

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

**Braquiópodos (Rhynchonellata –
Spiriferida) del Devónico Superior
(Frasniano) de la Sierra El Tule,
Sonora, México: Sistemática y
Bioestratigrafía.**



**Tesis Profesional
Que para obtener el Título de
Geólogo**



**Presenta:
Luis Gilberto Carrillo Sotelo**

Hermosillo, Sonora, México, febrero 2023

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

Hermosillo, Sonora, 30 de enero de 2023

DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE SONORA
P R E S E N T E.-


Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para el registro y aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

“BRAQUIÓPODOS (RYNCHONELLATA-SPIRIFERIDA) DEL DEVÓNICO SUPERIOR (FRASNIANO) DE LA SIERRA EL TULE, SONORA, MÉXICO: SISTEMÁTICA Y BOESTRATIGRAFÍA”

Lo anterior es con el fin de que el alumno: **Luis Gilberto Carrillo Sotelo** con **Expediente No. 217204542**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

En espera de su respuesta, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E
“EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA”



M.C. ALENDRA MONTIJO GONZÁLEZ
DIRETOR DE TESIS

C.c.p. Interesado.





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora, México a 1 de febrero de 2023

MC ALEJANDRA MONTIJO GONZÁLEZ
DIRECTORA
P R E S E N T E.-

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de Tesis propuesto por usted intitulado:

"BRAQUIÓPODOS (RHYNCHONELLATA, SPIRIFÉRIDA) DEL DEVÓNICO SUPERIOR (FRASNIANO) DE LA SIERRA DEL TULE, SONORA, MÉXICO: SISTEMÁTICA Y BIOESTRATIGRAFÍA".

Lo anterior con el fin de que el alumno **CARRILLO SOTELO LUIS GILBERTO**, con No. de Expediente **217204542**, pueda presentar su examen profesional para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

Presidente	Dr. Francisco Javier Cuen Romero
Secretario	Dr. Héctor Arturo Noriega Ruiz
Vocal	MC Alejandra Montijo González

Sin otro particular y agradeciendo su participación como director de tesis, quedo de usted

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

c.c.p. archivo



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

NOMBRE DE LA TESIS

**"BRAQUIÓPODOS (RHYNCHONELLATA, SPIRIFÉRIDA) DEL
DEVÓNICO SUPERIOR (FRASNIANO) DE LA SIERRA DEL TULE,
SONORA, MÉXICO: SISTEMÁTICA Y BIOESTRATIGRAFÍA".**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE

CARRILLO SOTELO LUIS GILBERTO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis profesional y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de licenciatura en la Universidad de Sonora.


DR. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis profesional y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de licenciatura en la Universidad de Sonora.


DR. HÉCTOR ARTURO NORIEGA RUIZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis profesional y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de licenciatura en la Universidad de Sonora.


MC ALEJANDRA MONTIJO GONZÁLEZ

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"


DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

c.c.p. archivo

Dedicatoria

A mis padres,

Por haberme formado como la persona que soy en la actualidad; por su amor, sacrificio y paciencia, gracias.

A mi hermano,

Por ser un gran soporte y motivador en mi formación, así como un gran compañero.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Sonora por la oportunidad de formarme en esta carrera, por el apoyo de los maestros al transmitirme sus bases y conocimientos para mi formación

A mis padres, Juan y Loenila, por su amor incondicional, por el constante apoyo y aliento. A mi hermano, Juan, por ser mi primer amigo y por apoyarme siempre en mi formación.

A mis familiares por apoyarme en mi camino académico y ser un pilar en mi vida

A mi Directora de Tesis, M.C. Alejandra Montijo González por su apoyo, confianza y motivación, así como su dedicación al trabajo y revisión de la tesis.

Al Dr. Francisco Cuen Romero por su compromiso, apoyo, paciencia y por todo el tiempo en el que compartió su conocimiento sobre paleontología y la revisión del trabajo. Al Dr. Héctor Arturo Noriega Ruíz por sus consejos, comentarios, apoyo y ayuda en el desarrollo de la tesis.

A los amigos que hice durante la carrera, en especial a Renée, Perla y Leonardo por todos los momentos que pasamos juntos, por lo que, más que amigos, son mi familia. También a Martín, Melissa y Alejandro por formar parte de mi vida y ser una parte importante de mí.

A Lizeth López Arriola por su ayuda en la elaboración de los mapas.

Contenido

Resumen	1
1. Introducción.....	2
1.1 Objetivos	4
1.2 Objetivos Específicos.....	4
2. Generalidades	5
2.1 Antecedentes Regionales	5
2.2 Antecedentes Locales.....	6
2.3 Metodología	7
2.4 Localización	7
2.7 Vegetación	13
3. Marco Geológico General.....	14
4. Estratigrafía	18
5. Generalidades de los braquiópodos.....	21
6. Paleontología Sistemática	25
7. Resultados y Conclusiones	33
8. Bibliografía	34

Índice de figuras

Figura 1 Localización del área de estudio	8
Figura 2 Fisiografía del área de estudio	10
Figura 3 Unidades Climáticas del área de estudio	12
Figura 4 Vegetación del área de estudio	13
Figura 5 Geología regional, modificado de la carta geológico-minera H12-2 Nogales, del Servicio Geológico Mexicano	17
Figura 6. Columna estratigráfica de cerro El tule, modificado de González León, 1986	20
Figura 7. cf. <i>Eleutherokomma</i>	25
Figura 8. Distribución geográfica de cf. <i>Eleutherokomma</i>	26
Figura 9 <i>Eleutherokomma diluvianoides</i> sp.....	27
Figura 10 Distribución geográfica de <i>Eleutherokomma diluvianoides</i>	27
Figura 11 <i>Cyrtospirifer verneuili</i> sp.....	28
Figura 12. Distribución geográfica de <i>Cyrtospirifer verneuili</i> sp.....	29
Figura 13 <i>Spinatrypa</i> sp	30
Figura 14 Distribución geográfica de <i>Spinatrypa</i> sp.	30
Figura 15 <i>Pseudoatrypa devoniana</i> sp.....	31
Figura 16 Distribución geográfica de <i>Pseudoatrypa devoniana</i> sp.....	32

Resumen

En el presente trabajo se describen por primera vez una asociación de braquiópodos provenientes del cerro El Tule del área de Cananea, identificando las especies cf. *Eleutherokomma*, *Eleutherokomma diluvianoides*, *Cyrtospirifer verneuili*, *Spinatrypa* sp., *Pseudoatrypa devoniana*, las cuales corresponden a una edad del Frasniano (Devónico Superior).

Los cuales presentan una amplia distribución geográfica, teniendo en común localidades como, Estados Unidos, Canadá, Francia, Irlanda y Mauritania. A excepción de *Cyrtospirifer verneuili*, el cual tiene más presencia en los países del oriente.

Por otro lado, se ha identificado una fauna asociada constituida por corales como *Hexagonaria occiduas* y *Pachyphyllum nevadense*, y gasterópodos como *Turbonopsis*, los cuales indican ambientes de plataforma marina somera.

1.Introducción

La República Mexicana cuenta con una escasa y limitada extensión de afloramientos de rocas del Paleozoico. Era que está dividida en los periodos: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico. Desde mediados del siglo pasado han sido objeto de estudios paleontológicos y estratigráficos, siendo en esa época donde el Devónico Inferior era prácticamente desconocido para el país, sin embargo, el Cámbrico y Ordovícico eran documentados en el norte de México (Álvarez, 1949; Fries, 1962; López, 1969).

El Devónico esta pobremente estudiado y son escasos los afloramientos debido a rocas del Mesozoico que cubrieron los afloramientos del Paleozoico; numerosos afloramientos se concentran en el noroeste de México, existiendo afloramientos en Chihuahua y Sonora.

En Chihuahua se tiene registro de trabajos previos donde se presenta contenido paleontológico de corales y braquiópodos del Silúrico y Devónico Medio. (Bridge-Wadsworth.1962, 1964),

En Sonora la presencia del Devónico existe en el noreste del estado, registrando 21 áreas donde este aflora y donde se han realizado trabajos previos (González- Alcaraz, 2017).

En la localidad de Cananea, específicamente en el Cerro El Tule, existen trabajos que describen a detalle la estratigrafía del Paleozoico (González-León, 1986). Reporta afloramientos de rocas marinas de edad del Cámbrico, Devónico, Misisípico, Pensilvánico y Pérmico, así como una correlación litoestratigráfica con

las montañas Mule y Swisshelm de Arizona y las montañas Peloncillo y Franklin de Nuevo México (González-León, 1986). En el área del Cerro El Tule, Cananea, se han encontrado fósiles de braquiópodos, trilobites y crinoideos que pertenecen al Devónico Superior; siendo los braquiópodos el objetivo de este estudio.

Los braquiópodos son invertebrados celomados triplobásticos, fueron un grupo dominante de los mares paleozoicos y mesozoicos. Actualmente, están ubicados en el grupo de los lofotrocozoos, el Phylum Brachiopoda Duméril, 1806. Se constituye de dos Subphylum: Linguliformea, Craniformea, y Rhynchonelliformea. Los braquiópodos rynchonelliformes se caracterizan por su conchilla articulada de calcita. Eran susceptibles a cambios de ambientes y tienen características esqueléticas que reflejan su estilo de vida y supervivencia al registrar su aspecto fisiológico (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

Los braquiópodos del Devónico en Sonora han sido documentados en las localidades de Hermosillo, Caborca (Boucot *et al.* in Blodgett, 2008.), San Pedro de la Cueva (Gálvez-Rivera, 2022), entre otros. Sin embargo, los estudios sistemáticos han sido escasos, por lo que existen descripciones de forma general. El presente trabajo tiene como objetivo identificar, analizar y describir los braquiópodos del Devónico Superior del Cerro El Tule, noreste de Sonora.

1.1 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un registro taxonómico de los braquiópodos del Cerro El Tule, Sonora, y contribuir al conocimiento del Paleozoico de Sonora.

1.2 Objetivos Específicos

- Contribuir al conocimiento de los braquiópodos en el noroeste de México
- Realizar la taxonomía de los braquiópodos del área del Cerro El Tule
- Establecer correlaciones con otros depósitos del Devónico Superior de Norteamérica, particularmente, basado en las asociaciones de braquiópodos.

2. Generalidades

2.1 Antecedentes Regionales

Álvarez (1949), menciona que los afloramientos del Devónico en México son escasos y están muy separados, también dando el hecho de que solo se han encontrado afloramientos del Devónico en Sonora.

Bridge-Wadsworth (1962), reportó un alóctono formado por rocas paleozoicas que fueron desplazadas sobre rocas de plataforma carbonatada y de la cuenca del sur de Laurentia, esto durante el Paleozoico tardío.

Roldán-Quintana (1982), describió que Sonora tuvo lugar a importantes movimientos que ocasionaron un basculamiento, afectando las rocas ya depositadas antes del Devónico Medio resultado de la Orogenia Antlerana. Teniendo un evento de hundimiento y como resultado la acumulación de sedimentos en la plataforma continental en el Devónico Medio, terminando casi al final del Misisípico.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2012), describió diferentes secuencias del Paleozoico del noreste del estado de Sonora, en un total de 15000 km², las cuales presentan los periodos Cámbrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico.

González-Alcaraz (2017), documentó que Sonora tiene la más grande diversidad en lo que se refiere a litología, ya que es el único estado que tiene la presencia de todos los periodos del Paleozoico en México, haciendo de Sonora un área de gran interés científico, atrayendo muchos investigadores para trabajo que

cubran las demandas académicas, económicas y ambientales. Asegurando según su recopilación de localidades paleozoicas, se tiene un recuento de 21 localidades del Devónico.

2.2 Antecedentes Locales

González-León (1986) concluyó que el área de Cananea, Sonora, específicamente en la Sierra del Tule, se compone principalmente por rocas carbonatadas pertenecientes al paleozoicas sedimentarias, las cuales presentan un espesor de 1,200 m aproximadamente. Con rango estratigráfico que va desde el Cámbrico al Pérmico, sin incluir los períodos Ordovícico y Silúrico. El Devónico, aflora en la ladera nororiental, con un espesor aproximado de 144 m.

Peiffer-Ranging (1988), señaló que la Sierra las Mesteñas muestra una secuencia completa del Paleozoico, mientras que, en el Cerro el Tule se encuentra únicamente rocas del Devónico y del Misisipico.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2008), documentó que identificaron crinoides en el Cerro del Tule, que han sido reportados en Ohio, Texas y Kansas en los EE.UU. por Moore y Jeffords (1968) y Kazajstán y Pribalkhash (1984), con gran abundancia de fósiles: corales, briozoos, braquiópodos, fusulínidos y ocasionales gasterópodos.

2.3 Metodología

La elaboración del presente trabajo se realizó bajo una serie de etapas descritas a continuación:

➤ Investigación Bibliográfica:

Se realizó una revisión bibliográfica en las bibliotecas de la universidad, así como artículos electrónicos acerca del área de estudio, sus alrededores y del contenido fósil obtenido (braquiópodos).

➤ Recolección de muestras en el área de estudio

Consistió en la visita del área de estudio para la recolección de muestra con contenido fosilífero (braquiópodos), para su posterior estudio y determinación.

➤ Análisis paleontológico

Se realizó la limpieza, fotografiado e identificación de las muestras recolectadas basándose en los taxones y su correspondiente autor.

➤ Integración de los datos

El contenido fósil obtenido fue analizado para la interpretación con la finalidad de realizar el presente trabajo.

2.4 Localización

El Cerro del Tule está localizado al noreste de Sonora, con latitud 31.28944° norte y longitud -110.2874° oeste, a 40 km. de la ciudad de Cananea. Este aparece en la carta topográfica H12-B33 del Servicio Geológico Mexicano. Teniendo cerca el Cerro Caloso, Cerro los Pelones y Cerro Agua Dulce (Figura 1).

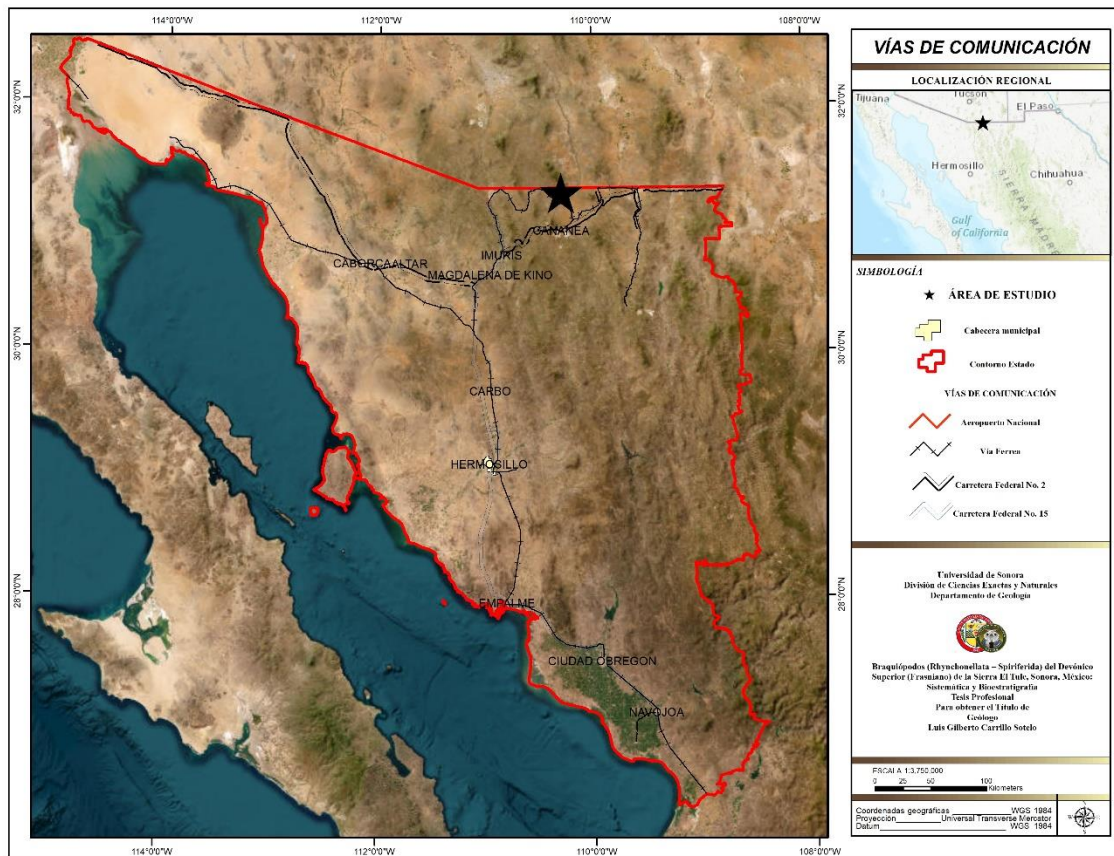


Figura 1 Localización del área de estudio

2.5 Fisiografía

Según la clasificación de INEGI (2000), la fisiografía del estado de Sonora está conformada por cuatro provincias, las cuales son: Provincia Llanura Sonorense, la cual es la de mayor extensión en el estado y va desde la frontera con Estados Unidos y Baja California, hasta llegar a su límite con la Provincia Llanura Costera del Pacífico, la cual abarca únicamente el Valle del Mayo; al este se encuentra la Provincia Sierra Madre Occidental, esta inicia al Sur del límite con Estados Unidos y termina en el río Santiago y el Eje Neovolcánico; la última provincia, a pesar de su pequeña extensión en el estado, es la más importante ya que representa el territorio donde se lleva a cabo el estudio del trabajo, la cual es la Provincia Sierras y Llanuras del Norte.

1. Sierras y Llanuras del Norte

La provincia se extiende también por Estados Unidos de América. En México llega al río Bravo y limita al oeste con la Sierra Madre Occidental y también tiene un contacto con la Mesa del Centro en su extremo sur. La provincia comprende parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango y Sonora. Esta provincia presenta una subprovincia llamada Llanuras y Médanos del Norte (INEGI, 2000).

a. Llanuras y Médanos del Norte

Esta subprovincia abarca 7,316.07 km² del territorio sonorense, el cual es parte de Municipios como: Nogales, Santa Cruz, Ímuris, Cananea, Naco, Fronteras, Agua Prieta y Bavispe (INEGI, 2000).

A diferencia de otras subprovincias, está formada por sierras entre las cuales se intercalan valles paralelos con una orientación N-S, las rocas ígneas intrusivas acidas predominan en las sierras, mientras que las rocas sedimentarias (Terciario) abundan en los valles (CONAGUA, 2020).

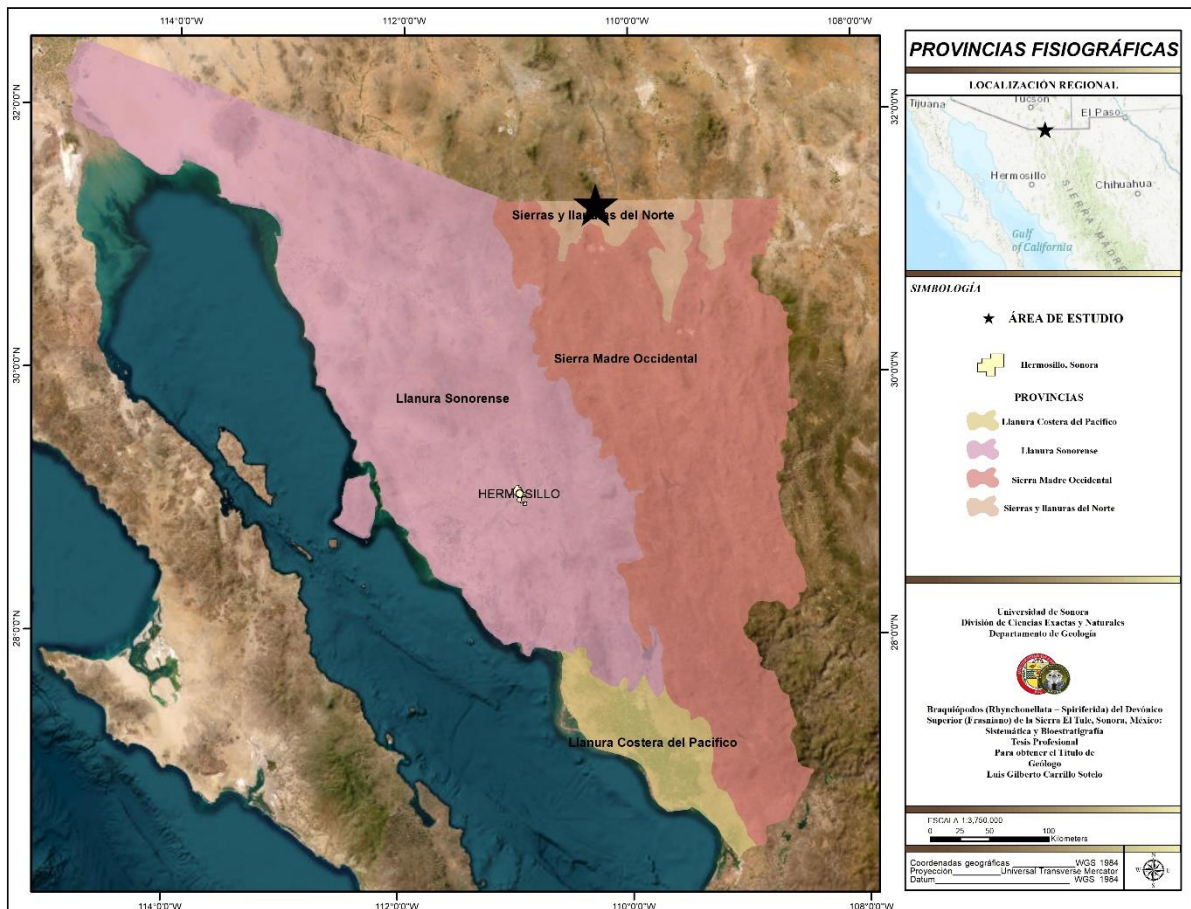


Figura 2 Fisiografía del área de estudio

2.6 Clima

El clima en el Estado de Sonora está conformado por seco y semiseco, muy seco, templado subhúmedo y cálido subhúmedo, dentro de estos predomina el clima seco y muy seco en la Sierra Madre Occidental abarcando la mitad del territorio sonorense (48%), también predomina el clima muy seco el cual se presenta en las Llanuras Costeras del Golfo y Sonorense (46.5%), por último los grupos menores son el clima templado subhúmedo representando una pequeña porción en el este del estado (4%) y el clima cálido subhúmedo en el sureste (1%). Sonora presenta una precipitación media de 450 mm anuales en los meses de julio y agosto (INEGI, 2000), (Figura 3).

La subprovincia Llanuras y Médanos del Norte, según la clasificación de Köppen modificada por García (1981), el clima que predomina en la región es, BS1 kw (x') correspondiente a un clima semiseco, con lluvias en verano (CONAGUA, 2020).

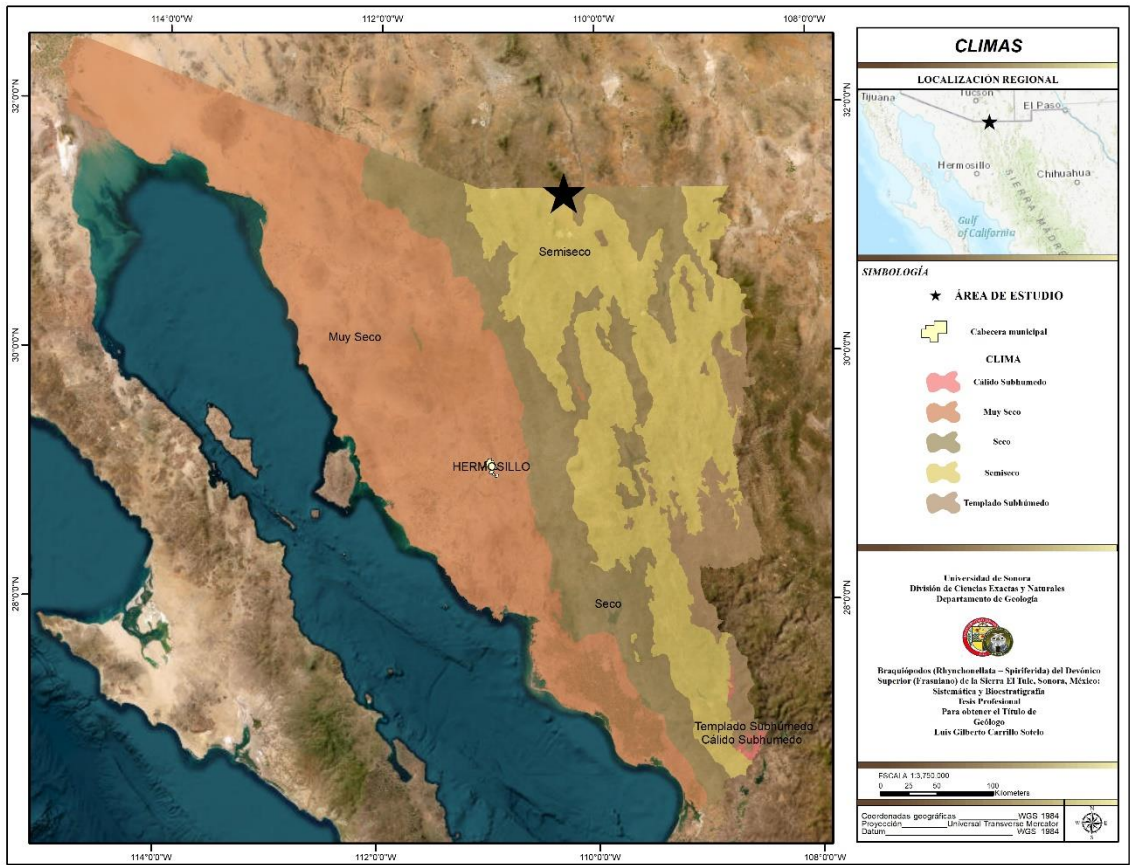


Figura 3 Unidades Climáticas del área de estudio

2.7 Vegetación

Según la base de datos de la INEGI (2018) y su mapa de uso de suelos y vegetación, el área de estudio está compuesta en su mayoría de pastizal natural, mientras que solo una escasa área es cultivado. Cuenta con bosques de encino en mayor proporción y área, así como pequeñas zonas de bosque de pino y táscate (Figura 4).

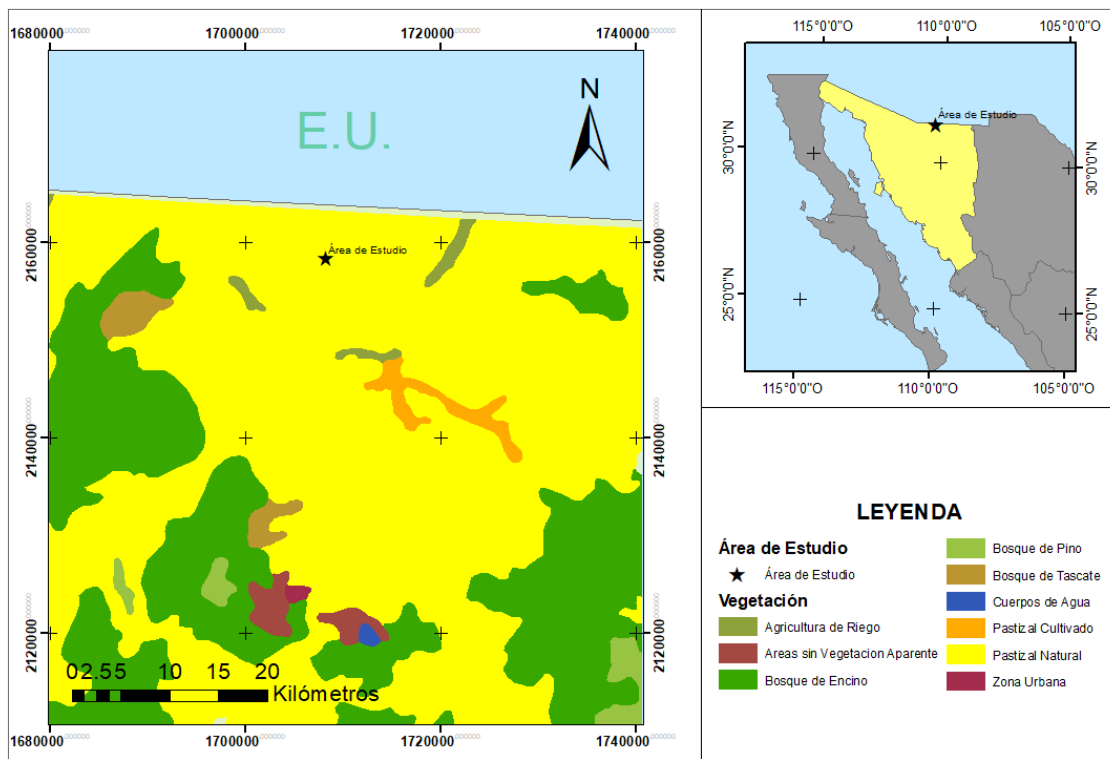


Figura 4 Vegetación del área de estudio

3. Marco Geológico General

En el área afloran rocas que van desde el Proterozoico hasta el Holoceno, las cuales se describen a continuación, según la información obtenida del Servicio Geológico Mexicano, carta geológico-minera Nogales H12-2 (2000) (Figura 5).

Cámbrico (€ms Cz-Ar) Caliza, arenisca-caliza

Este está constituido por caliza, caliza oolítica, arenisca y limolita. Presentan contenido fósil de trilobites del Dresbachiano (501 – 497 Ma); se correlaciona con la Cuarcita Bolsa y la Caliza Abrigo de Arizona (SGM,2005). Este aflora en la parte noreste del área.

Pérmico – Devónico (Pdp Cz-Ar) Caliza, arenisca

Este consiste en caliza, arenisca, caliza arcillosa, conglomerado y lodolita; esta se correlaciona con Caliza Martín, Caliza Escabrosa, Horquilla y Earp (González, 1986). Aflorando al noroeste del área.

Jurásico Inferior (Jim R-Ar) Riolita Arenisca

Está representado por un amplio afloramiento en la porción central y occidental, este se relaciona a la actividad del arco magmático del Jurásico. Consiste en derrames riolíticos, arenisca y toba riolítica, presentan basculamiento y silidificación, con plegamiento relacionado a fallas. Se puede correlacionar con las formaciones Cobre Ridge, Mount Wrightson, Canelo Hills, y el Pinito. Se documentan edades de 175.6 ± 0.38 Ma y 172.3 ± 1.86 Ma (Iriando, 2001), 165 Ma (Stewart, et al, 1986), y 178 ± 5 Ma, U-Pb (Anderson y Roldán-Quintana, 1979).

Cretácico Superior (KsVs) Grupo Cabullona

Son rocas volcanosedimentarias constituido por arenisca, lutita, toba riolítica, limolita, conglomerado y escasa andesita, este paquete es correlacionable con el Grupo Cabullona del Cretácico Superior, el cual está asociado a los eventos estratigráficos y tectónicos no marinas de la depositación de cuencas laramidicas y el volcanismo de dicho evento. Taliaferro (1933) utilizo el término “Grupo Cabullona” para referirse secuencias de rocas detríticas con ceniza volcánica sobre rocas del Cretácico Inferior y fechamientos K-Ar K-Ar de 83 y 86 Ma. (Lucas S.G., 1990). Se observa ampliamente distribuida en el área de estudio.

Cenozoico Oligoceno - Mioceno TmTR,R Toba riolítica, Riolita Formación Lista Blanca.

Corresponde a la parte superior del Grupo Yécora (Grijalva Noriega y Roldán-Quintana, 1998). Compuesto por una secuencia de tobas riolíticas, riolitas, ignimbritas, andesitas dacita, aglomerados andesíticos, casualmente de basaltos, traquitas m., se tiene edades de radiométricas de K/Ar que variables de 10.3 ± 0.3 a 23.5 ± 0.8 Ma, (Cochemé, 1985; Montigni, 1987; Demant, 1991; Mora. A.G. 1993; Gans, 1997; Gastil y Krummenacher 1977). Aflorando en la porción Oeste y suroeste del área.

Cenozoico – Mioceno (TmCgp-Ar) Formación Báucarit.

Dumble (1900) lo definió como Formación Báucarit, Está constituido por conglomerados polimícticos de rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de areniscas y basaltos, se tiene edades radiométricas de K/Ar de 12.8 Ma lo cual sitúa en el Mioceno (McDowel, et al., 1997). Aflorando al Oeste y sur este del área de estudio.

Cuaternario (QptCgp, Qhoal,)

Se presentan conglomerado polimíctico (QptCgp), no consolidado del pleistoceno, perteneciente al Grupo Sonora (Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana, 1988), el cual está ampliamente distribuido, cubriendo rocas más antiguas y rellenando valles con orientación NW-SE y N-S, y el aluvión (Qhoal) constituido por gravas, arena y limo que se encuentra cubriendo cauces de ríos y arroyos principales.

Rocas ígneas intrusivas (pTm Gr)

Estas intrusiones están representadas por granito del posible Proterozoico (1440 Ma), aflora en la zona noroeste del cerro el Caloso y cerro El Tejano y se correlaciona con el Granito Cananea (Anderson y Silver, 1977). El Granito Cananea está expuesto en el distrito minero de Cananea, fue estudiado por (Emmons, 1910 y Valentine, 1936, ver SGM 2005).

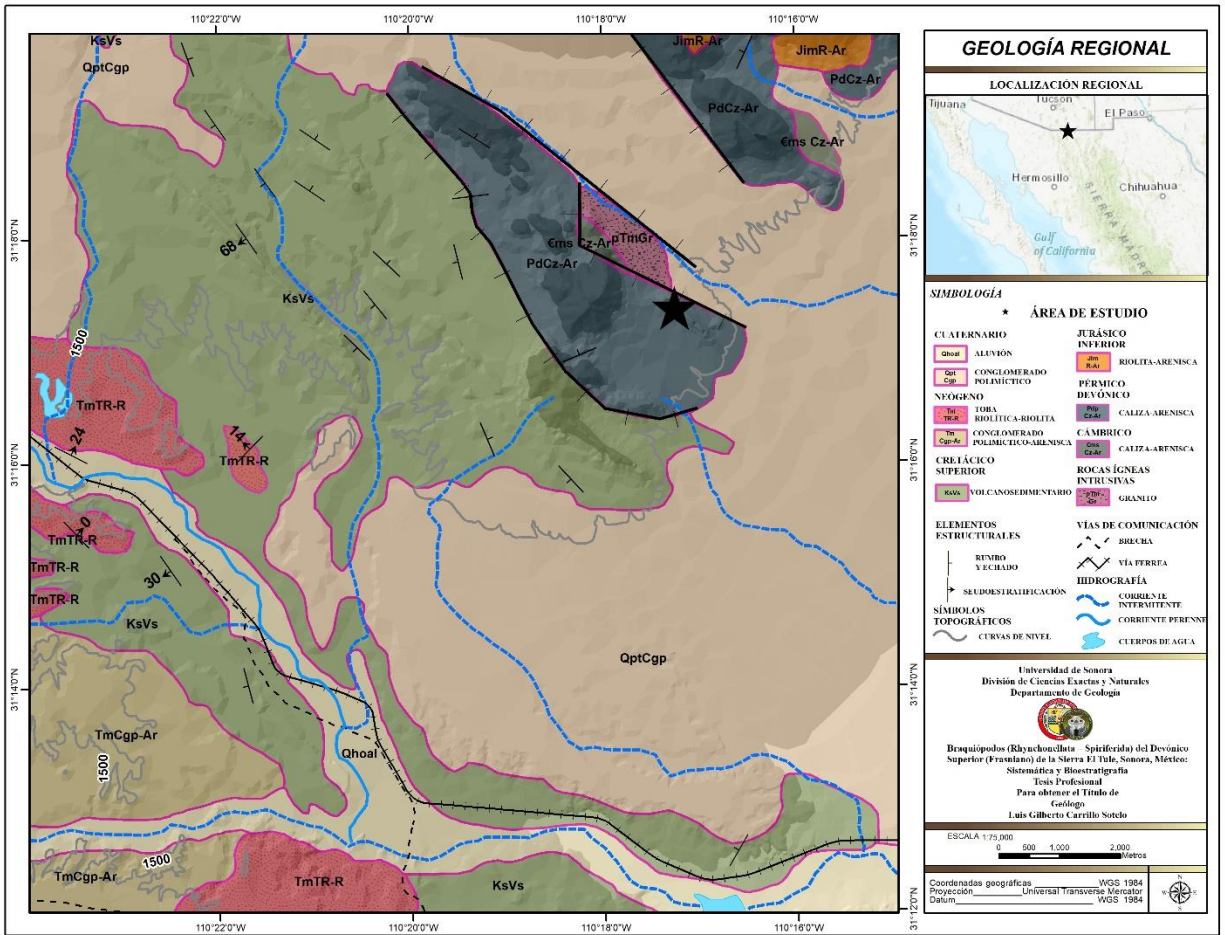


Figura 5 Geología regional, modificado de la carta geológico-minera H12-2 Nogales, del Servicio Geológico Mexicano

4. Estratigrafía

La secuencia del Devónico del Cerro del Tule tiene un espesor de 144 m y fue dividida por González-León (1986) en 3 miembros (de la base a la cima): A, B y C (Figura 6).

El miembro A tiene un espesor de 30 m y está compuesto por estratos de arenisca en capas medianas a gruesas, presentando horizontes masivos con diastratificación planar en la parte superior. Dichos estratos son mayormente de cuarzo, del cual se reconocen 2 poblaciones: una población dominante constituida de granos grandes redondeados y bien clasificados, mientras que la segunda población está representada por clastos de cuarzo de grano pequeño, subangulosos y mal clasificados. Finalmente, la parte superior se caracteriza por la presencia de estratos con alto contenido de feldespatos potásicos. (González-León, 1986).

El miembro B tiene un espesor de 34 m y este compuesto por caliza de color blanco con horizontes que incluyen estromatopóridos, dividiendo la parte inferior, media y superior. La parte inferior se constituye de caliza arenosa con intercalaciones de estromatopóridos en capas delgadas. Por otro lado, la parte media está compuesta por caliza micrítica, y ocasionalmente se presentan horizontes de wackstone de calciesferas. Finalmente, la parte superior de la secuencia presenta un horizonte biohermal con un espesor aproximado de 3 a 5 m, donde se ha documentado una asociación faunística representada por estromatopóridos (*Amphipora* sp. y *Actinostroma* sp.), briozoarios y corales

(*Alveolites* sp.) del Devónico Medio y parte del Devónico Superior. (González-Leon,1986)

El miembro C posee un espesor de 80 m y está conformado por capas delgadas a medianas de dolomita y caliza dolomítica de coloración café, así como intercalaciones de lodolitas. La parte superior se constituye de una capa con espesor de 0.3 a 1 m, la cual está compuesta por caliza arcillosa levemente dolomitizada. El contenido faunístico está representado por estromatopóridos laminares, corales, braquiópodos y gasterópodos. (González-Leon,1986).

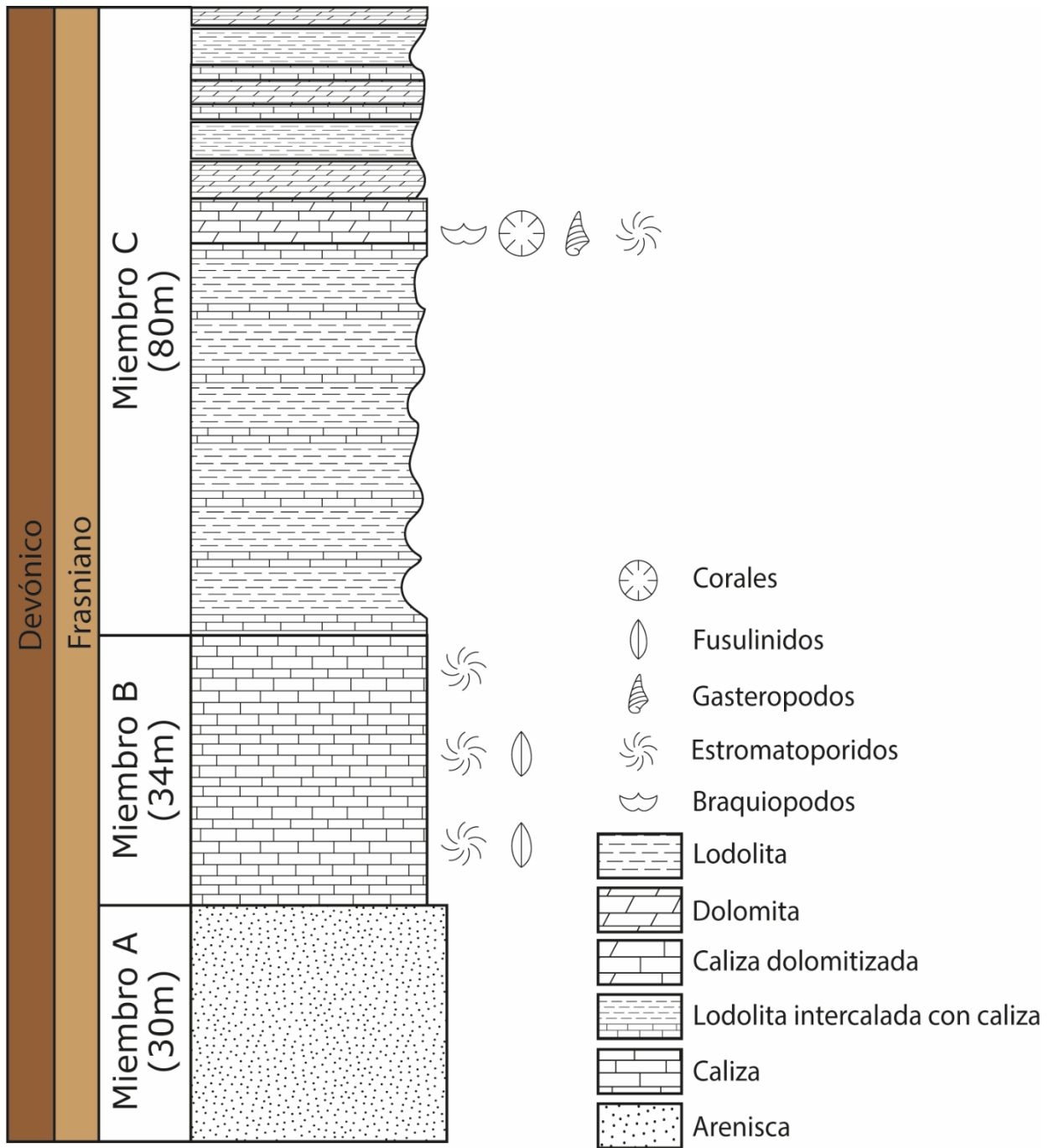


Figura 6. Columna estratigráfica de cerro El Tule, modificado de González León, 1986

5. Generalidades de los braquiópodos

Los braquiópodos son organismos marinos e invertebrados, animales celomados y con una simetría bilateral, los cuales poseen 2 valvas. En los articulados, estas valvas están unidas en la parte posterior por una charnela, mientras que, en los inarticulados, se unen por músculos. Pertenecen al clado de los lofoforados, su hábitat se encuentra entre el intermareal hasta la zona abisal en algunos casos (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008; Barnes y Ruppert, 1996).

Estos organismos están presentes en el registro fósil desde el Cámbrico (541 Ma hasta el reciente), siendo los primeros lofoforados del registro paleontológico. Se discute que los braquiópodos evolucionaron de un ancestro lofoforado del Precámbrico, como los forónidos. Esto quiere decir, un organismo celomado trisegmentado, el cual poseía un protosoma pobremente desarrollado, presentaba un par de metanefridios (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

Hoy en día los braquiópodos pueden ser estenohalinos, esto significa que viven en ambientes con salinidad normal y estable. Esto difiere en el pasado, siendo que se concibe la existencia de organismos que soportan condiciones hipersalinas (petaméridos), e hiposalinas (terabratúlidos y espiriféridos) (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

Estos organismos requieren de poco oxígeno (en el caso de los inarticulados, pueden vivir con menos oxígeno que los articulados), esto en parte, al ligero volumen del tejido y a la variación en la dirección de las corrientes marinas. Algunos

de estos braquiópodos llegan a soportar la exposición subaérea (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

El cuerpo del organismo se encuentra protegido por sus 2 valvas, una dorsal y una ventral, en los Rhynchonelliformea esta está compuesta por carbonato de calcio. Las valvas son secretadas por el manto, la conchilla comúnmente es equilateral e inequivalva, este último por la diferencia de tamaño entre las valvas (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008; Álvarez y Martínez-Chacón, 2009).

Los braquiópodos son principalmente sedentarios, dejando escasas estructuras biogénicas en los sustratos sedimentarios. Estos organismos infaunales inarticulados suelen dejar excavaciones subperpendiculares a la estratificación hechas con su parte superior en forma de lengua, se le denominan Lingulichnites. Los articulados, suelen dejar una estructura de hoyuelos submicroscópicos llamados Podichnus, estos producidos por el pedúnculo a conchillas y los sustratos duros del suelo (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

Los braquiópodos cuentan con un lofóforo, el cual utiliza para la captura de alimento y cilios frontales que sirven de órgano filtrante, manipulando las partículas inorgánicas y evitando una congestión u obstrucción en la estructura. Son organismos suspensívoros por impacto, lo que significa que intercepta las corrientes alimenticias (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

Normalmente los braquiópodos habitan en aguas limpias y la velocidad de la sedimentación juega un papel importante, siendo los linguloideos los únicos capaces de tolerar eventos catastróficos de sedimentación. Aunque el pedúnculo

otorgue a estos organismos una fijación al sustrato, al desprenderse de este, la conchilla queda expuesta a los movimientos y es incapaz de prevenir el ingreso de sedimentos. Esto ha evitado la colonización de los braquiópodos en ambientes de alta energía, exceptuando algunos casos como los de inarticulados patelliformes cementantes (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

En cuanto a su relación con el sustrato, este es de gran importancia, ya que la morfología esquelética es reflejo de la adaptación para habitar libre o fijamente, dentro o fuera del mismo sedimento (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

Anatomía

- **Manto y Celoma:** La pared del cuerpo de los braquiópodos está compuesta por una capa de epitelio ectodérmico, este cubre una capa delgada de tejido, el cual está revestido por epitelio celómico ciliado; este presenta una distribución restringida en los mantos. El epitelio está dividido en externo e interno; el externo está encargado de secretar el exoesqueleto biomineralizado y de las proyecciones internas a las que envuelve, en cambio el interno es responsable de cubrir la cavidad del manto y se extiende al epitelio ciliado del lofóforo. Ambos epitelios se extienden continuamente hasta el borde de la conchilla y llega el surco periostracal situado entre los lóbulos del manto (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

El celoma se genera de manera diferente entre los articulados e inarticulados, en los primeros, toma una forma de enterocelia modificada, mientras que en los inarticulados se origina por esquizocelia (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

-Pedúnculo

Este es la única parte de tejido blando que está expuesta, se sujeta a los sustratos permitiendo modificar su posición respecto al ambiente excretor. La mayoría posee este tejido, pero difiere en cuanto a si el organismo es articulado o inarticulado, así como su morfología u origen. El pedúnculo de los articulados se encuentra separado de las valvas y está poco extendido internamente, mientras que, en los inarticulados, se desarrolla en la pared posterior del cuerpo de la valva ventral como una extrusión y es contráctil (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

-Lofóforo

Se presenta como una prolongación tentacular que acordona la boca y es la encargada de facilitar el alimento. Está compuesto por 2 braquias, cada braquia se encuentra recorren el canal braqueal (Manceñido y Damborenea in Camacho, 2008).

6. Paleontología Sistemática

Phylum Brachiopoda Duméril, 1806

Subphylum Rhynchonelliformea Williams, 1996

Clase Rhynchonellata Williams, 1996

Orden Spiriferida Waagen, 1883

Suborden Delthyridina Ivanova, 1972

Superfamilia Delthyridoidea Phillips, 1841

Familia Mucrospiriferidae Boucot, 1959

Subfamilia Mucrospiriferinae Boucot, 1959

Genero *Eleutherokomma* Crickmay, 1950

Especie tipo *Eleutherokomma* Crickmay, 1950

cf. Eleutherokomma



Figura 7. *cf. Eleutherokomma*

Distribución Geográfica.

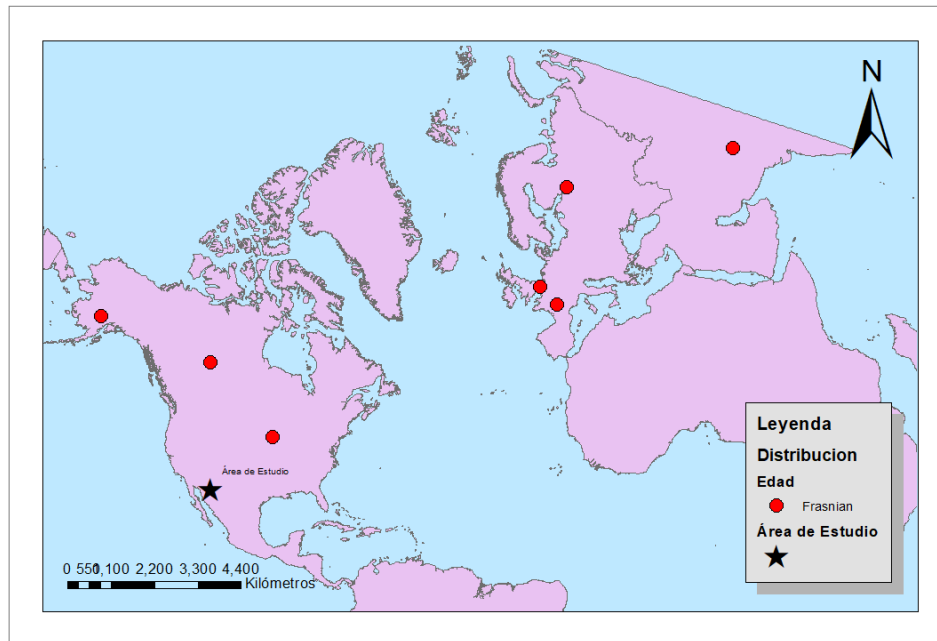


Figura 8. Distribución geográfica de *cf. Eleutherokomma*.

Se han encontrado braquiópodos del género *Eleutherokomma* en Estados Unidos (Alaska, Montana, Iowa, Nevada), Canadá (Alberta, Manitoba, Territorios del noroeste), Francia (Boulonnais), Afganistán (Vardak, Ghazni), Rusia (Leningrad) y Mauritania (Figura 8).

Eleutherokomma diluvianooides Biernat, 1966



Figura 9 *Eleutherokomma diluvianooides*.

Distribución Geográfica.

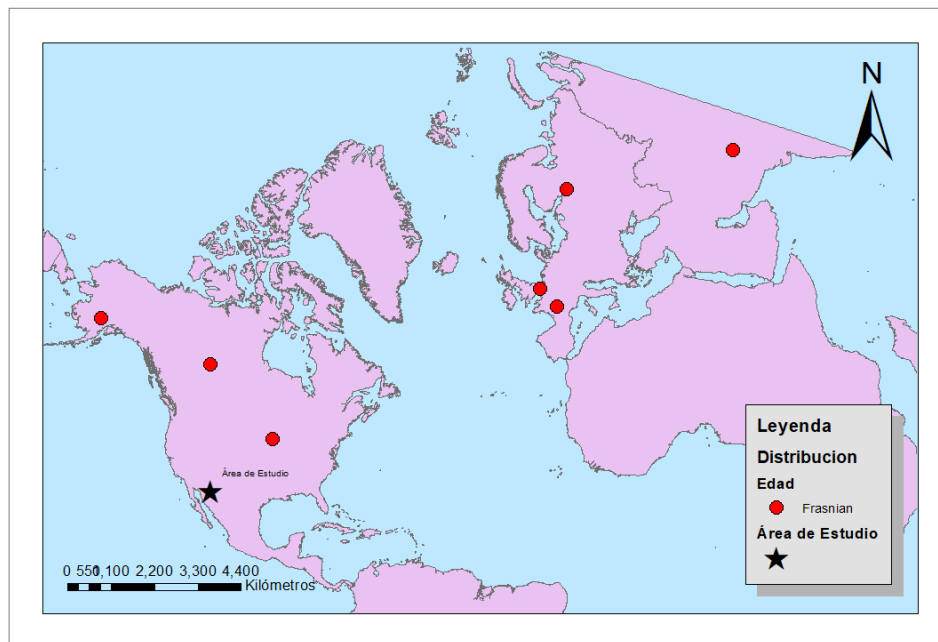


Figura 10 Distribución geográfica de *Eleutherokomma diluvianooides*

Se han encontrado braquiópodos del género *Eleutherokomma* en Estados Unidos (Alaska, Montana, Iowa, Nevada), Canadá (Alberta, Manitoba, Territorios del noroeste), Francia (Boulonnais), Afganistán (Vardak, Ghazni), Rusia (Leningrad) y Mauritania (Figura 10).

Suborden Spiriferidina Waagen, 1883

Superfamilia Cyrtospiriferoidea Termier y Termier, 1949

Familia Cyrtospiriferidae Termier y Termier, 1949

Subfamilia Cyrtospiriferinae Termier y Termier, 1949

Genero *Cyrtospirifer* Frederiks, 1924

Especie tipo *Cyrtospirifer verneuili* (Murchison, 1840) Frederiks, 1924



Figura 11 *Cyrtospirifer verneuili*.

Distribución Geográfica.

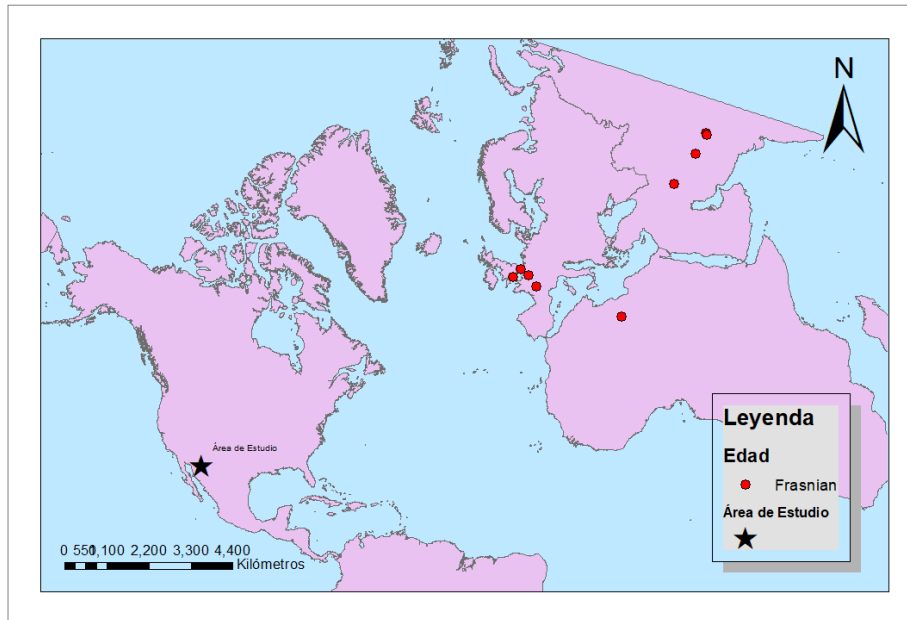


Figura 12. Distribución geográfica de *Cyrtospirifer verneuili*.

Se han encontrado braquiópodos del género *Cyrtospirifer verneuili* en Mauritania, Francia (Boulonnais y Alsace), Irlanda, Reino unido (Inglaterra), Afganistán (Herat, Vardak y Ghazni), Libia y Tayikistán (Figura 12).

Orden Atrypida Rzhonsnitskaya, 1960

Suborden Atrypidina Moore, 1952

Superfamilia Atrypoidea Gill, 1971

Familia Atrypidae Gill, 1971

Subfamilia Spinatrypinae Copper 1978

Genero *Spinatrypa* Stainbrook, 1951

Especie tipo *Spinatrypa* Stainbrook, 1951



Figura 13 *Spinatrypa* sp

Distribución Geográfica.

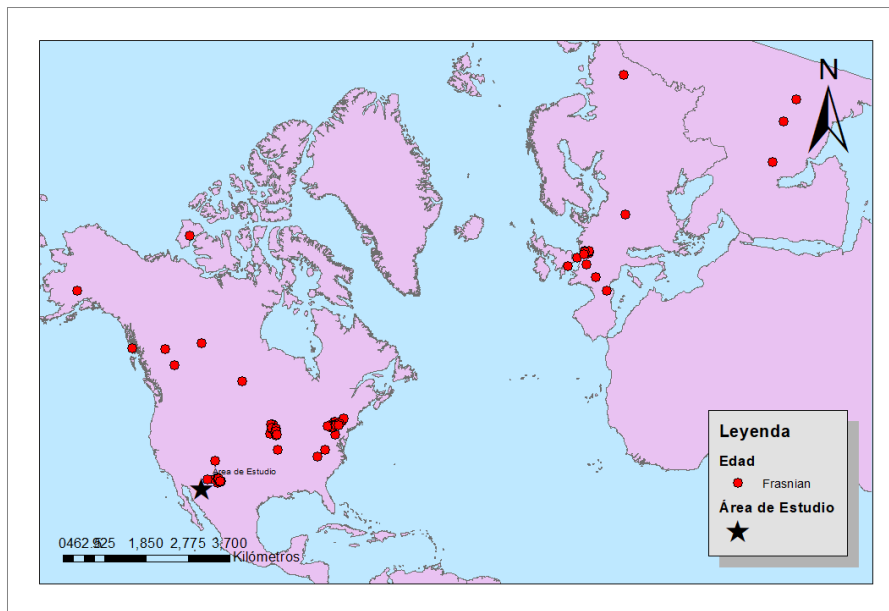


Figura 14 Distribución geográfica de *Spinatrypa* sp.

Se han encontrado braquiópodos del genero *Spinatrypa* en Estados Unidos (Nuevo México, Virginia del oeste, Virginia, Missouri, Wisconsin, Nueva York, Iowa, Nevada, Pennsylvania, Alaska y Illinois), Canadá (Alberta, Manitoba, Nunavut,

Ontario, Territorios del Noroeste, Yukón y Columbia británica), Francia (Boulonnais y Alsace), China (Nei Mongol, Guangxi y Hunan), República Checa (Moravia), Australia (Victoria), Rusia (Bashkortostan, Kemerovskaya Oblast, Arkhangel'skaya Oblast', Sverdlovskaya Oblast, Orenburgskaya Oblast y Komi), España, Venezuela, Alemania (Nordrhein-Westfalen), Bélgica, Austria (Carnic Alps), Afganistán (Ghazni y Herat), Irlanda, Vietnam y Polonia (Figura 14).

Subfamilia Variatrypinae Copper, 1978

Genero *Pseudoatrypa* Copper, 1973

Especie tipo *Pseudoatrypa devoniana* Webster, 1921



Figura 15 *Pseudoatrypa devoniana*.

Distribución Geográfica.

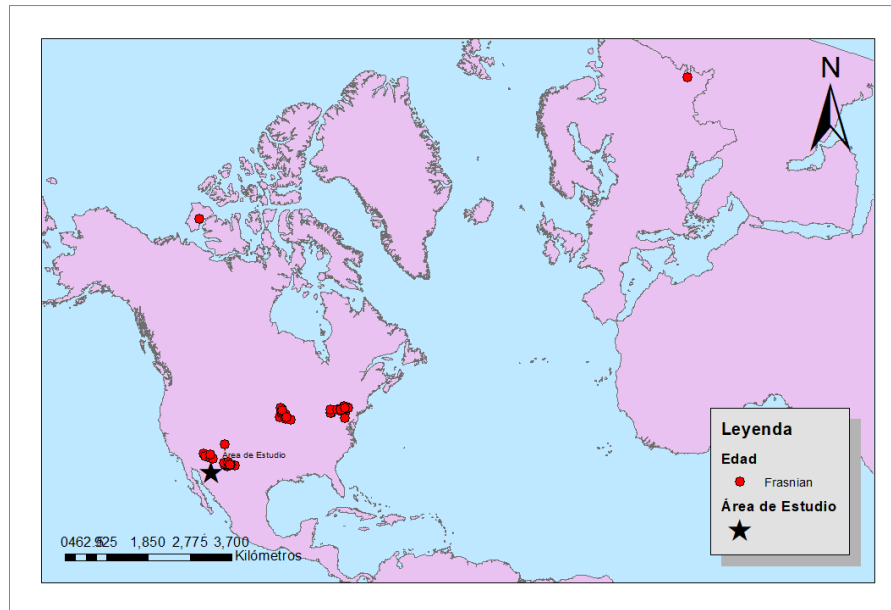


Figura 16 Distribución geográfica de *Pseudoatrypa devoniana*.

Se han encontrado braquiópodos del genero *Pseudoatrypa devoniana* en Estados Unidos (Arizona, Iowa, Indiana, Nueva York, Ohio, Michigan, Nuevo México, Pennsylvania y Illinois), Canadá (Alberta y Territorios del noroeste) y Rusia (Nenets, Bashkortostan y Sverdlovskaya Oblast) (Figura 16).

7. Resultados y Conclusiones

En el presente trabajo se reporta la asociación de braquiópodos del cerro El Tule constituida por cf. *Eleutherokomma*, *Eleutherokomma diluvianoides*, *Cyrtospirifer verneuili*, *Spinatrypa* sp. y *Pseudoatrypa devoniana*, siendo una fauna asociada al Frasniano (Devónico Superior). De acuerdo con González-León (1986), el contenido faunístico corresponde a los estratos incluidos en el miembro C del cerro El Tule, los cuales están constituidos por dolomía y caliza parcialmente dolomitizada con alternancias de lodolita.

Por otro lado, los braquiópodos identificados se encuentran asociados con la presencia de estromatopóridos laminares, corales y gasterópodos. Particularmente, en este trabajo se han identificado especies de corales como *Hexagonaria occidentens* (Stumm, 1948) y *Pachyphyllum nevadense* (Stumm, 1948), y gasterópodos como cf. *Turbonopsis*, los cuales indican ambientes de plataforma somera de al menos 200 metros de profundidad.

Los braquiópodos identificados en el cerro El Tule del área de Cananea presentan una amplia distribución geográfica durante el Devónico Superior, destacando localidades de Estados Unidos, Canadá, Francia, Afganistán, Rusia, Irlanda y Mauritania.

La importancia de este trabajo radica en que consiste en el primer trabajo sistemático y taxonómico de braquiópodos del Devónico Superior en la región del noreste de Sonora, contribuyendo a entender la evolución y distribución del grupo durante el Paleozoico tardío.

8. Bibliografía

Álvarez, F. y Martínez-Chacón, M.L. (2009). Braquiópodos. In M.L.Martínez-Chacón y P-Rivas, eds., *Paleontología de Invertebrados*. Sociedad Española de Paleontología, Instituto Geológico y Minero de España, Universidad de Oviedo, Universidad de Granada, Oviedo y Granada, 377-417.

Álvarez, M. (1949). Notas sobre el Paleozoico mexicano. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos petroleros*, 1, 47-56.

Anderson, T.H., Roldán, Q.J., 1979, Road log of fieldtrip Geology of Northern Sonora; Guidebook field trip #27, Geol. Soc. of Am., annual meeting, San Diego, p. 74-93.

Anderson, T.H., Silver, L.T., 1977, U-Pb isotope ages of granitic plutons near Cananea, Sonora. *Economic Geology*. Vol. 72, pp. 827-836.

Barnes, R.D, y Ruppert, E.E. (1996). *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana. México. 1114.

Biernat, G. (1966). Middle Devonian brachiopods of the Bodzentyn Syncline (Holy Cross Mountains, Poland). *Palaeont. Polonica*, 17, 1-162.

Boucot, A. J. (1959). Brachiopods of the Lower Devonian rocks at Highland Mills, New York. *Journal of Paleontology*, 727-769.

- Boucot, A. J., Poole, F. G., Amaya-Martínez, R., Harris, A. G., Sandberg, C. A., & Page, W. R. (2008). Devonian brachiopods of southwesternmost Laurentia: Biogeographic affinities and tectonic significance. *Geological Society of America Special Paper*, 442, 77-97.
- Bridge-Wadsworth, L., 1964, "Stratigraphy of Mina Plomosas-Placer de Guadalupe Area" in *Geology of Mina Plomosas-Placer de Guadalupe Area, Chihuahua, Mexico*, an Field Guidebook, West Texas Geological Society, Publication, 64(50), 50-59.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E., Palafox, J. J. (2012). Una secuencia cratónica del Carbonífero al Pérmico inferior expuesta en los cerros El Tule, noreste de Sonora, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(1), 39-62.
- Buitrón-Sánchez, D. Vachard. Almazan-Vazquez. Laguarda-Figueras y Solis-Marín., 2008. A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico., *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 56(Suppl. 3): 1-12
- Cochemé, J.J., 1985. Le magmatisme cezoique dans le NW du Mexique, Cartographie de la Región Yecora Maicoba, Mulatos Illustration Magmatique de la Fin d' un Regime en Subduction Type Cordillerain et du Passage a un Regime Distonsif. These d' etat. Univ. D' Aix Maseille III, 209 p.

Cochemé, J.J., Demant, A., 1991. Geology of the Yecora area, northern Sierra Madre Occidental, Mexico; studies of Sonoran geology; G.S.A. Special paper 254, p. 81-94.

CONAGUA. 2020, Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero Cuitaca (2660), Estado de Sonora. Organismo de Cuenca Noroeste. Dirección Técnica, p. 34.

Copper, P. 1973. New Siluro-Devonian atrypoid brachiopods. *Journal of Paleontology*, 47:484–507.

Crickmay, C. H. (1950). Some Devonian Spiriferidae from Alberta. *Journal of Paleontology*, 219-225.

Duméril, A.M.C., (1806). Zoologie Analytique ou Méthode Naturelle de Classification des Animaux: XXIV, Allais (París). Pp3.334.

Emmons, S. F. (1910). Cananea mining district of Sonora, Mexico. *Economic Geology*, 5(4), 312-356.

Fredericks, G.N., Paleontological etudes. 3. Revisiting the brachiopod sculpture types, *Izv. Geol. Kom.*, 1924, vol. 39, no. 3–6, pp. 419–433.

Fries Jr, C. (1962). Reseña de la geología del Estado de Sonora, con énfasis en el Paleozoico. *Asoc. Mexicana Geólogos Petroleros Bol.*, 14(11-12), 257-273.

Galvez Rivera, B. G. (2022). *Braquiópodos (Brachiopoda-Rhynchonelliformea) del Frasniano-Famenniano (Devónico) del área de San Pedro de la Cueva, Sonora, México: Bioestratigrafía y Sistemática* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Sonora.

Gans, P.B., 1997. Large magnitude OligoMioceno extensión in southern Sonora, implications of the tectonic evolution of northwest Mexico. Department of geological Sciences University of California, Santa Barbara Tectonics, Vol.16, N° 3, p. 388-408.

Gastil, G.R., Krummenacher, D., 1977, Reconnaissance geology of coastal Sonora between Puerto Lobos and Bahia Kino, Geological Society of America Bulletin, v.88. p. 189-198. González Alcaraz, J. (2017). Recopilación de información sobre localidades paleozoicas en Sonora, México.

González-León, C. (1986). Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 6(2), 117-135.

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática (INEGI 2000). Fisiografía. Síntesis de información geográfica del estado de Sonora. P.13-16.

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática (INEGI 2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional

- Ivanova, E. A. (1972). Basic laws of evolution of spiriferidae (Brachiopoda). *Paleontological journal*, 1972, 3, 28-42. (In Russian)
- López-Ramos, E. (1969). Rocas Paleozoicas Marinas de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 15-44.
- Lucas, S.G., González, L.C., 1990, Reporte preliminar sobre Dinosaurios del Cretácico tardío de la Cuenca de Cabullona. p.1-6. *Boletín Dpto. de Geología Uni-Son. Segunda Época*, Volumen 7, Núms. 1 y 2, Diciembre-1990.
- Manceñido, M., Damborenea, S. (2008). BRAQUIOPODA. En *LOS INVERTEBRADOS FOSILES* (p.243). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.: VAZQUEZ MAZZINI EDITORES.
- McDowell, F. W., Roldán-Ouintana, J., y Amaya-Martínez, R. , 1997, Interrelationship of sedimentary and volcanic deposits with Tertiary extension in Sonora, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, v.109, n. 10, p. 1,349-1,360.
- Montigny, R., Demant A., Delpretti P., Cocheme, J.J., 1987, Chronologie K-Ar des 135 sequences tertiaires du nord de la Sierra Madre Occidental (Mexique), *C.R. Acad Sc. Paris*, 304, Serie II, No. 16, P. 987-992.
- Moore, R. C. (1952). Brachiopoda. *Invertebrate fossils*, 197-267.

Mora, A.G., 1993, Relaciones estratigráficas y geocronológicas entre las unidades volcánicas de la sierra Santa Ursula, en Sonora, y el magmatismo de la región del Golfo de California. Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México, Monografía No. 1 Unión Geofísica Mexicana. P. 123-146.

Murchison, R.I., 1840a. Sur les roches dévoniennes, type particulier de l'old red sandstone des géologues anglais, qui se trouvent dans le Boulonnais et les pays limitrophes. Bulletin de la Société géologique de France, 11 (1839-1840), 229-250.

Murchison, R.I., 1840b. Description de quelques unes des coquilles fossiles les plus abondantes dans les couches dévoniennes du BasBoulonnais. Bulletin de la Société géologique de France, 11 (1839- 1840), 250-257.

Peiffer-Rangin, Françoise, 1988, Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern and central Sonora, unpublished manuscript on file with J.H. Stewart, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California and F.G. Poole, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, 90 p.

Phillips, J. (1841). Figures and Descriptions of the Palaeozoic Fossils of Cornwall, Devon, and West Somerset: Observed in the Course of the Ordnance Geological Survey of that District. Longman, Brown, Green, & Longmans.

Roldan-Quintana, J. (1982). Evolución tectónica del estado de Sonora. *Revista*, vol, 5(2), 178-185.

Rzhonsnitskaya, M. A., Markovskii, B. P., Yudina, Y. A., & Sokiran, E. V. (1998). Late Frasnian Atrypida [Brachiopoda] from the South Urals, South Timan and Kuznetsk Basin [Russia]. *Acta Palaeontologica Polonica*, 43(2).

Servicio Geológico Mexicano 2005. Texto explicativo de la carta geológica del estado de sonora escala 1:500,000. Editado por SGM 2005, p. 141.

STAINBROOK, M.A. (1951): Substitution for the pre-occupied brachiopod name Hystricina.– *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 41, 196

Termier, H., & Termier, G., (1949). Position systématique et biologie des Conulaires. *Revue Scientifique*, 86:711-722.

Valentine, W. G. (1936). Geology of the Cananea Mountains, Sonora, Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America*, 47(1), 53-86.

Waagen, W. H. (1883). Salt Range fossils, 1. Productus-Limestone fossils. *Palaeont Indica*, Ser 13, 1, 391-546.

Webster, C. L. 1921. Notes on the genus *Atrypa*, with description of new species. *American Midland Naturalist*, 7:13–26.

Williams, A., Carlson, S. J., Brunton, C. H. C., Holmer, L. E., & Popov, L. (1996). A supra-ordinal classification of the Brachiopoda. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1344), 1171-1193.