

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRESENCIA DE *SALTERELLA* BILLINGS (AGMATA
YOCHELSON, 1977) EN EL CÁMBRICO DE LA
REGIÓN DE SAN JOSÉ DE GRACIA, NE DE SONORA.**

TESIS

Para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Ana Laura González Cacheux

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez

Ciudad Universitaria, CDMX, 2019





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.

RECONOCIMIENTOS

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

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

La autora agradece al director del Instituto de Geología Dr. Ricardo Barragán Manzo y al jefe del Departamento de Paleontología, Dr. Josep Moreno Bedmar, las facilidades brindadas para el desarrollo de la tesis.

Finalmente, la autora expresa su agradecimiento a las sinodales doctoras Silvia Elizabeth Rivera Olmos, Dalia del Carmen Ortiz Zamora, Maestros Emiliano Campos Madrigal, Noé Santillán Piña y Luis Espinosa Arrubarrena, cuyos comentarios y sugerencias contribuyeron a mejorar el presente trabajo. También se agradece al maestro José Carlos Jiménez López, la revisión del texto y el apoyo en la elaboración de parte de las ilustraciones.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A la vida y a ese ser que va más allá de mi entendimiento por encaminarme hasta donde estoy hoy día.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme cobijo y conocimiento de lo que he adquirido.

A mi madre por darme la vida, un ser maravilloso que sin hesitar siempre me ha brindado su apoyo incondicional ante cualquier situación, a tu incansable manera de trabajar para brindarme lo mejor, por enseñarme que hay que luchar por lo que uno quiere para ser feliz sin pasar encima de los demás; sin ti madre no sería quien soy y gracias que sin tus enseñanzas de vida y amor incondicional no lo hubiera logrado, te amo mamá.

A mi abue Celia que sin ella mi segunda madre no hubiera podido salir adelante; todas tus enseñanzas, tus historias de vida que me ayudaron a formar criterios de manera en que fui creciendo y hasta hoy día me siguen forjando, gracias por esos cuentos todas las noches antes dormir y por decirme que me quieres tanto, gracias por ser una abuela tan amorosa y una persona tan noble, espero tenerte muchos años más a mi lado mi cabecita de algodón.

A mi papá, por su importante apoyo para la educación que tuve durante toda mi vida, por contarme la historia de México cada que tenías oportunidad cuando era una niña, por recogerme después de clases de inglés, sin ti no sabría otro idioma, gracias por apoyarme en el curso para entrar a la preparatoria y por decirme el resultado del examen de admisión aquella mañana, gracias por esos desayunos, comidas y pláticas tan amenas en el restaurante de los chinos que me gustan tanto. Te quiero pa.

A mi abuela Guadalupe, por darle la vida a mi padre y ser cariñosa siempre que la visito.

A los que ya no están ..., a mi viejo, tu vida terminó antes de que comenzara uno de mis mayores logros y esfuerzos, hubiera querido tenerte a mi lado en este momento tan importante, sin ti no hubiera podido lograr avanzar en la vida, gracias por llevarme siempre a la escuela y a cualquier lugar, por tu cariño infinito, por siempre preguntarme de las actividades de mi día, ahora entiendo que era para asegurarte que estuviera bien, por poner

la estación del fonógrafo en la cancia, siempre disfrute viajar contigo. Ser tu copiloto enseñarme todo lo que sé para que después el copiloto fueses tú. Donde quiera que estés, siempre te llevo en el corazón y en la mente. Te extraño tanto.

Gracias a los abues Clemen y Ricardo que siempre me recibieron con los brazos abiertos en su casa, siempre ofreciéndome fruta o café, por brindarme su apoyo y entusiasmo cuando entré a la carrera, sé que hubieran querido ser una parte física en este nuevo proceso, pero no se preocupen son parte importante en mi corazón.

A Carmen por darle la vida a un ser maravilloso que me ha enseñado más de lo que pude aprender sola acerca de las personas, por ser tan linda y amable siempre.

A mi pequirito que desde algunos ayeres has estado para mí siempre que lo necesito aún en los momentos de mayor oscuridad que he pasado; gracias porque el silencio contigo nunca es incómodo, porque más que ser un novio también eres un amigo que me centra cuando tengo momentos de debilidad y siempre me das ese impulso que me hace falta aunque yo no lo sepa y por ver mi lado malo y aun así decidir estar conmigo. Te amo.

A mis amigos de la carrera que fueron una parte vital para pasar de manera agradable toda la estancia en la facultad, gracias por sus consejos, risas, horas de clase, torneos de fut, fiestas e incansables aventuras durante este trayecto, gracias a Yessi y Abima; los quiero mucho quelilos, a Clau; juntas entramos y juntas nos vamos, te quiero. A Juanma, Vanish, Babi (Trápala), Flor, Elic, Romisita, Chuchin y Tavo por su compañía en la facultad, por cada salida que significó tanto para mí, así como cada una de las pláticas que tuvimos, los quiero a todos.

A Andy que más que una amiga te volviste de la familia, gracias por tus visitas a casa, pláticas, consejos, preocupaciones y por tener a bebé, te quiero mucho.

A Mony mi amiga más antigua, espero que sigamos siendo amigas más tiempo y siempre platiquemos y salgamos a bailar como lo hemos hecho.

A mi flaca que siempre ha sido y será mi mejor amiga; siempre has sabido estar en las buenas, en las malas y en las peores; gracias por todos los consejos que me das para que siempre

trate de tomar la mejor decisión o al menos tratar de que lo haga sensatamente, por preocuparte que llegue bien a casa, por ser cariñosa, aunque yo sea muy fría sabes que te amo y nunca dejarás de ser alguien importante para mí Vane.

A mis roomies Frida, Carmen y Jaqueline que hicieron de mi estancia la mejor con su compañía, salidas, comida y canciones en la sala, por ser unas personas tan lindas.

Por último, pero no menos importante, a cada uno de mis profesores que contribuyeron en mi formación académica y brindaron su apoyo, sabiendo así, a ser no sólo ingenieros si no verdaderos docentes.

Gracias al Dr. Enrique Alejandro Torres, que sin el muy probablemente no hubiera descubierto mi amor a la geología ni hubiera continuado en la carrera, a la Dra. Blanca Estela Buitrón que la quiero muchísimo por tanto apoyo en la presente tesis, así como su paciencia y buen humor cada día, al Ing. Tapia por su enseñanza en campo y en aula, al Ing. Miguel Vera quien siempre imparte con entusiasmo sus clases y las hace amenas, al Dr. Ricardo Padilla que siempre me hizo pensar en su clase, por su enseñanza tan práctica en campo y ser siempre tan amable, a la Dra. Valerie Pompa enseñar de manera tan sencilla sus materias y la confianza de poder hablar con ella, al Dr. Carlos Schulze por hacer tan divertida su clase, al Ing. Armando Alatorre que siempre tuvo paciencia para enseñar y sabe transmitir toda su experiencia, al Maestro Emiliano Campos que gracias a sus clases pude aplicar lo aprendido en el presente trabajo y entender mejor la cartografía y al Ingeniero Alfredo Victoria, que aunque no tuve la oportunidad de tomar clase formalmente con él pude conocerlo y saber que es una maravillosa persona.

En memoria de la Dra. Dalia Ortiz, quien siempre aplicó la enseñanza con una gran sonrisa.

“Ser profundamente amado te da fuerzas, mientras que amar profundamente a alguien te da coraje” Lao Tse

CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS PARTICULARES	15
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO	16
HIDROGRAFÍA.....	19
FLORA ACTUAL.....	19
FAUNA ACTUAL	20
PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS	20
MATERIAL Y MÉTODO.....	21
MARCO GEOLÓGICO	23
ESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE SAN JOSÉ DE GRACIA	24
FORMACIÓN BUELNA	27
PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA.....	30
Phylum Agmata Yochelson, 1977	30
Familia Salterellidae Walcott, 1886	31
<i>Salterella conulata</i> Clark, 1924.....	32
CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRAFICAS	35
CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS.....	36
CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.....	40
CONCLUSIONES	43

INDICE DE FIGURAS 44

BIBLIOGRAFÍA CITADA 46

RESUMEN

Se da a conocer la presencia de especies del género *Salterella* Billings (Agmata Yochelson, 1977) entre ellas *Salterella conulata*, Clark 1924 y *Salterella* sp., para una nueva localidad en el estado de Sonora. Los fósiles provienen de afloramientos de caliza de la Formación Buelna (Cámbrico Inferior) en el cerro Chihuarruita, localizado en la región de San José de Gracia, Municipio de Ures al centro-este del estado de Sonora.

La asociación biótica, además de los Salterélidos, está constituida por cianobacterias y diversos phyla de invertebrados con valor estratigráfico, entre ellos, espículas de esponjas Hexactinélidas, abundantes braquiópodos de los géneros *Dictyonina*, *Acrothele* y *Linnarsonia*; moluscos *hiolítidos* de las especies *H yolithes sonora* Lochman, 1952 y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988. Entre los artrópodos son numerosas las especies de trilobites de los géneros *Bristolia*, *Bathyriscus*, *Kootenia*, *Orytocephalus*, *Orytocara*, *Elrathina*, *Pagetia*, *Ehmaniella* y *Peronopsis* y diversos icnofósiles: *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides*, *Asterosoma*, *Asteriacites* y *Palaeophycus*.

La diversidad de la biota procedente de la región de San José de Gracia denota hábitos bentónicos y sugiere un ambiente de depósito de plataforma carbonatada en mar tropical, somero, de agua bien oxigenada con abundantes nutrientes que prevaleció durante el mar del Cámbrico en la región de Ures, Sonora.

La distribución de los invertebrados estudiados en otras localidades del mundo confirmó la existencia de una amplia provincia marina que comprendió varias localidades en México como en Sonora (Caborca y Ures) y en los Estados Unidos de Norteamérica (Idaho, Utah y California), en América del Sur (Argentina), en Europa (Italia), en Asia (India y Pakistán) y en Australia (Tasmania) que formaban parte del Océano Pantalásico.

ABSTRACT

The presence of species of the genus *Salterella* Billings (Agmata Yochelson, 1977) among them *Salterella conulata* 1924 and *Salterella* sp., for a new locality in the state of Sonora is disclosed. The fossils come from limestone outcrops of the Buelna Formation (Lower Cambrian) on the Chihuarruita hill, located in the San José de Gracia region, Municipality of Ures in the center-east of the state of Sonora.

The biotic association is constituted by cyanobacteria and diverse phyla of invertebrates with stratigraphic significance, among them, spicules of sponges Hexactinélidas, abundant brachiopods of the genera *Dictyonina*, *Acrothele* and *Linnarsonia*; hiolitid mollusks of the species *Hyolithes sonora* Lochman, 1952 and *Haplophrentis reesei* Babcock and Robison, 1988. Among the arthropods are numerous trilobites' species of the genera *Bristolia*, *Bathyriscus*, *Kootenia*, *Orytocephalus*, *Orytocara*, *Elrathina*, *Pagetia*, *Ehmaniella*, *Peronopsis* and several ichnofossils: *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides*, *Asterosoma*, *Asteriacites*, and *Palaeophycus*.

The biota denotes that there was a large province comprising several localities in Mexico such as Sonora (Caborca and Ures) and in the United States of North America (Idaho, Utah and California), in South America (Argentina), in Europe (Italy), Asia (India and Pakistan) and in Australia (Tasmania) that were part of the Panthalassic Ocean.

Most of the diversity of invertebrates studied in the San José de Gracia region was of benthic habits and suggests a deposit environment related to a carbonate platform in a shallow tropical sea, with abundant nutrients and well oxygenated water that prevailed during the Cambrian in the region of Ures, center-east of Sonora.

INTRODUCCIÓN

El Paleozoico se divide en seis periodos de los que el Cámbrico ocupa el primer lugar precediendo al Ordovícico. Comenzó hace unos 542 millones de años, al final del Eón Proterozoico y terminó aproximadamente en 485.4 millones de años. Debe su nombre a la denominación Cambria, que es la forma latinizada de *Cymru*, término con el que los galeses se refieren a su país, Gales, lugar donde el geólogo inglés Adam Sedgwick identificó este sistema en 1831.

En este período se produce una explosión de vida, y por primera vez en el registro fósil se distinguen organismos pluricelulares más complejos que las esponjas o las medusas. Entre las criaturas del período se cuentan, por ejemplo, las algas verdes de tipo *Volvox*, de apenas unos milímetros de diámetro, o también los trilobites, un grupo de artrópodos que no superó la extinción pérmica. Durante el Cámbrico aparecen en el registro fósil cerca de cincuenta grandes grupos de organismos (filos), de los que la mayoría no se conservan restos en la escala evolutiva (Gould, 1989). Este surgimiento de nuevos filos, aparentemente súbito, recibe el nombre de explosión cámbrica.

Varios eventos marcaron el límite Neoproterozoico-Cámbrico, entre ellos, la posible extinción de la Fauna de Ediacara, el incremento en la bioturbación de los sedimentos y la biomineralización generalizada entre los invertebrados (Alonso y Benito, 1988).

Rocas con fósiles del Cámbrico se han encontrado ampliamente distribuidas en Europa, Asia, Australia, América del Norte y escasamente en áreas del Norte de África, la región cordillerana de América del Sur, Nueva Zelanda y la Antártica. La biota incluye diversos phyla entre ellos, en orden de importancia estratigráfica, artrópodos, moluscos, braquiópodos, equinodermos y esponjas con representantes extintos y actuales. Asociaciones típicas de rocas carbonatadas presentan trilobites, braquiópodos (lingúlidos, paterínidos, acrotélidos), esponjas (Hexactinélidas y cancelóridas), hyolítidos y salterélidos (Palmer, 1979).

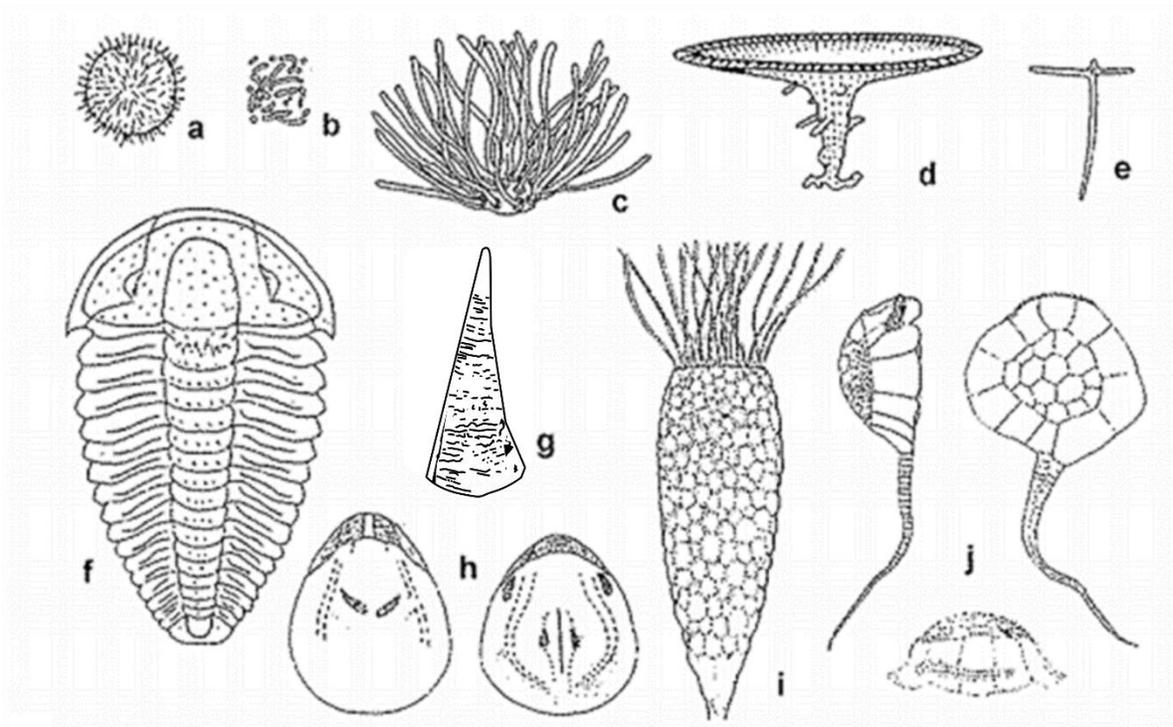


Figura 1. Biota distintiva del Cámbrico, a) acritarca , b) calcimicrobio, c) alga cianofita, d) arqueociato, e) espícula de esponja, f) trilobite, g) *Salterella*, h) braquiópodo inarticulado, i) eocrinoideo j) carpoideo (figuras a-f y h-j modificadas de Liñán y Gámez-Vintaned, 1999; figura g modificada de Cooper *et al.*, 1954).

Los afloramientos de rocas sedimentarias del Paleozoico Inferior de México son escasos, se presentan en los estados de Sonora (Caborca, Cananea, Agua Prieta, San José de Gracia, Mazatán, Arivechi), Chihuahua (Ojinaga, Placer de Guadalupe) y Oaxaca (Ixtaltepec), no obstante, contienen una abundante y diversa biota conformada principalmente por microbialitas, esponjas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos, trilobites, equinodermos e icnofósiles con gran valor sistemático estratigráfico, paleogeográfico y paleoecológico (Buitrón, 1989), (Fig. 1).



Figura 2. Localidades del Cámbrico sedimentario de México. 1) Cerro La Provedora, Caborca, Sonora; 2) Cananea, Sonora; 3) Agua Prieta, Sonora; 4) Cerro Chihuarruita, San José de Gracia, Sonora; 5) Mazatán, Sonora; 6) Cerros La Sata y El Mogallón, Arivechi, Sonora; 7) Sierra Chorreras, Aldama, Chihuahua; 8) Placer de Guadalupe, Chihuahua; 9) Santiago Ixtaltepec, Oaxaca.

Actualmente existen numerosas investigaciones sobre los fósiles de diferentes regiones de México, que abarcan temas muy diversos de la Paleontología sistemática, estratigrafía, paleogeografía y paleoecología, entre otros estudios. Sin embargo, son pocos los trabajos que se han realizado con la intención de reunir todos los descubrimientos hechos sobre restos fósiles con el propósito de dar a conocer la biodiversidad de los organismos del pasado geológico, con distribución mundial o regional (Buitrón, 1992) con aplicación en la prospección de minerales.

En la región de Caborca, situada en el noroeste del estado de Sonora, se encuentran las rocas más antiguas de México con cianobacterias cuya edad es de 1750 millones de años (Weber *et al.*, 1979). El Paleozoico sedimentario del estado comprende una potente

secuencia de rocas con una diversa y abundante biota de todos los periodos desde el inicio del Cámbrico con una antigüedad de 540 Ma hasta finales del Pérmico 251 Ma).

Las investigaciones sobre el Paleozoico de Sonora comenzaron con los estudios de King (1939, 1940) quien en el reconocimiento de la Sierra Madre Occidental citó la existencia de rocas del Cámbrico-Ordovícico de Cobachi, situada en la región central del estado. Álvarez (1949) publicó sobre el Paleozoico de México.

Más de 20 años después Cooper y Arellano (1946) y Cooper *et al.* (1952 original en inglés) y en 1954 (su traducción al español) dieron a conocer la estratigrafía y su contenido biótico de la región de Caborca ubicada al noroeste de Sonora, aportando descripciones de numerosos invertebrados del Cámbrico entre ellos, arqueociatos, trilobites, braquiópodos, moluscos, hyolítidos, esponjas, salterélidos y algas calcáreas.

Brunner (1975) comentó sobre el descubrimiento de conodontos en Bísani, con una edad probable del Ordovícico-Silúrico. Longoria *et al.* (1978) y Longoria y Pérez (1979) estudiaron la geología del área de Pitiquito-La Primavera. Posteriormente, Peiffer *et al.* (1980) dieron a conocer la presencia de graptolites en el Ordovícico de la región noroeste del estado. Baldis y Bordonaro (1981) establecieron la vinculación entre el Cámbrico del noroeste de México y el Cámbrico de la Precordillera Argentina. Stewart *et al.* (1984) y González-León (1986) realizaron el estudio del Paleozoico de la Sierra El Tule; McMenamín (1985; 1987) estudió en detalle pequeños invertebrados del Cámbrico Inferior y basó su bioestratigrafía en los trilobites de la región de Puerto Blanco. Rivera-Carranco (1988a, b) publicó sobre las características ambientales de formaciones Cámbricas de Caborca. Almazán (1989) realizó el estudio geológico-paleontológico del Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, región centro oriental del estado. Riva y Ketner (1989) y Debrenne *et al.* (1989) aportaron descripciones de graptolites ordovícicos y arqueociatos cámbricos. Buitrón (1989, 1992) citó el contenido biótico de las rocas del Paleozoico Inferior de Sonora y de otras localidades de México. Pérez-Ramos (1992) hizo la correlación del Paleozoico de Arizona, EUA y de Sonora, México. La misma autora en 2001, con motivo de su tesis doctoral estudió fusulínidos de varias localidades del estado y en 2002 publicó sobre estos fósiles.

Buitrón *et al.* (2003 a, b) dieron a conocer la presencia de esponjas coralinas pensilvánicas del género *Chaetetes* procedentes de Sierra Agua Verde, los crinoides del Pérmico de Cerro Los Monos en Caborca y del género *Halysites* del Silúrico de Placeritos. Almazán *et al.* (2006) publicaron sobre una secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Inferior de la región central de Sonora. Almazán-Vázquez (2002). Stewart *et al.* (2002), Cuen *et al.* (2009), Nardin *et al.* (2009), Buitrón *et al.* (2011), Huerta Ruiz (2011), hicieron diversos estudios sobre la estratigrafía y composición de la biota del cerro Chihuarruita. Cuen (2012) realizó la comparación sobre la estratigrafía del cerro Chihuarruita y la región de Caborca localizada al noroeste del estado en un intento por la unificación de la antes mencionada.

Particularmente, investigaciones sobre rocas sedimentarias del Cámbrico y su contenido biótico localizadas en el cerro Chihuarruita de la región de San José de Gracia, en parte centro-este del estado de Sonora, han sido reportadas por varios autores, entre ellos Huerta-Ruiz (2011), Esparza-Ramírez (2016) y su objetivo principal fue dar a conocer la biodiversidad con el propósito de hacer una reconstrucción de la paleogeografía del territorio de México.

OBJETIVO GENERAL

- Contribuir al conocimiento de la distribución mundial que se tiene del registro fósil de los invertebrados del Cámbrico, pertenecientes al phylum Agmata propuesto por Yochelson, (1977) recolectados en afloramientos del Cámbrico de San José de Gracia en el centro-este del estado de Sonora.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar y describir las especies del phylum Agmata recolectadas en nuevos afloramientos del Cámbrico inferior de la Formación Buelna que se localizan en el cerro Chihuarruita de la región de San José de Gracia, Municipio de Ures, región del centro-este del estado de Sonora.
- Contribuir a la datación relativa más precisa de los estratos de la Formación Buelna con base en el estudio de los Agmata, que se consideran índices estratigráficos (Yochelson, 1977).
- Aportar datos sobre la distribución de agmátidos del Cámbrico inferior de Sonora y su correlación mundial.
- Contribuir con el conocimiento de la paleoecología de la región de San José de Gracia, Sonora con base en la composición biótica conformada por diversos taxa entre ellos los Agmata-Salterélidos.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO

El estado de Sonora se localiza en el noroeste de México y colinda con la parte sur de los Estados Unidos de América, al este con el estado de Chihuahua, al sur con el estado de Sinaloa. San José de Gracia se localiza en la parte centro-oriental del estado, particularmente en el cerro Chihuarruita, municipio de Ures con coordenadas geográficas 29°17'19" N 110°36'44" W (Figs. 3, 4, 5, 6, 7, 8).



Figura 3. Localización geográfica de la región de San José de Gracia, Estado de Sonora.

El acceso principal es por la carretera federal No. 15 y la carretera federal No. 21 en el tramo Hermosillo-Ures. La distancia aproximada a Hermosillo, capital del estado es de 6 km (Fig. 4).

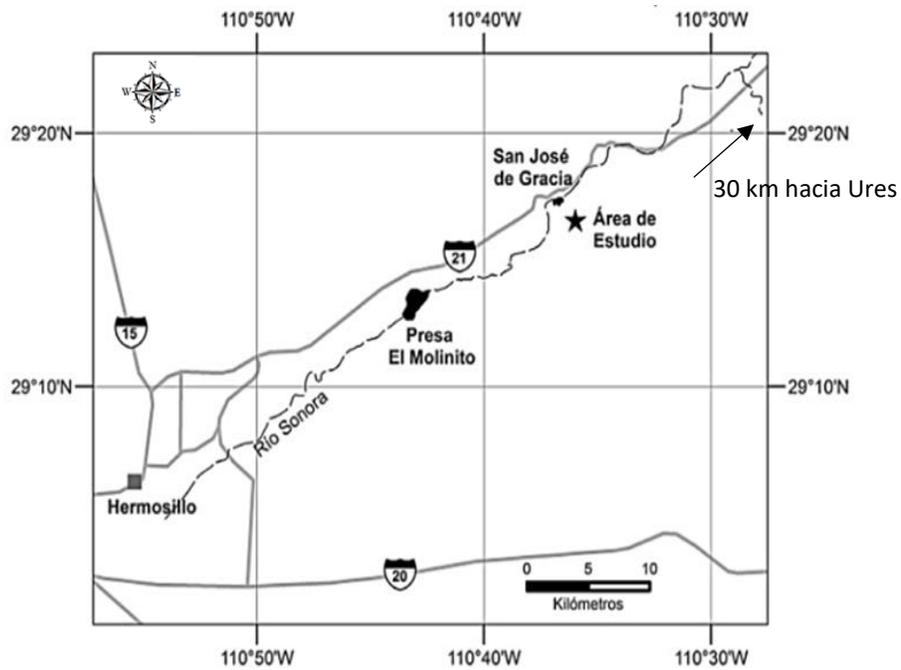


Figura 4. Mapa de carreteras para acceder a la localidad de San José de Gracia, Municipio de Ures.



Figura 5. Camino vecinal para acceder al cerro Chihuarruita, región de San José de Gracia.



Figura 6. Vista panorámica desde el sur del cerro Chihuarruita, región de San José de Gracia, Sonora.

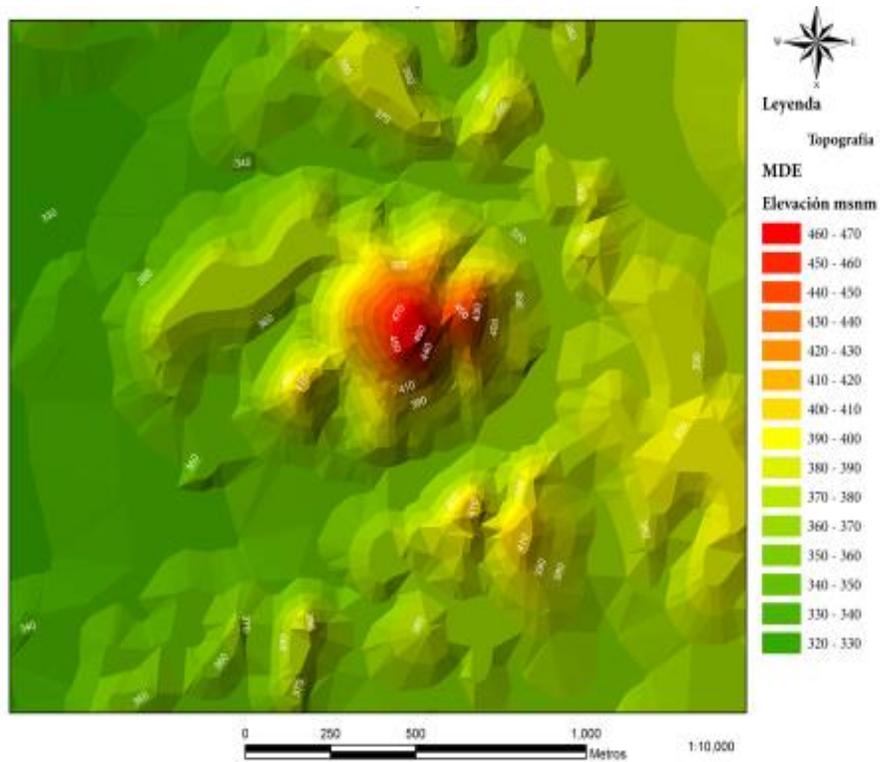


Figura 7. Modelo Digital del cerro Chihuarruita, San José de Gracia, Sonora (Cuen 2012).



Figura 8. Afloramiento de la Formación Buelna en San José de Gracia, 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).

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 con una cubierta vegetal densa y uniforme que por lo común no presenta estratos arbustivos o herbáceos (INEGI 1985). Las especies características de la región consisten en anona (*Annona reticulata*), balsa (*Lagenaria*

natans), capiro (*Sideroylon-capiri*), cascalote (*Caesalpinia caloca*), cuajilote (*Parmentiera edulis*), cueramo (*Cordia* sp.), encino (*Quercus* sp.), huizache (*Acacia hindsu*), mezquite (*Prosopis juliflora*), zacate (*Sporobolus argutus*), zacatón (*Sporobolus wrighti munro*). (INEGI, 1985).

FAUNA ACTUAL

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

PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS

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 (Fig. 9).

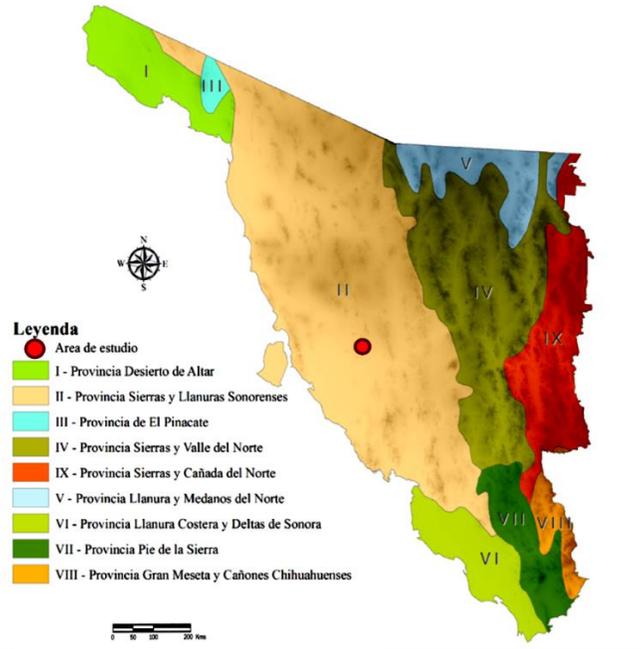


Figura 9. Provincias fisiográficas del estado de Sonora (Información digital de CONABIO, 1990, tomado de Raisz, 1964). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/rfisiso4mgw>

MATERIAL Y MÉTODO

TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron muestreos en los afloramientos de la Formación Buelna del Cerro Chihuarruita con el objeto de recolectar ejemplares de Agmata, cabe mencionar que en dicha región se encontraron abundantes fósiles de trilobites. Este trabajo se realizó 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. Las muestras fueron proporcionadas por la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez del Instituto de

Geología de la UNAM y por los profesores investigadores Alejandra Montijo González y Francisco Javier Cuen Romero del Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Sonora. Se siguieron las recomendaciones sobre la recolecta de fósiles propuestas por Silva-Romo y Mendoza-Rosales (2010). Fig. 10.



Figura 10. Selección y preparación de las muestras recolectadas en campo. Las muestras de roca miden aproximadamente entre 1 a 4 cm de longitud.

ACTIVIDADES DE GABINETE

Esta actividad se inició con la revisión y recopilación de la literatura existente sobre aspectos geológicos (King, 1939, Cooper *et al.*, 1946., Cooper *et al.* 1952; 1954; Lochman, 1952; Weil *et al.*, 1998; Cuen, 2012) y paleontológicos (McMenamin, 1987; Buitrón, 1992; Nardin *et al.*, 2009; Buitrón *et al.*, 2004; 2011; Cuen *et al.*, 2009; 2012) sobre la localidad de estudio. Para la identificación de las especies se procedió a seleccionar el material mejor conservado, se obtuvieron sus parámetros, entre ellos la altura y anchura y se tomaron fotografías.

ACTIVIDADES DE LABORATORIO

La autora de la tesis preparó las muestras en el Laboratorio de Paleontología de Invertebrados del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los fósiles se introdujeron en recipientes con agua para iniciar su limpieza, posteriormente se les quitó el exceso del material rocoso que no formaba parte del fósil, para detallar caracteres morfológicos que facilitaran la identificación.

MARCO GEOLÓGICO

Rocas del Neoproterozoico Superior y Paleozoico Inferior afloran extensamente en todo el territorio de Sonora. Sin embargo, escasas localidades ubicadas en la parte central del estado, entre ellas San José de Gracia, muestran rocas problemáticas respecto a la edad y su contenido fósil 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, *et al.* (2009) publicaron sobre los invertebrados del Cámbrico temprano y medio de la región; Buitrón *et al* (2011) dieron a conocer la existencia de Hyolíthidos, Cuen *et al.*, (2013) estudiaron esponjas Hexactinélidas, Cuen (2012, 2013) estudió el contenido biótico en un intento por la unificación del léxico estratigráfico y uniformizar la nomenclatura cámbrica y establece estas rocas como secciones de referencia a las formaciones cámbricas del área de Caborca, reconociendo la Formación Proveedora, Formación Buelna, Formación Cerro Prieto y Formación Arrojos; sin embargo, debido a que la litología de la secuencia estratigráfica que correspondería crono estratigráficamente con la Formación Arrojos es diferente en esta área, se sugiere la introducción de una nueva unidad, Formación El Gavilán (Cuen *et al.*, 2013), la cual sustituye a la Formación Arrojos en esta área. (Fig. 11).

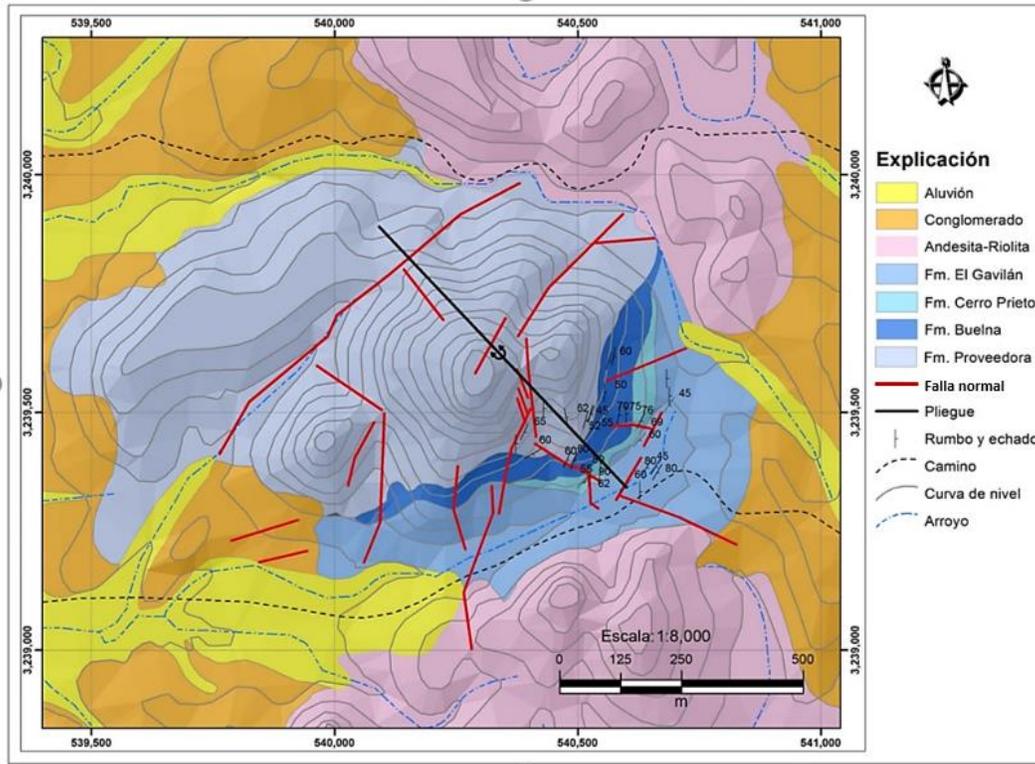


Figura 11. Mapa geol3gico del cerro El Chihuarruita, regi3n de San Jos3 de Gracia, Sonora (Tomado de Cuen, 2013).

ESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO DE SAN JOSÉ DE GRACIA

Los primeros estudios llevados a cabo en las rocas cámbricas de San Jos3 de Gracia, son los realizados por Maytorena-Silva y Esparza-Y3ñez (1990), quienes mencionan la presencia de rocas cámbricas en la parte central del estado de Sonora, estudiando principalmente sus implicaciones tect3nicas.

Almaz3n-V3zquez (2002), realiza los primeros estudios paleontol3gicos de las rocas cámbricas de esta regi3n, tal como lo demuestran algunos res3menes cortos publicados en memorias. Este mismo autor menciona la presencia de una abundante fauna del C3mbrico temprano y medio, dividiendo la secuencia sedimentaria del cerro Chihuarruita en 7

miembros (A–G), Tabla 1. Stewart *et al.* (2002), colectaron fósiles de *Oryctocara* sp., *Peronopsis* sp., *P. bonnerensis*?, *P. brighamensis*, *Oryctocephalus* sp., *Pagetia* sp., ?*Ehmaniella* sp., entre otros identificados por el Dr. Allison Palmer.

Buitrón *et al.*, 2004, mencionan la presencia del eocrinoide *Gogia spiralis* Robison, 1965, así como la presencia de los trilobites índice *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* en el Cámbrico inferior y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* en el Cámbrico medio. Cuen *et al.* (2009), asigna las rocas del Cámbrico inferior de esta área a la Zona de *Olenellus* y las relaciona con otras rocas del sur de los Estados Unidos de América.

Nardin *et al.* (2009), en una reevaluación del material fósil propuesto por Buitrón, *op cit.*, realizan un estudio paleoecológico y sistemático de *Gogia granulosa* Robison, 1965; así como una descripción detallada de los miembros litológicos propuestos por autores anteriores (Tabla 1). Buitrón *et al.* (2011), mencionan la presencia de los moluscos hiolítidos *Hyolithes sonora*, Lochman, 1952 y *Haplophrentis reesei*, Babcock y Robison, 1988.

Posteriormente, Huerta–Ruiz (2011), en su tesis de Licenciatura, realiza el estudio detallado, así como la descripción sistemática de estas dos 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, con cambios 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 aislados de *Chancelloria* sp., mencionando además la posible presencia de *Salterella* sp. Cuen *et al.* (2012), informan de la presencia de la Zona de *Albertella* en la Formación Arrojos, debido a la existencia de los trilobites *Oryctocephalus* sp., *Ogygopsis typicalis*, *Elrathina antiqua*, *Bathyriscus* sp., *Peronopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri* y escleritos aislados de *Chancelloria* sp. cf. *C. eros* Walcott, 1920; confirmando éstas rocas a un ambiente marino de plataforma externa, posiblemente del cinturón detrítico exterior; los fósiles de *Salterella* fueron recolectados en la Formación Buelna (Figs. 12, 13).

Estratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora.				
Almazán, 2002	Nardin <i>et al.</i> , 2009	Cuen, 2012	Cuen, 2013	Serie
Miembro G	Miembro G	Formación Arrojos	Formación El Gavilán	Cámbrico medio
Miembro F	Miembro F			
Miembro E	Miembro E	Formación Cerro Prieto	Formación Cerro Prieto	
Miembro D	Miembro D	Formación Buelna	Formación Buelna	Cámbrico inferior
Miembro C	Miembro C	Formación Provedora	Formación Provedora	
Miembro B	Miembro B			
Miembro A	Miembro A			

Tabla 1 – Unidades estratigráficas del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora.

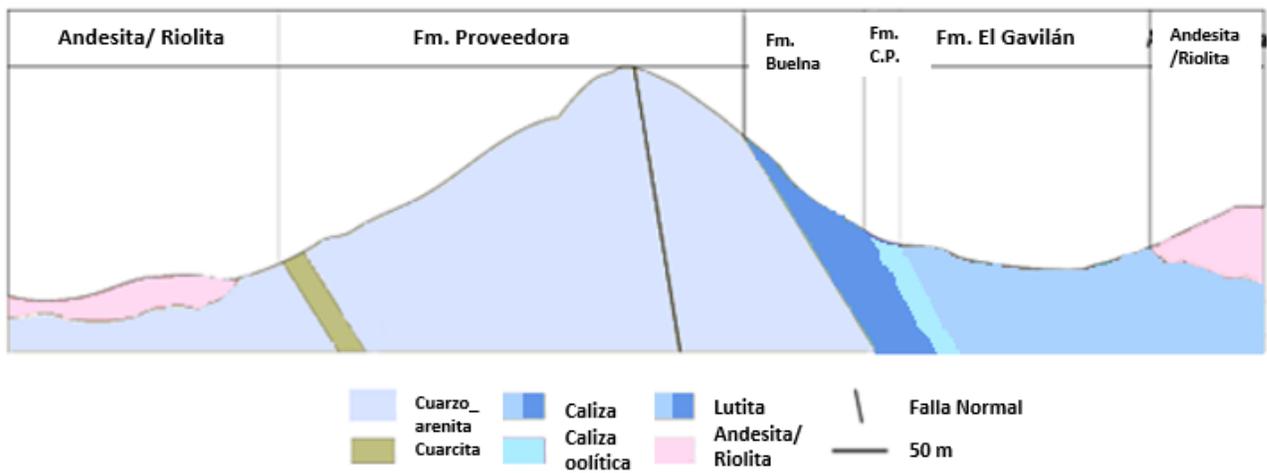


Figura 12. Sección estratigráfica de la región de San José de Gracia, Sonora. (Modificada de Cuen, 2013).

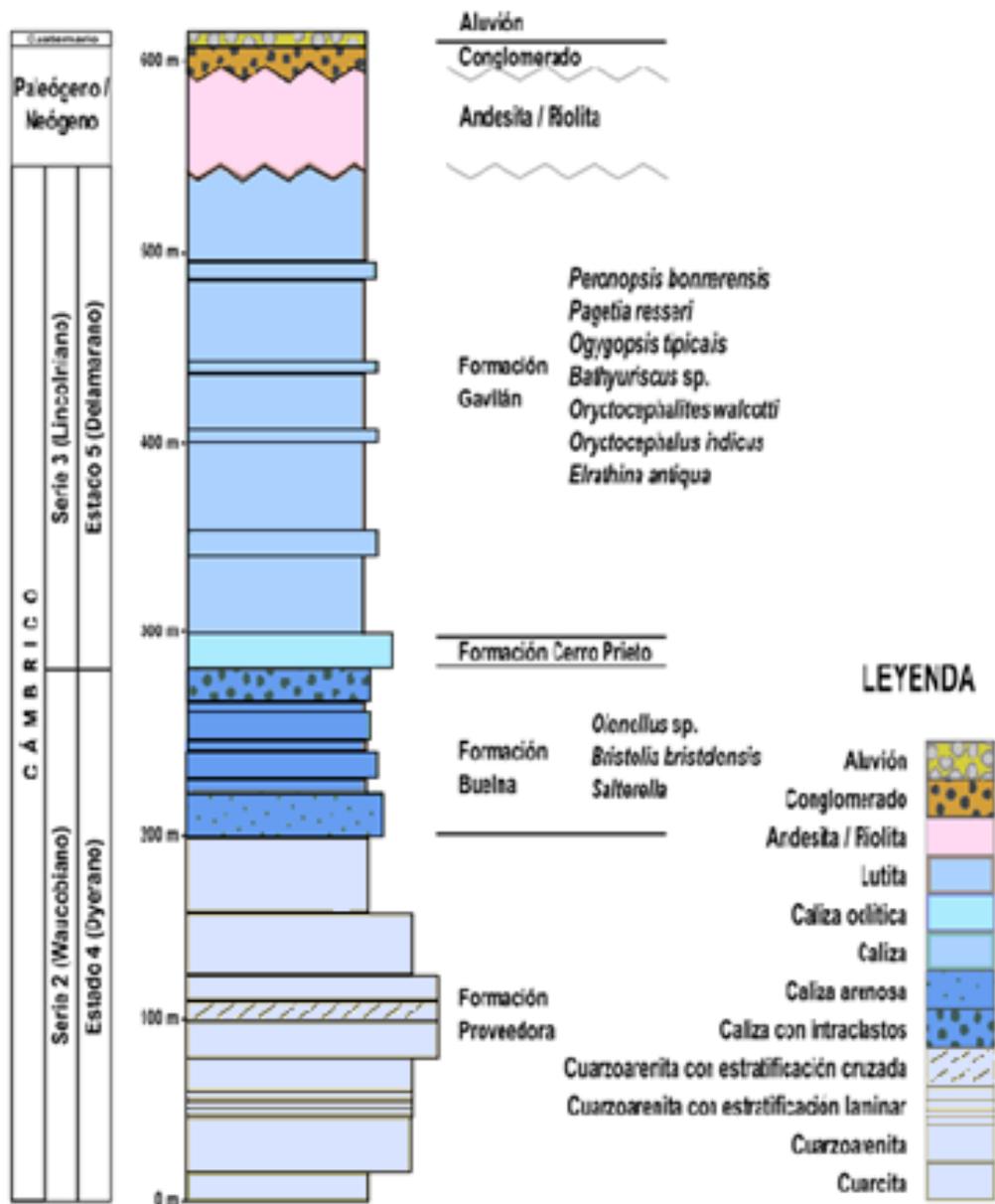


Figura 13. Columna estratigráfica del Cerro Chihuarruita (Modificada de Cuen, 2013).

FORMACIÓN BUELNA

Definición: Su localidad tipo se encuentra en el Cerro Buelna, área de Caborca. Consiste principalmente en caliza granular que pasa a arenisca calcárea en algunas capas. La arenisca es de color café, de grano fino a delgada pasando a fisil en la parte inferior y con lutita roja

lenticular en contacto con caliza Cerro Prieto. Además la caliza es gris, arenosa y en algunas ocasiones es de color verde. En la base existen coquinas de *Salterella* y trilobites acumulados, aparentemente por acción mecánica (Figura 14).



Figura. 14. Microfotografía (X7). Caliza fosilífera, presenta cemento de esparita, con cortes de *Salterella* sp., *Hyolithes* sp., según la clasificación de Dunham, 1962, corresponde a grainstone, Folk, 1962, bioesparita (Tomado de Cuen, 2012).

En la parte media de esta formación hay dos bancos de calizas muy resistentes a la erosión, formados exclusivamente por oncolitos de *Girvanella*. La parte superior de la formación está constituida por lutita y arenisca calcárea y caliza en capas delgadas que contienen bancos oolíticos o conglomeráticos con clastos de caliza, con gran cantidad de trilobites. En la mitad superior se encontraron los trilobites índice: *Onchocephalus*, *Antagmus* y *Bonnia*. (Cooper *et al*, 1954; Rivera-Carranco, 1988a).

El espesor de la Formación Buelna es de 70 metros, su base y su cima es concordante con la Formación Provedora y Cerro Prieto. En el área de estudio se presenta como

intercalaciones de caliza y lutita, con gran cantidad de fósiles, aflorando en la parte SE del cerro Chihuarruita.

Litología y Espesor: De la base a la cima, consiste en caliza arenosa intercalada con lutita. En la base aflora una caliza arenosa de color morado oscuro, la cual presenta granos de cuarzo en una matriz calcárea muy alterada con óxidos, los granos de cuarzo varían entre un tamaño de 15 a 3 micras, siendo en general angulosos a subangulosos, mal clasificados. Esta capa posee un grosor de 19 metros.

Seguido por intercalaciones de lutita y caliza con fósiles, como *Hyolithes sonora*, *Haplophrentis reesei*, y *Salterella* sp., con fragmentos no identificables de trilobites. Según las clasificaciones de Dunham, 1962 y Folk, 1962 para carbonatos, la roca se considera como packstone y biomicrita, respectivamente. Se tiene un espesor total de 80 metros. Seguido por una capa de 6 metros de lutita, aparentemente sin fósiles, observándose muy erosionada y cubierta por el suelo. Después se encuentra una capa de caliza de color amarillo y café, con alto contenido de oncolitos asignados a *Girvanella* sp. con un grosor de 9.10 metros.

Seguido por una capa de caliza gris oscuro, con clastos arenosos de color amarillo con forma tabular que varían en tamaño de 10 a 15 cm, (Figura 8 y 9).

Relaciones Estratigráficas: Sobreyace de manera concordante a la Formación Proveedora y es sobreyacida concordantemente por la Formación Cerro Prieto.

Edad y correlación: La presencia de *Haplophrentis reesei*, *Hyolithes sonora* y *Salterella* sp., indica una edad del Cámbrico, mientras que los fósiles recolectados por Nardin *et al.*, 2009, como lo es *Gogia granulosa* Robison, 1965, indica una edad del Cámbrico temprano.

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA.

Los ejemplares fósiles se encuentran depositados con los números provisionales USONDG-147-USONDG-150 del catálogo de la Colección Paleontológica “Dr. Emilio Almazán Vázquez”, Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Sonora.

PHYLUM AGMATA YOCHELSON, 1977

Diagnosis. Concha calcárea de forma cónica, con los lados divergentes. En gran parte del interior se encuentran estructuras laminares paralelas o ligeramente oblicuas y gránulos de cuarzo. El phylum Agmata está representado únicamente por la familia Salterellidae (Yochelson, 1977).

Posición estratigráfica y edad. El phylum Agmata corresponde a un grupo de invertebrados extintos que marcan el final del Cámbrico temprano, principalmente en localidades de Estados Unidos de América y Sonora, México. Los Agmátidos se encuentran asociados a la zona de trilobites *Bonnia-Olenellus*.

Discusión. Lochman *in* Cooper *et al.*, 1954, p. 129, lám. 17, fig. 14; lám. 18, figs. 7-11; lám. 19, figs. 1-5) describe ejemplares de la especie *Salterella mexicana* procedentes de la región de Caborca, Sonora, y los asigna al phylum Mollusca, clase Cephalopoda por su parecido morfológico con belemnites .

Yochelson (1977) propone el nuevo Phylum Agmata representado por el género *Salterella* basado en las estructuras morfológicas características que presentan los ejemplares. Dicho autor considera que las estructuras morfológicas son distintivas y asegura que los fósiles no son moluscos, ni vermes, pues estos no presentan estructuras laminares paralelas o ligeramente oblicuas y rellenas de gránulos de cuarzo. Comparativamente los géneros *Hydroconozoa* y *Vologdinella* pueden ser organismos que presentan estructuras similares pero los ejemplares de *Volborthella* carecen de concha calcárea externa, posiblemente debido a procesos diagenéticos.

Género *Salterella* Billings 1861

Diagnosis. Concha calcárea pequeña de 5 mm de largo y 1 mm de ancho, de forma cónica con pared muy delgada, la terminación es puntiaguda y ángulo apical tiene en promedio 16°; la sección de la concha es circular. La parte interior tiene estructuras laminares y está ocupada por pequeños gránulos de cuarzo.

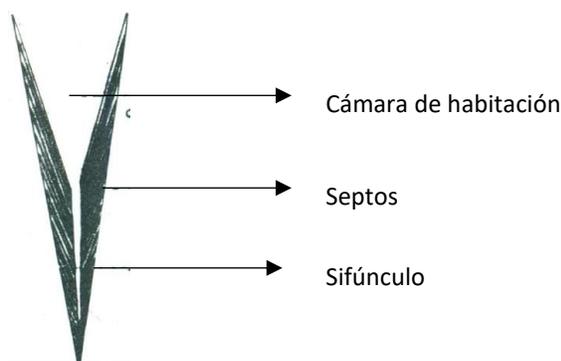


Figura 15. Diagrama de *Salterella* (X5) modificado de Cooper *et al.*, 1954

Discusión. Yochelson (1983) mencionó que el género *Volborthella* era considerado como sinónimo de *Salterella*, con relación a la presencia de impresiones de estructuras morfológicas semejantes, otra característica distintiva es que *Volborthella* carece de concha calcárea. Finalmente, Yochelson y Kisselev (2003) separan definitivamente a estos dos géneros y los asignan a la Familia Saterellidae, que se propuso inicialmente con tres especies. Miller (1889, p. 520) fue el primero en designar una especie tipo, seleccionando a *Salterella rugosa*. La especie *Salterella pulchella* es similar en tamaño a *S. rugosa*, Walcott (1886, p. 134) y a *Salterella conulata* (Clark, 1924).

Distribución. No obstante, a la opinión de Yochelson, 1977 existen registros de otras especies como *Salterella rugosa* Billings, 1861, Grupo Postdam, Vermont, Canadá.

Salterella curvata Shaler y Foerste, 1888 de la Formación Hoppin en Massachusetts, EUA que fue descrita a partir de un único espécimen, que se encuentra perdido; de tal manera que es dudosa su identificación.

Salterella conulata Clark, 1924, Series Beekmantown de Levis, Quebec, Canadá.

Salterella expansa Poulsen, 1927, Noroeste de Groenlandia.

Salterella (?) orientalis Kobayashi, 1937, p. 13 fue reportada de Corea del Sur.

Salterella acervulosa Resser y Howell, 1938 es una especie que abunda en la Formación Kinzers en Pensilvania, EUA, pero sus ejemplares no están bien conservados.

Salterella mexicana Lochman, 1954 del Cámbrico inferior de Caborca, Sonora.

Posición stratigráfica y edad del género *Salterella*. Yochelson (1977) reporta la presencia de ejemplares del género *Salterella* registrado para el Cámbrico de varias localidades del mundo, entre ellas, Escocia en Europa; también en Svalbard, Highlands, Checoslovaquia y Siberia; en Australia (Spath, 1936) y anota que dudosamente de China (Kobayashi, 1937).

En América del Norte, en Canadá (montañas Mackenzie, Yukón, Labrador, Quebec) citadas por Fritz, (1972) y por Skovsted y Peel (2007); en Groenlandia, estudiadas por Poulsen (1927, 1932); en Estados Unidos de América (Nevada y Pennsylvania), registradas por Yochelson, Taylor y Coos, (1968) y Yochelson, Pierce y Taylor, (1970), en Maryland; reportadas por Reinhardt y Wall (1975) y en Alabama, citadas por Yochelson (1970). Para Sudamérica se ha descrito de Argentina por Astini, *et al.* (2004). En México fueron descritos numerosos ejemplares como *Salterella mexicana* y *Salterella* sp. procedentes del noroeste de Sonora en Caborca (Lochmann, 1954).

En el presente trabajo se describe por primera vez la especie *Salterella conulata* procedente de la Formación Buelna (Cámbrico inferior) en el cerro Chihuarruita en la región de San José de Gracia, localizada en el centro-este de Sonora.

SALTERELLA CONULATA CLARK, 1924

Sinonimia

Serpulites maccullochi Murchison, 1859, Yochelson, 1983, p. 256, lám. 35, figs. 1-5.

Salterella rugosa Billings, 1861, Yochelson, 1977, p. 442, lám. 1, figs. 1-4.

Salterella. expansa Poulsen, 1927, Yochelson, 1997, p.441.

Salterella mexicana Lochman, 1954, p. 129, lám. 17, fig. 14; lám. 18, figs. 7-11; lám. 19, figs. 1-5.

Descripción. La concha tiene 6 mm de largo y 1 de ancho, con la pared muy delgada y el extremo apical terminado en punta de aproximadamente con un ángulo de 17°; la sección transversal de la concha es circular desde el ápice a la abertura.

La parte interior tiene estructuras laminares y está ocupada por pequeños gránulos de cuarzo. En superficie pulida se observan capas concéntricas.

Discusión. Es importante que se recolecten más ejemplares para conocer mejor su morfología y así darle validez a su categoría taxonómica y diferenciar las especies relacionadas con el objeto de conocer la diversidad del género *Salterella*.

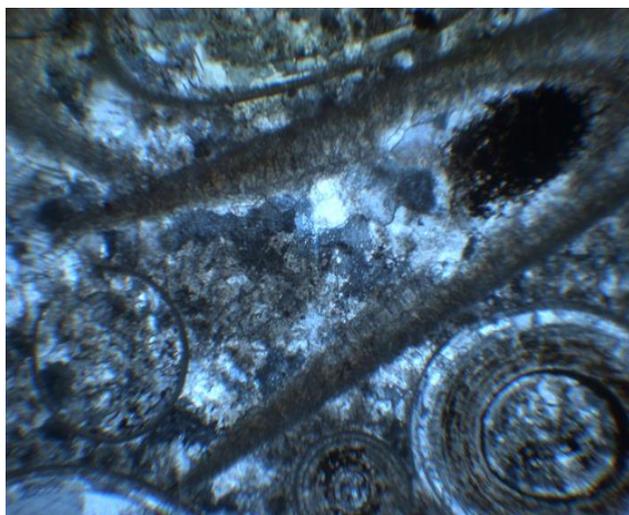


Figura 16. Microfotografía (X7) Ejemplar USONDG-147. Superficie pulida que muestra la sección transversal de dos ejemplares de *Salterella conulata*, Clark, 1924. El interior de las cámaras está parcialmente reemplazado por sílice y presenta algunas disoluciones. La muestra corresponde con un packstone de bioclastos.

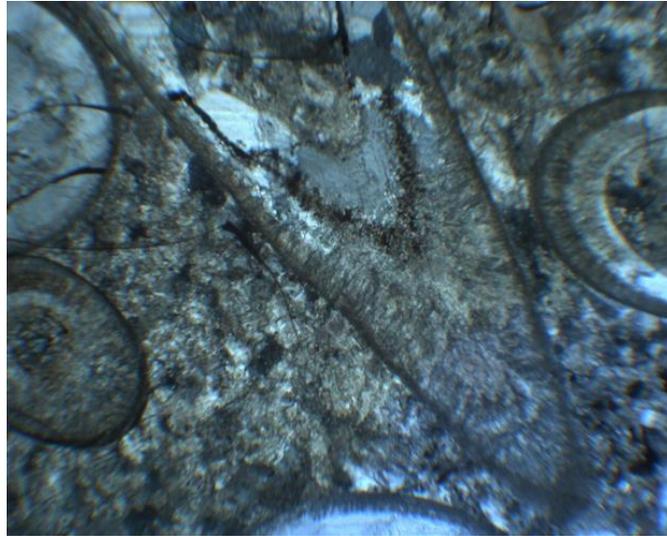


Figura 17. Microfotografía (X7) Ejemplar USONDG-148. Superficie pulida que muestra la sección transversal de tres especímenes de algunos ejemplares de *Salterella conulata*, Clark, 1924 X7. La muestra presenta esparita con disolución y los ejemplares tienen silicificación parcial en su interior, los prismas de la pared del ejemplar más grande tienen orientación perpendicular al desarrollo de la concha.

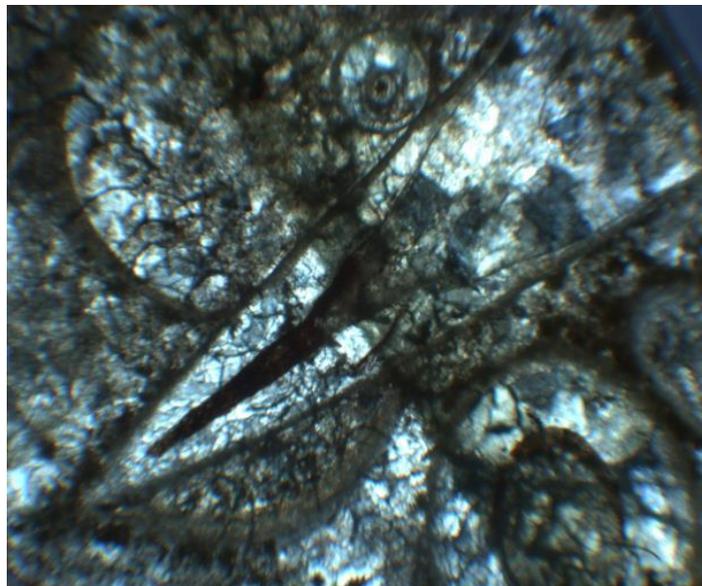


Figura 18. Microfotografía (X7) Ejemplar USONDG-149. Superficie pulida que muestra una sección longitudinal y varias secciones transversales de ejemplares de *Salterella conulata*

Clark, 1924, con pérdida de estructura interna por recristalización. En el ejemplar de mayor tamaño se ha perdido parte de la pared de la concha hacia su lado oral.

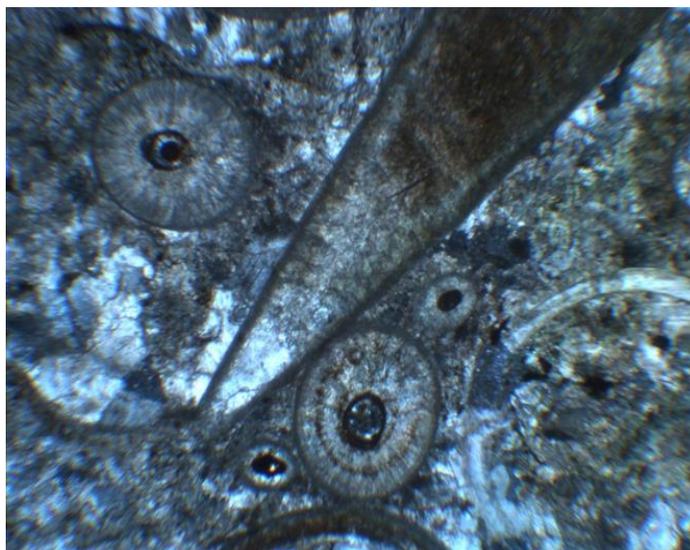


Figura 19. Ejemplar USONDG-150. Superficie pulida que muestra la sección transversal de tres ejemplares de *Salterella conulata* Clark, 1924; en esta microfotografía (X7) se observa la estructura prismática de las secciones transversales.

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 Archaeocyatha que vivieron únicamente en el Cámbrico, particularmente existen varias especies entre ellas, *Ethmophyllum cooperi* Okullitch, *E. americanum* Okullitch, *E. whitneyi* Meck, *Cocinocyathus* spp., *Archaeocyathus yavorskii* (Vologdin) *Ajacicyathus nevadensis* (Okullitch), *A. rimousky* Okullitch, descritas para la región de Caborca, Sonora (Cooper *et al* 1952).

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

Los Artrópodos incluyen a los trilobites del Cámbrico, cuya diversidad y abundancia

es notable en varias localidades del Cámbrico temprano de México como en Sonora representados por los géneros *Bristolia*, *Olenellus*, *Padeumias*, *Wanneria*, *Bonnia*, *Antagmus*, *Onchocephalus*, *Sombrerella* (Lochman, 1952).

Particularmente, en la región de San José de Gracia son abundantes los trilobites Agnóstidos entre ellos los géneros *Peronopsis*, *Pagetia*, *Oryctocephalus*, *Ehmaniella*, *Kootenia*, *Bathyriscus*, *Elrathia*.

Sobre los Braquiópodos tanto inarticulados como articulados se han citado los géneros *Acrothele*, *Prototreta Dictyonina*, *Linnarsonia*, corresponde al miembro F que está constituido por arcillas.

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

Los moluscos *incertae sedis* del género *Helcionella* y moluscos del género *Hyolithes* (Buitrón *et al.* 2011), son índices estratigráficos de rocas de diferentes afloramientos sedimentarios de distribución mundial. 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 por su posición estratigráfica en la columna y por las rocas que los suprayacen con ejemplares del trilobite *Bristolia*, ampliamente registrado en rocas del Cámbrico Inferior del mundo (Cuen 2013).

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 (Van Morkhoven, 1966) y tiene

aplicación en la interpretación de la relación de los organismos y su ambiente en el pasado geológico.

La asociación de organismos fósiles constituye una tanatocenosis contrariamente de la biocenosis cuando se trata de organismos recientes. El proceso de fosilización está influido por los siguientes hechos: condiciones desfavorables que pueden haber impedido la fosilización de algunos organismos o parte de ellos. Es el caso particular de la escasa conservación en los Hyolíthidos de San José de Gracia.

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

La diagénesis puede haber presentado influencia subsecuente y causar la pérdida de ciertos elementos de la tanatocenosis, o haber alterado la estructura de los fósiles como es el caso de los Hyolíthidos.

Ambiente: El ambiente del depósito es marino somero, de agua tranquila con aporte de terrígenos, afectada por el oleaje como lo demuestra la acumulación mecánica de fósiles. Por otra parte, la depositación de *Salterella* en rocas carbonatadas del Paleozoico temprano sugiere que habitó aguas someras, abarcando desde aguas someras hasta ambientes de marea, considerándose como un organismo bentónico sugerido por Lochman (1954).

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

Los braquiópodos están representados por inarticulados (*Acrothele*) y articulados. Estos organismos fueron habitantes bentónicos y de hábitos suspensívoros.

Es en el Paleozoico temprano cuando comienzan a vivir la mayoría de los *phyla* que hoy en día existen. En el Cámbrico se da la “*explosión de la vida*”, sin embargo, a través del tiempo geológico hay episodios masivos de extinción como la gran extinción Pérmico-Triásico.

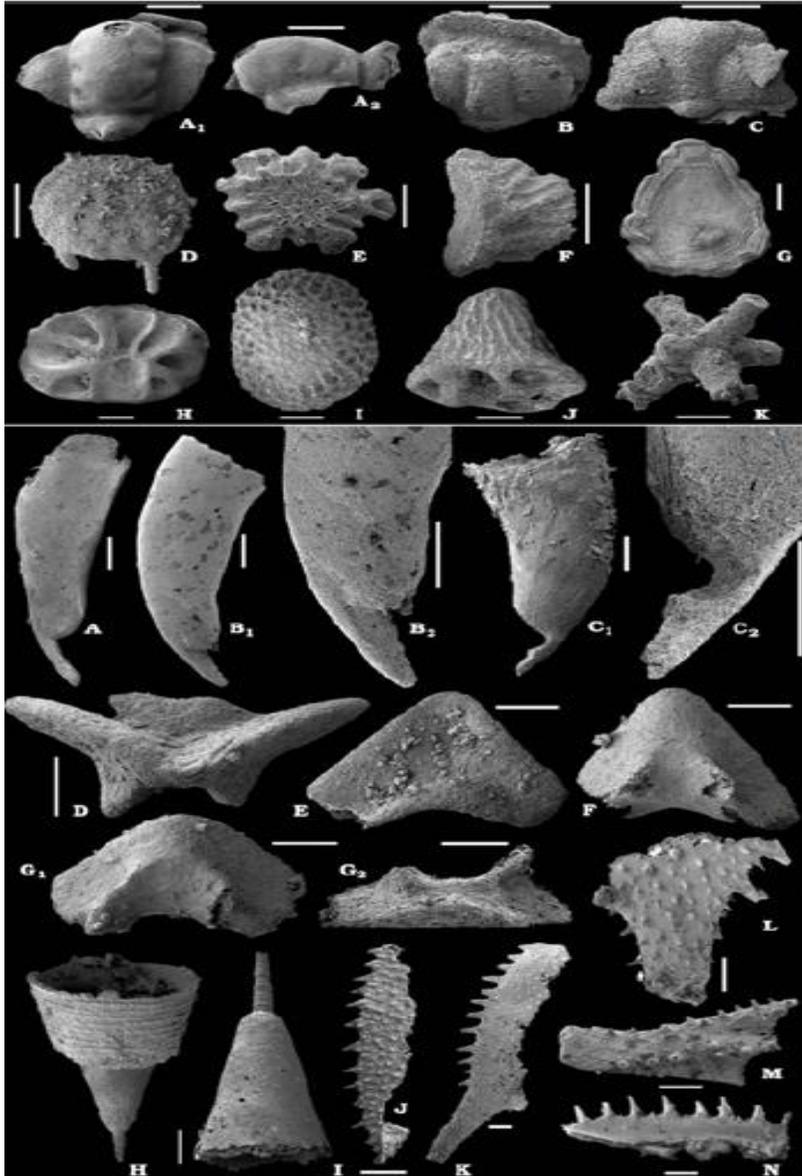


Figura 20. Se ilustran restos esqueléticos de metazoos que vivieron en los últimos tiempos del Ediacariense y durante el Cámbrico, que corresponden a microfósiles del Cámbrico inferior (en plena Explosión Cámbrica) de la Formación Forteau (Terranova, Canadá). Arriba: restos fósiles de trilobites (A-D); osículos de equinodermos (E-J) y una espícula de

esponja Hexactinélida (K). Todas las barras de escala son de 500 μm , excepto K (100 μm). Abajo, restos de identificación problemática: *Clavitella* (A-C), *Sphenopteron* (D-G), *Salterella* (H, I), y fragmentos de un trilobites espinoso (J-N). Barras de escala en D-G 500 μm . Otras, 200 μm (Modificado de Skovsted and Peel, 2007; López-Fanjul, 2009).

La vida en este periodo se desarrolló en su mayoría en el mar con organismos de cuerpo blando que a través del tiempo formaron conchas como protección de los depredadores (McAlester, 1973).

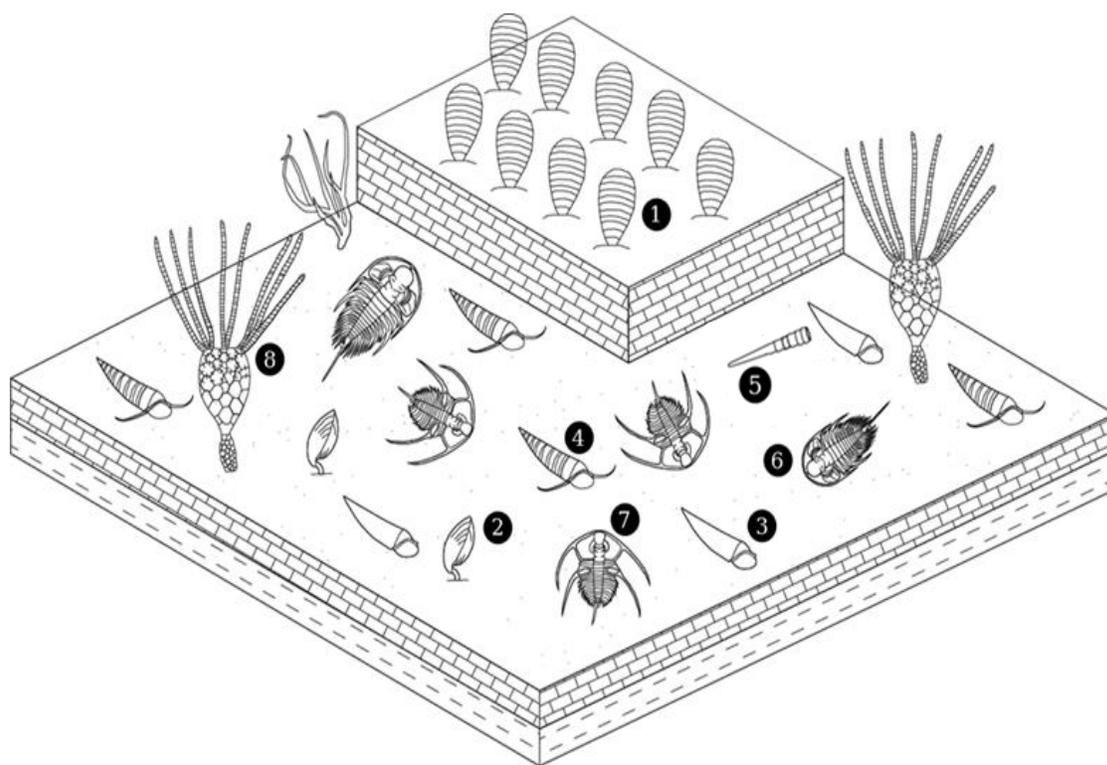


Figura 21: Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Buelna- 1. *Girvanella*, 2 *Obolela*, *Hyolithes sonora*, 4. *Haplophrentis reesei*. 5 *Salterella* sp. 6. *Olenellus* sp., *Bristolia* sp., 8. *Gogia granulosa* (Tomada de Cuen, 2019).

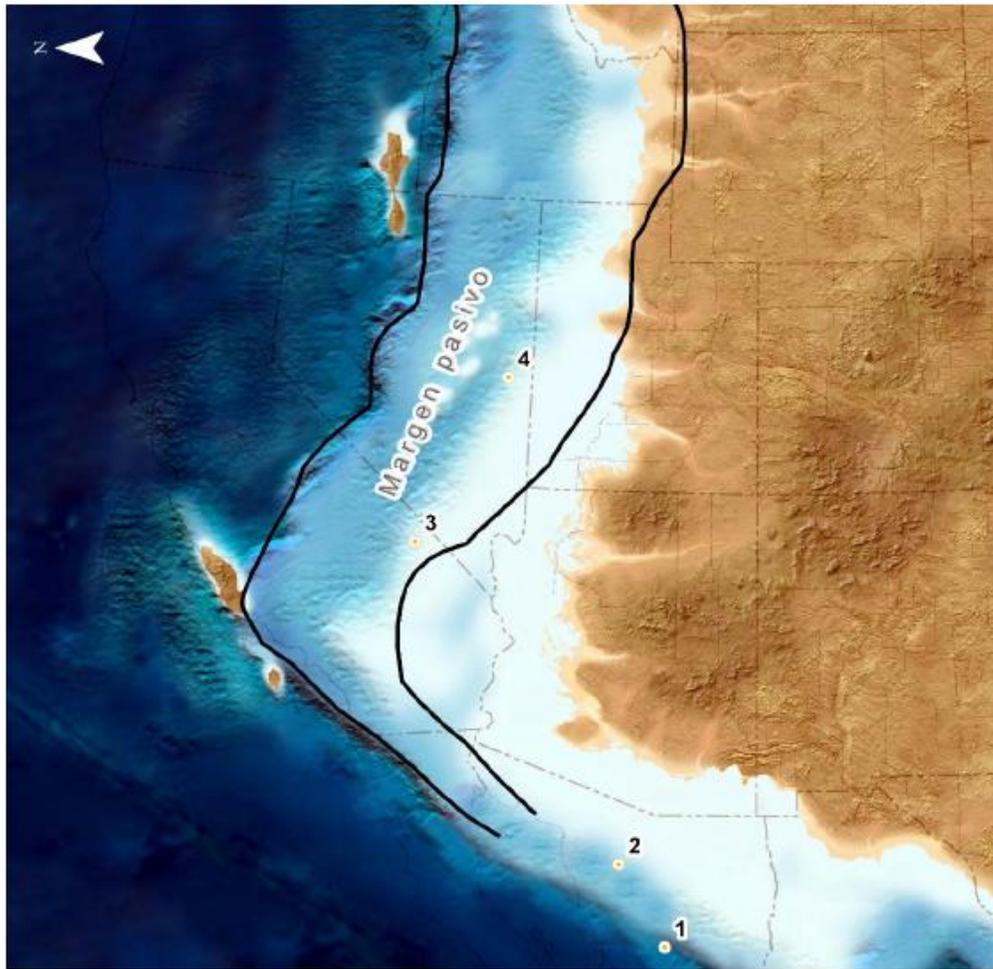


Figura 22. Mapa paleogeográfico de Norteamérica durante el Cámbrico, mostrando las localidades 1: San José de Gracia, 2: Caborca, 3: Death Valley, 4: Spence Shale. (Tomada de Cuen, 2013.)

CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

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

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

También se han registrado algas oncolíticas calcáreas ampliamente distribuidas en el Paleozoico de varias regiones del mundo China, Australia, Francia, Canadá y en Estados Unidos de Norteamérica en Nevada, California y Arizona (Johnson, 1952).

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, EUA.

Reconstrucciones paleogeográficas de América del Norte 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 (Figura 22).

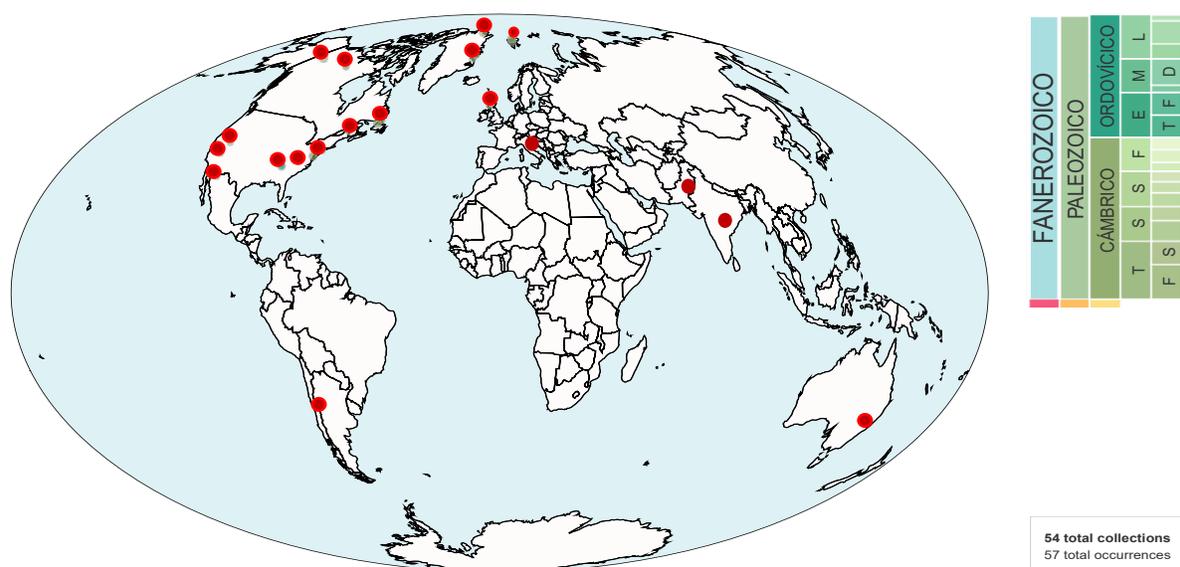


Figura. 23. Distribución paleogeográfica de *Salterella*. Datos obtenidos de <https://paleobiodb.org/navigator/>



Figura 24. Reconstrucción paleogeográfica donde se muestra la conexión entre Sonora, el Cratón Norteamericano y el dominio sudamericano a través de los Terrenos Coahuila, Maya, Oaxaquia y Mixteco. (Modificada de Gómez *et al.*, 2008).

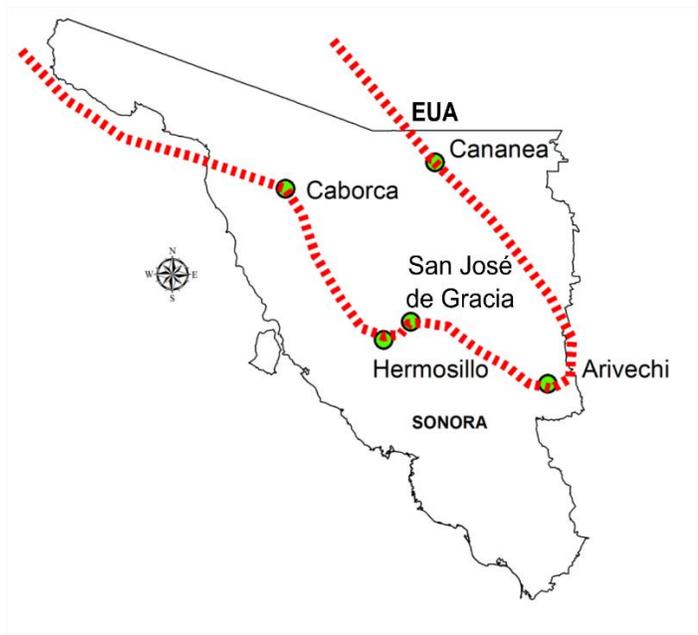


Figura 25. Cámbrico Inferior-Medio de Sonora, México (Modificado de Cuen, 2012).

CONCLUSIONES

Se da a conocer la presencia de especies del género *Salterella* Billings (Phylum Agmata Yochelson, 1977) entre ellas *Salterella conulata* Clark, 1924 y fragmentos de *Salterella* sp., para una nueva localidad en el estado de Sonora.

Los fósiles provienen de afloramientos de caliza de la Formación Buelna (Cámbrico inferior) en el cerro Chihuarruita, localizado en la región de San José de Gracia, Municipio de Ures del centro-este del estado de Sonora.

La asociación biótica, además de los salterélidos, está constituida por estromatolitos de algas y diversos phyla de invertebrados con valor estratigráfico, entre ellos, esponjas hexactinélidas, abundantes braquiópodos de los géneros *Dictyonina*, *Acrothele* y *Linnarsonia*; moluscos hiolítidos de las especies *Hyolithes sonora* Lochman y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison 1988. Entre los artrópodos son numerosas las especies de trilobites de los géneros *Bristolia*, *Bathyriscus*, *Kootenia*, *Orytocephalus*, *Orytocara*, *Elrathina*, *Pagetia*, *Ehmaniella* y *Peronopsis* y diversos icnofósiles: *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassionoides*, *Asterosoma*, *Asteriacites* y *Palaeophycus*.

La diversidad de la biota procedente de la región de San José de Gracia, denota hábitos bentónicos y sugiere un ambiente de depósito de plataforma carbonatada en mar tropical, somero, de agua bien oxigenada con abundantes nutrientes que prevaleció durante el mar del Cámbrico en la región de Ures, Sonora.

La distribución de los invertebrados estudiados en otras localidades del mundo confirmó la existencia de una amplia provincia marina que comprendió varias localidades en México como en Sonora (Caborca y Ures) y en los Estados Unidos de Norteamérica (Idaho, Utah y California), en América del Sur (Argentina), en Europa (Italia), en Asia (India y Pakistán) y en Australia (Tasmania) que formaban parte del Océano Pantalásico.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Biota distintiva del Cámbrico

Figura 2. Localidades del Cámbrico sedimentario de México.

Figura 3. Localización geográfica de la región de San José de Gracia, Estado de Sonora.

Figura 4. Mapa de carreteras para acceder a la localidad de San José de Gracia, Municipio de Ures.

Figura 5. Camino vecinal para acceder al cerro Chihuarruita, región de San José de Gracia.

Figura 6. Vista panorámica desde el sur del cerro Chihuarruita, región de San José de Gracia, Sonora.

Figura 7. Modelo Digital del cerro Chihuarruita, San José de Gracia, Sonora (Cuen 2012).

Figura 8. Afloramiento de la Formación Buelna en San José de Gracia, Sonora.

Figura 9. Provincias fisiográficas del estado de Sonora (Información digital de CONABIO, 1990, tomado de Raisz, 1964).

Figura 10. Selección y preparación de las muestras recolectadas en campo. Las muestras de roca miden aproximadamente entre 1 a 4 cm de longitud.

Figura 11. Mapa geológico del cerro El Chihuarruita, región de San José de Gracia, Sonora (Tomado de Cuen, 2013).

Figura 12. Sección estratigráfica de la región de San José de Gracia, Sonora. (Modificada de Cuen, 2013).

Figura 13. Columna estratigráfica del Cerro Chihuarruita (Modificada de Cuen, 2017).

Figura. 14. Microfotografía (X7). Caliza fosilífera, presenta cemento de esparita, con cortes de *Salterella* sp., *Hyolithes* sp., según la clasificación de Dunham, 1962, corresponde a grainstone, Folk, 1962, bioesparita (Tomado de Cuen, 2012)

Figura 15. Diagrama de *Salterella*

Figura 16. Microfotografía (X7) Ejemplar USONDG-147.

Figura 17. Microfotografía (X7) Ejemplar USONDG-148.

Figura 18. Microfotografía (X7) Ejemplar USONDG-149.

Figura 19. Ejemplar USONDG-150.

Figura 20. Se ilustran restos esqueléticos de metazoos que vivieron en los últimos tiempos del Ediacariense y durante el Cámbrico, que corresponden a microfósiles del Cámbrico Inferior (en plena Explosión Cámbrica) de la Formación Forteau (Terranova, Canadá).

Figura 21: Reconstrucción paleoecológica de la comunidad de la Formación Buelna.

Figura 22. Mapa paleogeográfico de Norteamérica durante el Cámbrico, mostrando las localidades 1: San José de Gracia, 2: Caborca, 3: Death Valley, 4: Spence Shale. (Tomada de Cuen, 2013.)

Figura. 23. Distribución paleogeográfica de *Salterella*.

Figura 24. Reconstrucción paleogeográfica donde se muestra la conexión entre Sonora, el Cratón Norteamericano y el dominio sudamericano a través de los Terrenos Coahuila, Maya, Oaxaquia y Mixteco. (Modificada de Gómez *et al.*, 2008).

Figura 25. Cámbrico Inferior-Medio de Sonora, México (Modificado de Cuen, 2012).

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Almazán V. E., 1989.** El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centro-oriental del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista, vol. 08, no. 01, p. 58-67.
- Almazán V.E., 2002.** El Cámbrico Temprano y medio de San José de Gracia, Sonora central, México. Unión Geofísica Mexicana vol. 22-2, p.333
- Almazán V. E., Buitrón-Sánchez, B.E. y Franco-Vega, O., 2006.** Formación Pozo Nuevo: una secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 23, p. 23-38.
- Alonso Diego, M.A. y Benito Sesé, C., 1988.** Historia de la Tierra y de la vida. Editorial: CSIC, Librería Antonio Azorín (San Lorenzo de El Escorial, M, España). ISBN 10: 8400069218, 230 p.
- Álvarez, M., 1949.** Notas sobre el Paleozoico mexicano. Boletín de la Sociedad de Geólogos Petroleros, vol. 1, no. 1, p. 47-56.
- Astini, R. A., William A., Yochelson, E. L., 2004.** *Salterella* in the Argentine Precordillera: An Early Cambrian paleobiogeographic indicator of Laurentian affinity. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. 213 (1–2) p. 125–132. Doi: 10.1016/j.palaeo.2004.07.008.
- Babcock, L. E., Robison, R. A., 1988.** Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and Hyolithids (Mollusca) from western North America: University of Kansas Paleontological Contributions, 121, 1-22.
- Baldis B.A.J., Bordonaro O.L., 1981.** Vinculación entre el Cámbrico del noroeste de México y la Precordillera Argentina. Porto Alegre, Brasil, II Congreso Latinoamericano de Paleontología, Anales. vol.1, p 1-10.
- Billings, E. 1861.** On some new or little-known species of Lower Silurian fossils from the Potsdam group (Primordial zone); *In*: Hitchcock, and others, Eds. Report on the geology of Vermont; descriptive, theoretical, economical, and scenographical. 2, 942-955. (*This*

material is repeated with some changes in Palaeozoic Fossils. 1. Geological Survey of Canada 1865; the descriptions of Salterella which appear on p. 17-18 are unchanged from p. 954 and 955 of 1861. Walcott (1886) repeated Billings' original descriptions).

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.

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

Buitrón, B.E., 1989. El Paleozoico Inferior de México. Instituto Superior de correlación Geológica, Serie No. 5, UNESCO IUGS, Internacional Geological Correlation Program, Proyecto 270, Universidad Nacional de Tucumán Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Argentina, p. 131-136, ISSN 116710,

Buitrón, B. E., 1992. Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico Inferior de México y su contenido biótico. J.G. Gutiérrez Marco, J. Saavedra & I. Rábano (Eds.) *Paleozoico Inferior de Ibero-América*, Universidad de Extremadura: 193-201.

Buitrón, B. E., Almazán, V. E., Ochoa, G. A. y Vachard D., 2003a. Chaetetes, corales tabulados del Pensilvánico de Sonora. *Semana Cultural de Geología XXVIII Aniversario Resúmenes*, p. 15.

Buitrón, B. E., Almazán, V. E., Vachard D. y Mendoza M. C., 2003b. Crinoides del Pérmico Temprano del Cerro Los Monos, Caborca, Sonora. *Semana Cultural de Geología XXVIII Aniversario Resúmenes*, p. 15-16.

Buitrón. B. E., Almazán, V. E., Mendoza, M. C., 2004. *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México (resumen), *Unión Geofísica Mexicana*, 24, 2, 251

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*, 175 p.

Clark, T. H. 1924. The paleontology of the Beekmantown series at Levis, Quebec. *Bulls. Amer. Paleont.* 10(41), 135 p.

Cooper, G. A., Arellano A., 1946. Stratigraphy near Caborca, northwestern México, Sonora. Vol. 30, No 4, p 606-610.

Cooper, G. A., Arellano A., Johnson J., Okulitch J., Stoyanow A. Lochman C., 1952. Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, *Smithsonian Miscellaneous Collections*, vol. 119, No 1, p 1-178.

Cooper, G.A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, J., Stoyanow, A. y Lochman, C. (1954) Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 259 p.

Cuen R.F.J., Almazán V.E., Montijo G.A., Minjarez 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., 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, p 65.

Cuen R.F.J., Almazán V.E., Montijo G.A., Minjarez 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, 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., Minjares 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, no. 65, p. 581-590.

Cuen R.F.J., 2019. Paleoeology of Cambrian communities of central Sonora, México: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations. p. 642.

Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1990. Provincias Fisiográficas de México. Carta 1:4 000 000.

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

Dunham, R. J., 1962. Classification of Carbonate Rocks according to Depositional Texture. In: W. E. Ham, Ed., and Classification of Carbonates Rocks. A Symposium, Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologist Memoirs 1, 108-121.

Esparza-Ramírez, M. C., 2016. La biota del Cámbrico Temprano -Medio de la región de San José de Gracia, centro-oriente de Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería, Tesis de licenciatura, 51 p.

Folk, R. L., 1962. Spectral Subdivision of Limestones Types, In: W. E. Ham, Ed., Classification of Carbonates Rocks. A Symposium, Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologist Memoirs, 62-84.

Fritz, W. H., 1972. Lower Cambrian trilobites from the Sekwi Formation type section, Mackenzie Mountains, Northwestern Canada. *Geol. Survey Canada, Bull.* 212, 58 p.

Gould, S. J., 1989 A Developmental Constraint in *Cerion*, with Comments on the Definition and Interpretation of Constraint in Evolution. *Evolution*, Volume 43, Issue 3, (abstract).

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.

Huerta-Ruiz, A., 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyalolithida, Syssoiv, 1957) de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, paleoecológicas y paleogeográficas.

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis de Licenciatura, 53 p.

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

Johnson, H., 1952, Girvanella, en Cooper G.A., Arellano A., Johnson J., Okulitch J., Stoyanow A. (eds.), Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México: Smithsonian Miscellaneous Collections, 119, 24–26.

King, R. E., 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico, Geological Society of America, Bulletin, 50, 1625-1722.

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.

Kobayashi, T, 1937. On *Salterella canutata* [sic] and its allies: Japanese Journal of Geology and Geography, 14, 3-4, 173-183.

Liñán, E. y Gámez-Vintaned, J., 1999. La radiación Cámbrica: ¿Explosión de biodiversidad o de fosilización? Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 26, p. 133-143.

Lochman, C., 1952. Trilobites. *In:* Cooper, G. A., Arellano A., Johnson J., Okulitch J., Stoyanow A., Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, vol. 119, 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-Fanjul, C., 2009. Darwinismo, a los 150 años de la publicación de “El Origen de las Especies”, El Colegio Libre de Eméritos, SESBE, España, p. 12-35

Maytorena-Silva, J. F., Esparza-Yáñez, F. A., 1990. The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications. Geological Society of America. Abstract with Programs, 22, 3, 65 p.

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.

Murchison, R., 1859. Siluria : A History of the Oldest Fossiliferous Rocks and their Foundations; with a Brief Sketch of the Distribution of Gold Over the Earth.

Miller, S.A. 1889. North American geology and paleontology for the use of amateurs, students, and scientists. Western Methodist Book Concern, Cincinnati, Ohio. 663 p

Nardin, E., Almazán-Vázquez, E. y Buitrón-Sánchez, B. E., 2009. First report of *Gogia* (Eocrinoidea, Echinodermata) from the early-middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeological comments. Geobios 42: 233-242.

Palmer, A.R. 1979. Cambrian. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part A., Introduction, Geological Society of America and University of Kansas Press. 927 p

Peel, John S., 2016. Anatase and *Hadimopanella* selection by *Salterella* from the Kap Troedsson formation (Cambrian Series 2) of North Greenland. GFF. 139 (1), p. 70-74. Dceoi:10.1080/11035897.2016.1227365.

Peiffer, R.F., Echevarri-Perez, A., Salas, G.A. y Rangin, C. 1980. Sur la présence de l'Ordovicien supérieur á graptolites dans le nord-ouest du Mexique. C.R. Acad. Sciences, Paris, 290, p. 13-16.

Pérez-Ramos, O., 1992. Permian biostratigraphy and correlation between southeast Arizona and Sonora: Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, 9, 2, 1-74.

Pérez-Ramos, O., 2001. Bioestratigrafía del Pérmico en Sonora y consideraciones paleobiogeográficas: México, D. F, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, tesis doctoral, 173 p

Pérez-Ramos, O., 2002. Permian fusulinids from Cobachi, central Sonora, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 19, 1, 25-37.

Poulsen, C., 1927. The Cambrian, Ozarkian and Canadian Faunas of Northwest Greenland, Meddelelser om Grønland, 70, 233–343.

Poulsen, C., 1932. The Lower Cambrian faunas of East Greenland. Meddelelser om Grønland, 87, 66 pp.

Raisz, E., 1964., Landforms of Mexico, Melrose, Ma., United States. Office of Naval Research. Geography Branch.

Reinhardt, J., and E. Wall. 1975. Tomstown Dolomite (Lower Cambrian), central Appalachian Mountains, and the habitat of *Salterella conulata*. Geological Society of America, Bulletin 86: 1377-1380.

Resser, C.E. y Howell, B.F. 1938 Lower Cambrian *Ollenellus* zone of Appalachians. Geol. Coc. Amer. Bull. 49: 195-248.

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.

Robison, R.A. 1965. Middle Cambrian *Eocrinoids* from Western North America. *Journal of Paleontology*, V. 39 (3), p. 355-364

Shaler, N.S. y Foerste, A.F. 1888. Preliminary description of North Attleboro fossils. *in* On the geology of the Cambrian district of Bristol Country Massachusetts (ed. N.S. Shaler), p. 27-41

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.

Spath, L. F. 1936. "So-called *Salterella* from the Cambrian of Australia". *Geological Magazine*, 73, 10, 433–440.

Skovsted, C.B. and Peel, J.S. (2007): *Small shelly fossils from the agrillaceous facies of the Lower Cambrian Forteau Formation of western Newfoundland.* *Acta Palaeontológica Polonica*, 52: 729-748.

Stewart, J., McMenemy, A. y Morales, R.J., 1984. Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico – Physical Stratigraphy, Biostratigraphic, Paleocurrent studies, and regional relations, United States of America, Geological Survey Professional Paper 1309, p. 1-36.

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.

Skovsted, C. B., 2003. Unusually preserved *Salterella* from the Lower Cambrian Forteau Formation of Newfoundland. GFF. 125 núm. 1 p. 17–22. doi: 10.1080/11035890301251017

Adolfo Olea-Franco² y Silvia Singer-Sochet. **Completar datos o suprimir aquí y en el texto**

Walcott, C. D., 1886. Second contribution to the studies on the Cambrian faunas of North America. Geological Survey Bulletin, 30, 369 p.

Walcott, C. D., 1920. Cambrian trilobites. Smithsonian Miscellaneous Collection, 64, 303-456.

Weber, R., Ceballos-Ferriz, S., López-Cortés, A., 1979. Los Estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca, Estado de Sonora, reconstrucción de *Jacutophyton* Shapovalova e interpretación paleoecológica preliminar. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 3, núm. 1, p. 9-23.

Weil, A., B., Van der Voo, R., Mac Niocaill, C., Mert, J. G., 1998. The Proterozoic Supercontinent Rhodinia. Paleomagnetically derived reconstructions for 1100 to 800 Ma. Elsevier, Earth and Planetary Science Letters, 154, 13-24.

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

Yochelson, E. L. 1970. The Early Cambrian Fossil *Salterella conulata* Clark in Eastern North America. United States Geological Survey Professional Paper. 683-B, p. 1–10.

Yochelson, E. L., 1977. Agmata, a Proposed Extinct Phylum of Early Cambrian Age, Journal of Paleontology, 51, 3, 437-454

Yochelson, Ellis L. 1981. "A Survey of *Salterella* (Phylum Agmata)". In Taylor, Michael E. (ed.). Short papers for the Second International Symposium on the Cambrian System, 1981 (PDF) (Report). United States Geological Survey. p. 244–248. doi:10.3133/ofr81743.

Yochelson, E.L. 1983. "*Salterella* (Early Cambrian: Agmata) from the Scottish Highlands" (PDF). *Paleontology*. 26, p. 253–260.

Yochelson, E. L.; Kisselev, Gennadii N., 2003. "Early Cambrian *Salterella* and *Volborthella* (Phylum Agmata) re-evaluated". *Lethaia*. 36 (1) p. 8–20. Doi: 10.1080/00241160310001254.

Yochelson, E. L., Pierce, J. W., Taylor, M. E., 1970. *Salterella* from the Lower Cambrian of Central Nevada. United States Geological Survey professional paper 643-H, 1–7.

Yochelson, E. L., Taylor, M. E., Coos, E., 1968. The Lower Cambrian genus *Salterella* at Thomasville, Pennsylvania, Geological Society of America, Northeastern Section., 3d Annual Meeting., Washington, B.C., 1968, Program, p. 64.

FUENTES CONSULTADAS

<https://paleobiodb.org/navigator/>

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/rfisio4mgw>