

ICNOFÓSILES DEL CÁMBRICO INFERIOR DE SAN JOSÉ DE GRACIA, SONORA

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

^a Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

^c Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

^d Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

* blancab@unam.mx

Resumen

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

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

Abstract

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

Keywords: ichnofossils, Lower Cambrian, Sonora, Mexico.

1. Introducción

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

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

del conocimiento de los icnofósiles es en el análisis de estructuras biogénicas en las rocas sedimentarias que da información sobre las propiedades petrofísicas o calidad de un yacimiento como porosidad y permeabilidad. Con relación a la diferente distribución que presentaban los continentes y mares en tiempos geológicos pasados, los icnofósiles indican que no hubo desplazamiento secundario, pues se encuentran en el mismo lugar donde fueron generados por los diversos organismos que habitaron determinados lugares (Laporte, 1974). La integración de evidencias icnológicas con datos sedimentológicos y estratigráficos permite caracterizar sucesiones sedimentarias para detectar tendencias transgresivas y regresivas (Frey y Seilacher, 1981; Seilacher, 2007; Knaust y Bromley, 2012).

2. Estudios previos

Sobre la región fosilífera del Paleozoico Inferior de San José de Gracia, existen algunos trabajos entre ellos Stewart *et al.* (2002) en el que se establece la correlación estratigráfica entre varias regiones del suroeste de Estados Unidos de Norteamérica y Sonora; Cuen *et al.* (2009) publicaron sobre los invertebrados marinos del Cámbrico Temprano y Medio en la parte central del estado de Sonora; Nardin *et al.* (2009) reportaron la presencia de placas aisladas de la columna y teca de equinodermos blastoideos, particularmente de la especie *Gogia granulosa*; Buitrón *et al.* (2011) dieron a conocer la existencia de hiólitidos de las especies *Hyolithes sonora* y *Haplophrentis reesei*; Cuen *et al.* (2013) estudiaron las esponjas de los géneros *Chancelloriia* y *Reticulosa* del Cámbrico Medio. Cuen (2012 y 2013) se refirieron al estudio de la estratigrafía y contenido biótico de afloramientos del Cerro Chihuarruita en donde se encontraron esponjas, braquiópodos y trilobites. Particularmente sobre el estudio sistemático de los icnofósiles de San José de Gracia, existen únicamente menciones de su presencia en estas rocas en los trabajos antes referidos.

3. Localización geográfica

Los afloramientos del Cámbrico Inferior de la región central del estado de Sonora son escasos. Formando parte del municipio de Ures, se localiza el cerro Chihuarruita en la proximidad del rancho San José de Gracia que encuentra a 40 km al noreste de la ciudad de Hermosillo (Figura 1). La secuencia estratigráfica cubre un área que rodea al cerro Chihuarruita con coordenadas 29°17'05" N, 110°35'03" W a 310 msnm.

4. Marco geológico

Rocas del Neoproterozoico Superior y Paleozoico Inferior afloran extensamente en todo el territorio de Sonora.



Figura 1. Localización del área de estudio en la parte central de Sonora.

Sin embargo, escasas localidades ubicadas en la parte central del estado, entre ellas San José de Gracia, muestran rocas problemáticas respecto a la edad y su contenido fósil sigue siendo poco conocido. En el área de estudio, siguiendo la propuesta de Almazán en Nardin *et al.* (2009) se han reconocido seis unidades litológicas diferentes (Figura 2).

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 litofacies con contenido biótico (figuras 3, 4 y 5).

4.1. Miembro A

Este miembro tiene 12 m de espesor y consiste en cuarcitas de color marrón oscuro y está posiblemente incompleta debido a que su base está cubierta por una falla inversa. Las rocas clásticas están constituidas por granos milimétricos de cuarzo subredondeados, con una tendencia al engrosamiento. Los estratos del miembro superan con frecuencia un metro de espesor (figuras 3 y 5).

4.2. 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 eliminó las estructuras sedimentarias. Esta unidad está cubierta por sedimentos aluviales. En este miembro fueron recolectados los icnofósiles como *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp., *Palaeophycus* isp., *Asteriacites* isp. y *Asterosoma* isp.

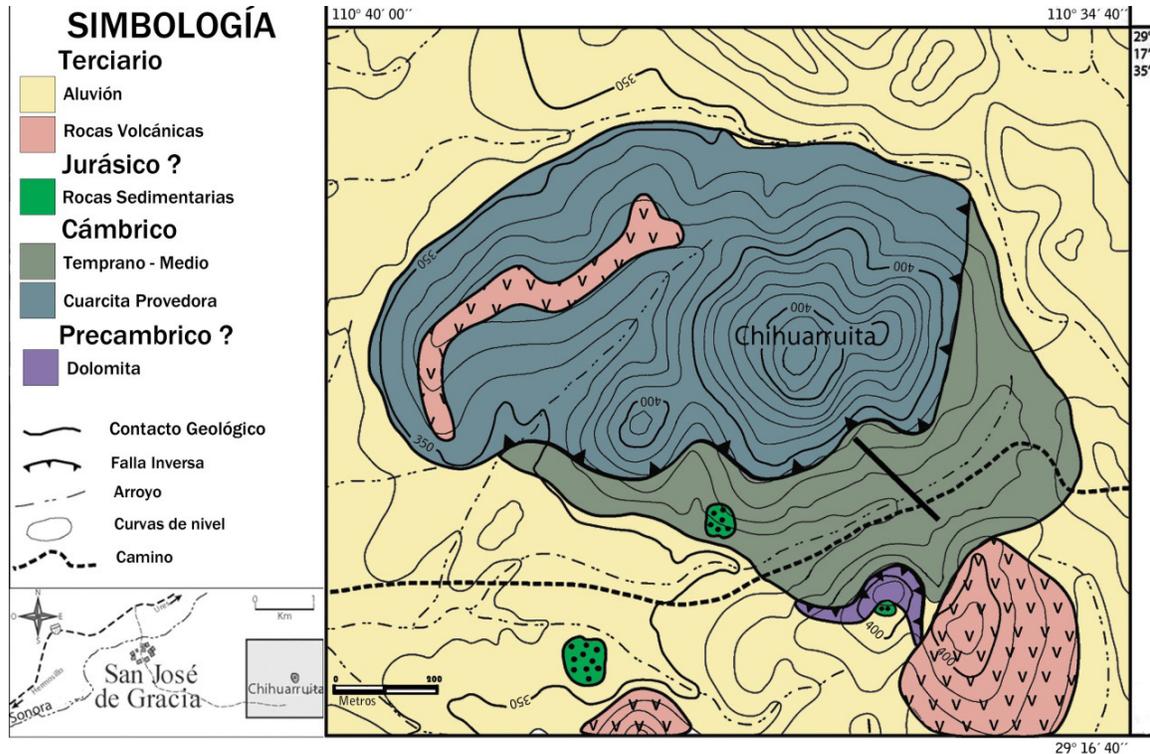


Figura 2. Esquema geol3gico del 3rea de estudio en San Jos3 de Gracia (Nardin *et al.*, 2009).



Figura 3. Afloramiento en donde se observan los miembros A, B y C, de cuyo estrato B se recolectaron los icnof3siles (Cuen, 2013).

4.3. Miembro C

Se encuentran concordantemente 10 m de cuarcitas oscuras color marr3n sobre el miembro anterior. Los elementos epicl3sticos subangulares, que presenta tienen dimensiones menores de un mil3metro de di3metro. Las condiciones hidrodin3micas de la sedimentaci3n dieron origen a una clara gradaci3n del tama1o de grano, desde granos gruesos a medios. La roca est3 piritizada y es posible observar las concentraciones de acumulaciones dispersas de cristales euhedrales de pirita hasta de un mil3metro de longitud, parcialmente oxidada (Figuras 3, 4 y 5).

4.4. Miembro D

Este miembro denota un claro cambio litol3gico a horizontes cl3sticos y carbonatados. El miembro tiene un espesor total de 40 m, donde predomina 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 topogr3ficamente debido a su moderada silicificaci3n, induciendo una mayor resistencia a la erosi3n. En la parte media hay calizas con bioturbaci3n que tienen un espesor de 20 m, con estructuras oncoidales de algas con dimensiones entre 0.5 a 4 cm de di3metro.

Las capas medias contienen abundantes moluscos Hyol3thidos de las especies *Hyolithes sonora* (Lochman) y *Haplophrentis reesei* Bobcock (Buitr3n *et al.*, 2011) y placas de la teca y columna de pelmatozoarios-eocrinoideos que se identificaron con la especie *Gogia granulosa* Robison (Nardin *et al.*, 2009). Es probable que el dep3sito de estas rocas se produjera durante el lapso de aproximadamente 517 a 510 Ma.

La parte superior del miembro est3 formada por lutitas grises con estructura masiva. Est3 intensamente fracturada y erosionada en l3minas 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 Hyol3thidos asociados con varios fragmentos de trilobites.

4.5. Miembro E

El miembro E se encuentra concordantemente sobre el miembro C y está constituido por 15 m de caliza gris oscura,

sus estratos varían de 60 cm a 5 m de espesor. Contiene ooides con un diámetro menor a un milímetro. Además, la caliza presenta microfracturas rellenas de calcita y algunos nódulos de hematita y pirita.

4.6. Miembro F

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

La intensa fracturación tiene como resultado la separación de la roca en láminas pequeñas de menos de 2 cm de longitud. Existen cambios litológicos en los 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 m. En la base del miembro varias capas de caliza contienen abundantes espículas de esponjas Hexáctinelidas de la especie *Chancelloria eros* Walcott (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* y *Ogygopsis*. También se encuentran en las rocas una abundante, diversa y bien conservada fauna de braquiópodos inarticulados y articulados (Cuen et al., 2009).

4.7. Miembro G

La parte superior de la columna está formada predominantemente por 40 m de capas de calizas que varían de 2 a 20 cm de espesor con intercalaciones delgadas de arcilla calcárea de 3 a 35 cm de espesor. El miembro G está tectónicamente cubierto por rocas dolomíticas precámbricas? y riolíticas del Terciario (Figura 2 y 4).

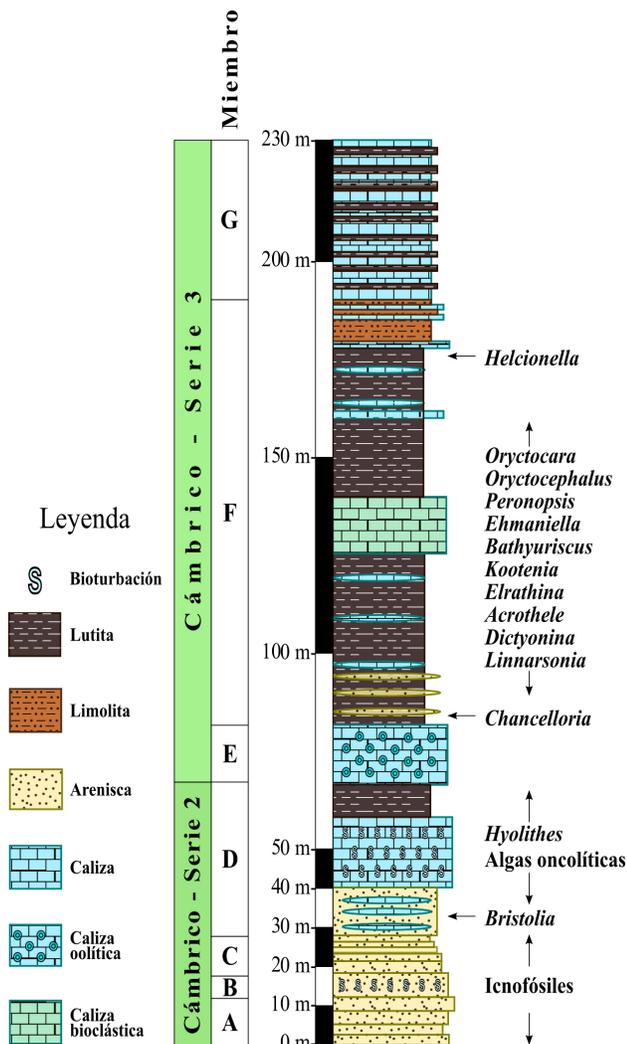


Figura 4. Columna estratigráfica de la secuencia Cámbrico Temprano y Medio de la zona de estudio en San José de Gracia, Sonora, según la propuesta de Almazán publicada en Nardin et al. (2009).

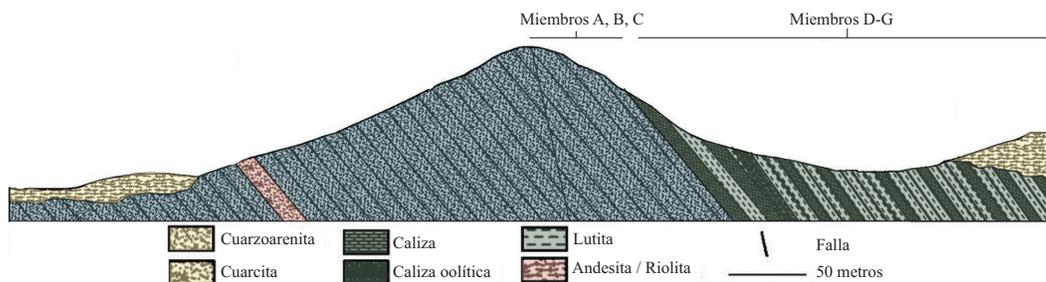


Figura 5. Sección estratigráfica del Cerro Chihuarruita (Cuen, 2013).

5. Icnología sistemática

El estudio de los iconofósiles del Cámbrico de San José de Gracia reveló una abundancia de ejemplares, pero escasa diversidad. El material parcialmente obtenido en el campo, del miembro B, 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-234. También se encuentran depositadas las fotografías de las muestras que no pudieron obtenerse en el campo por sus grandes dimensiones.

Para la identificación de los icnotaxones se sigue la propuesta de Buatois y Mángano (2011) y Knaust y Bromley (2012) sobre paleoicnología sistemática.

Iconogénero *Arenicolites* Salter, 1857

Arenicolites isp.
(figuras 6 y 7)

Descripción. Las madrigueras son simples, perpendiculares al plano de estratificación, con forma de “U” abierta, la pared es delgada y sin escultura. Las madrigueras presentan orificios de entrada y salida de forma circular.

Alcance estratigráfico. Cámbrico (Estado 2) al Reciente en ambiente marino y del Carbonífero al Reciente en ambiente continental (Eagar *et al.*, 1985; Buatois y Mángano, 2011).

Distribución geográfica. Europa, Norteamérica (Häntzschel, 1962) y África (Seilacher, 1990).

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 madriguera de vivienda, posiblemente hecha por un verme poliqueto (Seilacher, 1990). La perturbación es de tipo *spreiten* que significa que es el producto del desplazamiento lateral o vertical de un túnel, especialmente en forma de “U”. Pemberton *et al.* (1992) consideran que estos iconofósiles forman parte de la icnofacies *Skolithos*.

Iconogénero *Palaeophycus* Hall, 1847

Palaeophycus isp.
(Figura 8)

Descripción. Las madrigueras son simples, no presentan ramificación, tienen forma cilíndrica o subcilíndrica, alineadas, predominantemente horizontales y rectas, con paredes lisas y comúnmente sin estructura, de diámetro variable entre 1 y 2 mm.

Alcance estratigráfico. Paleozoico (Cámbrico temprano)-Mesozoico (Jensen *et al.*, 2006).

Distribución geográfica. Europa, Norteamérica (Häntzschel, 1962).

Discusión. Este iconofósil se considera como el resultado de excavaciones hechas por diversas especies de invertebrados, tanto marinos como continentales (Seilacher, 2007). Según varios autores existe confusión



Figura 6. *Arenicolites* isp.



Figura 7.- Orificios de entrada y salida de *Arenicolites* (Ejemplar USON-DG-231).



Figura 8. *Palaeophycus* isp.

en la determinación morfológica entre *Planolites* y *Palaeophycus*, pues son semejantes en la forma y dirección de las madrigueras. Se hace énfasis en que *Palaeophycus* se encuentra generalmente en hiporelieve. El ambiente en el que vivieron puede ser marino o continental incluyendo aluvial, lacustre y eólico (Seilacher, 2007).

Ichnogénero *Skolithos* Haldeman, 1840

Skolithos isp.
(Figura 9)

Descripción. Las madrigueras presentan 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 cm, raramente anillados (Alpert, 1974).

Alcance estratigráfico. Cámbrico Inferior-Ordovícico (Brasier, 1994).

Distribución geográfica. Europa, América, Groenlandia, Tasmania (Häntzschel, 1962).

Discusión. Se encuentran generalmente en arenisca. Se interpretan como galerías de vivienda hechas por invertebrados, como gusanos o phoronidios (Seilacher, 1967; Knaust y Bromley, 2012). Pemberton *et al.* (1992) consideran que estos icnofósiles son los que determinan a la icnofacies *Skolithos*, debido a que son los más típicos.

Ichnogénero *Asterosoma* Von Otto, 1854

Asterosoma isp.
(Figura 10)

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. Cámbrico-Cretácico Superior (Häntzschel, 1962).

Distribución geográfica. Europa y Norteamérica (Häntzschel, 1962).

Discusión. El ichnogénero *Asterosoma* Von Otto, 1854 corresponde a una estructura que pudo ser producto de la actividad de un organismo vermiforme en busca de alimento (Chamberlain, 1971). Seilacher (2007) interpreta como un patrón causado por la actividad de organismos estacionarios en sedimentos marinos del Cámbrico (Hofmann *et al.*, 2012). Según Pemberton *et al.* (1992) consideran que estos icnofósiles forman parte de la icnofacies *Cruziana*.

Ichnogénero *Asteriacites* Schlotheim, 1820

Asteriacites isp.
(Figura 11)

Descripción. La impresión del icnofósil tiene forma



Figura 9. *Skolithos* isp. (Ejemplar USON-DG-233).



Figura 10. *Asterosoma* isp (Ejemplar USON-DG-234).



Figura 11. Forma estelar de *Asteriacites* y *Arenicolites* en forma de "U".

estelar con cinco brazos separados con ángulos de 90° y 45° , con longitud promedio de 6 mm y anchura variable. El ejemplar se observa en bajo relieve.

Alcance estratigráfico. Cámbrico-Reciente.

Distribución geográfica. Europa y Norteamérica (Häntzschel, 1962).

Discusión. Estas impresiones estelares se interpretan como huellas de descanso cuyos posibles productores son equinodermos asteroideos (estrellas de mar). Son de ambiente totalmente marino. Buatois y Mángano (2011) considera que forman parte de la icnofacies Cruziana.

6. Discusión

Los icnofósiles estudiados del cerro El Chihuarruita, en la región de San José de Gracia corresponden a los icnogéneros *Skolithos*, *Arenicolites*, *Palaeophycus*, *Asteriacites* y *Asterosoma* que proceden del estrato de arenisca con bioturbación del miembro B con una edad del Cámbrico Inferior, pues en estratos suprayacentes, particularmente los del miembro D, está presente el género de trilobites *Bristolia* que es índice de esta edad (Resser, 1928; Lieberman, 1999).

Es posible que en la localidad existiera una biocenosis del Cámbrico, conformada por organismos del tipo de los vermes, artrópodos crustáceos de los que únicamente se conservaron los fósiles traza. 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 mares tropicales, someros, bien oxigenados.

La asociación faunística de la localidad permitió establecer relaciones paleogeográficas con faunas del norte de Utah y con el sureste de Idaho. La evidencia geológica y paleomagnética que se tiene indica que en el Precámbrico se tenía un Supercontinente. Reconstrucciones paleogeográficas de Norte América (Stewart *et al.*, 2002) sugieren que el margen occidental se encontraba localizado en los trópicos, orientado este-oeste durante el Cámbrico Temprano. Como consecuencia de esta posición, la fauna de esta zona es muy particular y única, pues son escasas las localidades con icnofósiles estudiados hasta ahora; particularmente sobre el Cámbrico de Sonora, se citan los trabajos de McMenamin (1996) y Sour *et al.* (2007).

7. Conclusiones

Se describen por primera vez para la región de San José de Gracia los icnofósiles *Skolithos*, *Arenicolites*, *Asterosoma* y *Palaeophycus*, que pueden ser interpretados como túneles o madrigueras de invertebrados hechas por vermes, artrópodos-crustáceos y equinodermos-asteroideos.

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

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 Norteamérica (Idaho, Utah, California), en Europa (Italia), Asia (India, Pakistán) y Tasmania que formaban parte del Océano Pantalásico.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó en el marco de los proyectos CONACYT Núm. 165826 y 235970, UNAM-DGAPA-PAPIIT Núm. IN101512 y ECOS FRANCIA-MEXICO Núm. M13-01 sobre las rocas sedimentarias y su contenido biótico 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 la Maestra Alejandra Montijo González quien participó en la prospección geológica en San José de Gracia, Municipio de Ures. Los revisores, Dr. Tobias Schwennicke de la Universidad Nacional Autónoma de Baja California Sur y un anónimo que hicieron recomendaciones que mejoraron el trabajo.

Referencias

- Alpert, S.P., 1974, Systematic review of the genus *Skolithos*: Journal of Paleontology, 48: 661–669.
- Brasier, M.D., Cowie, J.W., Taylor, M.E., 1994, Decision on the Precambrian Cambrian boundary: Episodes, 17, 3–8.
- 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, 56: 1112–1118.
- Buatois, L., Mángano, M.G., 2011, Ichnology: Organism-Substrate Interactions in Space and Time: Cambridge University Press, 358 p.
- Buitrón, B.E., Vachard, D., Clausen, S., Gómez, E.C., 2011, Cambrian mollusks (Hyolithida, Syssoiev, 1957) from San José de Gracia, Sonora, Northwestern Mexico: Reunión Internacional de Malacología, Libro de resúmenes, 175 p.
- Chamberlain, C.K., 1971, Morphology and ethology of trace fossils from the Ouachita Mountains, SE Oklahoma: Journal of Paleontology, 45(2): 212–246.
- Cuen, R.F.J., 2012, 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, 65 p.
- 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, 142 p.
- Cuen, R.F.J., Almazán, V.E., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., Grijalva, N.F.J., Monreal, S.R., Schwennicke, 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, 29 (1), 91.
- Cuen, R.F.J., Beresi, M., Montijo, G.A., Buitrón, B.E., Minjárez, S.I., De la O, M., Palafox, R.J.J., 2013, *Chancelloria* Walcott, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico Medio de San José de Gracia, Sonora, México: Boletín Sociedad Geológica Mexicana, 65: 581–590.
- Eagar, R.M.C., Baines, J.G., Collinson, J.D., Hardy, P.G., Okolo, S.A., Pollard, J.E., 1985, Trace fossil assemblages and their occurrence in Silesian (mid-Carboniferous) deltaic sediments of the Central Pennine Basin, England, en Curran, H.A. (Ed.), Biogenic sedimentary structures: their use in interpreting depositional environments: Society Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication, 35: 99–149.
- Frey, R.W., Seilacher, A., 1981, Uniformity in marine invertebrate ichnology: Lethaia, 13:183–207.
- Häntzschel, D.W., 1962, Trace Fossils and Problematics: Treatise on Invertebrate Paleontology: Geological Society of America and University of Kansas Press. W177–W259.
- Hofmann, R., Mángano, M.G., Elicki, O., Shinaq, R., 2012, Paleoecologic 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), 931–955.
- Jensen, S., Droser, M.L., Gehling, J.G., 2006, A critical look at the Ediacaran trace fossils record, en Xiao, S., Kauffman, A.J. (Eds.) Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology: Springer, Berlin, 115–157.
- Knaust, D., Bromley, R.G., 2012, Trace fossils as indicators of sedimentary environments: Developments in Sedimentology, 64, 924.
- Laporte, L.F., 1974, Los ambientes antiguos: Fundamentos de las Ciencias de la Tierra, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 115 p.
- Lieberman, B.S., 1999, Systematic revision of the Olenelloidea (Trilobita, Cambrian): Bulletin of the Peabody Museum of Natural History, 45: 1–150.
- Lochman, C., 1952, Trilobites, en Cooper, A., Arellano, A., Johnson, H., Okulitch, V., Stoyanow, A., Lochman, C. Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, Northwestern Sonora, Mexico: Smithsonian Miscellaneous Collections, 119: 60–184.
- McMenamin, M., 1996, Ediacaran biota from Sonora, Mexico: Proceedings of the National Academy of Sciences, 93, 4990–4993.
- Mount, J.D., 1980, Characteristics of Early Cambrian Faunas from Eastern San Bernardino County, California: Southern California Paleontological Society, Special Publication, 2, 19–29.
- Nardin, E., Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009, First report of *Gogia* (Eocrinoidea, Echinodermata) from de Early-Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeological comments: Geobios, 42, 233–242.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A., Frey, R.W., 1992, Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance, en Walker, R.G., James, N.P. (Eds.): Facies Models: Response to Sea-Level Change, Geological Association of Canada, 47–72.
- Resser, C.E., 1928, Cambrian fossils from the Mohave Desert: Smithsonian Miscellaneous Collection, 81(2), 1–14.
- Seilacher, A., 1967, Bathymetry of trace fossils: Marine Geology, 5, 413–428.
- Seilacher, A., 1990, The Paleozoic trace fossils, en Said, R. (Ed.): The Geology of Egypt, Balkema, Rotterdam, 649–670.
- Seilacher, A., 2007, Trace Fossils Analysis: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 226 p.
- Sour, F., Hagadorn, J.W., Huitrón-Rubio, T., 2007, Ediacaran and Cambrian index fossils from Sonora, Mexico: Palaeontology, 50(1), 169–175.
- Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., Palmer, A.R., 2002, Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, Mexico: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin, en Barth, A. (Ed.), Contributions to Crustal Evolution of the Southwestern United States: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 365, 5–48.

Manuscrito recibido: Octubre 26, 2015.

Manuscrito corregido recibido: Junio 1, 2016.

Manuscrito aceptado: Junio 3, 2016.