologist Runschau*, vol. 85, pp. 276 – 280.
- Buitrón. B.E., Almazán V.E., Mendoza M.C., 2004. *Gogia spiralis el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México*. *Unión Geofísica Mexicana*. V. 24. No. 02. p. 251.
- Clauss, F.L., Mayoral, E., 1992. *Icnofacies de Skolitos en el Mioceno Superior del borde meridional de la Cuenca del Guadalquivir (Arcos de la Frontera, Cádiz)*. *Geogaceta*, vol. 12. pp. 102.
- Cirett, G.J., Aguilar, R.F., 1989. *Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México*. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Geología.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1990. *Provincias fisiográficas de México*. Carta 1:4000000.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., 1946. *Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México*. *Bulletin American Association Petroleum Geologists*. Vol. 30, núm. 4, pp. 606 – 611.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1952. *Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México*. *Smithsonian Miscellaneous Collections*. Vol. 119, pp. 1 – 184.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956. *Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora*. Pt. 1ª. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 259.

- Cónsole, C., Aceñaloza, F., 2009. *ICnología de la Formación Yecoraite (Maastrichtiano – Daniano) al sur de la localidad de Maimará, cordillera oriental de Jujuy, Argentina*. Acta geológica lilloana 21 (2). Pp. 100 – 110.
- Cuen, R.F., 2012. *Sobre la Estratigrafía y Paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora central*. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Tesis profesional de Licenciatura, pp. 73.
- Cuen, R.F., 2013. *Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas*. Tesis Maestría en Ciencias – Geología. Universidad de Sonora. pp. 145.
- Cuen, R.F., Almazán-Vázquez, E., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., Grijalva, N.F., Monreal, S.R., Schwennicke, T., Ochoa. G., 2009. *Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico temprano y medio en la parte central del estado de Sonora, México*. Unión Geofísica Mexicana. Vol. 29, No. 1, pp. 91.
- Cuen, R.F., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., De la O, V. M., Buitrón, S.B., Sundberg, F., 2012. *La biota del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora: Consideraciones bioestratigráficas, sistemáticas y paleogeográficas*. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. XXXV Semana Cultural. Libro de Resúmenes.
- Cuen, R.F., Radelli, L., 2007. *Un problema estratigráfico en el Cámbrico y Precámbrico de Caborca, Sonora, México*. Resúmenes, XXIX Semana Cultural, Universidad de Sonora. P. 06.
- Cuen, R.F., Beresi, M.S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., De la O, M., Palafox, J.J., 2013. *Chancelloria Walcott, 1920 y Reticulosa Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 65, núm. 3, 2013. pp. 581 – 590.
- Ehrenberg, K., 1944. *Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozan von Burgschleinitz beschriebenen Gangkern und Bauten dekapoder Krebse*. Palaeontologische Zeitschrift 23. Pp. 354 – 359.

- Frey, R.W., Pemberton, S.G., 1987. *The Ppsilon ichnocoenose, and its relationship along the Georgia Coast*. Bulletin of Canadian Petroleum Geology. Vol. 35, pp. 333 – 357.
- Gibert, J.M., Martinell, J., 1998. *Ichnofabric analysis of the Pliocene marine sediments of the Var Basin (Nice SE France)*. Geobios, vol. 31, pp. 271 – 281.
- Gibert, J.M., Silva, C.M., Cachao, M., 1998. *Icnofábrica de Ophiomorpha/Conichnus en el Mioceno Inferior de Cristo Rei (Almada, Portugal). Implicaciones paleoambientales*. Revista Española de Paleontología 13 (2). Pp. 251 – 259.
- González – León, C., 1986. *Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noroeste de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 06, núm. 2, pp. 117 – 135.
- Haldeman, S.S., 1840. *Supplement to Number one of A monograph of the Limniades, and other freshwater univalve shells of North America, containing descriptions of apparently new animals in different classes, and the names and characters of the subgenera. Paludina and Anculosa*. Pp. 3.
- Huerta–Ruiz, A., 2011. *Moluscos del Cámbrico (Hyolithida, Syssoiv, 1957) de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, Paleoecológicas y Paleogeográficas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis profesional de Ingeniero Geólogo.
- Lochman, C., 1948. *New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, México*. Journal of Paleontology. Vol. 22, núm. 4. Pp. 451 – 464.
- Maytorena–Silva, J.F., Esparza–Yañez, F.A., 1990. *The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications*. Geological Society of America. Abstracts with ptograms. V. 22, núm. 3. Pp. 65.
- Mude, S., 2012. *Paleoenvironmental significance of ichnofossils from the Kand Formation of the Cambay Basin, Gujarat, India*. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2012, 2(1):12-20.

- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009. *First report of Gogia (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early – Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeoecological comments.* Geobios 42 (2009), pp. 233 – 242.
- Nieva, S., Aceñaloza, G., 2006. *Estratigrafía e Icnología de la Formación Candelaria (Furongiano – Ordovícico inferior) en su área tipo, Sierra de la Candelaria, Provincia de Salta.* INSUGEO, Serie de Correlación Geológica, 21: 47-58.
- Pemberton, R.K., Frey, R.W., 1982. *Trace fossils nomenclature and Planolites Palaeophycus dilemma.* Journal of Paleontology, 56 (2): pp. 416-439.
- Pérez-López, A., 1997. *Estudio de la icnofauna del Muschelkalk de la Zona Subbética y su relación con las facies sedimentarias.* Rev. Soc. Geol. España, 10 (3-4), pp. 393-403.
- Richiano, S.M., 2012. *Sedimentología e icnología de la Formación Río Mayer, Cuenca Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina.* Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Pp. 332.
- Rivera-Carranco, E., 1988a. *Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 1, pp. 22 – 27.
- Rivera-Carranco, E., 1988b. *Génesis de la Formación Proveedora (Cámbrico inferior) del área de Caborca, Sonora Noroccidental.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 2, pp. 163 – 167.
- Robison, R.A., 1965. *Middle Cambrian Eocrinoids from Western North America.* Journal of Paleontology, V. 39 (3), pp. 355 – 364.
- Salter, J.W., 1857. *On annelide – burrows and surface markins from the Cambrian rocks of the Longmynd.* Geological Society of London Quarterly Journal 13. Pp. 199 – 206.

- Seilacher, A., 1953. *Studien zur palichnologie. I. uber die methoden der palichnologie.* Neues Jahrb. Geologie Palaontologie Abhandlungen 96, 421-452.
- Seilacher, A., 1964. *Biogenic sedimentary structures.* In Approaches to paleoecology (Eds. J. Imbrie & N. Newell). Wiley, New York, pp. 296 – 316.
- Simo, V., Olsavsky, M., 2007. *Diplocraterion parallelum Torell, 1870, and other trace fossils from the Lower Triassic succession of the Drienok Nappe in Western Carpathians, Slovakia.* Bulletin of Geosciences 82 (2), pp. 165-173.
- Stewart, J.H., Amaya–Martinez, R., Palmer, A.R., 2002. *Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, México. Rodinian Super continent to Laurentian Cordilleran Margin.* Geological Society of America. Special Paper 36. Pp. 9 – 15.
- Tiwari, R.P., Rajknowar, C., Lalchawimawii., Malsawma, P.L.J., Ralte, V.Z., Paterl, S., 2011. *Trace fossils from Bhuban Formation, Surma Group (Lower to Middle Miocene) of Mizoram India and their palaeoenvironmental significance.* J. Earth Syst. Sci. 120. No. 6. pp. 1127 – 1143.