

Universidad de Sonora
División de Ciencias Exactas y
Naturales
Departamento de Geología

Bioestratigrafía del Cámbrico del
Cerro El Sahuaral, Sonora, México:
Paleoecología y Paleogeografía.

Tesis Profesional
Que para obtener el título de:
Maestro en Ciencias – Geología



Presenta:

Glenda Hadalid Danzos Acuña

Hermosillo, Sonora, Febrero del
2018

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Con todo el amor a mis padres: Luis Danzos Villaescusa y Luz Marina Acuña Acedo, con infinito agradecimiento por su entrega y por darme todo en la vida. A mis hermanas por ser mi apoyo incondicional.

Agradecimientos

A la Universidad de Sonora y sobre todo al Departamento de Geología por permitirme participar en el programa de Maestría en Ciencias – Geología, así como también al CONACYT por otorgarme la beca, durante el periodo de tiempo de agosto 2015 a agosto 2017.

Al Dr. Jesús Roberto Vidal por todos sus consejos, recomendaciones y proporcionar las facilidades para la finalización de este trabajo.

La presente tesis se encuentra enmarcada dentro de los proyectos: 1) CONACYT No. 235970: *La Revolución del Cámbrico y la Gran Radiación del Ordovícico en el Norte de México y Oaxaca*; bajo la responsabilidad del Dr. Juan José Palafox Reyes del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora; 2) UNISON No. USO315003412: *Bioestratigrafía y Paleoecología de los depósitos del Paleozoico de Sonora central, México*; Bajo la responsabilidad de la M.C. Alejandra Montijo y corresponsable Dr. Francisco Javier Cuen Romero.

Agradezco a mi querida maestra y amiga M.C. Alejandra Montijo González, gracias por cuidarnos y ayudarnos por igual. Gracias por ayudarme a que esto fuera posible.

Agradezco al Dr. Francisco Javier Cuen Romero por su paciencia y consideración. Agradezco su disponibilidad para ayudarme con la Sistemática de trilobites.

Al M.C. Ismael Minjarez Sosa por sus buenos consejos y siempre apoyarme a realizar mis metas.

Al Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega gracias por transmitirme sus conocimientos, por todos sus consejos y por sus palabras siempre alentadoras, apoyándome desde el inicio de mi formación.

A la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez por su gran apoyo y conocimiento paleontológico, gracias por siempre estar disponible para mí.

A mi gran amiga Angélica Bourjac por siempre estar a mi lado, aconsejarme y compartir tantos momentos conmigo.

Gracias a los compañeros Héctor Moreno, Héctor Noriega, Oralia E. Valenzuela Corrales por su apoyo en la redacción de este documento.

Índice

1. Introducción	11
2. Generalidades.....	13
2.1.Objetivos	13
2.1.1.Objetivos específicos	13
2.2.Antecedentes y trabajos previos.....	14
2.3.Fisiografía	19
2.4.Hidrografía	20
2.5.Clima	22
2.6.Edafología	23
2.7.Vegetación	24
2.8.Fauna	25
2.9.Localización y vías de acceso	26
3. Metodología.....	27
4. Marco geológico regional	29
5. Estratigrafía del área El Sahuaral	33
5.1.Formación Proveedora.....	33
5.2.Formación Buelna	36
5.3.Formación Cerro Prieto.....	40
6. Bioestratigrafía del Cámbrico del área El Sahuaral	49
6.1.Formación Proveedora.....	49

6.2. Formación Buelna	49
6.3. Formación Cerro Prieto.....	49
6.4. Formación El Gavilán.....	49
7. Paleontología sistemática	52
8. Paleogeografía.....	63
9. Resultados y conclusiones.....	65
10. Bibliografía.....	66

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de Provincias Fisiográfica, CONABIO (1990).....	20
Figura 2. Mapa Hidrográfico del Estado de Sonora.	22
Figura 3. Mapa del clima del área de estudio (García, 1998).	23
Figura 4. Mapa de tipos de Suelos de área de estudio. Modificado de INIFAP- CONABIO, 1995.	24
Figura 5. Mapa de Uso de Suelos y Vegetación para Sonora.....	25
Figura 6. Localización del cerro El Sahuaral.....	26
Figura 7. Mapa Geológico –Regional del área de Estudio.....	32
Figura 8. Fotografía panorámica del Cerro el Sahuaral. En la cima se observa a la Formación Proveedora, en forma de filón.	34
Figura 9. Cuarzoarenita. Imagen A con luz natural, se observa una colocación de blanco rosado y óxidos de fierro. Imagen B con nicoles cruzados, clasto de tamaño menores a 2 mm, de forma subangulosa a subredondeada, bien clasificados, contacto entre los clastos predomina el longitudinal, cemento sintaxial y pelicular de óxidos de fierro. Está compuesta del 95% de cuarzo monocristalino, se pueden observar ligeras inclusiones de epidota en los granos de cuarzo.....	34

Figura 10. Esquema de Icnofacies de Pemberton <i>et al.</i> , 1992. La icnofacies <i>Skolithos</i> se encuentra en la zona de litoral en condiciones de energía moderada a alta.....	35
Figura 11. Imágenes A y B de <i>Skolithos</i> en areniscas de la Formación Proveedora.	36
Figura 12. Afloramiento de caliza con oncolitos muy oxidados.....	38
Figura 13. Afloramiento de capas de caliza oncolíticas de la Formación Buelna de color naranja oxidado, de tamaño de mayor a 2 cm.	38
Figura 14. Base de la Formación Buelna, capas de calizas fosilíferas	39
Figura 15. Cortes de trilobites en una matriz micrítica, vetillas de calcita y detritos de cuarzo.....	39
Figura 16. Oolitas en muestra de mano, con tamaño menores a 1 mm.	41
Figura 17. Imagen A. luz Natural y B. nicoles cruzados, Se observa oolitas normales y superficiales en un cemento fibroso de aragonita.....	42
Figura 18. Afloramiento de la Formación El Gavilán, intercalaciones de lutita y caliza.	44
Figura 19. A y B <i>Elrathina antiqua</i> , C. <i>Quadragnostus</i> y <i>Elrathina antiqua</i> . E y F <i>Chancelloria eros</i> en asociación con brachiopoda sp. indet.	45
Figura 20. Correlación de Afloramientos Cámbricos.....	46
Figura 21. Mapa geológico del cerro el Sahuaral.....	47
Figura 22. <i>Columna estratigráfica del are a del cerro El Sahuaral.</i>	48
Figura 23. Tabla de biozonas.....	51
Figura 24. <i>Quadragnostus depressa</i>	54
Figura 25. <i>Quadragnostus depressa</i>	54
Figura 26. <i>Pagetia</i> sp.	56
Figura 27. <i>Oryctocephalus</i> sp.	58
Figura 28. <i>Tonkinella valida</i>	59

Figura 29. <i>Tonkinella valida</i>	60
Figura 30. ? <i>Elrathina</i> sp.	62
Figura 31. ? <i>Elrathina</i> sp.	62
Figura 32. Mapa paleogeográficas del cámbrico. Tomada de http://iuca.unizar.es/es/grupo-de-investigacion/patrimonio-y-museo- paleontologico	63
Figura 33. Reconstrucción hábitat en el Cámbrico. Tomada de del http://iuca.unizar.es/sites/default/files/grupos/Cambrico%20Inferior%20Murero.jp g	64

Resumen

El presente trabajo comprende el estudio bioestratigráfico con base en trilobites del cerro El Sahuaral, Sonora, México. En dicha área afloran las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán, conteniendo esta última una abundante biota fósil constituida principalmente por trilobites, objeto de estudio del presente trabajo de tesis. También incluye la cartografía geológica del área, así como la correlación litoestratigráfica de las secuencias de las secciones medidas para tal efecto.

La Formación Proveedora está constituida fundamentalmente por cuarzoarenita de grano fino a grueso con la presencia de icnofósiles, destacando la presencia de *Skolithos* isp. La Formación Buelna consiste principalmente de caliza con intercalaciones de lutita, con la presencia de hiolítidos y algas oncolíticas. La Formación Cerro Prieto es una caliza fuertemente recristalizada la cual no proporcionó fósiles, y finalmente la Formación El Gavilán consiste en una potente secuencia de lutita intercalada con caliza, con una abundante fauna fósil. Los trilobites *Quadragnostus depressa* (Westergård, 1946) Naimark, 2012, *Pagetia* sp., *Oryctocephalus* sp., *Tonkinella valida* Tchernysheva, 1962 y *?Elrathina* sp. son representativos de la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella* (Sundberg, 1994). Asociados a los trilobites se presentan braquiópodos linguliformes y escleritos de *Chancelloria eros* Walcott, 1920.

Los afloramientos del Cámbrico de Sonora corresponden a depósitos ocurridos en la parte occidental del cratón norteamericano durante el Cámbrico temprano y medio; durante este período Laurentia constituyó masas terrestres cercanas al ecuador alineadas en dirección este-oeste. Las condiciones anteriores propiciaron una abundante fauna de invertebrados marinos.

I. Introducción

La distribución geográfica de las rocas sedimentarias del Cámbrico en México es limitada, localizándose la mayoría en los estados de Sonora y Chihuahua, en afloramientos aislados y esporádicos (Buitrón, 1992; Cuen, 2012). El registro estratigráfico del Cámbrico en Sonora se caracteriza por el depósito de rocas sedimentarias consideradas de ambiente marino somero, y distribuidas en diferentes afloramientos en la parte norte, centro y este del estado. De manera relativa, estos afloramientos poseen una biota fósil en buen estado de conservación, dentro de la cual los invertebrados han despertado el creciente interés de diversos investigadores desde el siglo pasado (Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952; 1956).

Se ha estimado que el 60% de los fósiles del Cámbrico corresponden a trilobites y el 30% a braquiópodos; el 10% restante los constituyen grupos como poríferos, moluscos, artrópodos primitivos, equinodermos y otros de afinidad incierta (McAlester, 1973; Cuen & Radelli, 2007). La columna bioestratigráfica del Cámbrico se encuentra basada principalmente en rangos de trilobites, debido a su abundancia y amplia distribución geográfica; en efecto, constituyen las faunas marinas predominantes durante el Paleozoico temprano, siendo de gran utilidad en estudios bioestratigráficos, paleoecológicos y paleogeográficos, además de proporcionar información relevante en estudios de correlación a nivel global.

Con una historia evolutiva de aproximadamente 300 Ma y particularmente durante el Cámbrico-Ordovícico, los trilobites exhibieron una gran diversidad morfológica sin cambiar su plan de organización corporal (Enay, 1993). La morfología funcional y clasificación de los trilobites ha sido discutida por Kaesler

(1997), sin embargo, la sistemática de estos plantea aun ciertos problemas, debido al desconocimiento anatómico de sus partes blandas y desarrollo ontogénico, así como los frecuentes casos de convergencia morfológica y especiación.

Los trilobites del Cámbrico de Sonora han sido objeto de numerosos estudios paleontológicos y sistemáticos, destacando los del área de Caborca donde se conocen 46 especies (Lochman *in Cooper et al.*, 1952); Cananea donde se ha documentado la presencia de 6 especies (González-León, 1986) y Arivechi con 20 especies (Almazán-Vázquez, 1989).

El cerro El Sahuaral ha sido estudiado por Stewart & Poole (2002) quienes mencionan la presencia de los trilobites *Peronopsis* sp., *Bathyriscus* sp. y *Oryctocephalus* sp., asignando éstas rocas al Cámbrico medio. También destaca el trabajo de Ochoa (2014) quién realiza un estudio estratigráfico en el área, identificando la presencia de las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos.

El presente trabajo constituye el primer estudio bioestratigráfico en el área del cerro El Sahuaral, identificando la presencia de las especies *Quadragnostus depressa*, *Pagetia* sp., *Oryctocephalus* sp., *Tonkinella valida* y ?*Elrathina* sp. así como de *Chancelloria eros*, asignadas al Cámbrico medio (Serie 3, Piso 5), Subzona de *Altiocculus* parte superior de la Zona de *Ehmaniella* (~505 Ma), debido a la presencia de *T. valida*. La fauna del Cerro El Sahuaral presenta afinidad intraespecífica con las reportadas para Norteamérica (Nevada, California y Utah) y Europa (Rusia), así como México (Sonora).

2. Generalidades

2.1. Objetivos

Realizar la bioestratigrafía detallada (con base en trilobites) del cerro el Sahuaral y sus alrededores.

2.1.1. Objetivos específicos

- Describir las relaciones estratigráficas existentes entre las rocas cámbricas de Caborca, Arivechi, San José de Gracia, Mazatán y el cerro El Sahuaral Sonora.
- Realizar un análisis bioestratigráfico, así como la implementación de las nuevas biozonas propuestas para el Cámbrico ([Webster, 2011](#)), en los afloramientos del Sahuaral, de esta manera ajustarse a los cambios en la escala de tiempo geológico para ese período.
- Proponer las características paleogeográficas de los depósitos del Sahuaral durante el Cámbrico en relación a Laurentia.

2.2. Antecedentes y trabajos previos

Las secuencias del Paleozoico inferior en México han sido objeto de estudio desde mediados de siglo pasado, sin embargo, el Sistema Cámbrico contiene escasa referencia dentro de la literatura geológica debido a sus afloramientos que se presentan de forma aislada y esporádica, localizados principalmente en la parte norte y sur del país, en los estados de Sonora y Chihuahua.

En Sonora, los afloramientos del Cámbrico se distribuyen en la porción noroeste del estado. El contenido biótico y litología ofrecen información de la paleogeografía, siendo generalmente secuencias depositadas en la parte occidental del cratón norteamericano durante el Cámbrico temprano y medio. Las rocas cámbricas de Sonora fueron bien identificadas desde 1941, en los municipios de Altar, Magdalena y Arizpe, asignadas entonces a las formaciones Caborca, Arrojos y Cananea, por los geólogos Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal, siendo a su vez las rocas descubridoras del Cámbrico en México (Lochman, 1948; Álvarez, 1949; Cooper *et al.*, 1956; McMenamin, 1987).

Los geólogos G. Arthur Cooper y Alberto R. Arellano (1946) realizaron la colección de fósiles de *Olenellus* sp., y *Girvanella* sp., provenientes de la cima de Cerro Prieto al sur de Caborca (Álvarez, 1949). Fue así como inició el interés por las secuencias del Paleozoico inferior en Sonora, como lo demuestran las primeras publicaciones realizadas por Cooper & Arellano (1946), quienes realizan los primeros estudios formales del área de Caborca, y describieron la estratigrafía de unidades de gran importancia bioestratigráfica.

Lochman (1948) realizó investigaciones donde identificó y describió siete géneros y siete especies nuevas del Cámbrico temprano y medio del área de Caborca, identificadas como *Sombrerella mexicana*, *Mexicaspis stenopyge*, *Mexicella mexicana*, *Provedoria starquistae*, *Arellanella caborcana*, *Caborcella arrojensis* y *Kistocare corbini*. Actualmente, *M. mexicana* representa la fauna del Cámbrico medio en Norteamérica (McCollum & Sundberg, 2007; Webster, 2011).

Cooper *et al.* (1952) en un estudio detallado de la estratigrafía de las rocas cámbricas de Caborca, establece las unidades para el Cámbrico inferior en el área de Caborca, denominándolas como Formación Puerto Blanco, Proveedora, y Cerro Prieto, ésta última no proporciona fósiles y una edad certera; para el Cámbrico medio considera la Formación Arrojos y El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956).

González-León (1986) describe una sucesión de rocas sedimentarias en el área de la sierra del Tule, municipio de Cananea, Sonora, que consta por lo general de arenisca, caliza y capas de lodolita, limolita y arenisca de grano fino, y que pertenecen a una edad del Cámbrico medio y superior (Dresbachiano). El paquete de rocas es dividido en cuatro miembros. En la base (miembro uno) corresponde a una arenisca sin presencia de fósiles; miembro dos es una secuencia mayoritariamente de lodolita calcárea y arenisca, seguido de caliza con evidencia de algas oncolíticas (*Girvanella*), caliza con lentes y capas de lodolitas, limolitas y areniscas, debido a la presencia de *Arapahoia* sp., representante de la biozona de *Cedaria*, la edad de las rocas es marjumiana. El miembro cuatro es caliza con intercalaciones y lentes de limolitas con restos de trilobites.

Las aportaciones de Rivera-Carranco (1988a; 1988b) en el área de Caborca, proporcionan un conocimiento más amplio y claro sobre las condiciones paleoambientales de depósito de las rocas cámbricas existentes; la mayor parte de

estas rocas representan medios de aguas someras y tranquilas, en ocasiones de carácter lagunar, y existen depósitos de intermarea y submarea.

La secuencia sedimentaria del Cámbrico medio y superior en el área de Arivechi, este de Sonora, está compuesta de lutita, arenisca, caliza oolítica y caliza oncolítica, donde también es posible reconocer fauna como trilobites, braquiópodos, moluscos, esponjas, distribuida entre las formaciones (de la base a la cima) La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpilllas (Almazán-Vázquez, 1989).

Stewart *et al.* (1984) realizaron un estudio estratigráfico de las rocas sedimentarias del Proterozoico superior y Cámbrico en el área de Caborca, identificando catorce formaciones, y considerando que tales rocas fueron depósitos de plataforma continental que forman parte del antiguamente denominado *Miogeoclinal Cordillerano* en el noroeste de México. En este mismo estudio realizan una reevaluación de la fauna fósil identificada por autores anteriores (Stewart *op cit.*).

Cirett & Aguilar (1989) describen las características geológicas e hidrogeoquímicas en el valle de Ures, enfocándose en las características hidrológicas del acuífero, sin embargo, son los descubridores del Cámbrico en el área de San José de Gracia. Los autores describen la estratigrafía de las rocas del Cámbrico en el área de San José de Gracia, identificando las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto, establecidas en el área de Caborca. Tales formaciones fueron incluidas en el grupo San José (informal).

Vega (1996) reporta una sucesión sedimentaria perteneciente al Cámbrico medio, cerca del rancho Sobechi, en el cerro La Poza, en Mazatán. La sucesión de rocas consta de cuarcitas de color blanco-rosado que son correlacionadas con la Formación Proveedora y de limolitas silíceas fosilíferas (Vega, 1996). La fauna

representativa consta de los trilobites *Tonkinella valida* Tchernyseva, *Peronopsis depresa* (Wesgard), *Syspachephalus* sp. y ?*Tomagnostus* sp. los cuales son asignados a la parte inferior de la Zona de *Ehmaniella*.

[Maytorena–Silva et al. \(1990\)](#) son los primeros en estudiar formalmente las rocas cámbricas de San José de Gracia, asimismo, mencionan la presencia de rocas cámbricas en la parte central del estado de Sonora, enfocando el estudio en las implicaciones tectónicas.

[Stewart et al. \(2002\)](#) se enfocaron en estudiar la estratigrafía de las secuencias neoproterozoicas y cámbricas, dividiéndola en cuatro principales asociaciones: 1) La secuencia neoproterozoica que forman parte de los grupos Las Víboras y El Águila, ubicada al noroeste de Hermosillo y siendo considerada como parte del supercontinente de Rodinia. 2) El Grupo Las Bolas, ubicado al oeste de Sahuaripa, que contiene depósitos de glaciales en la parte superior de la sucesión, ubicado al oeste de Sahuaripa. 3) Los estratos neoproterozoicos y cámbricos que fueron depositados a lo largo del margen pasivo continental de Laurentia, posterior a la fragmentación del supercontinente. 4) Rocas provenientes de la cubierta cratonal del Cámbrico medio y superior dentro del margen pasivo continental de Laurentia (*Miogeoclinal Cordillerano*).

[Almazán–Vázquez \(2002\)](#) realiza los primeros estudios paleontológicos de las rocas cámbricas en la parte central de Sonora. El autor reconoce una abundante fauna del Cámbrico temprano y medio, dividiendo la secuencia sedimentaria de la loma El Chihuarruita en 7 miembros (A–G). [Stewart et al. \(2002\)](#), colectaron fósiles de *Oryctocara* sp., *Peronopsis* sp., *P. bonnerensis*?, *P. brighamensis*, *Oryctocephalus* sp., *Pagetia* sp., ?*Ehmaniella* sp., entre otros. [Buitrón et al. \(2004\)](#), reportaron la presencia del eocrinoide *Gogia spiralis* [Robison, 1965](#), y de los trilobites índice *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis*, y *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis*, pertenecientes al Cámbrico inferior y

Cámbrico medio, respectivamente. Nardin *et al.* (2009) realizan un estudio paleoecológico y sistemático de *Gogia granulosa* Robison, 1965, así como una descripción detallada de la litología, misma que ya había sido descrita en trabajos previos. Buitrón *et al.* (2011), reportan las especies de hiolítidos *Hyolithes sonora* Lochman, 1952 y *Haplophrentis reesei* Babcock & Robison, 1988. Posteriormente Huerta–Ruiz (2011) y Buitrón *et al.* (2017) realizan el estudio detallado, así como la descripción sistemática de estas dos especies.

Andrew Barth (2002) reporta dos colecciones fósiles al suroeste del cerro el Sahuaral, donde se identificaron las formaciones del Cámbrico establecidas en el área de Caborca en consideración por su litología y contenido fósil. También se identificó a los trilobites *Peronopsis* sp., *Bathyriscus* sp., *Oryctocephalus* sp. ptychopáridos indeterminados, dorypygidos indeterminados y posiblemente *Kootenia* sp. La presencia de *Oryctocephalus* asigna una edad del Cámbrico temprano–Cámbrico medio.

Cuen *et al.* (2012) realiza un estudio detallado de la estratigrafía y paleontología de las rocas cámbricas de San José de Gracia y las correlaciona con las unidades 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 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) hablan de la presencia de la Zona de *Albertella* en la Formación Arrojos, debido a la presencia de los trilobites *Oryctocephalus* sp., *Ogygopsis typicalis*, *Elrathina antiqua*, *Bathyriscus* sp., *Peronopsis bonnerensis*, *Pagetia resseri*, y de escleritos aislados de *Chancelloria* sp. cf. *C. eros*; confirmando un ambiente marino de plataforma externa.

Ochoa (2014), en su tesis de licenciatura, realiza un estudio estratigráfico, en el cerro el Sahuaral y sus alrededores, describiendo una sucesión de rocas pertenecientes a una edad Cámbrico inferior-Cámbrico medio, asociadas estratigráficamente con las formaciones Cámbricas de Caborca: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos, y con algunas formaciones cámbricas de San José de Gracia. Describe a la Formación Proveedora, con un espesor de 216 metros, que consta primordialmente de cuarcita y cuarzoarenita con una alta bioturbación, siendo identificadas las icnoespecies *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp., entre otros. La Formación Buelna está compuesta generalmente de caliza arenosa intercalada con lutita, y posee 64 m de espesor. La Formación Cerro Prieto es una caliza oolítica masiva parcialmente dolomitizada con 53 m de espesor y la Formación Arrojos es interpretada como lutita fosilífera, intercalada con lutita y caliza fosilífera, seguido por arenisca. El contenido fósil es representado por trilobites y braquiópodos.

Cuen *et al.* (2016) define una nueva unidad litoestratigráfica nombrada “Formación el Gavilán” que corresponde a una edad del Cámbrico medio, donde el contacto inferior es concordante con la Formación Cerro Prieto, y sobreyacida discordantemente con rocas volcánicas. A esta unidad se le confiere un ambiente de plataforma externa para los depósitos de San José de Gracia. Esta unidad refleja diferencias litológicas substanciales, particularmente en los estratos del Cámbrico medio en comparación con otras rocas cámbricas expuestas en otras localidades cámbricas del estado, como la Formación Arrojos de Caborca.

2.3. Fisiografía

Según CONABIO 1990 el área de estudios de encuentra dentro de la provincia fisiográfica de Sierras y Llanura Sonorense la cual comprende más del 50 % de la superficie de estado. Esta provincia esta subdividida en tres subprovincias fisiográficas: Desierto de Altar, Sierras y llanuras Sonorenses y Sierra del Pinacate.

La más extensa es Sierras y llanuras Sonorenses la cual se prolonga hacia el norte con los Estados Unidos de América y continúa hacia el Desierto de Mojave y de Gila. Es caracterizada por la disposición discontinua y paralela de sierras aisladas y alargadas con rumbos NW-SE (Figura 1).

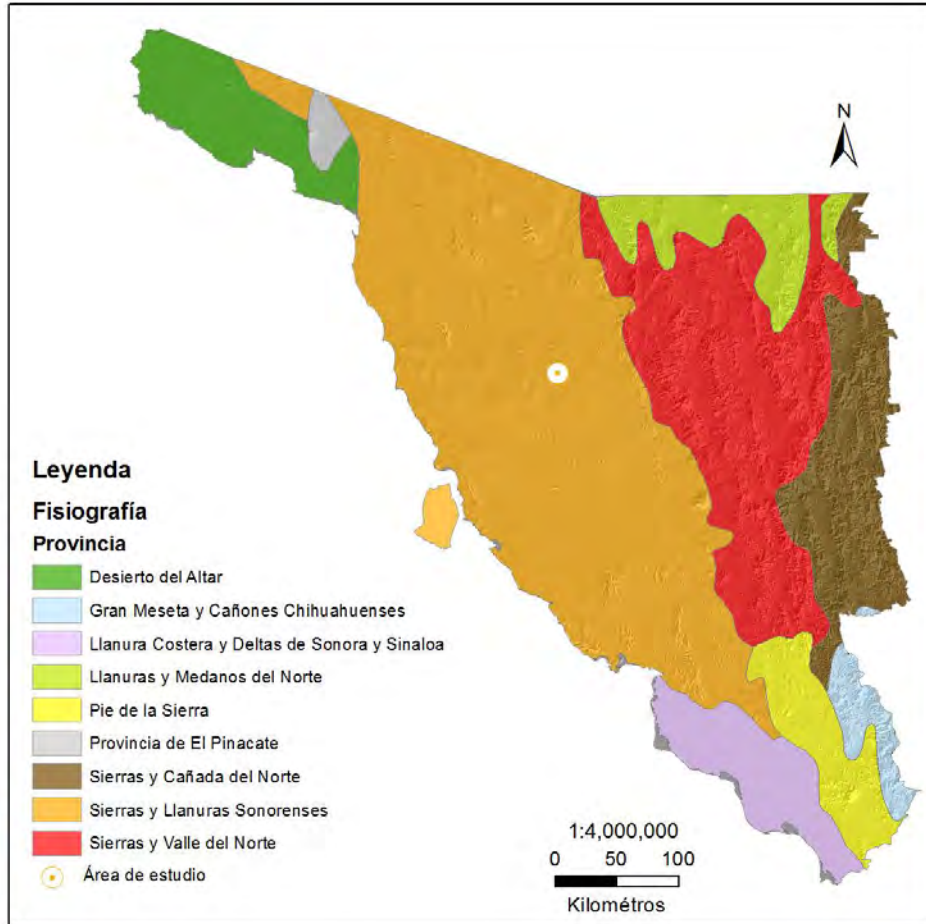


Figura 1. Mapa de Provincias Fisiográfica, CONABIO (1990).

2.4. Hidrografía

El área de estudio pertenece a la región hidrológica Sonora sur. La cuenca se compone principalmente por el aporte del Río Sonora (97.39%) y Río Matape (2.61%). La Subcuenca de Ures, se compone principalmente del Río Sonora-Banámichi (55.15%), arroyo La Junta (39.24 %) y Río San Miguel (2.82 %). Las

corrientes de aguas perennes pertenecen al Río Sonora y las corrientes intermitentes son Agua de Salazar, Babisobúrach, Bamuri, Cerro Colorado, De Montijo, De Ures, entre otras. Dentro de los principales cuerpos de agua están, La Ladrillera, La Minita, La Nary, La Palma, La Paloma, La Poza, La Unión, La Uvalama, Las Higueras, Los Burros, Los Indios, Los Morales, entre otros (INEGI, 2009)

El Río Yaqui es el más caudaloso de Sonora; nace en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental al unirse los ríos Bavispe y Papigochi, y desemboca en el Golfo de California. Tiene una longitud de 410 km y su cuenca un área de 72.540 km². El Río Sonora nace en el municipio de Arizpe en la confluencia de los ríos Bacanuchi y Bacoachi. Regularmente no llega al mar salvo en temporada de lluvias y desemboca en la Bahía de Kino en el Golfo de California; tiene una longitud de 421 km y su cuenca un área de 27.740 km² (Figura 2).

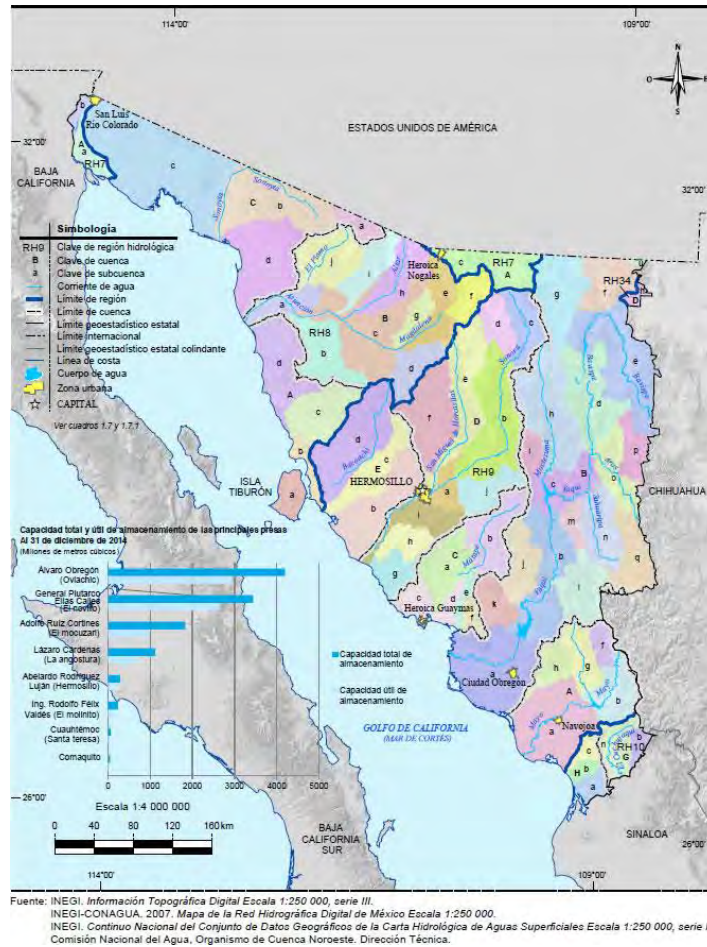


Figura 2. Mapa Hidrográfico del Estado de Sonora.

2.5. Clima

Según la carta de climas de la República a escala 1:1 000 000 (García, 1998), se observa la existencia dos tipos de climas: correspondiéndole a la parte norte la clasificación BSo(h')(x'), este es un clima árido y cálido con una temperatura media mayor a los 22°C y en los meses más fríos desciende a una temperatura de 18°C en promedio. La parte que lo subyace, la parte sur; se clasifica por un clima BW(h')(x'), este corresponde a muy árido y cálido con temperaturas iguales al anterior. Las lluvias son permanentes durante lo largo del año conforme reportes existentes teniendo un porcentaje de 18% de las lluvias invernales (Figura 3).

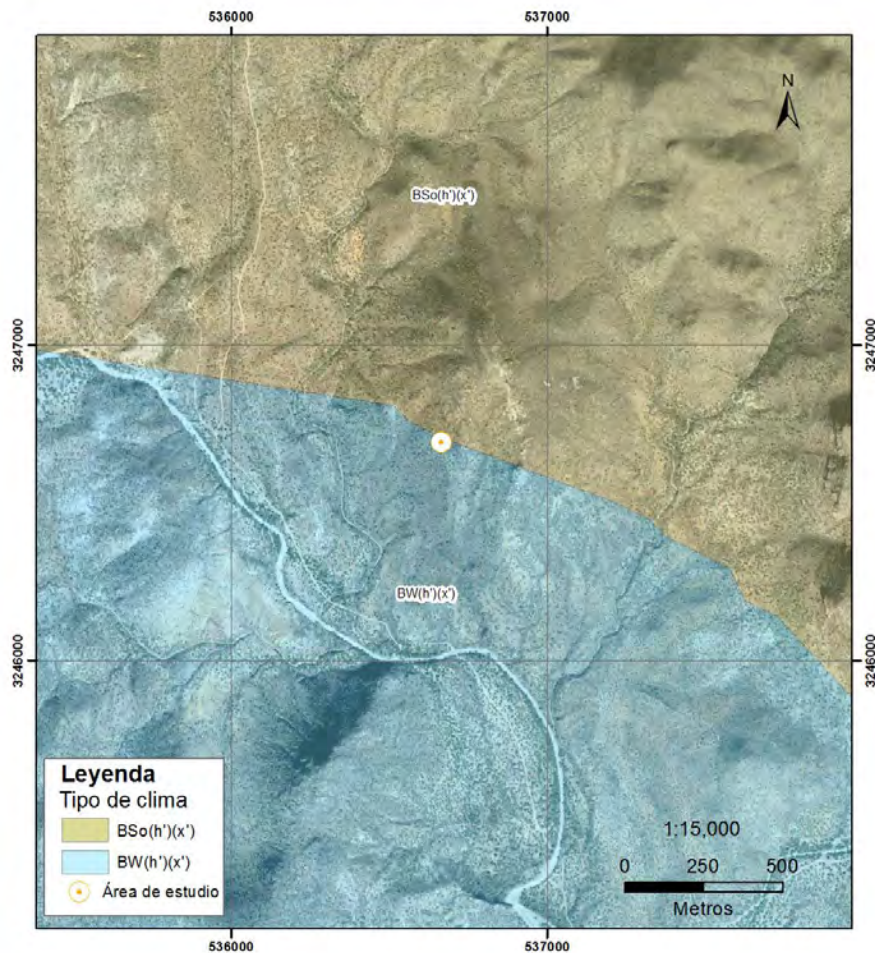


Figura 3. Mapa del clima del área de estudio (García, 1998).

2.6. Edafología

En la carta edafológica de México de escala 1:1 000 000; INIFAP-CONABIO (1995) se observa que al igual que se tienen dos climas, en el área de estudio se tienen dos tipos de suelos que son Litosol y Regosol Eúritico de proporciones similares. El Litosol tiene proporciones de menor de 10 cm de profundidad, con limitaciones de roca y caliche endurecido. Como es de suponer, la fertilidad y susceptibilidad a la erosión depende de los principales factores ambientales. El Regosol es un suelo somero con un material suelto que cubre la roca por lo general, mientras que el

termino Eútrico es clasificación para suelos ligeramente ácidos a alcalinos (INEGI, 2011) (Figura 4).

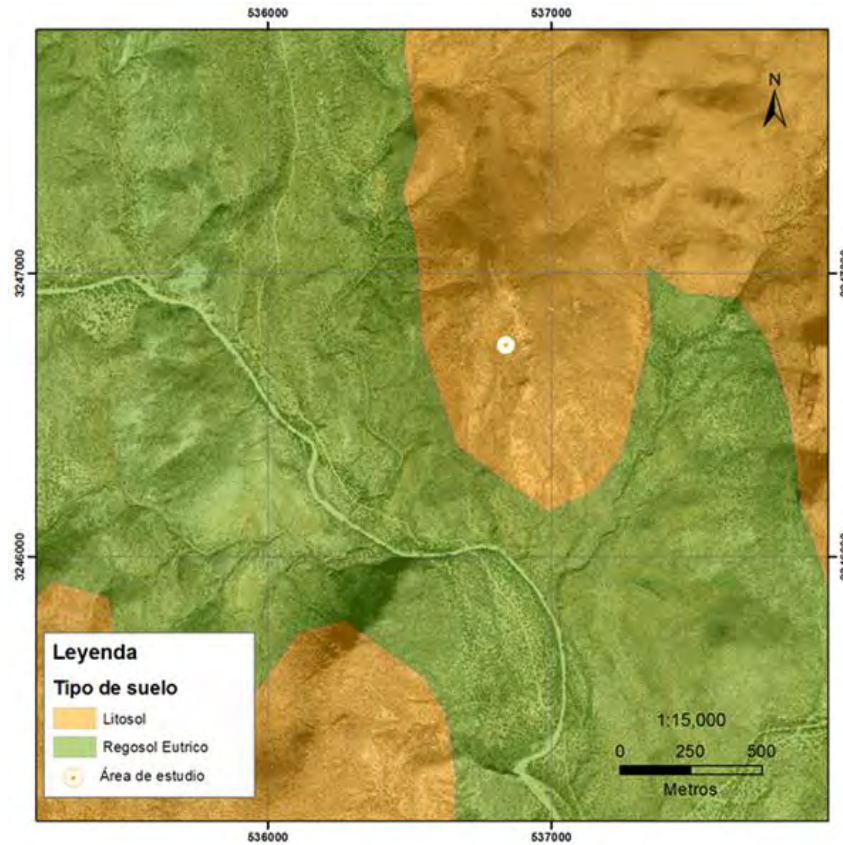


Figura 4. Mapa de tipos de Suelos de área de estudio. Modificado de INIFAP-CONABIO, 1995.

2.7. Vegetación

La carta de suelos de vegetación de INEGI (2011) se tiene la presencia de matorral espinoso del género *Prosopis* (mezquite) el cual es muy abundante en el estado al igual que la presencia de *Parkinsonia* (palo verde), *Mimosa* (uña de gato) y *Fouquieria* (ocotillo). Las cactáceas son muy abundantes sobresaliendo la presencia de *Carnegiea gigantea* (sahuaros), *Cylindropuntia* (siviri) y *Opuntia* spp. (nopales) (Figura 5).

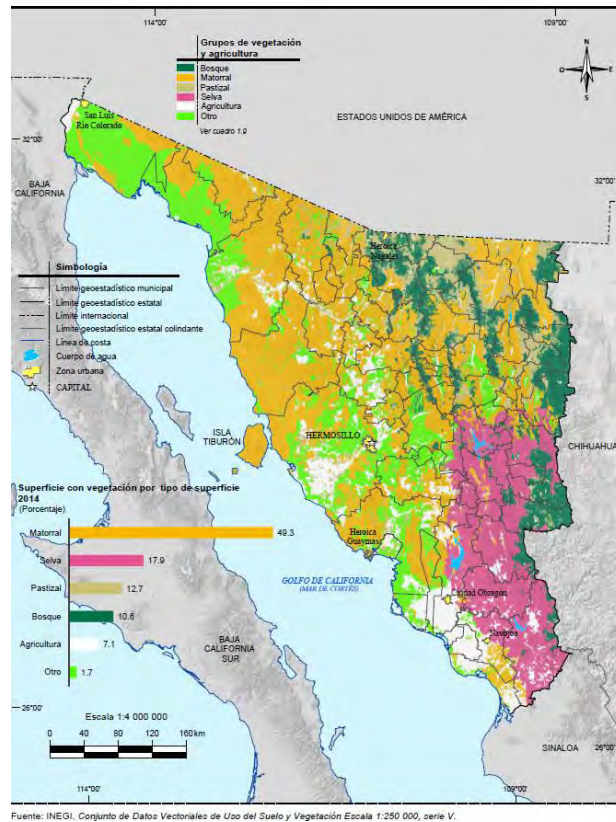


Figura 5. Mapa de Uso de Suelos y Vegetación para Sonora.

2.8. Fauna

La fauna que se encuentra en la región se compone principalmente por coyote (*Canis latrans*), zorra (*Vulpes cinereo argentatus*), venado de cola blanca (*Cariacus virginianus*), tejón (*Procyon lotor*), zorrillo (*Mephitis macrura*), conejo (*Lepues sylvaticus*), ardilla de tierra (*Spermophilus variegatus*), víbora de cascabel (*Crotalus y Crotalus tigris*), puma (*Felix concolor*), onza real y trigrillo (*Felix spp.*) (INEGI, 1985).

2.9. Localización y vías de acceso

El área de estudio se encuentra en la parte central del estado de Sonora, a 40 km al noroeste de la ciudad de Hermosillo, cerca del poblado de San José de Gracia que se encuentra localizado en las coordenadas geográficas $29^{\circ} 17' 19''$ N y $110^{\circ} 36' 44''$ E. Los afloramientos del cámbrico se encuentran a 7 km al norte del poblado en el cerro el Sahuaral que se encuentra en las coordenadas UTM 539106 E, 3244123 N. El acceso principal es por la carretera federal N° 15 y la carretera federal N° 21 en el tramo Hermosillo–Ures (Figura 6).

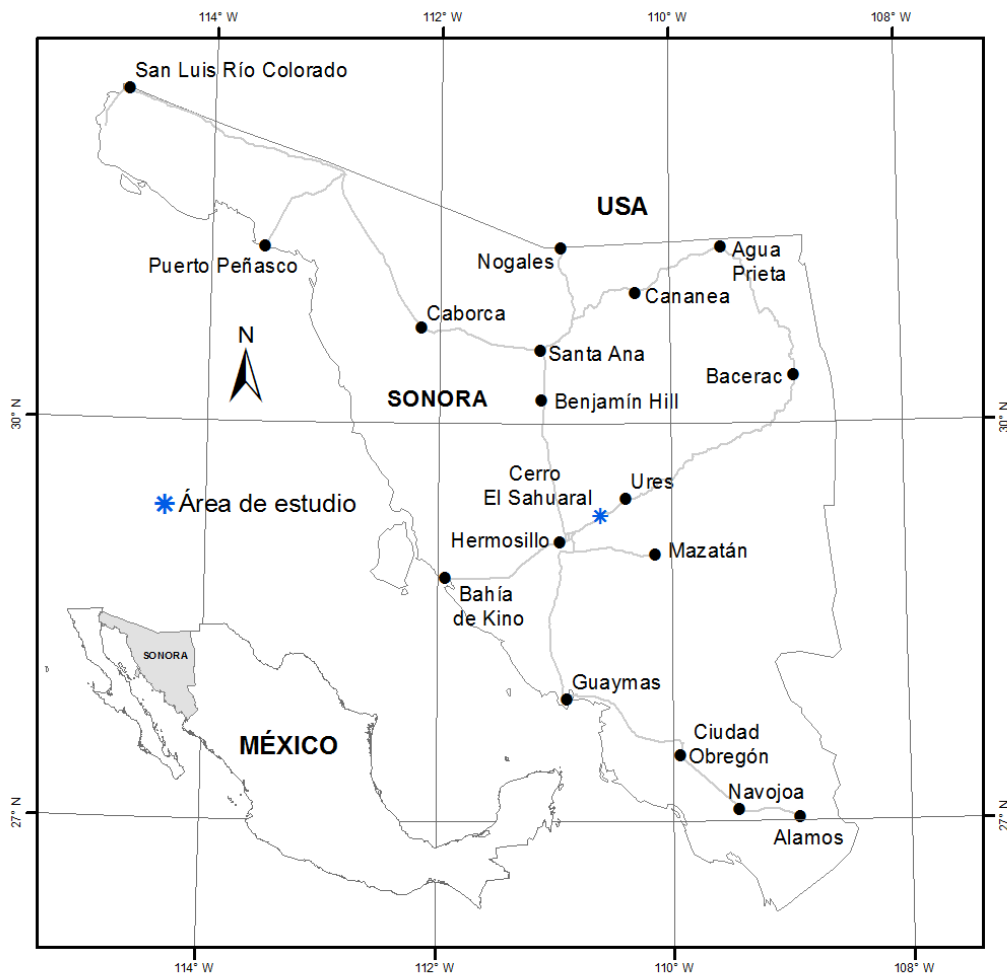


Figura 6. Localización del cerro El Sahuaral.

3. Metodología

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

Recopilación bibliográfica: Consiste en la recopilación de la información bibliográfica e investigaciones existentes, las cuales fueron llevadas a cabo previamente en el área de estudio por diversos investigadores e instituciones. Estos trabajos fueron resumidos y examinados para identificar las principales área de interés a tratar, sobre todo con fines estratigráficos y paleontológicos. Durante esta etapa también se elaboraran fichas bibliográficas que permitan ordenar el conjunto de datos.

Visita al área de estudio: Se realizaron visitas al área de estudio, primero con fines logísticos para determinar los accesos, mejores afloramientos y secuencias más completas; lo anterior con el fin de elaborar secciones estratigráficas continuas y que no estén afectadas por eventos tectónicos – estructurales, dificultando de esta manera el análisis estratigráfico. Posteriormente se visitó el área de estudio para la elaboración de secciones, recolección sistemática de muestras de roca y material paleontológico, teniendo amplio control sobre los niveles estratigráficos.

Análisis petrográfico: Se realizarán análisis petrográficos de láminas delgadas, procesadas a partir del muestro en las diferentes unidades de roca, esto con el fin de: a) determinar el tipo de roca y b) búsqueda de taxa que no son visibles a simple vista.

Análisis paleontológico: Los ejemplares recolectados de trilobites serán curados según se requiera con diversas técnicas existentes (lavado en ácido diluido, cepillado, agujas, entre otros), posteriormente serán revisados bajo el microscopio

binocular para llevar a cabo la diagnosis propuesta para su identificación taxonómica con base en diferentes autores, principalmente el tratado de Moore, 1959. Posterior a este proceso, los mejores ejemplares serán teñidos con cloruro de amonio para resaltar sus características y serán fotografiados en alta definición. El material será catalogado e incorporado a la Colección Paleontológica Nacional: «Dr. Emilio Almazán Vázquez» del Departamento de Geología.

Integración de datos: Finalmente, los datos serán integrados para de esta manera interpretar las características bioestratigráficas y paleogeográficas de los afloramientos del Cámbrico del Sahuaral, Sonora. En análisis en conjunto de diversos factores como: datos estratigráficos, paleontológicos, paleoecológicos obtener los resultados y conclusiones.

4. Marco geológico regional

Según el [Servicio Geológico Mexicano \(2002\)](#) en la carta Geológico – Minera (H12-D32) en el área de estudio afloran rocas con edades del Paleozoico al Reciente. A continuación se hace una breve descripción en orden cronológico de las unidades presentes en los alrededores del área de estudio.

Unidad caliza, dolomía y arenisca (GiPcpCz, Do, Ar) Informal

Comprende rocas del Paleozoico (Cámbrico inferior – Pérmico), entre las cuales se mencionan las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arrojos. Dichas unidades están compuestas principalmente por caliza, dolomía y arenisca.

Unidad de andesita y toba andesítica (KsTpaA-TA) y la unidad de riolitas y tobas riolíticas (KsTpaR-TR): Formación Tarahumara

Se refiere principalmente a tobas y derrames de composición andesítica y toba riolítica con niveles sedimentarios intercalados (KsTpaA-TA, KsTpaA-Ar, KsTpaA-Tq, Ks Tpa Cgp-Ar, KsTpaR-TR), con edades entre 70 y 90 Ma del Cretácico Superior – Paleoceno ([McDowell *et al.*, 1994](#)).

Unidad ignimbrita – toba riolítica (ToIg-TR). Grupo Yécora (informal):

Esta unidad pertenece al grupo Yécora (informal) propuesto por [Grijalva-Noriega & Roldán Quintana \(1998\)](#) para agrupar a todas las rocas volcánicas y piroclásticas de composición ácida con basaltos que afloran principalmente en la porción superior de la Sierra Madre Occidental en Sonora. Está constituida por ignimbritas, tobas, brechas riolíticas, riolitas, aglomerados, riodacitas y dacita, con edades de: 24 ± 0.4 , 27.1 ± 0.9 , 31.2 ± 0.7 , a 39.2 Ma. [Damon *et al.* \(1983\)](#); [McDowell \(1997\)](#); [Kunk \(1994\)](#); que la ubica en el Oligoceno.

Unidad andesita (ToA):

Unidad descrita de manera informal perteneciente al grupo Yecora, consiste de andesitas con espesor aproximado de 200 m que afloran hacia la parte suroeste de la carta. Su contacto inferior es discordante con las unidades JimR –Ar–A y KsTpaAr–Lu–CZ, el contacto superior también es discordante con las unidades Qhoal y Qptcgp. Se le asigna una edad tentativa con base en sus relaciones estratigráficas del Oligoceno (carta geológica H12-5, SGM 1999).

Unidad basalto-andesita (TmB–A):

Pertenece al Grupo Yécora (informal). Esta unidad corresponde a flujos de basalto intercalados con aglomerados basálticos sobre los que descansa el conglomerado Báucarit. Esta unidad fue denominada “basaltos antiguos” por Johnpeer (1977). Las edades radiométricas de K/Ar realizadas en esta unidad van de 30.4 a 25.3 Ma.

Unidad conglomerado polimíctico-arenisca (TmCgp–Ar): Formación Báucarit.

Esta unidad está constituida por conglomerado polimíctico de fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de arenisca y basalto principalmente, gravas y arenas poco consolidadas. Se tienen edades radiométricas de K/Ar de 17 a 21 ± 0.4 Ma lo cual sitúa a esta unidad en el Mioceno.

Unidad Toba riolítica, dacita, andesita (TmTR, Da, A): Formación Lista Blanca.

Esta unidad corresponde a la parte superior del Grupo Yécora, consiste de una secuencia de toba riolítica, riolita, ignimbrita, andesita, dacita, aglomerado andesítico, ocasionales capas de basalto, traquita y algunos domos andesíticos y riolíticos, brecha lahárica y presenta horizontes zeolitizados y perlíticos, con espesores variables de 100 a 500 m. Se tienen edades de radiométricas de K/Ar 10.4 ± 0.2 Ma.

Se correlaciona en edad con los basaltos del campo volcánico Moctezuma en donde tiene edades de 0.53, y 1.7 Ma que indica una edad del Pleistoceno ([Paz et al., 2003](#)). La unidad se depositó en cuencas someras formando abanicos aluviales. Se presenta principalmente en los amplios valles y bordes de elementos orográficos.

Unidad aluvión (Qhoal):

Esta unidad está compuesta por sedimentos no consolidados, principalmente gravas, arenas, limos y arcillas con espesores variables de más de 50 m. Aflora en los valles y en los arroyos del área de estudio. Cubre a todas las unidades desde las precámbricas hasta las pleistocénicas. El ambiente de depósito son lechos de arroyos, ríos y planicies.

Rocas intrusivas:

Unidad granito-granodiorita (KsTpaGr–Gd), TpaPqMz–PMz Pórfido cuarzomonzonítico – Pórfido Monzonítico: Batolito Laramide (informal), suite intrusiva El Jaralito (informal). Esta unidad forma parte del batolito Laramide que aflora ampliamente en el noroeste de México y fue ampliamente estudiado por [Damon et al., \(1983\)](#). Posteriormente fue informalmente propuesto el nombre de suite intrusiva El Jaralito por [Grijalva-Noriega & Roldán-Quintana \(1998\)](#), esta unidad litodémica trata de agrupar aquellos afloramientos de rocas intrusivas de composición principalmente ácida a intermedia, cuyas edades varían desde el Cretácico Temprano al Eoceno, los cuales son muy abundantes a lo largo de toda la geografía del estado de Sonora (Figura 7).

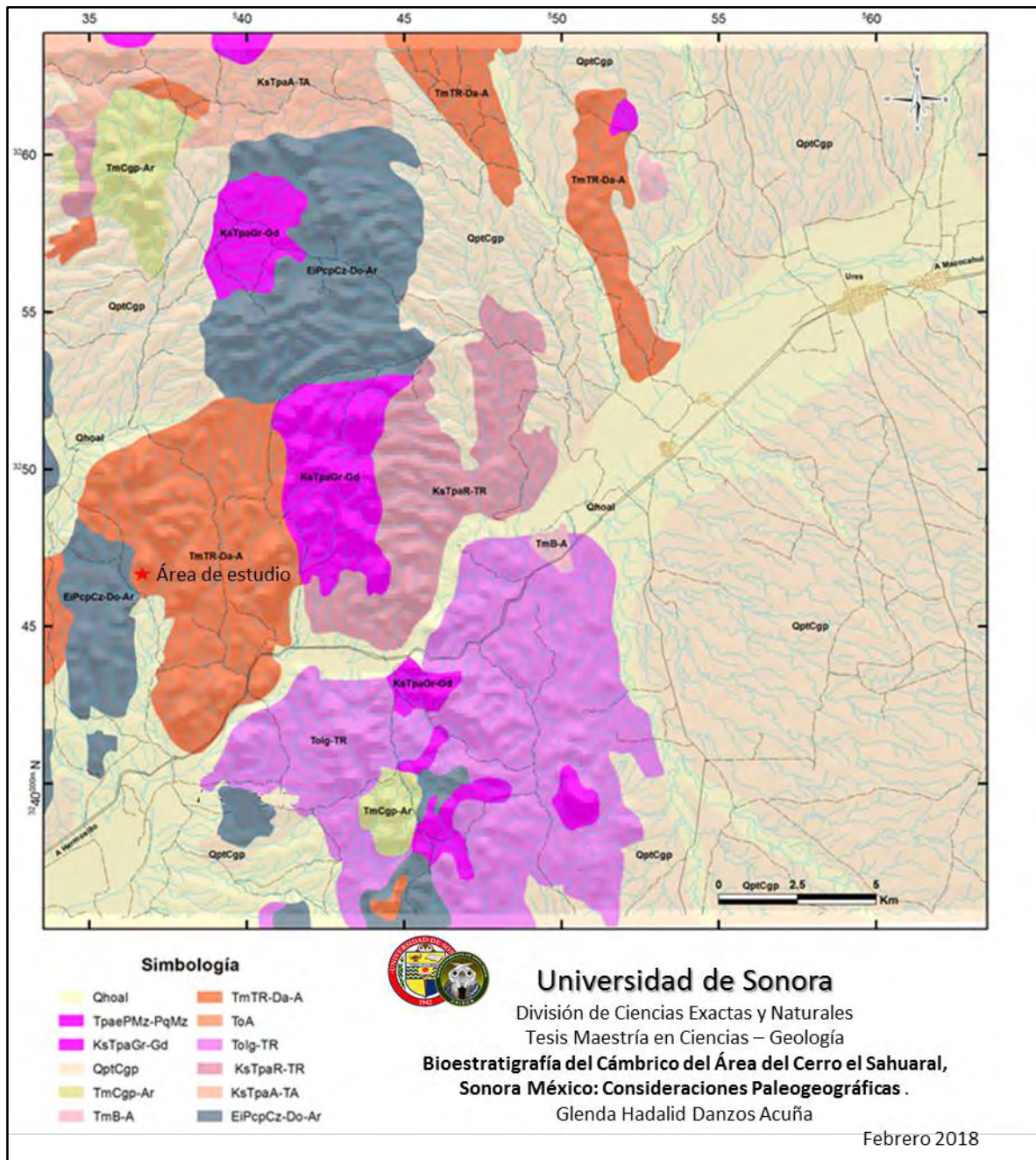


Figura 7. Mapa Geológico –Regional del área de Estudio.

5. Estratigrafía del área El Sahuaral

La estratigrafía del área de estudio está compuesta de la base a la cima por las formaciones del Cámbrico: Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán.

5.1. Formación Proveedora

La Formación Proveedora fue definida por *Cooper et al. (1956)*, en los cerros la Proveedora en el área de Caborca, Sonora, y está representada por una cuarcita de color blanca con tonalidades de óxido de hierro, intercalada con lutita de edad Cámbrico inferior (Figura 8).

Litología y espesor: en la base aflora una cuarcita de color blanco a rosado, tonalidades rojizas debido a la presencia de óxidos de fierro, presenta un gran fracturamiento. Seguido de una arenisca de grano fino, que presenta una coloración de blanco con tonalidades moradas a rojizas, los clastos son de forma subanguloso a subredondeados, buena clasificación, el contacto entre los clastos es predominantemente longitudinal, y cóncavo – convexo, se observa un cemento sintaxial y pelicular de óxido de fierro.

Los componentes principales son de cuarzo mayor al 95%, y el 5% restante compuesto por feldespatos, fragmentos de rocas y matriz producto de la alteración de los feldespatos. Para esta unidad se considera un espesor de 168 m.

En esta formación afloran gran abundancia de icnofósiles *Skolithos* y *Arenicolites*.



Figura 8. Fotografía panorámica del Cerro el Sahuaral. En la cima se observa a la Formación Proveedora, en forma de filón.

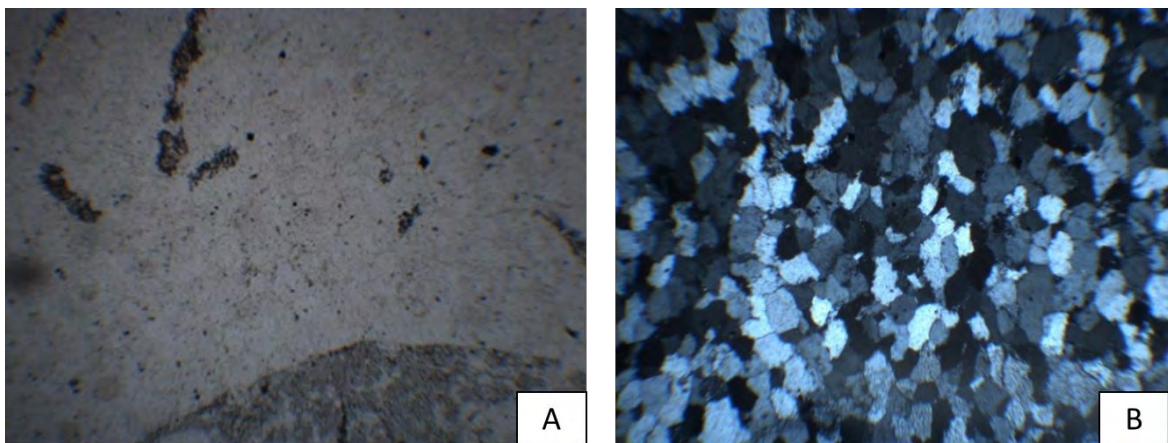


Figura 9. Cuarzoarenita. Imagen A con luz natural, se observa una colocación de blanco rosado y óxidos de hierro. Imagen B con nicoles cruzados, clasto de tamaño menores a 2 mm, de forma subangulosa a subredondeada, bien clasificados, contacto entre los clastos predomina el longitudinal, cemento sintaxial y pelicular de óxidos de hierro. Está compuesta del 95% de cuarzo monocristalino, se pueden observar ligeras inclusiones de epidota en los granos de cuarzo.

Relaciones estratigráficas: no se observan las relaciones estratigráficas con la unidad inferior y el contacto con la unidad superior es de manera concordante con la Formación Buelna.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Los fósiles (icnofósiles) de la Formación Proveedora no son indicadores de edad, sin embargo, es considerada del cámbrico temprano por su correlación con la Formación Proveedora del área de Caborca Cooper *et al.* (1956).

Ambiente de depósito: la icnofacies de *Skolithos* es típica de ambientes arenosos, tales como zonas de litorales y sublitorales de playa, barras arenosas o frentes deltaicos. Aunque típicamente marina somera, la icnofacies de *Skolithos* puede presentarse también en medios marinos profundos en condiciones similares (Frey *et al.*, 1990)

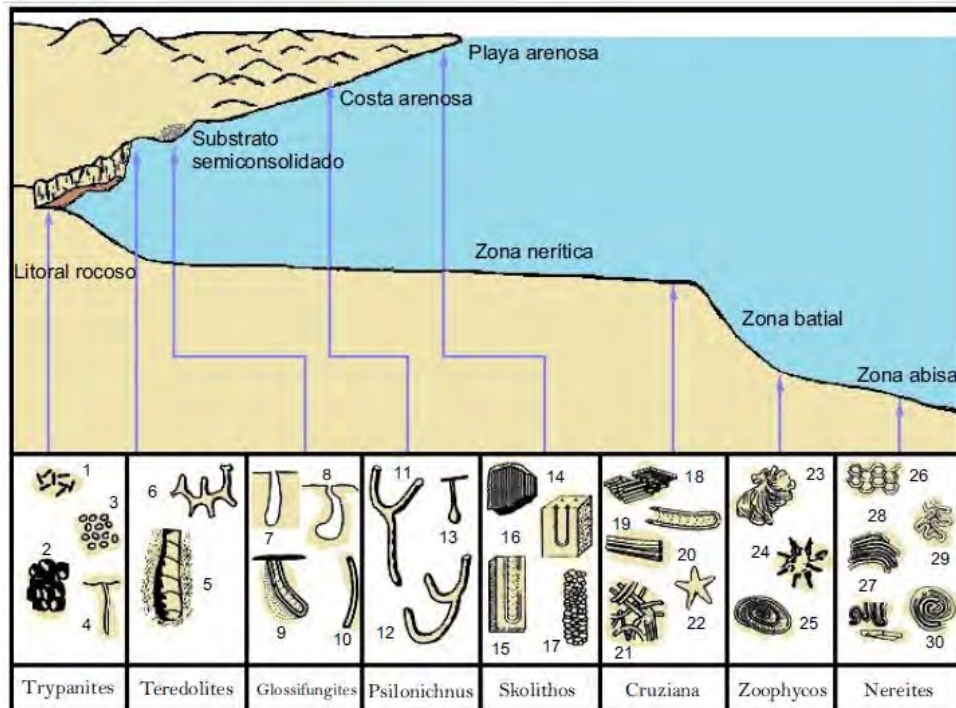


Figura 10. Esquema de Icnofacies de Pemberton *et al.*, 1992. La icnofacies *Skolithos* se encuentra en la zona de litoral en condiciones de energía moderada a alta.

Fósiles traza: 1) *Caulostrepsis*; 2) *Entobia*; 3) *Echinoid borings*; 4) *Trypanites*; 5) *Teredolites*; 6) *Thalassinoides*; 7,8) *Gastrochaenolites*; 9) *Diplocraterion* (*Glossifungites*); 10) *Skolithos*; 11,12) *Ptilonichnus*; 13) *Macanopsis*; 14) *Skolithos*; 15) *Diplocraterion* 16) *Arenicolites*; 17) *Ophiomorpha*; 18) *Phycodes*; 19) *Rhizocorallium*; 20) *Teichichnus*; 21) *Planolites*; 22) *Asteriacites*; 23) *Zoophycos*; 24) *Lorenzina*; 25) *Zoophycos*; 26) *Paleodictyon*; 27) *Taphrohelminthopsis*; 28) *Helminthoida*; 29) *Cosmorhapha*; 30) *Spirorhapha*.

Se considera que la icnofacies de *Skolithos*, es muy singular, por tratarse de trazas terrestres de madrigueras y de organismos marinos. Es considerada representativa de los ambientes costeros, desde líneas de playa y duna, característico de los medios

de desplazamiento. La icnofacies *Skolithos* se encuentra en la zona del litoral en condiciones de energía moderada a alta. Según el esquema de Pemberton *et al.*, 1992 (Figura 10).

Ejemplos de *Skolithos* y *Arenicolites* (Figuras 11 y 12).

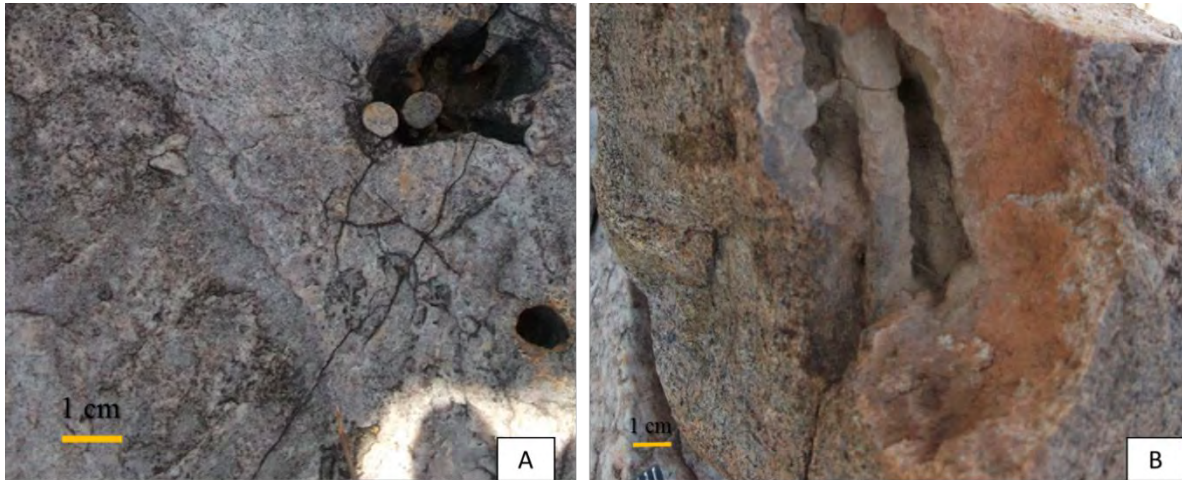


Figura 11. Imágenes A y B de *Skolithos* en areniscas de la Formación Proveedora.

Correlación regional: se encuentra en el área de San José de Gracia (Cuen, 2012), en el área de Mazatán (Stewart, 1984). La Formación Proveedora es correlacionable con la Formación Zabriskie de Arizona, en California en el área de San Bernardino Mountains y Nopah Range, Death valley (Figura, 21)

5.2. Formación Buelna

Definición: fue definida por Cooper *et al.*, 1956, en los cerros Buelna en el área de Caborca, para describir una secuencia de caliza granular que pasa a una arenisca calcárea y lutita lenticular, con fósiles muy abundantes oncolitos, trilobites, *Hyolithes* y *Salterella*, del Cámbrico inferior.

Litología y espesor: consiste principalmente de una intercalación de caliza, caliza arenosa oncolitos y caliza arenosa fosilífera (trilobites y *Hyolithes*). La caliza arenosa es de color gris claro y de grano fino. Seguido caliza arenosa de color gris,

presenta un banco de oncolito *Girvanella* de aproximadamente 16 m de espesor y finalmente caliza arenosa de color amarillo claro, con fragmentos de trilobites. Los minerales accesorios son de óxido de fierro. El espesor es de 60 m. (Figuras 13, 14, 15 y 16).

Relaciones estratigráficas: se encuentra de manera concordante con la unidad inferior Formación Proveedor y el contacto superior es concordante con la Formación Cerro Prieto.

Fósiles y posición coronoestratigráfica: La Formación Buelna proporcionó fósiles de trilobites, hiolítidos y oncolitos.

Ambiente de depósito: plataforma abierta (lagunar).

Correlación regional: se correlaciona con la Formación Buelna del área de San José de Gracia, las principales similitudes son que las dos consisten principalmente de caliza y fauna abundante. Se encuentra en el área de Caborca, San José de Gracia y puede ser correlacionada con la parte inferior de la Formación Carrara de San Bernardino Mountains y Nopha Range Death Valley, EUA (Figura, 21).



Figura 12. Afloramiento de caliza con oncolitos muy oxidados.



Figura 13. Afloramiento de capas de caliza oncolíticas de la Formación Buelna de color naranja oxidado, de tamaño de mayor a 2 cm.



Figura 14. Base de la Formación Buelna, capas de calizas fosilíferas

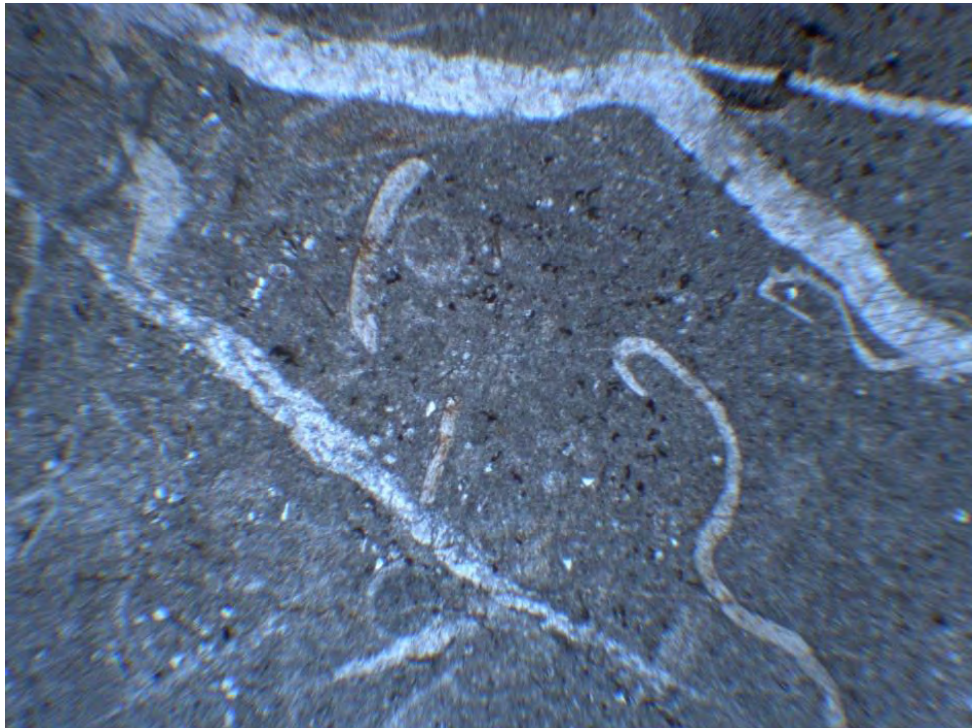


Figura 15. Cortes de trilobites en una matriz micrítica, vetillas de calcita y detritos de cuarzo.

5.3. Formación Cerro Prieto

Definición e historia nomenclatura de la unidad: es definida en el área de Caborca en los cerros del mismo nombre, fue descrita por *Cooper et al. (1952; 1956)*, como una caliza negra masiva con algunos horizontes oncolíticos, posiblemente de *Girvanella sp.*, y abundantes oolitas así como algunas muestras de bioturbación que le da un ligero aspecto moteado, le asignó una edad del Cámbrico inferior al Cámbrico medio (*Cooper et al., 1956*).

Litología y espesor: es una caliza oolítica recristalizada de aspecto masivo. Con intemperismo kárstico. Las oolitas tiene un tamaño de 0.5 mm a 1 mm la mayoría se encuentran bien redondeadas y están casi totalmente recristalizadas y presentan una sobre crecimiento de cristales euhedrales de cuarzo. Posee un espesor de 70 m. (Figuras 17 y 18).

Relaciones estratigráficas: el contacto se encuentra de manera concordante con la Formación Buelna y el contacto superior con la Formación El Gavilán se considera concordante.

Fósiles y posición coronoestratigráfica: esta unidad no proporcione fósiles indicadores de edad. *Cooper et al. (1952; 1956)* asigna a la Formación Cerro Prieto como una transición del Cámbrico medio-Cámbrico inferior

Ambiente de depósito: se sugieren que se forma en aguas someras, de alta energía, generada por la acción de las olas o corrientes de marea, en aguas marinas normales o hipersalinas.

Correlación regional: Es correlacionada con la Formación Cerro Prieto de Caborca y en San José de Gracia debido a sus similitudes litológicas; ambas son una

caliza oolítica recristalizada. La diferencias de los espesores son marcadas, en el área de estudio con 70 m de espesor y 17 m en el are de San José de Gracia.

Según Stewart (1984) puede ser Correlacionable con la parte inferior de la Formación Carrara de San Bernardino Mountains y Nopha Range California. (Figura 21).

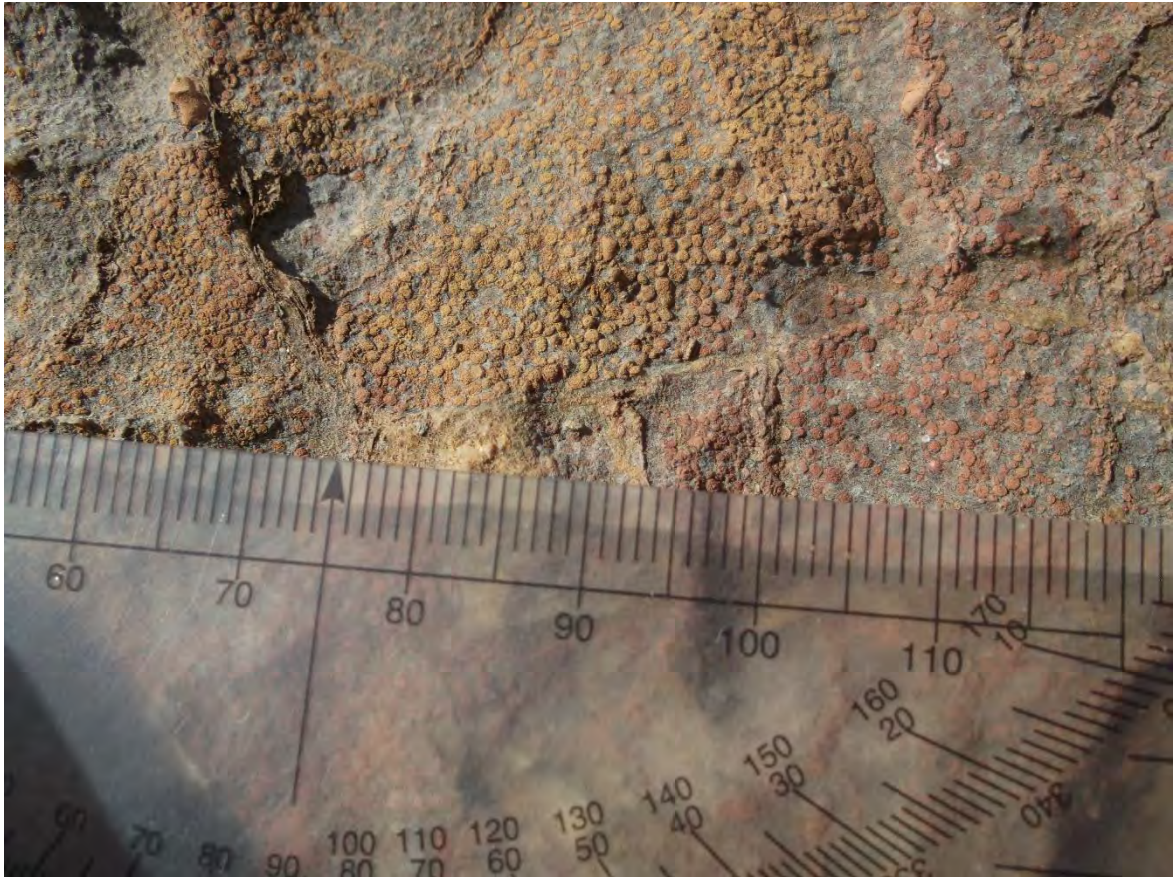


Figura 16. Oolitas en muestra de mano, con tamaño menores a 1 mm.

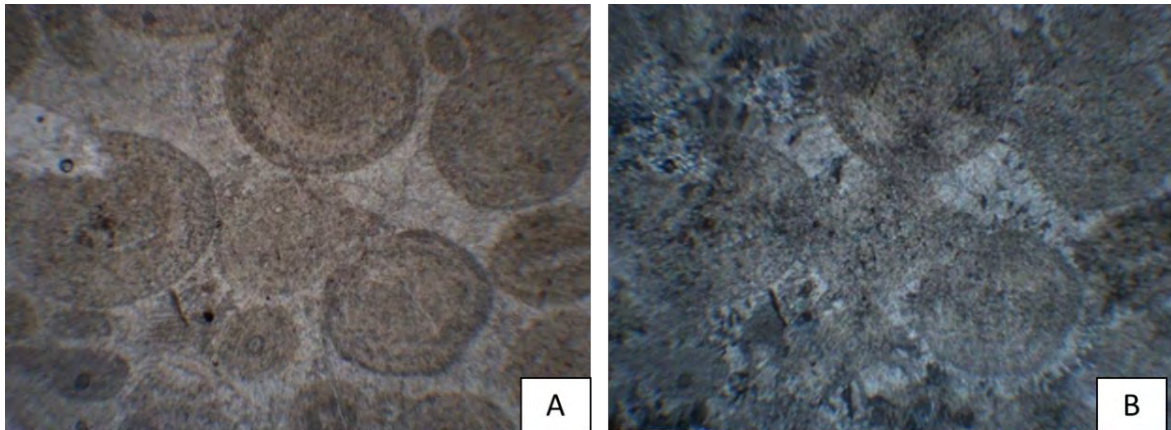


Figura 17. Imagen A. luz Natural y B. nicoles cruzados, Se observa oolitas normales y superficiales en un cemento fibroso de aragonita.

6.4. Formación El Gavilán

Definición e historia nomenclatura de la unidad: fue definida por [Cuen \(2016\)](#) en el cerro Chihuarrita en san José de Gracia, para una secuencia compuesta por intercalación de lutita y caliza con abundante fauna fósil del cámbrico medio. Se diferencia de Formación Arroyos de la localidad de Caborca Sonora, definida por [Cooper *et al.* \(1952; 1956\)](#), debido a sus evidentes variaciones litológicas y contenido faunístico.

Litología y espesor: Consiste de una intercalación de lutitas de color rojizo en laminaciones delgadas y capas calizas de color gris claro y con abundantes fósiles (compuesta por trilobites, braquiópodo, espículas de esponjas, entre otros), con un espesor de 64 m.

Distribución: Se encuentra distribuida en los arroyos del área de San José y se observa de la misma manera principalmente en los arroyos del área del Cerro el Sahuaral.

Relaciones estratigráficas: Sobreyace de manera concordante a la Formación Cerro Prieto y es sobreyacida discordantemente por rocas volcánicas del terciario.

Fósiles y posición coronoestratigráfica: Contiene una abundante fauna del Cámbrico medio, en el área se reconoció a la Formación El Gavilán por ser muy similar tanto en contenido litológico y fósil. Los trilobites son *Peronopsis* sp. cf *P. bonerensis*, *Oryctocephalus* sp., *Oryctocephalites walcotti*, *Elrathina antiqua*, *Ogygopsis typicalis*, *Bathyriscus* sp. y *Pagetia* sp. en asociación con braquiópodos linguliformes como son *Acrothele* sp., *Dictyonina* sp., *Linnarssonina* sp y *Lingulella* sp. Escleritos aislados de *Chancelloria eros*. Cuen *et al.* (2016), define una edad de la Serie 3, Piso 5 (Cámbrico medio tradicional) y las asigna a la Biozona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta (Sundberg, 2011) (Figuras 19).

Ambiente de depósito: La Formación El Gavilán fue depositada en ambiente de plataforma exterior.

Correlación regional: se puede correlacionar con la nueva Formación El Gavilán (Cuen *et al.*, 2016) debido a sus similitudes tanto litológicas como en contenido fosilífero.

Se correlaciona con la parte superior de miembro Caliza Red Pass de la Formación Carrara (Palmer & Halley, 1979) y la Formación Emigrant Groom Range Nevada. (Figura 21).



Figura 18. Afloramiento de la Formación El Gavilán, intercalaciones de lutita y caliza.

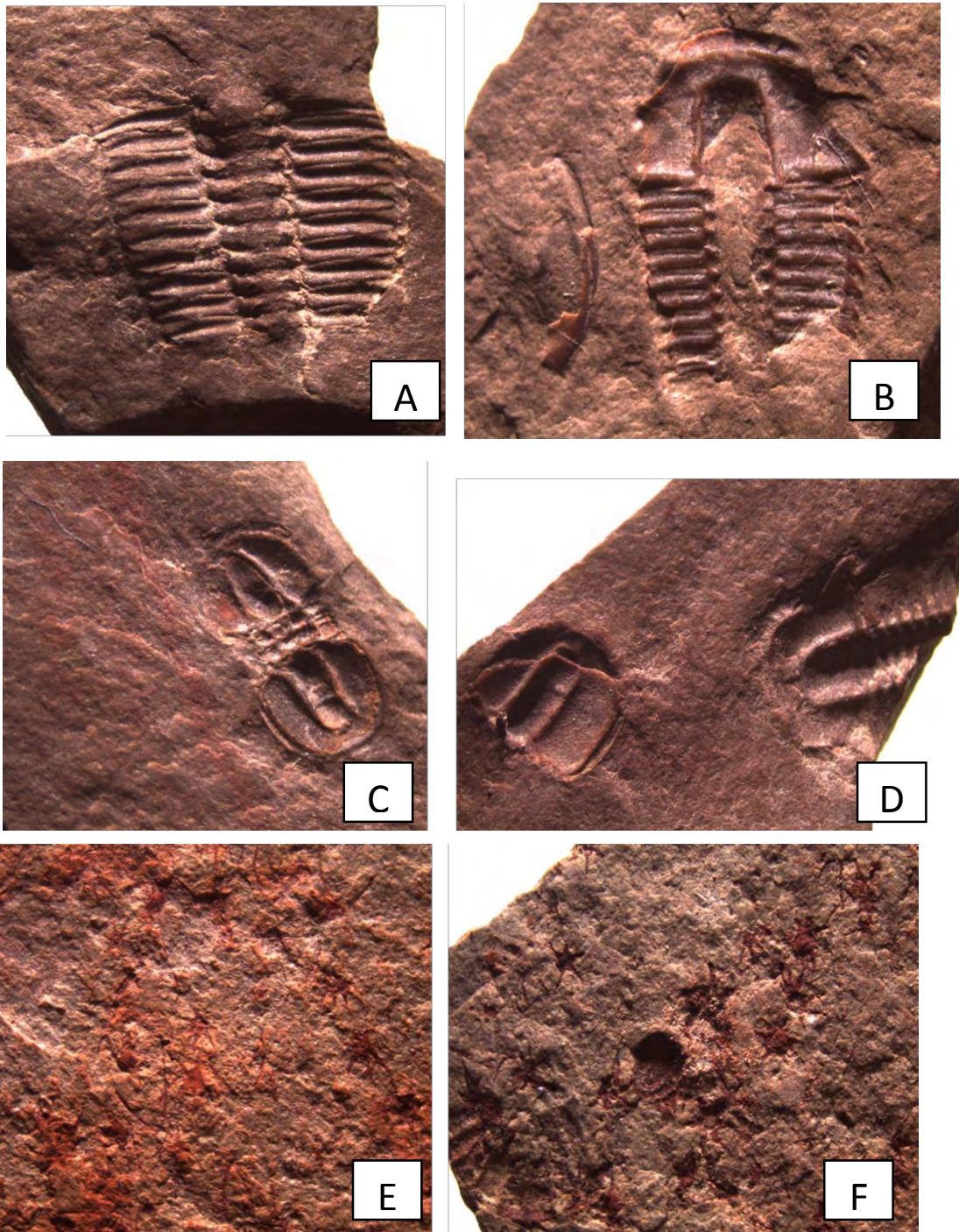


Figura 19. A y B *Elrathina antiqua*, C. *Quadragnostus* y *Elrathina antiqua*. E y F *Chancelloria eros* en asociación con brachiopoda sp. indet.

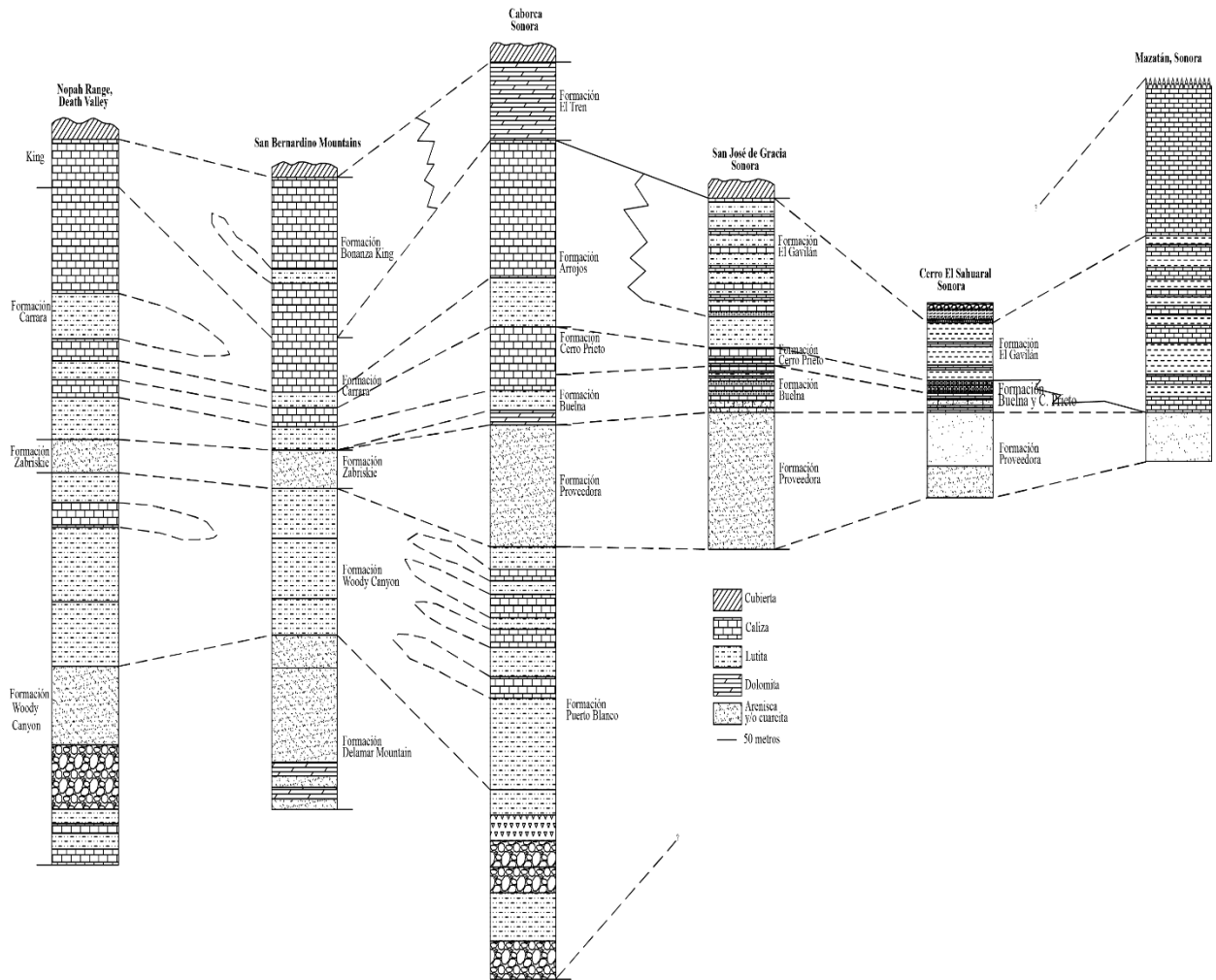


Figura 20. Correlación de Afloramientos Cámbricos

En el plano geológico (Figura 22) se muestra la distribución espacial de los afloramientos de las unidades cámbricas anteriormente descritas; mientras que la figura 23 representa la columna estratigráfica de esta porción del cerro El Sahuaral.

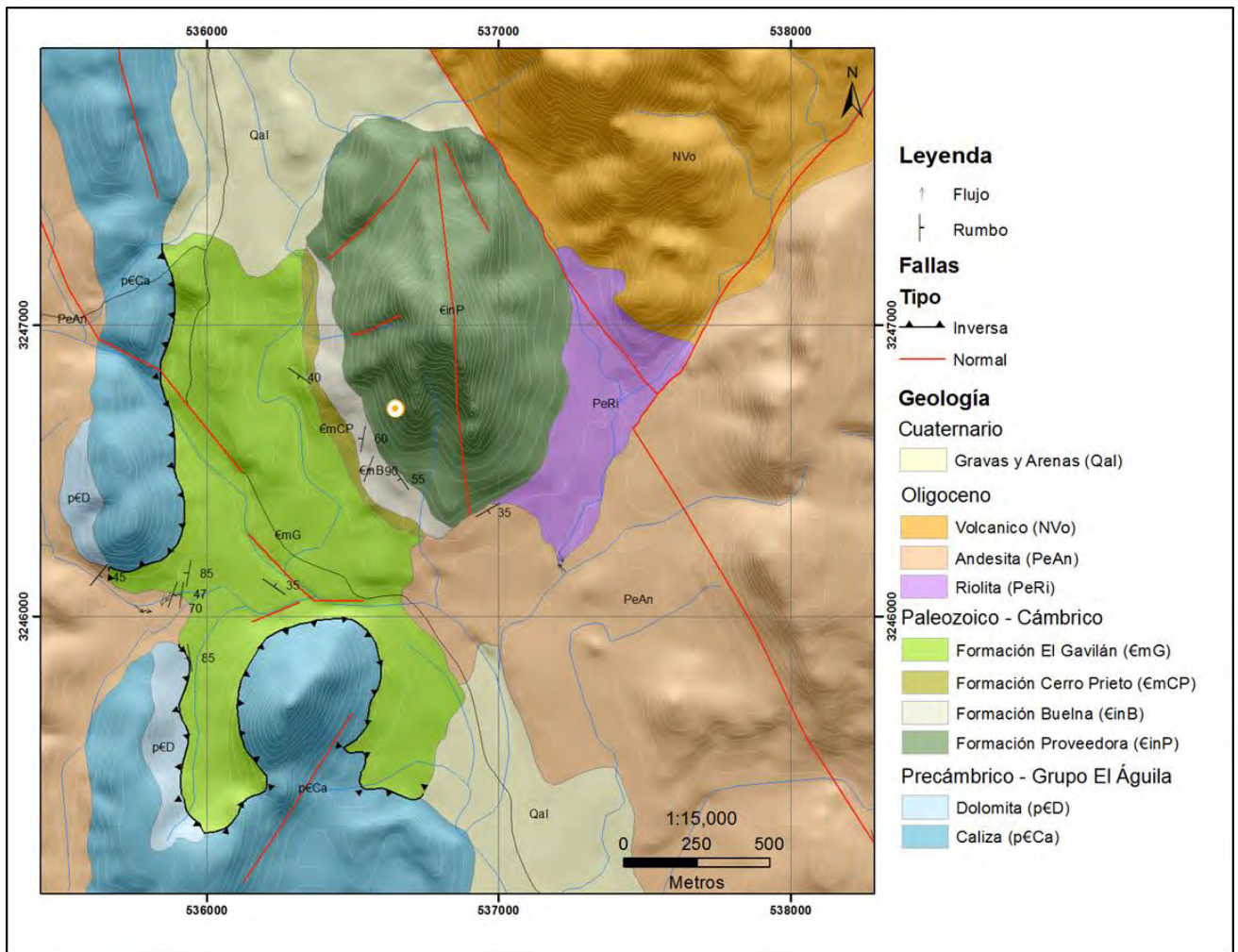


Figura 21. Mapa geológico del cerro el Sahuaral

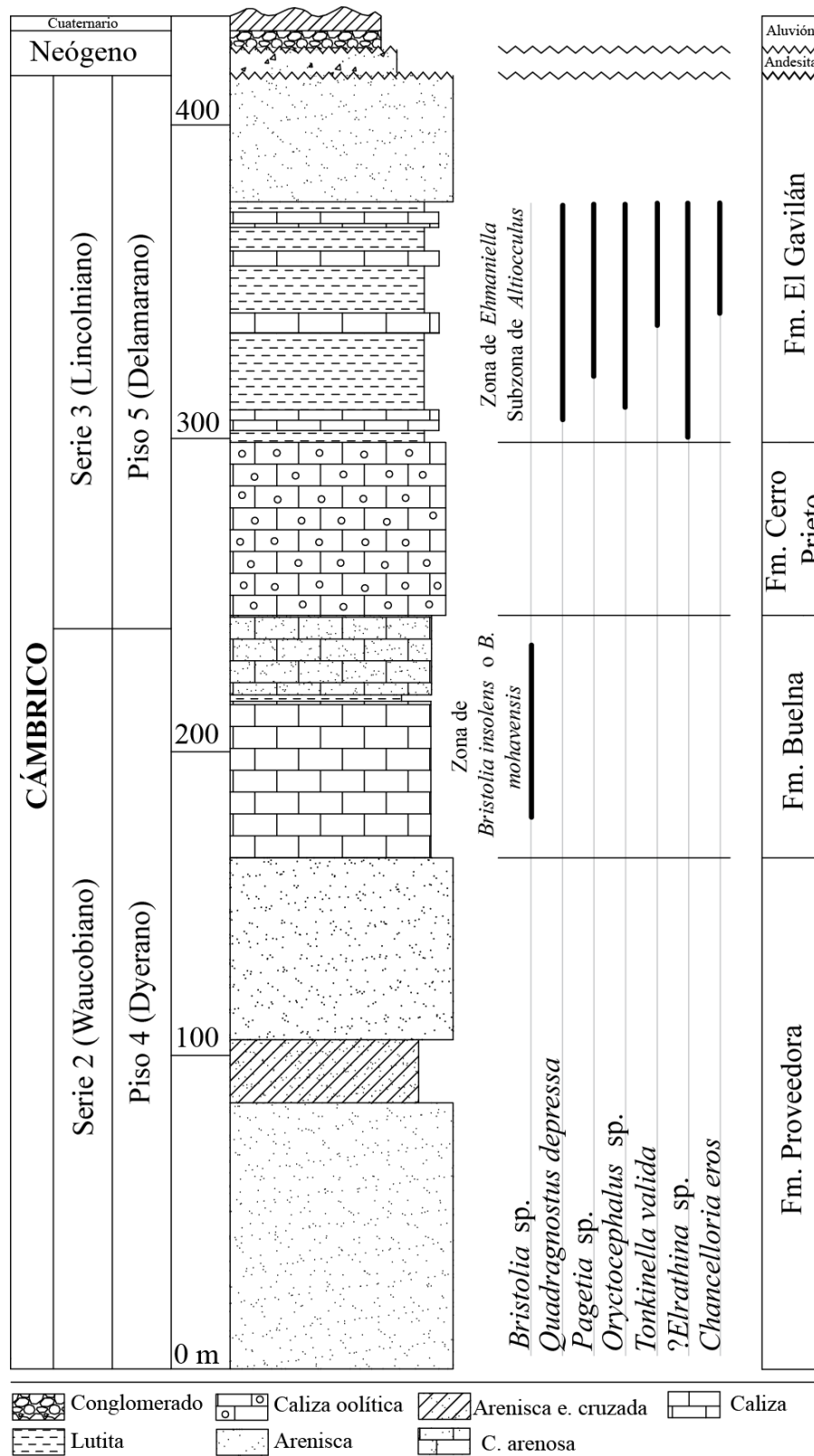


Figura 22. Columna estratigráfica del área del cerro El Sahuaral.

6. Bioestratigrafía del Cámbrico del área El Sahuaral

6.1. Formación Proveedora

La Formación Proveedora no proporcionó fósiles indicadores de edad, pero se identificó la icnofacies de *Skolithos* la cual representa depósitos en medios someros de inframarea e intramareas (Rivera-Carranco, 1988).

6.2. Formación Buelna

La Formación Buelna no proporcionó fósiles de trilobites, sin embargo debido a su posición estratigráfica se considera del Cámbrico inferior. La fauna subordinada consiste de hiolítidos y algas oncolíticas como *Girvanella* sp.

6.3. Formación Cerro Prieto

No fue posible establecer edad debido a la ausencia de fósiles. Debido a la presencia de oolitas se le asigna un ambiente de depósito de alta energía (Rivera-Carranco, 1988).

6.4. Formación El Gavilán

Trilobites:

1. *Quadragnostus depressa*
2. *Pagetia* sp.
3. *Oryctocephalus* sp.
4. *Tonkinella valida*
5. *Elrathina antiqua*

Fauna asociada: *Acrothele* sp., *Dictyonina* sp., *Linnarssonina* sp., además se encontraron escleritos aislados de *Chancelloria eros*.

Biozona: Parte superior de la Zona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus*.

Edad regional: Lincolniano, Topazano.

Edad global: Serie 3, Piso 5.

La Zona de *Ehmaniella* fue definida por Schwimmer (1975) y posteriormente retomada por Robison (1976), sin embargo en el presente trabajo se utiliza la propuesta de Sundberg (1994), definida como una biozona de conjunto que ocurre sobre la Zona de *Glossopleura* y debajo de la Zona de *Bolaspidella* (Cámbrico medio), dividiéndola en cuatro subzonas, de la base a la cima: *Proehmaniella*, *Elrathiella*, *Ehmaniella* y *Altiocculus*.

La Subzona de *Altiocculus* ocurre sobre la Subzona de *Ehmaniella* y corresponde a la parte superior de la Zona de *Ehmaniella*. El límite inferior está definido por la primera aparición de *Altiocculus* mientras que el límite superior está definido por la primera aparición de *Bolaspidella* Resser, 1937, indicando el inicio de la zona del mismo nombre. Las especies comunes incluidas dentro de la Subzona de *Altiocculus* son *A. drumensis*, *A. concavus*, *Dorypyge swasii*, *Quadragnostus depressa* (= *Peronopsis fallax*, *Peronopsis fallax depressa*), *Tonkinella breviceps*, *Tonkinella valida*, *Ptychagnostus gibbus*, *Peronopsis interstricta*, *Parkaspis* sp. y *Elrathina* sp. (Sundberg, 1994).

Desde el punto de vista bioestratigráfico la Zona de *Ehmaniella* es correlacionable con la antiguamente denominada Zona de *Bathyriscus-Elrathina* (Raseti, 1951), la cual fue abandonada debido a que sus géneros diagnósticos (*Bathyriscus* y *Elrathina*) no están restringidos a dicha biozona (Sundberg, 1994).

La Zona de *Ehmaniella* ha sido reconocida en el estado de Sonora por Vega (1996) en Rancho Sobechi, Mazatán, con base en los trilobites *Quadragnostus depressa* (= *Peronopsis fallax*), *Tomagnostus* sp., *Tonkinella valida* y *Syspacephalus* sp., siendo asignados a la Subzona de *Altiocculus* por Cuen (2013). Por lo tanto el presente trabajo constituye el segundo registro de la Zona de *Ehmaniella* para México.

	Global	Serie	Piso	Zonas de trilobites	Plataforma abierta	Sonora, México			
						Mazatán	San José de Gracia		
Cámbrico	Drumiano	Lincolniano	Marjumano	<i>Bolaspidella</i>	(<i>Goniagnostus nathorsti</i>) <i>Ptychagnostus punctuosus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>				
			Piso 5	Topazano	<i>Ehmaniella</i>	<i>Altiocculus</i>	<i>Ptychagnostus gibbus</i>	Rancho Sobechi	Cerro El Sahuaral
	<i>Ehmaniella</i>					<i>Ptychagnostus praecurrens</i> <i>Peronopsis bonnerensis</i>			
	<i>Elrathiella</i>								
	Piso 4		Delamarano	<i>Glossopleura walcotti</i>	<i>Albertella highlandensis</i>	<i>Oryctocephalus indicus</i>			
					<i>Mexicella mexicana</i>		Sin nombre		
					<i>Albertella aspinosa</i>				
					<i>Poliella denticulata</i>				
					<i>Amecephalus arrosensis</i>				
				<i>Eokochaspis nodosa</i>					

Figura 23. Tabla de biozonas.

7. Paleontología sistemática

El material documentado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Phylum Arthropoda Von Siebold, 1848

Clase Trilobita Walch, 1771

Orden Agnostida Salter, 1864

Diagnosis. – Trilobites de tamaño pequeño, isopigidios, con la presencia de dos o tres segmentos torácicos. Escudo del cefalón con una línea parabólica profunda y comúnmente con un ancho máximo anterior al ángulo genal. Borde convexo, glabela fusiforme amplia en la base, excepto en la Familia Condyllopigidae. El hipostoma es flotante, placa rostral ausente o sin calcificar. Borde exterior del pigidio parecido al del cefalón (Fortey y Whittington *en* Kaesler, 1997).

Suborden Agnostina Salter, 1864

Diagnosis. – Sin ojos ni sutura facial; tórax formado siempre por dos segmentos, el anterior carente de semianillo articulante (Tortello *et al.*, *en* Camacho, 2007).

Superfamilia Agnostoidea M'Coy, 1849

Diagnosis. – Trilobites agnóstidos con lóbulos glabelares basales expandidos hacia la parte anterior. Lóbulo glabelar no expandido lateralmente (Fortey y Whittington *en* Kaesler, 1997).

Familia Incierta

Género *Quadragnostus* Howell, 1935

Especie tipo. – *Quadragnostus solus* Howell, 1935

Diagnosis. – Cefalón subcuadrado, borde y surco estrecho o moderadamente amplio; lóbulo posterior de la glabella con márgenes laterales paralelos o expandiéndose ligeramente, redondeados en la parte anterior. Surco transglabellar curvado en la parte posterior. Pigidio subcuadrado, línea posterior redondeada, borde estrecho y con pequeñas espinas. Eje triangular no ancho en la parte posterior, con el punto final (ápice) aproximándose al borde, pero divididos por un pequeño espacio postaxial. Nódulo medio pequeño (Naimark, 2012).

Quadragnostus depressa (Westergård, 1946) Naimark, 2012

Diagnosis. – Cefalón subcuadrado a subcircular y moderadamente convexo. Glabella cercana a lados paralelos pero puede afilarse o expandirse ligeramente hacia la parte anterior. Surco F3 marcado o ligeramente inclinado hacia la parte posterior. Surco F2 ausente o muy débil. Presencia de nódulo medio en el punto medio de la posteroglabella. Presencia de surco del cefalón como en el pigidio, relativamente amplio. Pigidio subcuadrado a subcircular. Eje amplio, variable en tamaño. Surcos F1 y F2 débiles o ausentes. Nódulo medio grande, comúnmente elongado terminando cerca del margen posterior (Robison, 1982).



Figura 24. *Quadragnostus depressa*.



Figura 25. *Quadragnostus depressa*

Suborden Eodiscina Kobayashi, 1939

Diagnosis. Trilobites agnóstidos, con o sin ojos, sutura facial propárica cuando está presente. Dos o tres segmentos torácicos. Anillo medio articulado en un segmento anterior. Pigidio con eje usualmente extendiéndose al borde; región pleural segmentada en algunas especies (Fortey y Whittington *en* Kaesler, 1997).

Superfamilia Eodiscoidea Raymond, 1913

Diagnosis. Glabela bien definida y subcilíndrica, dirigida hacia el frente, o estrecha o expandida hacia la línea media. Gena elevada lateralmente, deprimida frente a la glabela. El borde cefálico puede ser suave o tiene espinas marginales, tubérculos o surcos radiales (escrobiculación). Ojos pequeños y abatocroales, pueden estar presente en ausencia de sutura facial o puede ser solo el tubérculo del ojo. En ocasiones el tórax con el segundo o tercer segmento portando una espina. Eje del pigidio con tres a doce anillos simples, usualmente prominentes; borde estrecho (Fortey y Whittington *en* Kaesler, 1997).

Familia Eodiscoidae Raymond, 1913

Diagnosis. Glabela estrecha, usualmente paralela de los lados y redondeada en la parte anterior. Borde anterior escrobiculado; presencia de surcos a los lados de la glabela, los cuales tienen un ángulo hacia la espina media del cranium; presencia de espina media dirigida hacia atrás. Área preglabellar generalmente grande. Eje del pigidio con cuatro a diez anillos (Fortey y Whittington *en* Kaesler, 1997).

Género *Pagetia* Walcott, 1916

Especie tipo. *Pagetia bootes* Walcott, 1916

Diagnosis. La glabela puede acuminarse hacia adelante, generalmente con surcos laterales pobremente impresos. Campo preglabellar de longitud variable,

usualmente deprimido; borde acuminado lateralmente; ojos abatocroales. Sutura facial propárica, tórax con dos o tres segmentos, geniculado, dirigido hacia la espina media. Pigidio con eje de tres a seis anillos, presentado en el último de estos una espina de longitud variable. El eje no alcanza el surco del borde.

Pagetia sp.



Figura 26. *Pagetia* sp.

Orden Corynexochida Kobayashi, 1935

Diagnosis. Exoesqueleto elongado, subelíptico, la mayoría de las veces micropigidio. Cefalón semicircular, con espinas genales bien desarrolladas; glabella grande con márgenes subparalelos. Surcos laterales distintos, ojos alargados y estrechos, comúnmente asociados a las crestas oculares; sutura facial opistopárica. Placa rostral fusionada con el hipostoma. Tórax compuesto de cinco a once segmentos, pleuras con surcos bien marcados de terminación espinosa. Pigidio

pequeño, comúnmente con espinas marginales, pero en algunos géneros con bordes suaves (Moore, 1959).

Familia Oryctocephalidae Beecher, 1897

Diagnosis. Esqueleto dorsal de baja convexidad, pequeño, la mayoría de las veces de tamaño medio. Glabela de lados paralelos o expandiéndose hacia adelante, alcanzando el borde frontal; los surcos glabulares y occipitales están compuestos de depresiones en par (fosas) que no alcanza el surco axial pero están conectadas cruzando la glabela. Anillo occipital corto, simple; gena fija generalmente amplia, lóbulos palpebrales de longitudes medias y distantes de la glabela; crestas oculares desarrolladas. Gena libre generalmente estrecha, portadora de espinas genales largas; hipostoma fusionado con el rostro. Tórax con 5 a 18 segmentos; pleuras extendidas en largas espinas raramente truncadas. Pigidio pequeño y simple en las formas primitivas, aumentando posteriormente a expensas del tórax. Pigidio de seis a siete segmentos. Eje usualmente corto; regiones pleurales distintas, organizadas de manera radial. Margen generalmente extendido en varios pares de espinas las cuales son redondeadas en pocos géneros (Moore, 1959).

Género *Oryctocephalus* Walcott, 1886

Especie tipo. *Oryctocephalus primus* Walcott, 1886

Diagnosis. Glabela de lados paralelos o expandiéndose ligeramente hacia adelante; surcos glabulares bien impresos como depresiones (fosas). Lóbulo palpebral distante de la glabela. Las áreas posteriores de la gena fija no se extienden más allá de los lóbulos palpebrales, espinas genales largas. Tórax con siete

segmentos; surcos y depresiones pleurales impresas, no paralelas unas de otra; cinco o seis pares de espinas marginales, el cuarto par es el más marcado en la mayoría de las especies (Moore, 1959).

Oryctocephalus sp.

Diagnosis. La misma que para el género.



Figura 27. *Oryctocephalus* sp.

Género *Tonkinella* Mansuy, 1916

Especie tipo. *Tonkinella flabelliformis* Mansuy, 1916

Diagnosis. Proporciones cefálicas como en *Oryctocephalus* pero los surcos glabulares con menos forma de depresiones (fosas). Tórax con cinco segmentos, pleuras terminadas suavemente. Pigidio semicircular, tan grande como el cefalón, margen redondeado. Eje afilado, segmentado, región pleural convexa, radialmente organizada en surcos carentes de depresiones interpleurales; sin surco marginal o borde (Moore, 1959).

Tonkinella valida Tchernysheva, 1962

Diagnosis. La misma que para el género



Figura 28. *Tonkinella valida*



Figura 29. *Tonkinella valida*

Orden Ptychopariida Swinnerton, 1915

Diagnosis. Exoesqueleto dorsal elongado, ovalado, sutura opistopárica, con tórax relativamente grande y pigidio pequeño. Cefalón semicircular, con borde convexo bien definido; glabella afilada hacia adelante, generalmente con tres o cuatro pares de surcos laterales, con el frente redondeado o truncado el cual está separado del borde por un campo preglabellar plano, pequeño, moderadamente convexo o raramente cóncavo. Las suturas faciales divergen enfrente de los ojos; crestas oculares comúnmente presente; gena libre comúnmente con espinas genales de longitud pequeña a grande. Tórax compuesto de 12 a 17 segmentos; eje moderadamente convexo, afiladamente definido; pleuras cercanas al plano con surcos distintivos. Pigidio con pocos segmentos, carente de borde. Superficie generalmente suave. (Moore, 1959).

Suborden Ptychopariina Richter, 1933

Diagnosis. Exoesqueleto con la siguiente combinación de caracteres: 1) Simple, con la glabella hacia adelante; 2) Surcos glabulares subparalelos si están presente; 3) Sutura facial opistopárica; 4) presencia de campo preglabellar; 5) tórax relativamente grande; 6) pigidio pequeño. (Moore, 1959).

Familia Incertae sedis

Género *Elrathina* Resser, 1937

Especie tipo. *Conocephalites cordillerae* Rominger, 1887

Diagnosis. Cranidio amplio, presencia de ojos, estrías longitudinales en un área preglabellar amplia. Presencia de tubérculos en el cranidio, numerosos segmentos torácicos y pigidio pequeño (Moore, 1959).

?*Elrathina* sp.

Diagnosis. La misma que para el género.



Figura 30. ?*Elrathina* sp.



Figura 31. ?*Elrathina* sp.

8. Paleogeografía

Es posible que en la localidad existiera una biocenosis del Cámbrico, conformada por varios grupos de invertebrados (chancellóridos, braquiópodos y trilobites), como lo demuestran los restos fósiles descritos en este trabajo. Los trilobites fueron organismos exclusivamente marinos. Actualmente los del Orden Agnostida Salter, 1864, también llamados miómeros, se consideran pelágicos debido a las facies donde se encuentran, vivían en aguas oceánicas o en aguas neríticas distales en comunicación con el mar abierto; por esta razón se encuentran en rocas presumiblemente acumuladas en el bioma de cuenca oceánica o en el sublitoral más externo, circalitoral (Liñan, 1996).



Figura 32. Mapa paleogeográficas del cámbrico. Tomada de <http://iuca.unizar.es/es/grupo-de-investigacion/patrimonio-y-museo-paleontologico>

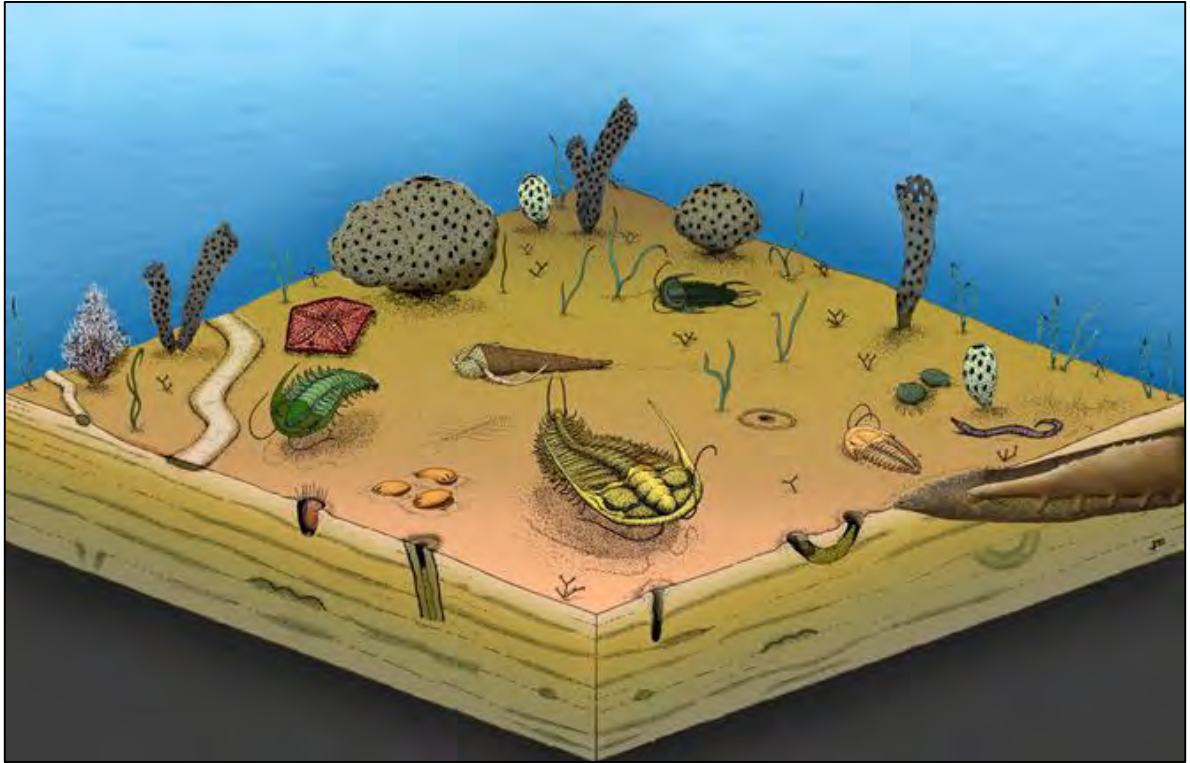


Figura 33. Reconstrucción hábitat en el Cámbrico. Tomada de del <http://iuca.unizar.es/sites/default/files/grupos/Cambrico%20Inferior%20Murero.jpg>
g

9. Resultados y conclusiones

- La sucesión mixta caliza – lutita del cerro El Sahuaral constituye una nueva localidad fosilífera para el Cámbrico medio de Sonora central, México. La fauna está dominada por trilobites del Orden Agnostida y Corynexochida, siendo *Tonkinella valida* un trilobite polímero típico del Cámbrico medio, de amplia distribución geográfica. *Tonkinella valida* se encuentra restringida a la Subzona de *Altiocculus*. Escleritos de *Chancelloria eros* y braquiópodos linguliformes componen la fauna asociada.
- Según la información obtenida en el presente trabajo es posible concluir algunos aspectos interesantes sobre la estratigrafía, bioestratigrafía y paleogeografía del cámbrico del cerro el Sahuaral. Las rocas del cámbrico del cerro el Sahuaral, están representadas por las formación Provedora, Buelna, Cerro Prieto y el Gavilán, representando un cambio de facies hacia ambientes más externos en comparación con las rocas del área de Caborca, como lo demuestra el alto contenido de lutita así como abundantes fósiles de agnóstidos.
- Es posible interpretar los depósitos Cámbricos de Sonora, representados en Caborca como una plataforma interior, mientras que en los afloramientos de Ures (cerros el Sahuaral y Chihuarruita) y Arivechi representan ambientes de plataforma exterior. Corresponden a sedimentos depositados en el límite oeste de la margen de Laurentia.
- Se establece la edad del cámbrico temprano, Serie 2, Piso 4, para la Formación Buelna del área de Caborca con base a la presencia trilobites olenéllidos.

- Se reconoce por primera vez en el área de estudio a la Formación El Gavilán con una edad del cámbrico medio (Topazano, Delamarano) con base a la presencia de trilobites de la biozona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus*.

10. Bibliografía.

Almazán-Vázquez, *et al.* (1988). Estratigrafía de la hoja de Arivechi (H12-D56). Segundo simposio, sobre la geología y minería de sonora

Almazán-Vázquez, E. (1989). El Cámbrico? Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista. Vol. 08, núm. 01, pp. 58? 66.

Almazán, V.E. (2002). El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. Unión Geofísica Mexicana, V. 22? 2. p. 333.

Álvarez, M. (1949). Notas sobre el Paleozoico mexicano. Mexicana de geólogos petroleros. Boletín de la Asociación. Vol. 1, núm. 1, pp. 47 - 56.

Babcock, L.E. y Robison, R.A. (1988). Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cindaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America. University of Kansas Paleontological Contributions 121. Pp. 1 - 22.

Barth, A.P., Wooden, J.L., Jacobson, C.E. and Probst, K. (2004). U–Pb geochronology and geochemistry of the McCoy Mountains Formation, southeastern California: A Cretaceous retroarc foreland basin: Geological Society of America Bulletin, v. 116, p. 142–153

Bartolini, C. Morales M.M. y Damon, M. (2001). Estratigrafía del Terciario y Geocronología (K? Ar) del área sur de San José de Gracia, Sonora central, México. Geological Society of America. Vol. 24, pp. 6.

Beyrich, E. (1845). Über einige böhmische Trilobiten. Reimer, Berlín, 48 pp.

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. Pp. 193 - 201

Buitrón. B.E., Almazán V.E. y Mendoza M.C. (2004). *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México. Unión Geofísica Mexicana. V. 24. No. 02. p. 251.

Buitrón, B.E., Vachard, D., Clausen S. y 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. Pp. 175.

Bordonaro, et al. (2007). Biofacies de trilobites cámbricos en la Formación Alojamiento, Precordillera de San Juan y Mendoza, Argentina.

Cirett, G.J. y Aguilar, R.F. (1989). Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Geología

Cuen, R.F. (2012). Sobre la Estratigrafía y Paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia, Sonora central. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Tesis profesional de Licenciatura, pp. 73.

Cuen, R.F. (2012). *Chancelloria eros* Walcott, 1920 (*Chancelloriidae*), *Diagoniella* Rauff, 1894 y espículas de esponjas hexactinélidas (*Porifera*, *Protospongiidae*) del

Cámbrico Medio de San José de Gracia, Sonora, México. Universidad de Sonora, Departamento de Geología.

Cuen, R.F. (2013). Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones paleogeográficas. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Tesis profesional de Maestría en Ciencias-Geología.

Cuen, R.F., Valdez, H.J., Buitrón, S.B., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo, G.A. y Minjárez, S.I. (2016). Estratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora, México: Formación El Gavilán, una nueva unidad litoestratigráfica de ambiente de plataforma abierta del Cámbrico medio. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, pp. 429-441.

Cuen, R.F., Almazán-Vázquez, E., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., Grijalva, N.F., Monreal, S.R., Schwennicke, T., Ochoa, G. (2009). Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico temprano y medio en la parte central del estado de Sonora, México. Unión Geofísica Mexicana. Vol. 29, No. 1, pp. 91

Cooper, G.A. y Arellano, A.R.V. (1946). Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México. Bulletin American Association Petroleum Geologists. Vol. 30, núm. 4, pp. 606 - 611.

Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A. y Lochman, C. (1952). Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México. Smithsonian Miscellaneous Collections. Vol. 119, pp. 1 -184.

Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A. y Lochman, C. (1956). Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Pt. 1ª. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 259.

Damon, P.E., Shafiqullah, M. y Clark, K.F. (1983). Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20 (6), 1052–1071.

Frey, R.W. (1990). Trace fossils and hummocky cross-stratifications, Upper Cretaceous of Utah. *Palaios*, 5, 203-218.

García, E.- CONABIO, (1998). Clima, escala 1:1000000, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad, México.

Grijalva, N. y Roldan, L. (1998). An overview of the cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora, northwestern México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volume 15, número 2, p. 145-156.

González - León, C. (1986). Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noroeste de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*. Vol. 06, núm. 2, pp. 117 - 135.

INEGI, (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Arivechi, Sonora.

Hall, J., and Whitfield, R.P. (1877). Paleontology: Fossils of the Potsdam Group. *United States Geologic Explorations of the 40th Parallel Report 4*: 199-231.

Hawle, I., and Corda, A.J.C. (1847). Prodom einer Monographie der böhmischen Trilobiten. *Abhandlunger der Konigliche Boehmischen Gesellschaft Wissenchaften* 5: 1-117.

Hazard, J. C. (1937). Paleozoic section in the Nopah and Resting Springs Mountains, Inyo County, California. *California Jour. Mines and Geol.* 33(4) :273-339.

Hintze, L.H., and Robison, R.A. (1975). Middle Cambrian stratigraphy of the House, Wah Wah, and adjacent ranges in western Utah. Geological Society of American Bulletin 86: 881-891.

Howell, A. (1935). The primitive carpus. Journal of morphology. Volumen 57, Issue 1. Pgs 105-112.

Huerta, R.A. (2011). Moluscos del Cámbrico (Hyolithida, Syssoiv, 1957) de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, Paleoecológicas y Paleogeográficas. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis profesional de Ingeniero Geólogo.

Hunt, C. B., and Mabey, D.R. (1966). Stratigraphy and Structure, Death Valley, California, U.S. Geo. Survey Professional Paper, 494-A.

Hupé, P. (1953). Contribution à l'étude du Cambrien inférieur et du Précambrien III de l'Anti-Atlas Marocain. Direction de la Production Industrielle et des Mines, Division des Mines et de la Géologie, Service Géologique, Notes et Mémoires 103, pp. 1 - 402.

ICS, International Commission on Stratigraphy (IUGS). (2013). Tabla Cronoestratigráfica Internacional. v. 2013/01. Recuperado el 13 de octubre del 2013 de: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2013-01Spanish.pdf>

Iriondo, A., Kunk, M. J., Winick, J. A., Coremi, (2003). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating studies of minerals and rocks in various areas in Mexico: USGS/ Coremi scientific collaboration (Part I): U. St. Geological Survey, Open-File Report, (03-020), 79 p.

Johnpeer, G.D. (1977). Reconnaissance geology and petrology of the Guaymas area, Sonora, Mexico: Tempe, Arizona State University, M. Sc. thesis, 67 p.

Kindle, C.H. (1982). The C.H. Kindle collection: Middle Cambrian to Lower Ordovician trilobites from the Cow Head Group, western Newfoundland. Geological Survey of Canada Paper 82-1C, 1-17

Kobayashi, T. (1934). Middle Cambrian fossils from Kashmir. AMERICAN Journal of Science, series 5, 27: 295-302.

Latreille, P.A. (1829). Les Crustaces, les Arachnides, les Insects. In Cuvier, G., Le Regne Animal Distribue d' Apres son Organasion, pour Servir de Base a l' Historie Naturelle des Animaux et d' Introduction a l' Anatomie. Tom. 4.

Leningrado, (1962). Trilobites cámbricos de la familia Oryctocephalidae, Problemas de ocurrencia de petróleo y gas en el Ártico soviético, paleontología y bioestratigrafía 3, Trudy Nauchno-issledovatel'skogo institute arktiki (NIIGA), 127.

Linnarsson, J.G.O. (1869). Om Vestergötlands cambriska och siluriska aflägringar. Kongliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 8 (2): 1-89.

Ludvigsen, R., Westrop, S.R. & Kindle, C.H. (1989). Sunwaptan (Upper Cambrian) trilobites of the Cow Head Group, western Newfoundland, Canada. Palaeontographica Canadiana, 6, 1-175.

Lochman, C., (1948). New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, México. Journal of Paleontology. Vol. 22, núm. 4. Pp. 451 - 464.

Lochman, C. (1952). Trilobites in Cooper, G. A., Arellano A., Jhonson J., Okulitch J., Stoyanow A., Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 119, No 1, p 60-107.

Lochman, C. y Lee Wilson, J. (1958). Cambrian Biostratigraphy in North America. Journal of Paleontology. Vol. 32, No. 2. Pp. 312 -350.

Mansuy, H. (1916). Faunes cambriennes de l'Extreme-Orient meridional. Mém. Serv. Géol. Indoch. 5, fasc. 1: 1-48, 7 pls.

Martínez. B. et al. (1985). Geología del Área de Arivechi Sonora. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Tesis profesional.

Matthew, G. F. (1888). Illustrations of the fauna of the St. John Group, 4 – Part 2. The smaller trilobites with eyes (Ptychoparidae and Ellipsocephalidae). Transactions of the Royal Society of Canada, Section 4, 1887, 123–166, pls 1–3.

Matthew, G.F. (1899). Studies on Cambrian faunas No. 3: Upper Cambrian fauna of Mt. Stephen, British Columbia. Transactions of the Royal Society of Canada, series 2, 5: 39-66.

Maytorena-Silva, J.F. y Esparza-Yañez, F.A. (1990). The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications. Geological Society of America. Abstracts with ptograms. V. 22, núm. 3. Pp. 65.

McCollum, L.B. y Sundberg, F.A. (2007). Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, U.S.A.: Implications for global correlations and defining a Series 3 global boundary stratotype. Memoirs of the Association of Australasian Paleontologists, 34: 147 - 156.

McDowell, F.W. y Keiser, R.P. (1977). Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlán, Mexico: Geological Society of American Bulletin, v. 88, p. 1479-1487.

McMenamin, M.A. (1987). Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, México. Journal of Paleontology. Vol. 61, núm. 4, pp. 738 - 749.

M'Cov, F. (1849). On the classification of some British fossil Crustacea with notices of some new forms in the University collection at Cambridge. *Annals and Magazine of Natural History, Series 2*, 4, 161-179, 330-335, 392-414.

Meek, F.B. (1873). Preliminary Paleontological Report, Consist • ing of List and Descriptions of Fossils with Remarks of the Ages of the Rocks in Which They Were Found, in 6th Annual Report US Geological Survey Territory, Hayden, F.V., Ed., 1873, pp. 431–518.

Moore, R.C., Lalicker, C.G. & Fisher, A.G. (1952). *Invertebrate Fossils*. McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York, 766 pp.

Moore, R. C. (1959). *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part O, Arthropoda 1; 560 pp. Lawrence, Kansas.

Nardin, E., Almazán-Vásquez, E. y Buitrón-Sánchez, B.E. (2009). First report of *Gogia* (Eocrinoidea? Echinodermata) from the Early? Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeoecological comments. *Geobios* 42 (2009), pp. 233 – 242

Palmer, A.R. and Halley, R.B. (1979). Physical stratigraphy and trilobite biostratigraphy of the Carrara Formation (Lower and Middle Cambrian) in the southern Great Basin. *United States Geological Survey, Professional Paper 1047*: 1-131, pls. 1-16.

Pantoja A., J., y Robison, R.A. (1967). Paleozoic sedimentary rocks in Oaxaca, México. *Science, New Series*. Vol. 157, núm. 3792, pp. 1033? 1035.

Paz-Moreno, F., Demant, A., Cochemé, J.J., Dostal, J. y Montigny, R. (2003). The Quaternary Moctezuma volcanic field: A tholeiitic to alcali basaltic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, Mexico, en Johnson, S.E., Paterson, S.R.,

Fletcher, J.M., Girty, G.H., Kimbrough, D.L., Martín-Barajas, A. (eds.), Tectonic Evolution of northwestern Mexico and the southwestern United States: Geological Society of America Special Paper, 374, 439- 455.

Pemberton, S.G. (1992). Applications of ichnology to petroleum exploration, S.E.P.M. Core Workshop, 17, 429 pp.

Peng, S., Babcock, L.E. y Cooper, R.A. (2012). The Cambrian Period. In Gradstein Félix, M., Ogg G. James., Schmitz & Gabi Ogg. The Geologic Time Scale 2012. Elsevier B.V., pp. 437 - 488.

Rasetti, F. (1951). Middle Cambrian stratigraphy and faunas of the Canadian Rocky Mountains. Smithsonian Miscellaneous Collections 116: 1-277.

Reed, F.R.C. (1899). Cambrian and Ordovician fossil from Kashmir. Memoir of the Geologic Survey of India, new series, 21: 1-38, 2 pls.

Ress, M.N. (1986). A fault-controlled trough through a carbonate platform: The middle Cambrian House Range embayment. Geological Society of America Bulletin 97: 1054-1069.

Resser, C.E. (1928). Cambrian fossils from the Mohave Desert. Smithsonian Misc. Col. 81 (2):1-14.

Resser, C.E. (1937). Third contribution to nomenclature on Cambrian trilobites. Smithsonian Miscellaneous Collections 95(22): 1-59.

Richter, R. (1993). Crustacea (Palaontologie). In Handwörterbuch der Naturwissenschaften, 2nd ed. 2: 840-864, figs. A, 1-65.

Rivera-Carranco, E. (1988^a). Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 1, pp. 22 - 27.

- Rivera-Carranco, E. (1988b). Génesis de la Formación Provedora (Cámbrico inferior) del área de Caborca, Sonora Noroccidental. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 2, pp. 163 - 167.
- Robison, R.A. (1982). Some Middle Cambrian agnostoid trilobites from western North America, *Journal of Paleontology* 56: 132-160.
- Robison, R.A., 1964b. Upper Middle Cambrian stratigraphy of western Utah. *Geological Society of American Bulletin* 75: 995-1010.
- Robison, R.A. (1965). Middle Cambrian Eocrinoids from Western North America. *Journal of Paleontology*, V. 39 (3), pp. 355 - 364.
- Robison, R.A., y Pantoja A.J. (1968). Tremadocian Trilobites from the Nochixtlán Region, Oaxaca, México. *Journal of Paleontology*, Vol. 42, No. 3. Pp. 767 - 800.
- Rowell, A.J., Robison, R.A. and Strickland, D.K. (1982). Aspects of Cambrian agnostoid phylogeny and chronocorrelation. *Journal of Paleontology* 56: 161-182.
- Salter, J.W. (1864a). A monograph of the British trilobites from the Cambrian, Silurian and Devonian formations. *Monograph of the Palaeontographical Society*, 1-80, pis 1-6.
- Salter, J.W. (1864b). Figures and descriptions illustrative of British organic remains. *Memoirs of the Geological Survey of the United Kingdom*, 64p., 9pls.
- Schwimmer, D.R. (1973). The Middle Cambrian biostratigraphy of Montana and Wyoming. Unpublished Ph.D. dissertation, State University of New York, Stony Brook, 452 pp.
- Schwimmer, D.R. (1975). Quantitative taxonomy and biostratigraphy of Middle Cambrian trilobites from Montana and Wyoming. *Mathematical Geology* 7: 149-166.

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

Shergold, J.H. (1969). Oryctocephalidae (Trilobita: Middle Cambrian) of Australian. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bulletin 104: 1-66, pls. 1-12.

Stewart, J. H. (1982). Regional relations of Proterozoic Z and Lower Cambrian rocks in the western and northern Mexico: in Cooper, J. D., Troxel, B. W., y Wright, L. A., eds., Guidebook Geology of selected in the San Bernardino Mountains, western ve desert, and south Great Basin, California. Anaheim, California, Geol. Arnerica, Ann. Meeting, p. 171-186.

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

Stewart, J.H., Amaya-Martinez, R. y Palmer, A.R. (2002). Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, México. Rodinian Super continent to Laurentian Cordilleran Margin. Geological Society of America. Special Paper 36. Pp. 9 - 15.

Sundberg (1994). Contributions in Science. Corynexochida and Ptychopariida (Trilobita, Arthropoda) of the Ehmaniella Biozone (Middle Cambrian), Utah and Nevada. Number 446.

Sundberg, F. (1999). Redescription of *Alokistocare subcoronatum* (Hall and Whitfield, 1877), the type species of *Alokistocare*, and the status of *Alokistocaridae* Resser, 1939 (Ptychopariida: Trilobita, Middle Cambrian). *Journal of Paleontology* 73: 1126- 1143.

Sundberg, F.A. y McCollum, L.B. (2003). Trilobites of the lower Middle Cambrian *Poliella denticulata* Biozone (New) of southeastern Nevada. *Journal of Paleontology*. 77 (22), pp. 331 - 359.

Sundberg, F.A. (2011). Delamarian biostratigraphy and Lithostratigraphy of the southern Nevada, in Hollingsworth, J.S., Sundberg F.A., Foster, J.R. (eds.), *Museum of Northern Arizona, Bulletin*, 67, 174-185.

Swinnerton, H.H. (1915). Suggestions for a revised classification of trilobites. *Geological Magazine, new series*, 2: 407-496, 538-545.

Tchernysheva, N.E. (1962). Kembriiske trilobity Semeistva Oryctocephalidae. In *Problemy Neftegazonosnosti Sovetskoi Arktiki Paleontologiya i Biostratigrafiya* 3. *Trudy nauchno-issledovatel' skii geólogo-razvedochnyi neftionoi Intitut Arktiki*

Vega, G.R (1996). Geología de la Sierra de Mazatán. *Bol. Depto. De Geologia Unison*. Vol. 13. No. 1.

Von Siebold, C.T. (1848). *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbellosen Thiere. Erster Theil*. In: von Siebold C.T. & Stannius H. (eds.), *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie*. - Verlag von Veit & Comp., Berlin. 679 pp.

Walch, J.E.I. (1771). *Die Naturgeschichte der Versteinerungen, zur Erläuterung der Knorr'schen Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur*. Vol. 4. Part 3. J.P. Felßecker, Nürnberg, 303 pp.

Walcott, C.D. (1916). *Cambrian Geology and Paleontology*, 3, 5 - Cambrian trilobites. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 64 (5), 303-456.

Walcott, C.D. (1920). *Cambrian geology and Paleontology IV: 06, Middle Cambrian Spongiae*. *Smithsonian Miscellaneous Collections*. Vol. 67, pp. 261 - 364.

Walcott, C.D. (1884). Paleontology of the Eureka District. United states geological survey, Monograph 8, 298 pp.

Webster, M. (2011). Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (Traditional Laurentian? lower Cambrian?) in the southern Great Basin, U.S.A. In Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada: Museum of Northern Arizona. (Eds. Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. & Foster, J.R.). Bulletin 67, pp. 321.

White, C.A. (1974). Preliminary report upon invertebrate fossils, with descriptions of new species. United States Geographical Exploration of the West 100th Meridian [Wheeler Survey], pamphlet, 27 pp.