

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

**Paleoecología de una
comunidad marina del
Devónico Superior del área del
Cerro El Tule, Sonora, México**

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



**Presenta:
Carmen Renée Ferra
Martínez Montaña**

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, 01 de febrero del 2023

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

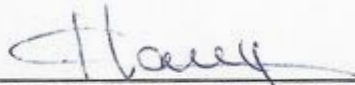
Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para el registro y aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

“PALEOECOLOGÍA DE UNA COMUNIDAD MARINA DEL DEVÓNICO SUPERIOR DEL ÁREA DEL CERRO EL TULE, SONORA, MÉXICO”

Lo anterior es con el fin de que la alumna: **Ferra Martínez Montaña Carmen Renée** con **Expediente No. 217200693** pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología,

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente escrito, quedo de Usted.

ATENTAMENTE



M.C. ALEJANDRA MONTÑO GONZÁLEZ
DIRECTORA DE TESIS.



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
LICENCIATURA
EN GEOLOGIA

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo.





"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
DIRECTOR DE TESIS
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:

"PALEOECOLOGÍA DE UNA COMUNIDAD MARINA DEL DEVÓNICO SUPERIOR DEL ÁREA DEL CERRO EL TULE, SONORA, MÉXICO".

Lo anterior con el fin de que la alumna **FERRA MARTÍNEZ MONTAÑO CARMEN RENÉE**, con No. de Expediente **217200693**, 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

**"PALEOECOLOGÍA DE UNA COMUNIDAD MARINA DEL
DEVÓNICO SUPERIOR DEL ÁREA DEL CERRO EL TULE, SONORA,
MÉXICO".**

NOMBRE DE LA SUSTENTANTE

FERRA MARTÍNEZ MONTAÑO CARMEN RENÉE

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 Carmen y Carlos por darme su amor incondicional a lo largo de mi vida y por inculcar en mí desde pequeña la curiosidad científica que me trajo a este momento. Su apoyo a mi sueño de la infancia de ser paleontóloga es la razón por la que hoy al fin puedo decir que lo cumplí.

A mi hermana Xóchitl por ser mi mejor amiga desde el primer día, por todas esas mañanas y tardes de risas siempre que lo necesité. También por ayudarme con la biología, ecología y cómo escribir un trabajo formal. Gracias a ti he aprendido a ser mejor persona.

A Bulmaro por su amor y apoyo a lo largo de estos años a través de todas las dificultades, por entenderme más que nadie en este mundo y hacerme reír cuando sentía que ya no podía seguir. Eres mi mejor amigo y lo mejor que me ha pasado.

A Gil, Leo y Perla por ofrecerme su amistad desde que comenzamos esta aventura universitaria, por estudiar conmigo, por escucharme y ayudarme a ser quien soy hoy. No podría haberlo hecho sin ustedes. A Manny por recomendarme música y animes, por ser mi voz de la razón y brindarme consejo cada vez que lo necesitaba.

A Janniel y Roberto por ser mis paleoamigos y darme tantos momentos de diversión este último año. Espero con ansias ver lo que nos depara el futuro.

A mis queridas Rita y Totoro por crecer conmigo y ser mis compañeras todos estos años, en especial durante la cuarentena. Siempre las voy a llevar en el corazón.

Gracias a todos los amigos que hice a lo largo de estos años.

Agradecimientos

A la Universidad de Sonora y al Departamento de Geología por brindarme la oportunidad de formar parte de ellos, al igual que a los profesores por ofrecerme sus conocimientos a lo largo de mi formación académica.

A mi Directora de Tesis, M.C. Alejandra Montijo González por su apoyo y motivación durante este proceso, así como durante la carrera.

Al Dr. Francisco Javier Cuen Romero por su extenso conocimiento sobre paleontología y brindarme su apoyo.

Al Dr. Héctor Arturo Noriega Ruíz por sus comentarios y por la ayuda brindada con las fotografías.

A Lizeth López Arriola por su apoyo y dedicación en la elaboración de los mapas.

Índice

Resumen	1
1. Introducción	2
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. Metodología	5
4. Antecedentes y trabajos previos	8
5. Generalidades	10
5.1. Localización	10
5.2. Fisiografía	11
5.3. Clima	12
6. Marco geológico regional	13
6.1. Paleozoico	13
6.2. Mesozoico	14
6.3. Cenozoico	14
6.4. Rocas ígneas intrusivas	16
7. Estratigrafía	17
8. Paleoecología	20
8.1. Índices ecológicos	33
8.1.1. Dominancia de Simpson	33
8.1.2. Equitatividad de Simpson 1-D	33
8.1.3. Diversidad de Shannon	34
8.1.4. Diversidad de especies de Menhinick	34
8.1.5. Riqueza de especies de Chao	34
8.1.6. Curva de rarefacción	34
8.2. Grupos funcionales	35
9. Resultados y conclusiones	36
10. Referencias	37

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.	10
Figura 2. Provincias fisiográficas del estado de Sonora	11
Figura 3. Clasificación del clima en el estado de Sonora	12
Figura 4. Geología regional	16
Figura 5. Columna estratigráfica de la secuencia devónica del Cerro El Tule	19
Figura 6. Curva de rango-abundancia	22
Figura 7. <i>Hexagonaria occidens</i>	25
Figura 8. Distribución global de <i>Hexagonaria</i> sp.	25
Figura 9. <i>Pachyphyllum nevadensis</i>	26
Figura 10. Distribución global de <i>Pachyphyllum</i> sp.	26
Figura 11. Bryozoa sp.	27
Figura 12. cf. <i>Eleutherokomma</i>	27
Figura 13. <i>Eleutherokomma diluvianoides</i>	28
Figura 14. Distribución global de <i>Eleutherokomma</i> sp.	28
Figura 15. <i>Cyrtospirifer verneulli</i>	29
Figura 16. Distribución global de <i>Cyrtospirifer</i> sp.	29
Figura 17. cf. <i>Spinatrypa</i>	30
Figura 18. Distribución global de <i>Spinatrypa</i> sp.	30
Figura 19. <i>Pseudoatrypa devoniana</i>	31
Figura 20. Distribución global de <i>Pseudoatrypa devoniana</i>	31
Figura 21. cf. <i>Turbonopsis</i>	32
Figura 22. Distribución global de <i>Turbonopsis</i> sp.	32
Figura 23. Curva de rarefacción para los individuos muestreados	35

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de especies muestreadas	21
Tabla 2. Distribución de especies para el Devónico Superior del Cerro El Tule	24
Tabla 3. Índices ecológicos utilizados para el Cerro El Tule.	33

Resumen

Se describe la paleoecología de una comunidad marina para una secuencia sedimentaria de edad del Devónico Superior (Frasniano) en el Cerro El Tule, ubicado en el área de Cananea.

La biota contabilizada consta de un total de 62 individuos distribuidos en 9 especies de corales (*Hexagonaria occidens* y *Pachyphyllum nevadensis*), briozoos indeterminados, braquiópodos (*Eleutherokomma diluvianooides*, cf. *Eleutherokomma*, *Cyrtospirifer verneulli*, cf. *Spinatrypa*, y *Pseudoatrypa devoniana*) y gasterópodos (cf. *Turbonopsis*).

Dicha paleocomunidad presenta una alta equitatividad entre especies así como una moderada diversidad de organismos pertenecientes al grupo funcional de individuos epifaunales sésiles suspensívoros.

1. Introducción

En México, los afloramientos del Paleozoico son escasos y de limitada extensión, encontrándose dispersos por el territorio. El Devónico se ha reconocido en el noreste del estado de Sonora así como en Tamaulipas y Chihuahua, con una falta de rocas del Devónico inferior en el país (Álvarez, 1949; López-Ramos, 1969).

Al noroeste de Ciudad Victoria en Tamaulipas, se identificaron rocas del Sistema Devónico en el Anticlinorio de Huizachal-Peregrina, en la unidad conocida como Formación La Yerba. La sección es de aproximadamente 100 m. de espesor y consiste de novaculita blanca, lutitas gris oscuras y areniscas grises de grano fino (Carrillo, 1961; López-Ramos, 1969).

En la Cuenca de Chihuahua, la sección del Cámbrico al Devónico está conformada principalmente de rocas carbonatadas con menor presencia de rocas clásticas terrígenas. En el área de Placer de Guadalupe se indicó la presencia de rocas carbonatadas devónicas en los 150 m superiores de la unidad llamada Caliza Solís (Bridges y DeFord, 1962; López-Ramos, 1969).

En Sonora para el Devónico se reconocen predominantemente rocas carbonatadas en ocho localidades fosilíferas: Bisaní, Cerro Las Mesteñas, Cerro Cabullona, Rancho Placeritos, Sierra Agua Verde, Mina La Barita, Cerro Cobachi y Cerro El Tule, el último de estos siendo el área de estudio del presente trabajo (López-Ramos, 1969; Cuen-Romero *et al.*, 2016).

En el Cerro El Tule afloran rocas sedimentarias principalmente carbonatadas que van desde el Cámbrico hasta el Pérmico, sin representación del Ordovícico ni el Silúrico, con un espesor total de 1203 m. Para el Devónico se tiene una secuencia de areniscas mayormente de cuarzo, calizas fosilíferas e intercalaciones de lodolitas, dolomitas y calizas dolomíticas con asociación de corales y braquiópodos típica del Frasniano tardío, de 144 m de espesor (González-León, 1986).

En el presente trabajo se analizarán diversos fósiles pertenecientes al Devónico Superior del Cerro El Tule, para así determinar la paleoecología del área y expandir el conocimiento del Paleozoico norteamericano.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Caracterizar la paleoecología de una comunidad marina del Devónico Superior del área del Cerro El Tule, Sonora, México.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar a nivel de género y/o especie los fósiles de invertebrados marinos recolectados.
- Establecer la estructura de la paleocomunidad mediante un análisis cuantitativo
- Determinar los grupos funcionales en la comunidad para establecer afinidades interespecíficas.

3. Metodología

La elaboración del presente trabajo consistió de las siguientes etapas:

- **Recolección de muestras:** Se realizaron salidas de campo a la Sierra El Tule donde se recolectaron diferentes muestras de fósiles.
- **Limpieza de las muestras:** Se limpiaron las muestras recolectadas con una pluma neumática y cepillo suave con el fin de resaltar sus características morfológicas.
- **Fotografía de las muestras:** Para observar las características específicas a mejor detalle, se fotografiaron las muestras con un microscopio Leica HO40.
- **Análisis paleontológico:** Se identificaron a nivel de género y/o especie los fósiles distribuidos en el área de estudio, según los criterios de clasificación establecidos en el *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Moore *et al.*, 1959).
- **Análisis paleoecológico:** Para llevarlo a cabo se siguieron los pasos descritos a continuación:

Se cuantificaron los fósiles recolectados según el número de individuos de cada especie y se efectuaron las pruebas de Dominancia y Equitatividad de Simpson (1949), Diversidad de Shannon, Diversidad de Menhinick (1964), Riqueza Total de Chao (2005) y Curvas de Rarefacción, utilizando el Software Past 4.12 ® (Hammer *et al.*, 2011).

Índice de Dominancia y Equitatividad de Simpson (1949): Según Cuen Romero (2021), este es un parámetro utilizado para medir la dominancia de especies atendiendo al número total de especies y la proporción en que se encuentran en una

muestra. El índice de Simpson (D) se fundamenta en la probabilidad de que en una muestra dada uno o más individuos seleccionados al azar correspondan a la misma especie, siendo siempre el valor de Dominancia ≤ 1 . Se expresa en la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

S = número de especies

N = total de organismos presentes

n = número de organismos por especie.

Los resultados varían de 0 a 1, donde el valor de 0 indica una mayor diversidad y el valor de 1 indica que un único taxón domina la muestra.

Índice de Diversidad de Shannon (1949): De acuerdo con Velázquez Heras (2021), se utiliza para cuantificar la diversidad a nivel de especie, donde el aumento de la certidumbre es directamente proporcional a la diversidad de especies en una comunidad, es decir, si la diversidad en una comunidad es alta será difícil predecir a qué especie pertenece un individuo tomado aleatoriamente. Este índice (H) puede ser calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$H = - \sum_{i=1}^S (p_i)(\log_2 p_i)$$

Donde:

H : diversidad de especies

S : número de especies

p_i : proporción de individuos pertenecientes a la especie i en el muestreo.

Índice de Diversidad de Menhinick (1964): Es empleado para medir la diversidad de especies en una comunidad independientemente del tamaño de la muestra; el resultado aumenta según el número de especies presentes en la muestra (Ludwig y Reynolds, 1988). Este índice (D_{mn}) calcula con la siguiente fórmula:

$$D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

S : número de especies

N : total de organismos presentes

Índice de Riqueza Total de Chao (2005): Determina el número de especies esperadas tomando en cuenta la relación de las especies representadas por un solo individuo y el número de especies representadas por dos individuos (Cuen Romero, 2019). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Ch = S + \frac{F_1(F_1 - 1)}{2(F_2 + 1)}$$

Donde:

F_1 : número de especies representadas por un solo individuo

F_2 : número de especies representadas por dos individuos

Curvas de rarefacción: La base de este método es que todos los individuos en una comunidad tienen la probabilidad de ser muestreados, debido a que se encuentran distribuidos aleatoriamente en su ecosistema. Funciona para estandarizar el tamaño de muestra para comparar el número de especies entre comunidades, utilizando la muestra de menor tamaño como estándar.

4. Antecedentes y trabajos previos

Las sucesiones sedimentarias del Paleozoico han sido pobremente estudiadas en la región noreste del estado de Sonora, donde se ha documentado una abundante biota fósil del Paleozoico superior:

Viveros (1965) realizó un estudio geológico de la sierra de Cabullona, describiendo secuencias estratigráficas equivalentes a las formaciones Bolsa y Abrigo del Cámbrico.

Gómez-Tagle (1967) describe una sucesión sedimentaria marina del Devónico en Sierra Las Mesteñas, la cual está constituida principalmente por rocas carbonatadas y silicilásticas. Además, se identificaron placas columnares de crinoideos y se estableció una litocorrelación con la Formación Caliza Martin de la Sierra Escabrosa en Arizona, Estados Unidos.

Rangin (1982) en su tesis de doctorado realizó un estudio geológico del Sistema Cordillerano del noroeste de México.

González-León (1986) describe en el área del Cerro El Tule en el municipio de Cananea, Sonora, una secuencia de 144 m de rocas sedimentarias del Devónico superior (Frasniano tardío), constituida por arenisca, caliza, lodolita dolomitizada y capas de dolomita y caliza dolomítica.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2008) identificaron diversas especies de crinoideos de edad Pensilvánica en calizas micríticas alternadas con capas delgadas de lutita calcárea en el Cerro El Tule.

Gomez-Espinosa *et al.* (2008) clasificaron la bioestratigrafía y paleobiogeografía de los fusulínidos y algas calcáreas del Pensilvánico del Cerro El Tule para establecer migraciones entre México y el Océano Paleotethys.

Buitrón-Sánchez *et al.* (2012) describieron la litoestratigrafía y bioestratigrafía de una secuencia carbonatada cratónica que abarca desde el Misisípico inferior al Pérmico inferior del Cerro El Tule utilizando foraminíferos y algas calcáreas, concluyendo que el paleoclima en esta área podría haber sido similar al del resto del cratón Norteamericano y pudo haber dominado una tectónica sinsedimentaria local.

Morales-Palacios (2015) reunió información sobre los estudios realizados en los fósiles de crinoideos provenientes de varias zonas del estado de Sonora, entre ellas el Pensilvánico del Cerro El Tule.

Villanueva-Olea *et al.* (2016) describieron 8 géneros y 9 especies de crinoideos procedentes del Pensilvánico de la sierra Las Mesteñas al noreste del estado de Sonora, asociados a una biota desarrollada en un ambiente de plataforma carbonatada en mares someros tropicales y relacionada a otras biotas del Pensilvánico en Sonora (Cerros El Tule y Sierra Agua Verde) y de Estados Unidos de América (Texas y Colorado).

Alanis-Pavón (2017) analizó la asociación biótica, principalmente de fusulínidos, de los afloramientos de Cerros El Tule, Sierra Las Mesteñas y Sierra Agua Verde, en un contexto paleogeográfico y paleoecológico.

5. Generalidades

5.1. Localización

El Cerro El Tule se encuentra al noreste del estado de Sonora aproximadamente a 35 kilómetros al N de Cananea, en las coordenadas geográficas $31^{\circ}17' N$ y $110^{\circ}17' W$ (Figura 1).

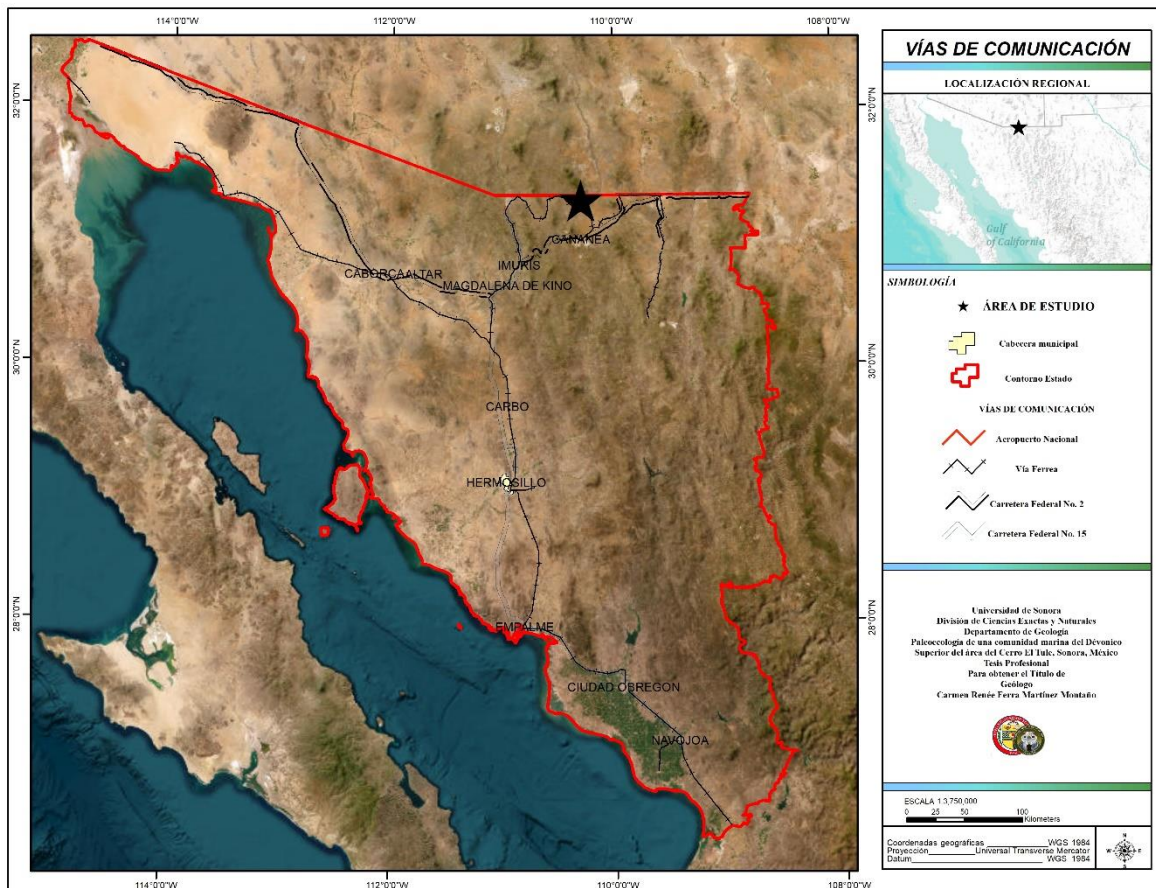


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

5.2. Fisiografía

El área de estudio está dentro de la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte y de la subprovincia Llanuras y Médanos del Norte, que abarca una superficie de 7316.07 km², abarcando partes de los municipios de Nogales, Santa Cruz, Imuris, Cananea, Naco, Fronteras, Agua Prieta y Bavispe. En esta subprovincia predominan las rocas sedimentarias, principalmente conglomerados, así como afloramientos pequeños de rocas ígneas intrusivas ácidas (Figura 2) (INEGI, 2000).

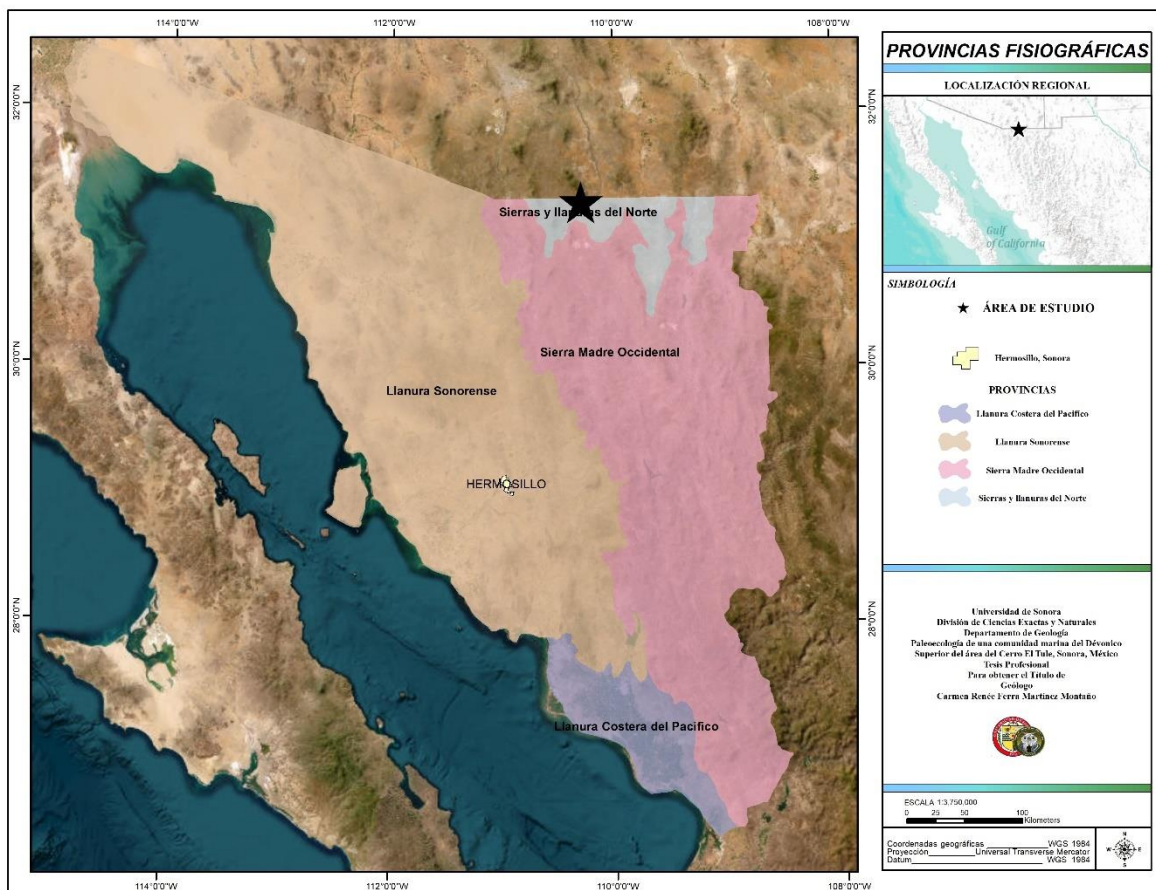


Figura 2. Provincias fisiográficas del estado de Sonora. Modificada de INEGI (2000).

5.3. Clima

El clima en Sonora se divide en seco y semiseco, muy seco, templado subhúmedo y cálido subhúmedo. Los climas seco y semiseco predominan en la Sierra Madre Occidental, abarcando una mitad del territorio sonorense (48%); el clima muy seco se presenta en la Llanura Costera del Pacífico (46.5%); el clima templado subhúmedo representa una pequeña porción al este del estado (4%); y el clima cálido subhúmedo en el sureste (1.5%). Sonora presenta una precipitación media de 450 mm anuales en los meses de julio y agosto (Figura 3) (INEGI, 2000).

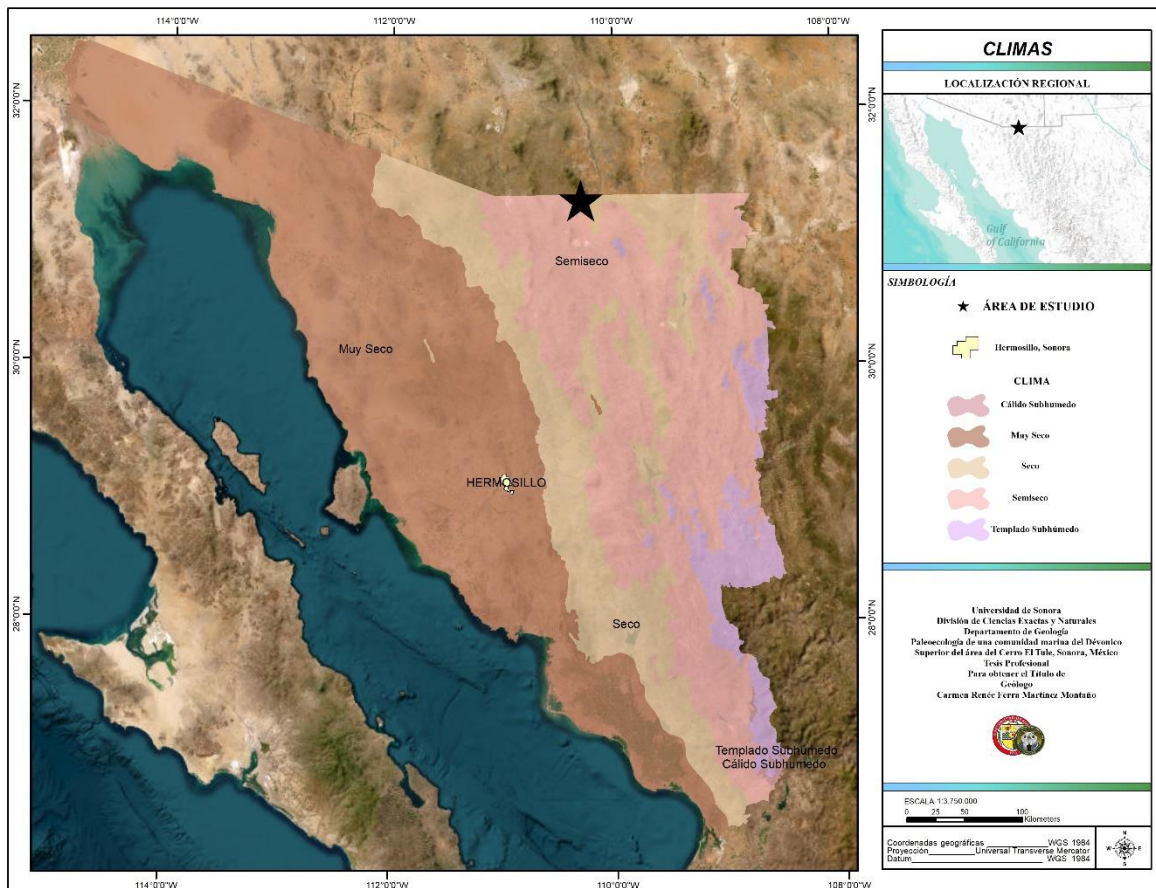


Figura 3. Clasificación del clima en el estado de Sonora. Modificada de INEGI (2000).

6. Marco geológico regional

En el área de estudio se presentan afloramientos con edades que van desde el Proterozoico hasta el Holoceno, según la carta geológico-minera Nogales H12-2 (2000) del Servicio Geológico Mexicano (Figura 4):

6.1. Paleozoico

Caliza – Arenisca (€ms Cz–Ar) (Informal)

La unidad está constituida por caliza, caliza oolítica, arenisca y limolita con trilobites del Dresbachiano (Cámbrico medio-superior), y se encuentra en un par de pequeños afloramientos hacia la esquina noreste del área. Es correlacionable con la Cuarcita Bolsa y la Caliza Abrigo del sureste de Arizona (SGM, 2005).

Caliza – Arenisca (Pdp Cz–Ar) (Informal)

Las rocas del Devónico-Pérmico (González-León, 1986) constan de calizas, areniscas, calizas arcillosas, conglomerados y lodolitas en contacto discordante con la unidad anterior por una falla normal; presenta afloramientos al noreste de la zona. Correlacionable con la Caliza Martín, Caliza Escabrosa, Horquilla y Earp.

6.2. Mesozoico

Riolita – Arenisca (Jim R–Ar) (Informal)

La unidad está conformada por derrames riolíticos, arenisca y toba riolítica del Jurásico inferior (SGM, 2005), con edades datadas en rocas volcánicas de 178 ± 5 Ma, U/Pb (Anderson y Roldán-Quintana, 1979), 175.6 ± 0.38 Ma y 172.3 ± 1.86 Ma (Iriundo, 2001), y 165 Ma (Stewart *et al.*, 1986), asociados a la actividad de un arco magmático. Estas rocas se encuentran en un estado de silicificación y alto grado de basculamiento, y se presentan en afloramientos reducidos al noreste de la zona.

Arenisca – Toba Riolítica (KsVs), Grupo Cabullona

Esta unidad está representada por un paquete volcanosedimentario del Grupo Cabullona (Taliaferro, 1933) que consiste de areniscas, lutitas, tobas riolíticas, limolitas, conglomerados y algunas andesitas, con fechamientos de K/Ar de 83 y 86 Ma (Lucas, 1990). Está asociado estratigráfica y tectónicamente a las cuencas laramídicas no marinas así como al volcanismo de este evento. Aflora en toda la zona.

6.3. Cenozoico

Conglomerado polimíctico – Arenisca (TmCgp – Ar), Formación Báucarit

Dumble (1900) la definió como Formación Báucarit; posteriormente Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998) la incluyen en el Grupo Yaqui para definir a una secuencia compuesta por conglomerados polimícticos de rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de areniscas y basaltos principalmente, gravas y arenas poco consolidadas. Se tienen edades radiométricas de K/Ar de 17 a 21 ± 0.4 Ma, lo cual la sitúa en el Mioceno. Presenta afloramientos en la esquina suroeste de la zona.

Conglomerado polimíctico (QptCgp), Grupo Sonora

Esta unidad consta de un conglomerado polimíctico no consolidado con fragmentos de rocas riolíticas, andesíticas, graníticas, metamórficas y calcáreas en una matriz arenosa, perteneciente al Grupo Sonora (Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana, 1998). Se le asigna una edad del Pleistoceno por su posición estratigráfica, y se encuentra rellenando valles de orientación NW-SE y N-S al centro del área así como en las esquinas noroeste y sureste.

Toba riolítica – Riolita (TmTR–R), Formación Lista Blanca

Pertenece a la parte superior del Grupo Yécora, y está compuesta de una secuencia de tobas riolíticas, riolitas, ignimbritas, andesitas, dacitas, aglomerados andesíticos, ocasionales basaltos, traquitas y algunos domos andesíticos y riolíticos, con espesores variables de 100 a 500 m. Bartolini *et al* (1991) reporta edades radiométricas de K/Ar 10.4 ± 0.2 Ma, y otros autores reportan edades variables de 10.3 ± 0.3 a 23.5 ± 0.8 Ma (Gastil y Krummenacher, 1977; Cochemé, 1985; Montigny, 1987; Demant, 1993; Mora, 1993; Kunk, 1994; Gans, 1997). Aflora en la parte oeste y suroeste del área.

Aluvión (Qhoal)

La unidad está compuesta por sedimentos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas, y se encuentra cubriendo el cauce de un río ubicado hacia el centro-sur de la zona.

6.4. Rocas ígneas intrusivas

Granito (pTmGr), Granito Mesteñas, Granito Cananea

Las rocas más antiguas de la zona corresponden a granitos del Proterozoico correlacionables con el Granito Cananea (Emmons, 1910 y Valentine, 1936; ver SGM 2005), con edades datadas en zircones de 1440 ± 15 Ma U-Pb (Anderson y Silver, 1977). Presenta afloramientos expuestos al noreste del cerro El Caloso hacia el noreste de la zona, y forma un contacto discordante con la secuencia paleozoica descrita anteriormente debido a una falla normal.

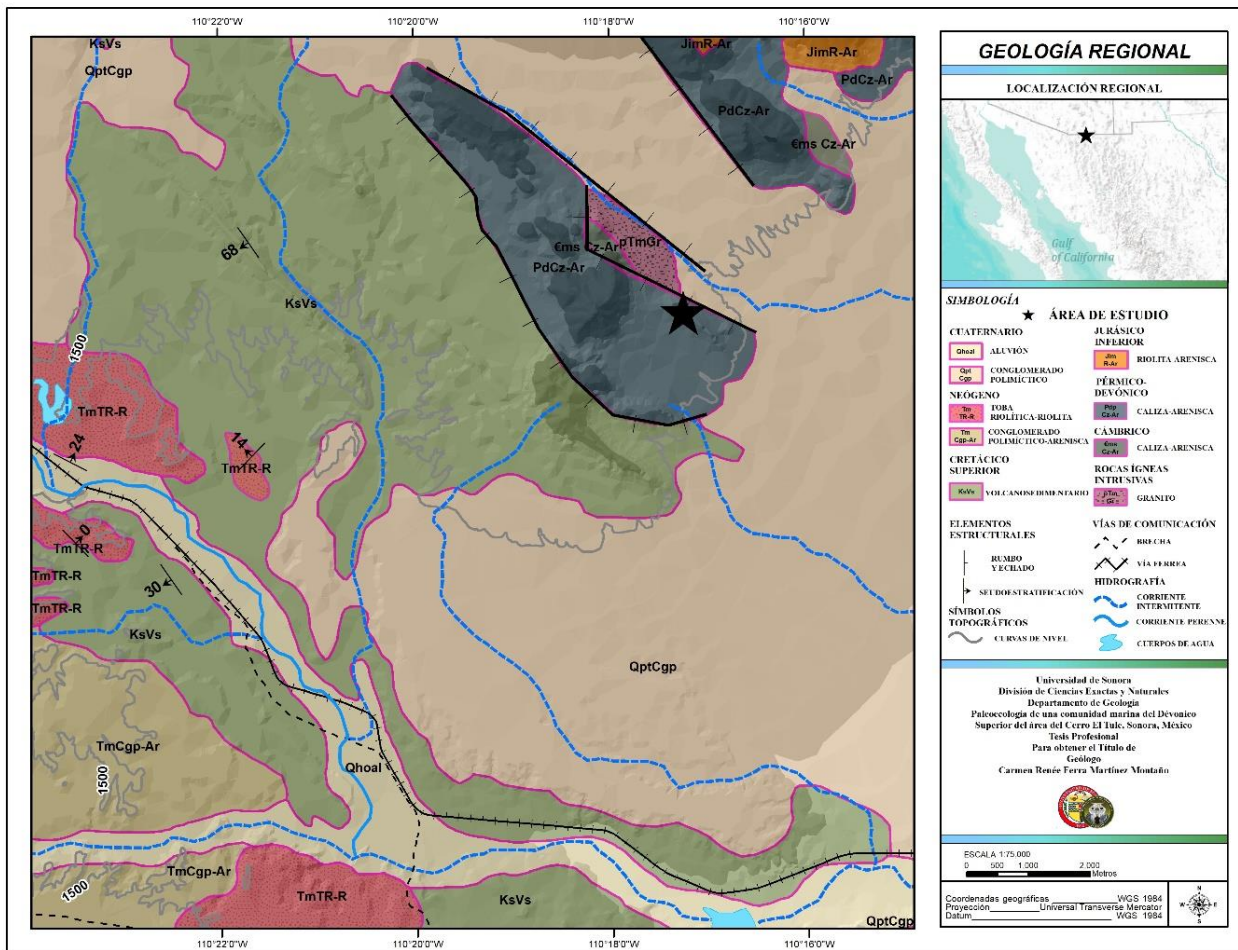


Figura 4. Geología regional, modificado de la carta geológico-minera Nogales H12-2 del SGM (2000).

7. Estratigrafía

En el Cerro El Tule aflora una sucesión sedimentaria marina del Paleozoico donde, particularmente, se han identificado estratos con abundante fauna del Cámbrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico (González-León, 1986).

La secuencia devónica está compuesta principalmente por arenisca calcárea, caliza y lodolita dolomítica, que incluye la presencia de abundantes fósiles como estromatopóridos, corales, briozoarios y braquiópodos del Devónico Superior. La secuencia estratigráfica del Devónico en el Cerro El Tule posee un espesor de 144 m aproximadamente, la cual ha sido dividida en tres miembros: A, B, y C (Figura 5).

El miembro A está constituido principalmente por estratos de arenisca de espesores medio a grueso, con horizontes masivos con abundante diastratificación planar en la parte superior. Además, está conformado en su mayoría por estratos de color café de cuarzo, identificando dos tipos de granos de cuarzo diferentes: el primer tipo son granos grandes bien redondeados, bien clasificados y con una fuerte extinción ondulante, mientras que el segundo tipo corresponde a clastos pequeños subangulosos y mal clasificados. La unidad no presenta contenido fósil, aunque se asigna una edad del Devónico debido a su similar posición estratigráfica con otros depósitos de Arizona (Ramsome, 1904; Teichert, 1965). El miembro A sobreyace de manera discordante con rocas cámbricas (González-León, 1986), y posee un espesor de 30 m aproximadamente.

La base del miembro B está compuesta por caliza arenosa con intercalaciones de caliza en estratos delgados, las cuales incluyen abundantes esponjas como *Amphipora* sp. La parte media consiste en caliza micrítica correspondiente a una textura tipo

wackestone con abundantes calciesferas en algunos horizontes. En la cima de la unidad se encuentra un horizonte biohermal con un espesor de 3 a 5 m constituido por masas hemisféricas de estromatopóridos *Amphipora* sp. y *Actinostroma* sp., así como briozoarios y escasos corales como *Alveolites* sp., correspondientes a una edad del Devónico Medio–Superior (González-León, 1986). El miembro B sobreyace de manera concordante al Miembro A, con un espesor de 34 m aproximadamente.

El miembro C está constituido principalmente por estratos de lodolita parcialmente dolomitizada con intercalaciones de dolomía y caliza dolomítica. Particularmente, la parte superior contiene un estrato de 30 cm a 1 m de espesor, la cual está compuesta por caliza arcillosa-dolomitizada con una abundante fauna fósil. La asociación faunística está representada por corales coloniales y rugosos, braquiópodos, gasterópodos y estromatopóridos laminares silicificados, asignada a una edad del Frasniano tardío (Devónico Superior) (González-León, 1986). El miembro C posee un espesor de 80 m aproximadamente.

La secuencia estratigráfica del Devónico en el Cerro El Tule ha sido correlacionada con las formaciones Caliza Martin y Swisshelm en Arizona, Estados Unidos (Ramsome, 1904; Epis *et al.*, 1957; Teichert, 1965). Además, se ha sugerido que las formaciones Percha, Sly Gap y Oñate en Nuevo México representan un cambio de facies lateral con las secuencias devónicas de Sonora y Arizona.

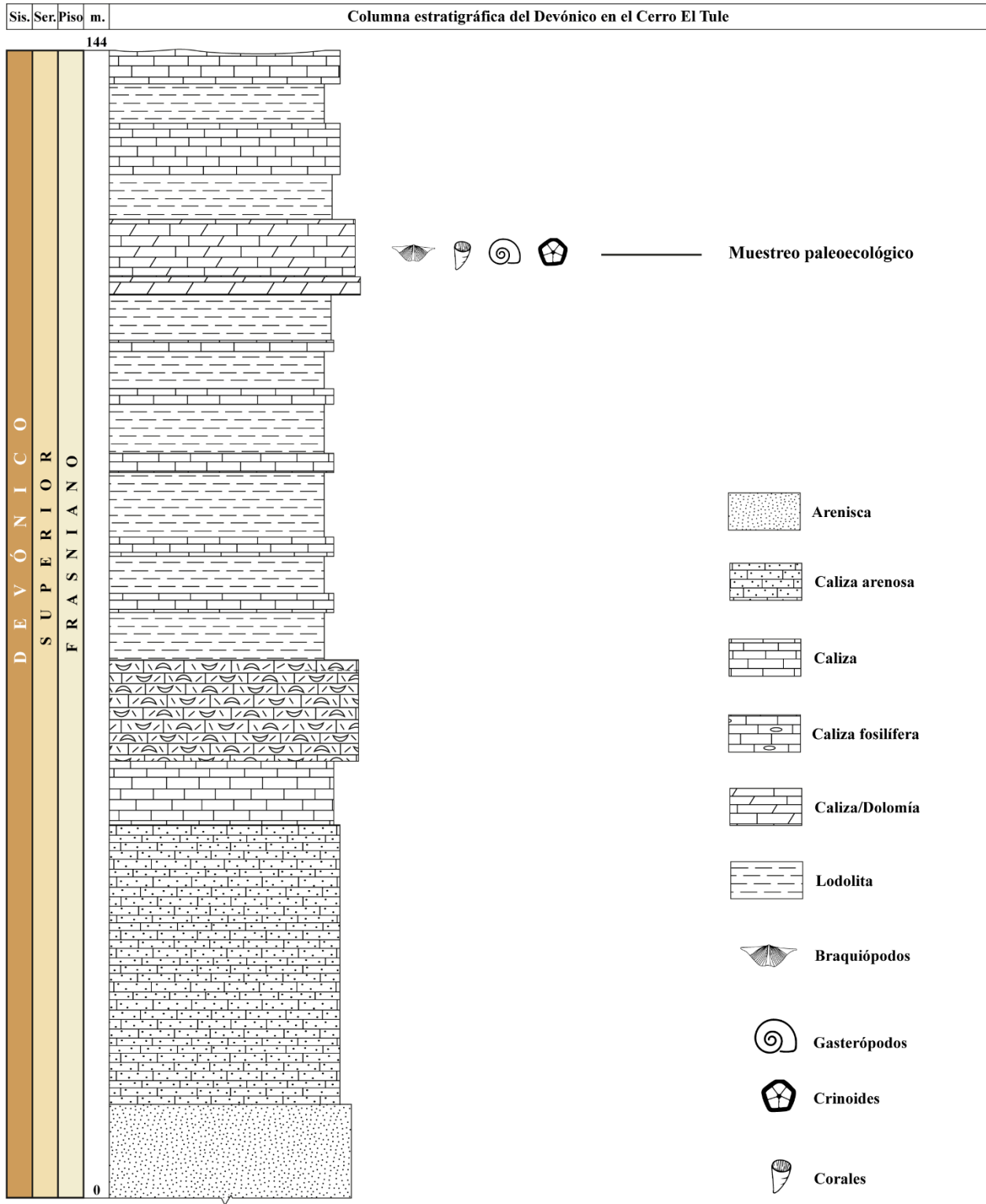


Figura 5. Columna estratigráfica de la secuencia devónica del Cerro El Tule.

8. Paleoecología

En ecología, una comunidad es un conjunto de organismos que interactúan directa o indirectamente en un espacio determinado, donde pueden llegar a competir unos con otros por recursos como el alimento. Según Smith & Smith (2007), esta competencia puede suceder de forma muy similar entre varias especies interpolando así en un mismo grupo trófico; a este conjunto de especies se le conoce como gremio.

La flora y la fauna se distribuyen espacialmente de tres formas distintas dentro de una comunidad según Ludwig & Reynolds (1988), tomando en cuenta la media (μ) y la varianza (σ^2) de los individuos muestreados:

- Una **distribución aleatoria** se representa como $\sigma^2 = \mu$ (tratamiento estadístico de Poisson), lo que significa que la distribución de los individuos no sigue ningún orden y cada individuo es totalmente independiente a los demás. Esto denota un medio ambiente homogéneo y/o patrones de conducta no selectivos.
- Una **distribución uniforme** se representa como $\sigma^2 < \mu$ (tratamiento estadístico de tipo binomial negativo), sugiriendo una variación de individuos menor a lo esperado en un lugar determinado, por lo que la distribución de éstos será más uniforme que aleatoria. Generalmente esto significa que hay una interacción negativa entre los individuos como la competencia por alimento o espacio y que éstos mantienen una distancia equivalente entre sí.
- Una **distribución agregada** se representa como $\sigma^2 > \mu$ (tratamiento estadístico de tipo binomial positivo), e indica que, si un individuo se encuentra en un punto determinado, entonces la probabilidad de que otro esté cerca va en aumento. Esto

quiere decir que los individuos de una comunidad dada se encuentran agrupados debido a un comportamiento gregario, un ambiente heterogéneo o recursos suficientes para cada especie.

Esta mezcla de distintas especies puede medirse cuantitativamente mediante la riqueza de especies. Pero esta diversidad de especies no suele ser equitativamente abundante: usualmente sucede que tan sólo unas cuantas de ellas conforman el mayor porcentaje de la población; Smith & Smith (2007) denominan como dominantes a estas especies. Las especies restantes, que ocupan una cantidad reducida dentro de la comunidad, fueron nombradas por Ceballos (2001) como raras.

Estas dos categorías de diversidad pueden analizarse según la abundancia relativa, que es el porcentaje que representa cada especie en su comunidad. Esto se realizó para las muestras del presente trabajo, representado en la Tabla 1:

Tabla 1. Distribución de especies muestreadas.
A = Abundancia, AR = Abundancia Relativa.

Especie	A	AR
<i>Eleutherokomma diluvianoides</i>	16	25.81
cf. <i>Eleutherokomma</i>	15	24.19
<i>Pseudoatrypa devonica</i>	9	14.52
<i>Cyrtospirifer verneulli</i>	9	14.52
<i>Hexagonaria occidens</i>	6	9.68
<i>Pachyphyllum nevadensis</i>	3	4.84
<i>Bryozoa</i> sp.	2	3.23
cf. <i>Spinatrypa</i>	1	1.61
cf. <i>Turbonopsis</i>	1	1.61
Total	62	100

Para conocer la estructura de una paleocomunidad es necesario comparar la riqueza de especies con la abundancia en comunidades mediante un diagrama de rango-abundancia (Figura 6), la cual expresa gráficamente la relación entre la abundancia relativa y el rango de abundancia. El número de especies se expresa en el eje X, mientras que la abundancia relativa se representa en el eje logarítmico. La curva graficada en el diagrama de rango-abundancia de la paleocomunidad proveniente del Cerro El Tule demuestra una equitatividad entre los organismos, esto debido a que la longitud y gradiente de la curva indica un comportamiento relativamente asintótico (Webb *et al.*, 2009). Además, lo anterior se demuestra en las cantidades de abundancia de las especies, las cuales son similares.

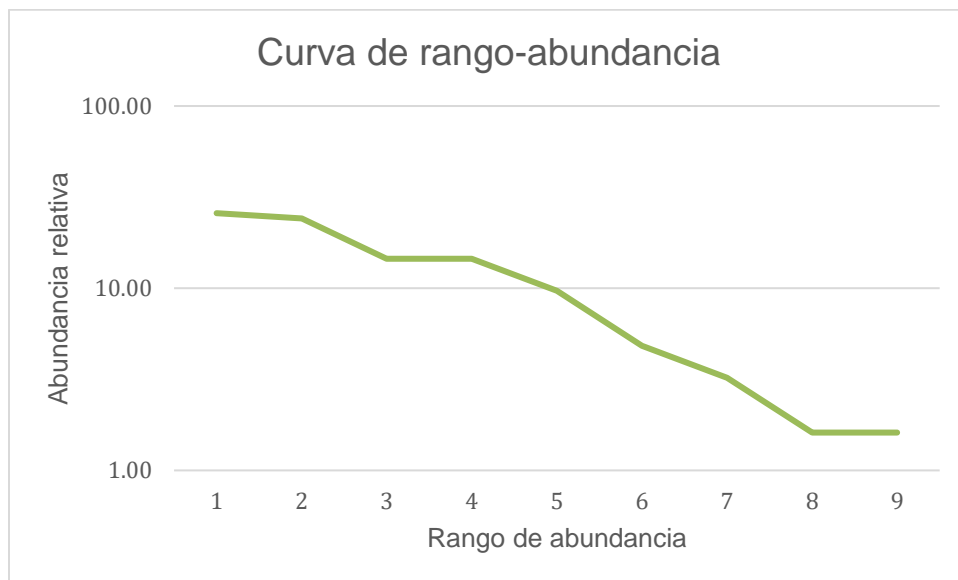


Figura 6. Curva de rango-abundancia de las especies descritas en la Tabla 1.

Las muestras recolectadas en el Cerro El Tule constan de 62 individuos distribuidos en 9 especies, siendo *Eleutherokomma deluvianoides* la especie dominante con 16 individuos, y cf. *Spinatrypa* así como cf. *Turbonopsis* son las especies raras de este muestreo, con tan solo un individuo colectado para cada uno (Tabla 1). Por otro lado, la relación entre la varianza (σ^2) y la media (μ) indica la distribución espacial de los organismos, donde únicamente las especies *E. deluvianoides* y cf. *Eleutherokomma* demuestran una distribución agregada al presentar la relación $\sigma^2 > \mu$.

La distribución agregada sugiere que el comportamiento de los individuos es influenciado por diversos factores tales como el modo reproductivo, la disposición de recursos y la heterogeneidad ambiental (Cuen-Romero *et al.*, 2021). Mientras que la distribución uniforme sugiere relaciones interespecíficas negativas entre individuos, por lo cual mantienen distancias similares entre los miembros de una comunidad. Se ha determinado una distribución uniforme con un tratamiento estadístico binomial positivo para las siete especies restantes (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución de especies para el Devónico Superior del Cerro El Tule.
Can = Cantidad de individuos; Var = Varianza.

Especie	Can	Var	Media	Distribución	Tratamiento
<i>Eleutherokomma deluvianoides</i>	16	9.22		Agregada	Binomial negativo
cf. <i>Eleutherokomma</i>	15	7.31		Agregada	Binomial negativo
<i>Pseudoatrypa devonica</i>	9	0.50		Uniforme	Binomial positivo
<i>Cyrtospirifer verneulli</i>	9	0.50		Uniforme	Binomial positivo
<i>Hexagonaria occidens</i>	6	0.09	6.89	Uniforme	Binomial positivo
<i>P. nevadensis</i>	3	1.68		Uniforme	Binomial positivo
<i>Bryozoa</i> sp.	2	2.66		Uniforme	Binomial positivo
cf. <i>Spinatrypa</i>	1	3.85		Uniforme	Binomial positivo
cf. <i>Turbonopsis</i>	1	3.85		Uniforme	Binomial positivo

A continuación, se ilustran los individuos utilizados para el muestreo, así como su distribución geográfica (Figuras 7-22). Para el presente análisis se identificaron dos especies de corales rugosos coloniales (Figuras 7-10); dos especies de briozoarios indeterminados (Figura 11); cinco géneros de braquiópodos (Figuras 12-20), de los cuales tres de ellos fueron determinados a nivel de especie; y un género de gasterópodo (Figuras 21-22).

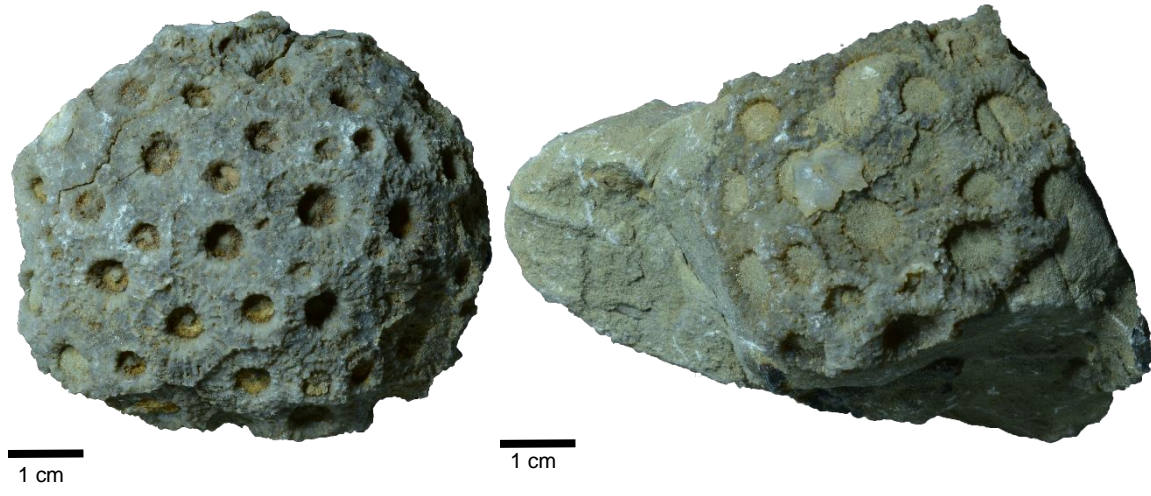


Figura 7. *Hexagonaria occidens*

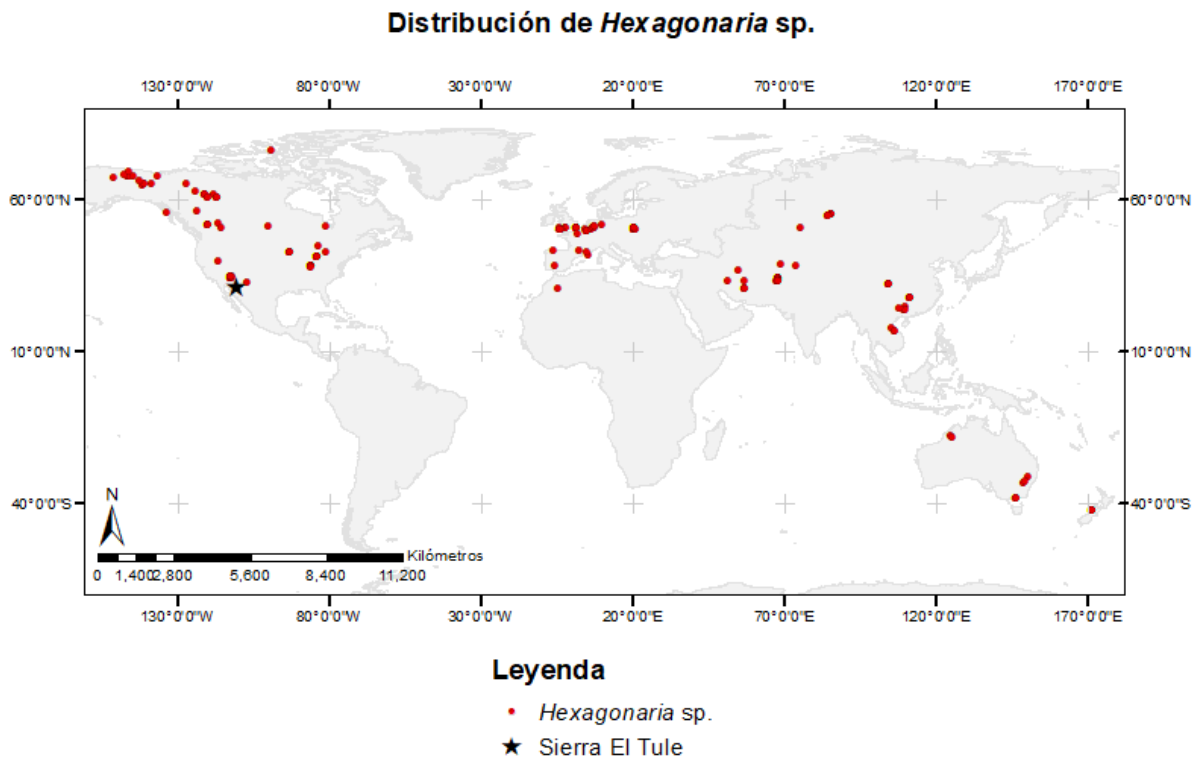


Figura 8. Distribución global de *Hexagonaria* sp.

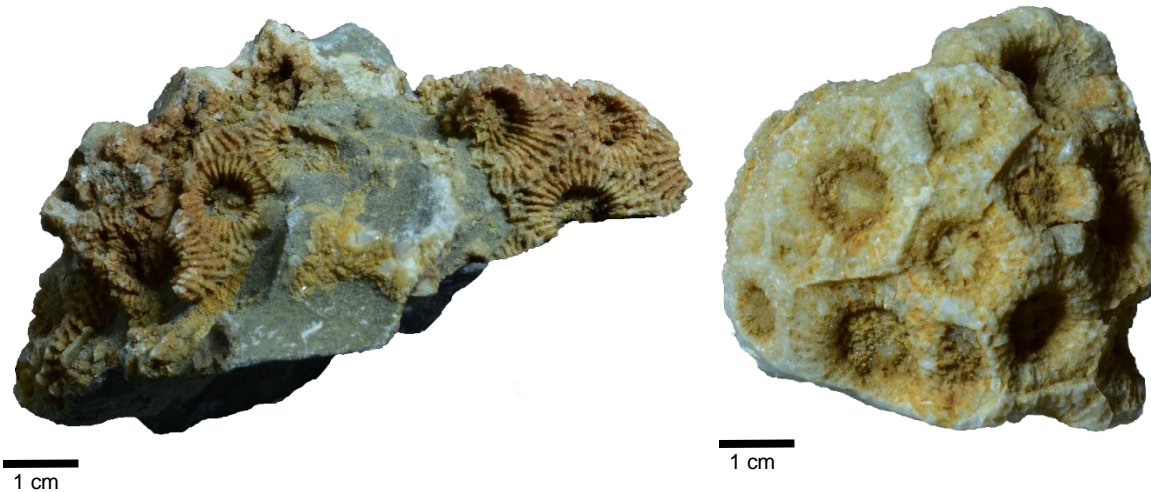


Figura 9. *Pachyphyllum nevadensis*

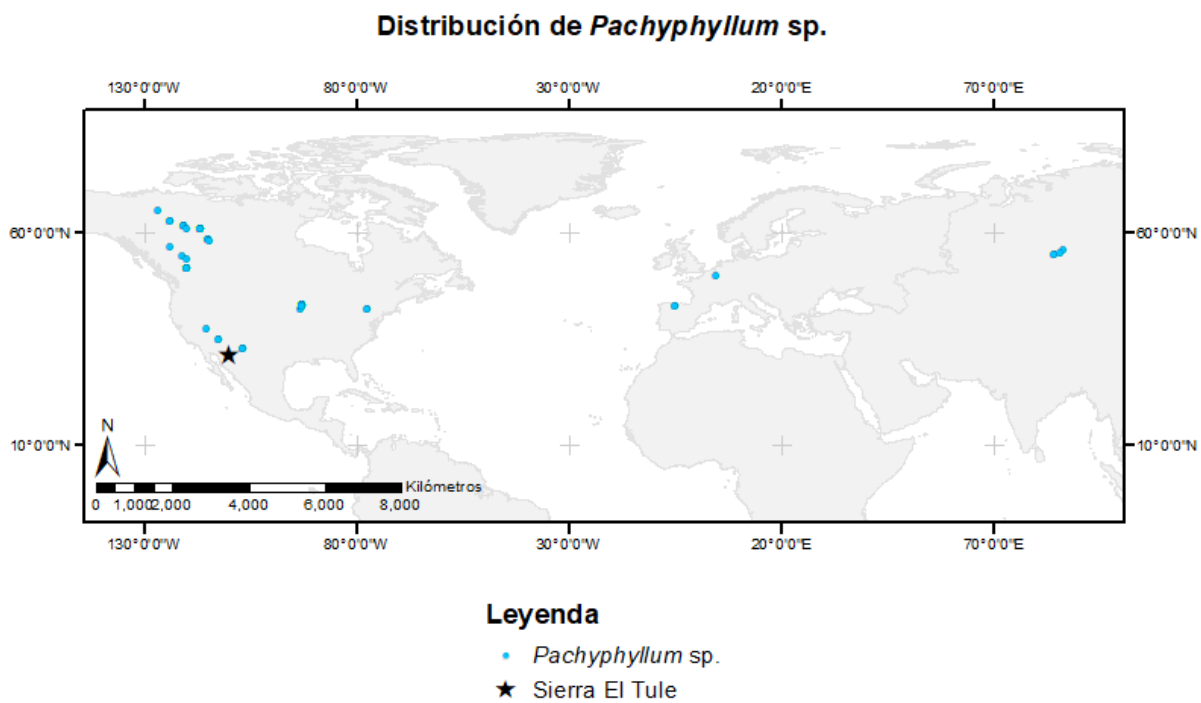


Figura 10. Distribución global de *Pachyphyllum* sp.

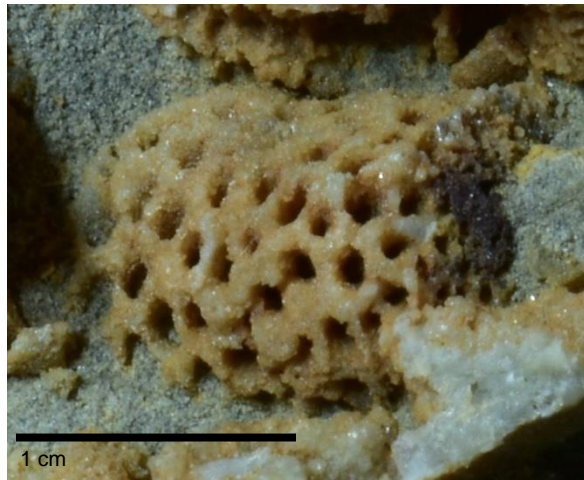


Figura 11. Bryozoa sp.

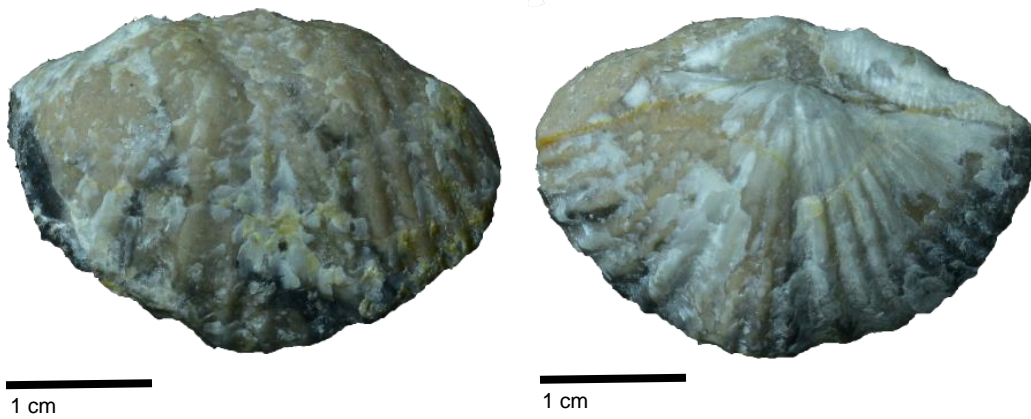


Figura 12. cf. *Eleutherokomma*

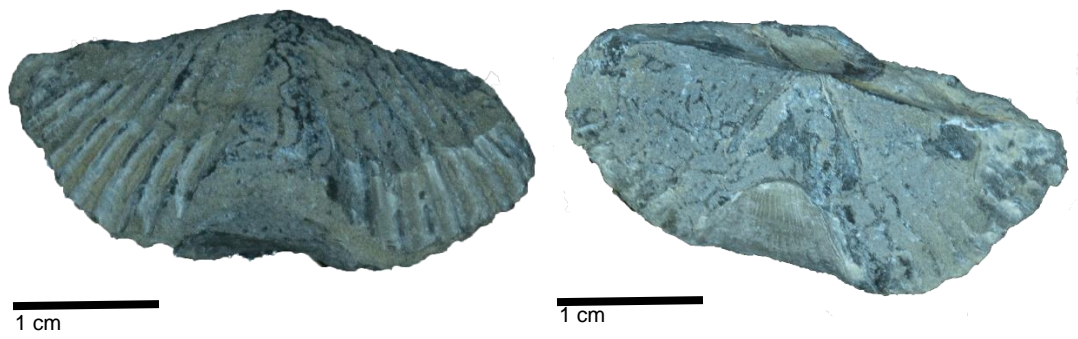


Figura 13. *Eleutherokomma diluvianoides*

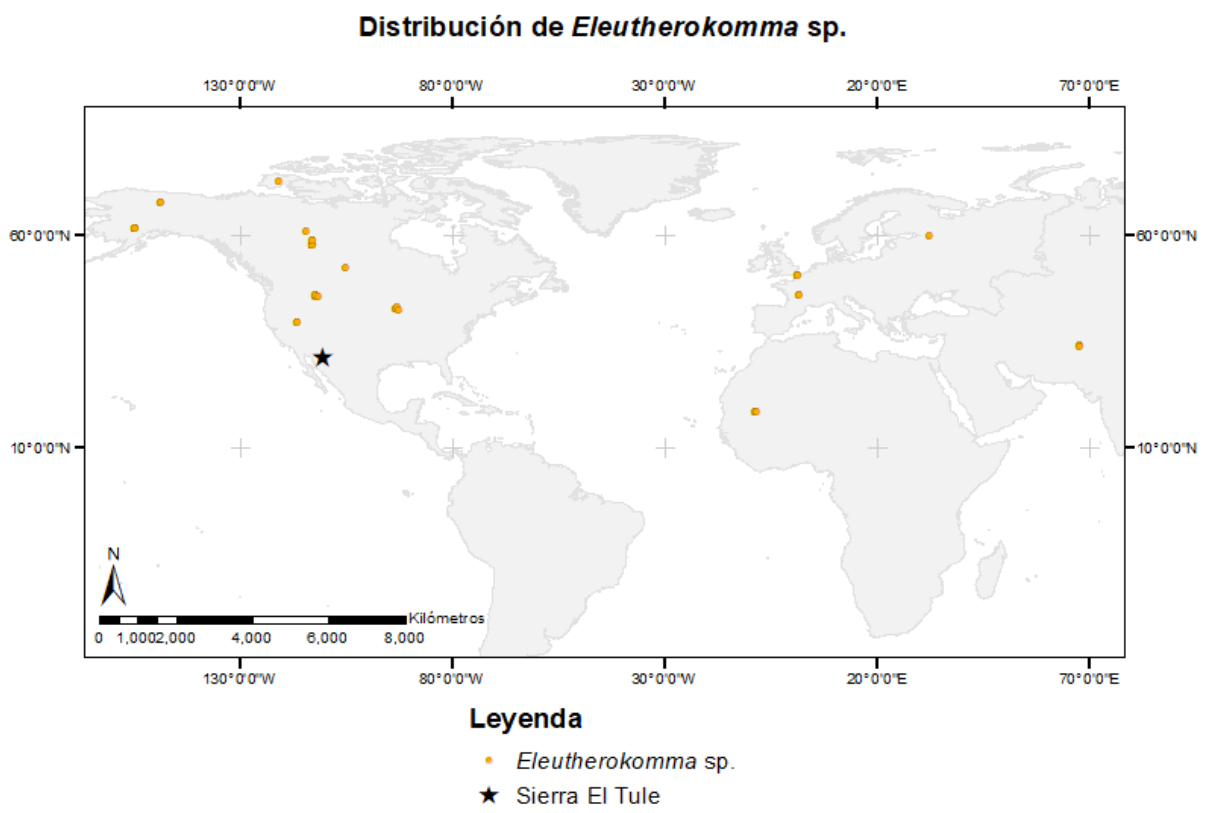


Figura 14. Distribución global de *Eleutherokomma* sp.

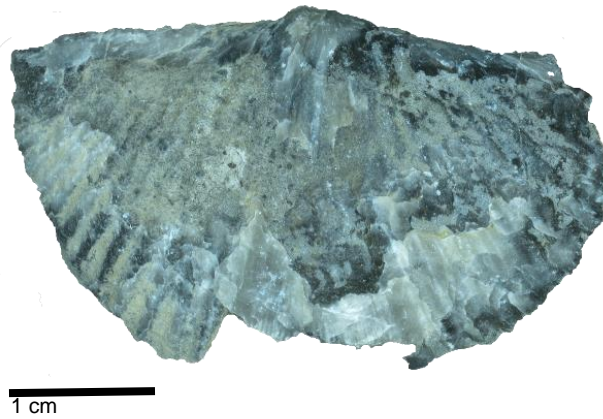


Figura 15. *Cyrtospirifer verneulli*

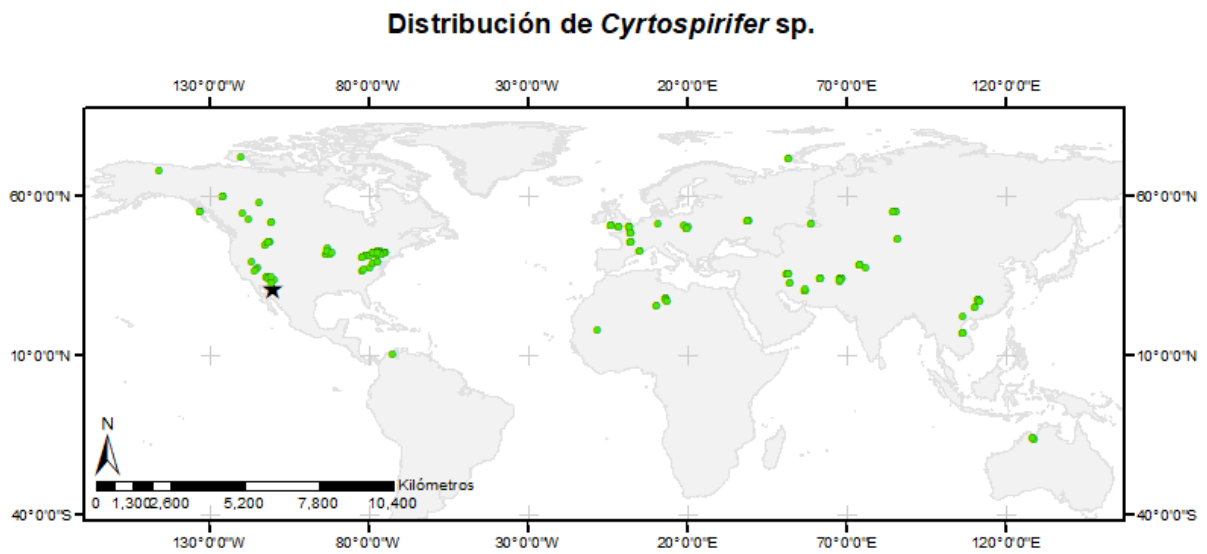


Figura 16. Distribución global de *Cyrtospirifer* sp.



Figura 17. cf. *Spinatrypa*

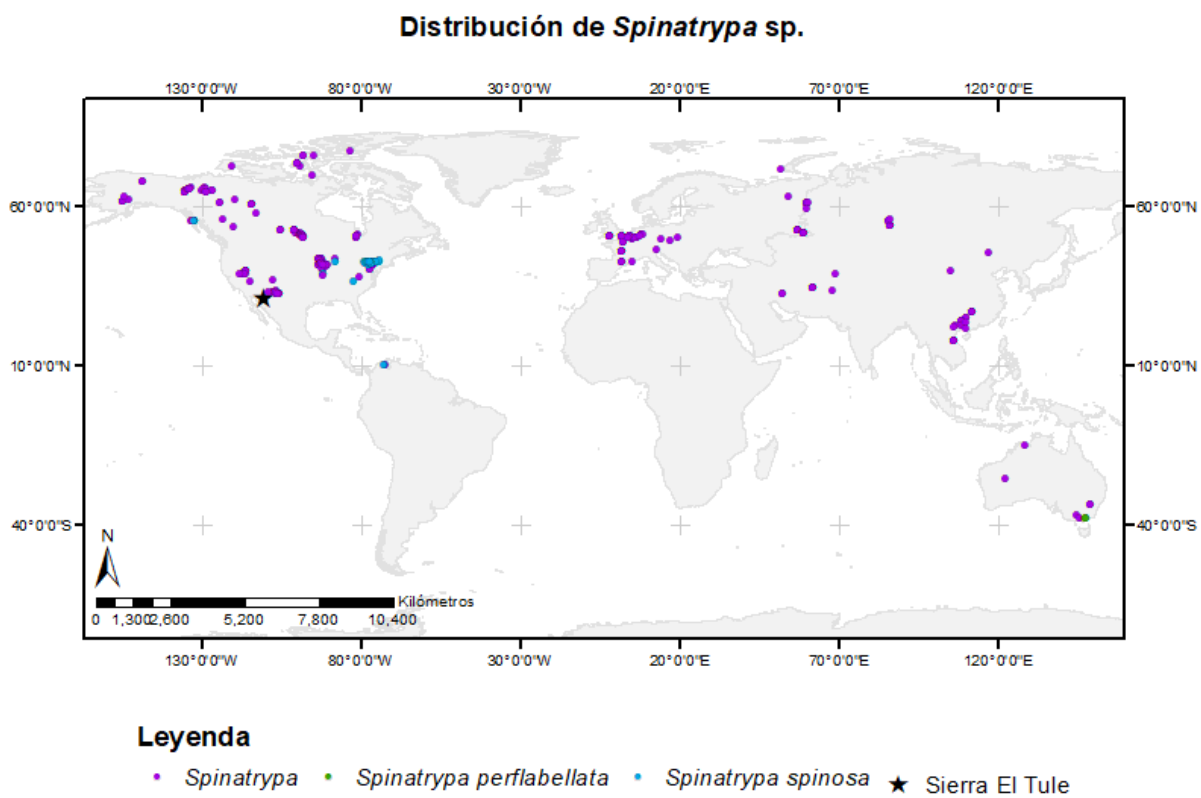
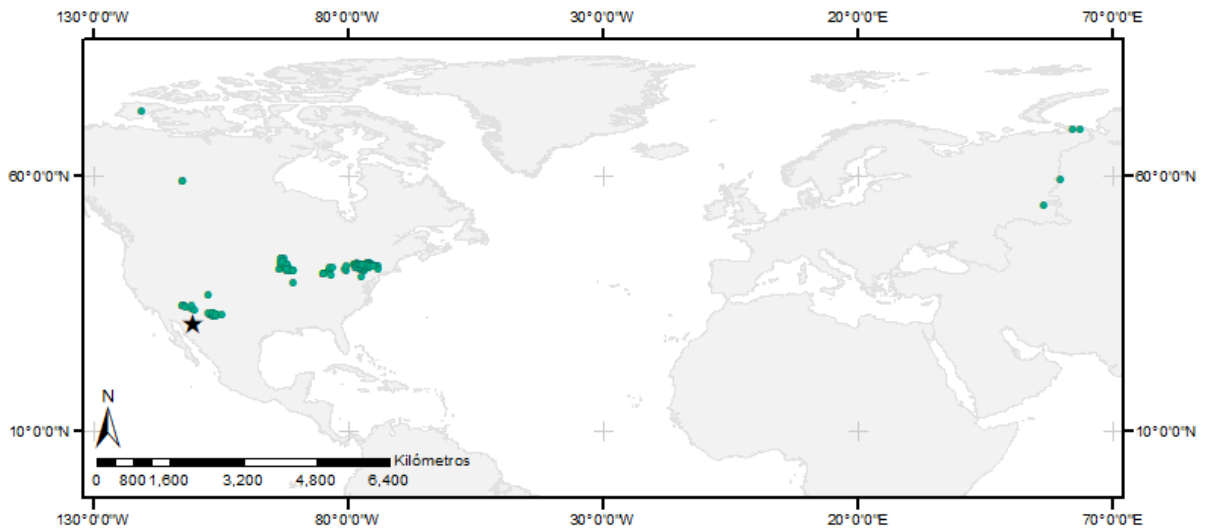


Figura 18. Distribución global de *Spinatrypa* sp.



Figura 19. *Pseudoatrypa devoniana*

Distribución de *Pseudoatrypa devoniana*



Leyenda

- *Pseudoatrypa devoniana*
- ★ Sierra El Tule

Figura 20. Distribución global de *Pseudoatrypa devoniana*.



Figura 21. cf. *Turbonopsis*

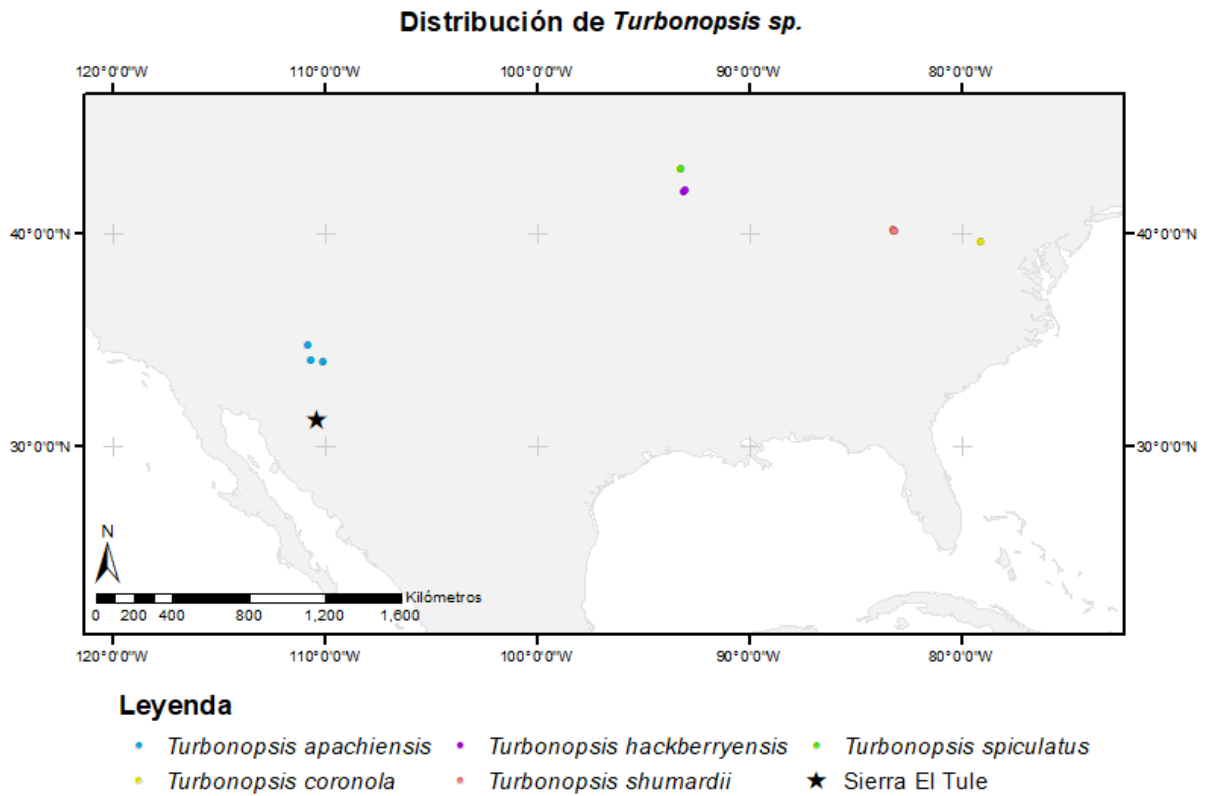


Figura 22. Distribución global de *Turbonopsis* sp.

8.1. Índices ecológicos

Los índices ecológicos son utilizados para caracterizar la estructura de una comunidad, sin embargo, existen numerosos índices para determinar la diversidad y riqueza de especies. Por lo anterior, en el presente trabajo se utilizarán los principales índices ecológicos para medir la diversidad de especies y distintos atributos como dominancia y equitatividad (Tabla 3).

Tabla 3. Índices ecológicos utilizados para el Cerro El Tule.

Índice	
No. Taxa	9
Individuos	62
Dominancia de Simpson	0.16
Equitatividad de Simpson 1-D	0.83
Shannon H	1.93
Menhinick	1.14
Chao	9.49

8.1.1. Dominancia de Simpson

Como se mencionó anteriormente, se tienen un total de 62 individuos distribuidos en 9 especies para la secuencia devónica del Cerro El Tule, con una dominancia de Simpson de 0.16, lo que indica que la comunidad marina estudiada es diversa, con una sola especie dominante.

8.1.2. Equitatividad de Simpson 1-D

Para este análisis se obtuvo un resultado de 0.83, lo que indica la ausencia de especies dominantes con un grado de distribución más homogéneo entre las especies.

8.1.3. Diversidad de Shannon

El resultado para este índice fue de 1.93, lo cual significa que la comunidad muestreada presenta un nivel normal de diversidad. El valor de 1.93 corresponde a la entropía de Shannon (H'), el cual debe ser empleado como $\exp(H')$ para determinar la diversidad verdadera dentro de la paleocomunidad. Como resultado de $\exp(1.93)$, se ha obtenido que la diversidad verdadera es de 5.24 especies efectivas, lo cual no coincide con el número de especies identificadas (9 especies), posiblemente debido al grado de dominancia de *E. deluvianooides* y cf. *Eleutherokomma*.

8.1.4. Diversidad de especies de Menhinick

Para el Cerro El Tule se obtuvo un 1.14, y un resultado menor a 2 en este análisis indica una baja diversidad, causado por el género dominante *Eleutherokomma* sp.

8.1.5. Riqueza de especies de Chao

Para la Riqueza de especies de Chao se obtuvo un valor de 9.49 especies totales esperadas, lo cual nuevamente demuestra una baja diversidad en la comunidad muestreada.

8.1.6. Curva de rarefacción

Este gráfico (Figura 23) demuestra la relación entre el número de especies y el de individuos. Además, este método permite estandarizar en función al tamaño de muestra, facilitando la comparación de los datos de biodiversidad (Chao *et al.*, 2014). En el siguiente diagrama, se demuestra una curva con un comportamiento relativamente asintótica, dirigida hacia el valor total de las especies, esto sugiere que el muestreo es

factible. De considerar un nuevo muestreo en los mismos estratos, se obtendrán resultados mínimos.

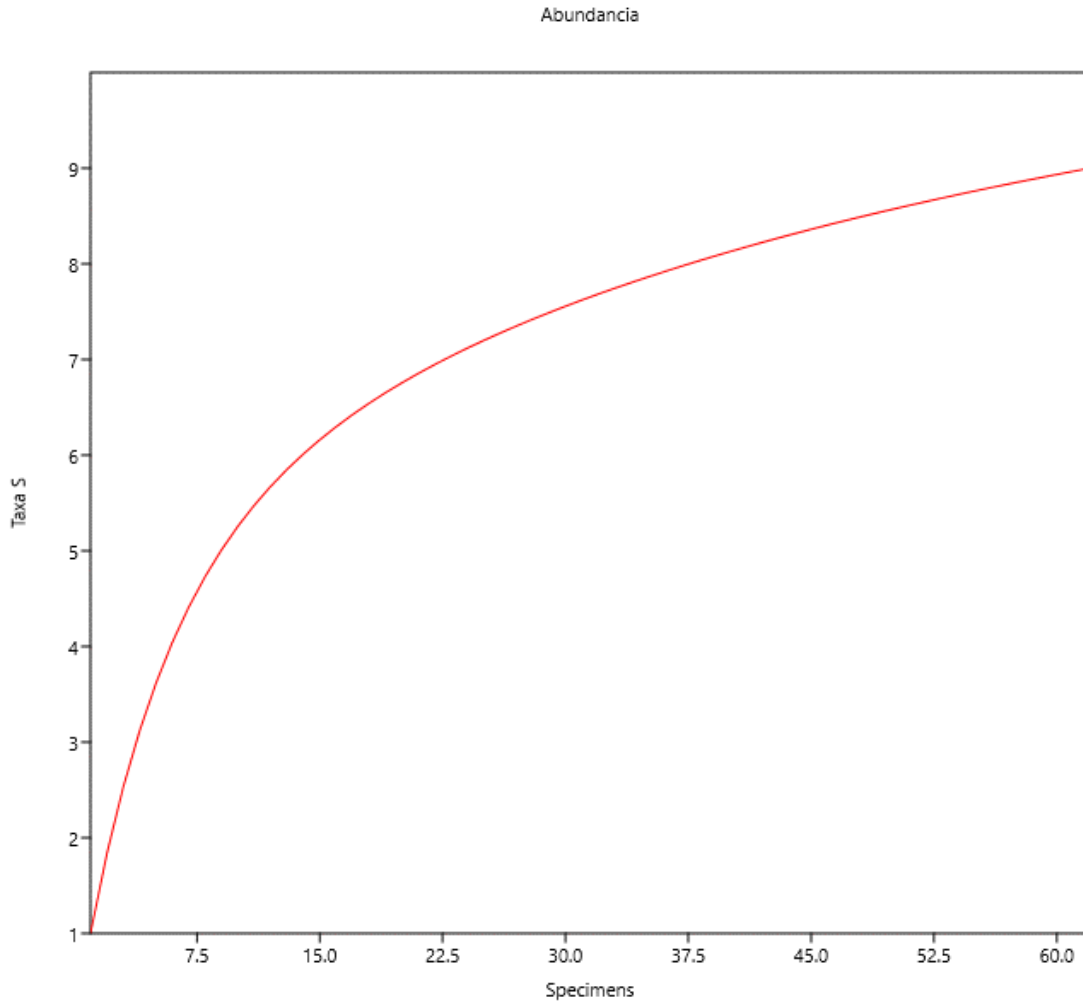


Figura 23. Curva de rarefacción para los individuos muestreados.

8.2. Grupos funcionales

Como fue previamente mencionado, un gremio es un conjunto de especies que forman parte del mismo grupo trófico y llevan a cabo un papel similar en el ecosistema. Para el presente estudio se definió un solo grupo funcional: epifaunal sésil suspensívoro, al cual pertenecen todas las especies muestreadas en el Cerro El Tule.

9. Resultados y conclusiones

Se realizó el primer estudio paleoecológico cuantitativo de una paleocomunidad en el Cerro El Tule del área de Cananea, donde se han contabilizado un total de 62 individuos distribuidos en nueve especies. El contenido faunístico está representado por corales, briozoos, braquiópodos y gasterópodos provenientes de la parte superior de una secuencia del Frasniano (Devónico Superior).

Para la comunidad del Devónico Superior en el Cerro El Tule se ha identificado una abundancia y dominancia de individuos del 80.64% correspondientes a los braquiópodos *Eleutherokomma diluvianoides*, cf. *Eleutherokomma*, *Cyrtospirifer verneulli*, cf. *Spinatrypa*, y *Pseudoatrypa devoniana*. También se ha estimado una abundancia de especies del 14.51% correspondientes a los corales *Hexagonaria occidens* y *Pachyphyllum nevadensis*, la abundancia relativa del 3.22% correspondientes a briozoarios indeterminados, y finalmente la abundancia relativa de 1.61% correspondiente al gasterópodo cf. *Turbonopsis*. Además, los braquiópodos presentan una mayor diversidad de especies, ocupando 55.55% de riqueza de especies en el área de estudio.

La paleocomunidad demuestra una mayor equitatividad entre especies y, basado en los índices ecológicos, presenta una moderada diversidad de organismos epifaunales sésiles suspensívoros. Lo anterior también se demuestra en la distribución espacial uniforme de los organismos, donde existió una interacción positiva entre los individuos.

La asociación faunística comprende de una amplia distribución geográfica, particularmente, los géneros *Hexagonaria*, *Cyrtospirifer*, y *Spinatrypa* han sido documentados en numerosas localidades del mundo.

10. Referencias

- Alanis Pavón, A. (2017). *Los fusulínidos (Fusulina-Fusulinacea) del Pensilvánico de Cerros El Tule, Sierra Las Mesteñas y Sierra Agua Verde, Sonora, consideraciones paleogeográficas y paleoecológicas*. Universidad Autónoma de México.
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/12294/3/Tesis.pdf.pdf>
- Álvarez, M. (1949). *Notas sobre el Paleozoico Mexicano* (pp. 47–56). *Revista Mexicana de Geólogos Petroleros*.
- 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.
- Bartolini, C., Morales, M., Damon, P., Shafiqullah, M. (1991). *Geology and geochronology of the Sierra Lista Blanca, central Sonora, México: A progress report*: Universidad de Sonora, Boletín del Departamento de Geología, v. 8, p. 1-5.
- Buitrón Sánchez, B. E. (1989). *Paleontología General: Invertebrados*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Cuen-Romero, F.J., Monreal, R., Cuadros-Mendoza, I.M. (2022). *Diversity of Crinozoa (Echinodermata: Eocrinoidea, Blastoidea, Crinoidea) from the Paleozoic of Mexico*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 39, núm. 1, p. 43-53.
- Buitrón Sánchez, B. E., Gómez Espinosa, C., Almazán Vázquez, E., Vachard, D., Laguarda-Figueras, A., & Solís-Marín, F. (2008). *A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico*. *Revista de Biología Tropical*, 56(S3), 1–12.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v56i3.27020>

- 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, en el noreste de Sonora, México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 1, p. 39-62.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742012000100003
- Camacho, H. H., & Longobucco, M. I. (2008). *Los invertebrados fósiles* (1ra ed., Tomo II). Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Cochemé, J.J. (1985). *Le magmatisme cezoique dans le NW du Mexique, Cartographie de la Région 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.
- Cuen Romero, F. J., Noriega-Ruiz, H. A., Chacón-Baca, E., Monreal, R., & Castillo-Gámez, R. A. (2021). Métodos cuantitativos en paleoecología de comunidades. EPISTEMUS, 14(29), 52–61.
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v14i29.138>
- Cuen Romero, F. J., Valdez Holguín, J. E., Montijo González, A., & Monreal Saavedra, R. (2016). *Invertebrados Fósiles del Paleozoico de Sonora, México*. EPISTEMUS, 10(21), 75.
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v10i21.37>
- Demant, A., Cocheme, J.J., Montigny, R. (1993). *The tertiary Yecora, Caldera, Sonora, México*. III Simposio de geología de Sonora y áreas adyacentes. Pág. 73-184.
- Esquivel-Macías, C., Solís-Marín, F., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2004). *Nuevos registros de placas columnares de crinoideos (Echinodermata, Crinoidea) del Paleozoico Superior de México, algunas implicaciones paleobiogeográficas y paleoambientales*. ResearchGate.
<https://www.researchgate.net>
- Gans, P.B. (1997). *Large magnitude Oligo-Mioceno 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 Bahía Kino*, Geological Society of America Bulletin, v.88. p. 189-198.
- Gómez-Tagle, A. (1987). *Estudio geológico de la Sierra de Las Mesteñas, Municipio de Fronteras, Estado de Sonora*: Univ. Nal. Autón. México, Fac. Ingeniería, tesis profesional, 59 p.
- Gomez-Espinosa, C., Vachard, D., Buitrón-Sánchez, B., Almazán-Vazquez, E., & Mendoza-Madera, C. (2008). *Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (northwestern Mexico), and their biostratigraphic and palaeobiogeographic implications*. *Comptes Rendus Palevol*, 7(5), 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2008.04.001>
- González Alcaraz, J. (2017). *Recopilación de información sobre localidades paleozoicas en Sonora, México*. In 148.225.114.121. Universidad de Sonora. <http://148.225.114.121/handle/unison/1901?locale=es>
- González León, C. (1986). *Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6(2). <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/article/view/1326>
- Grijalva-Noriega, F.J. y Roldán-Quintana, J. (1998). *An overview of the cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora, northwestern Mexico*: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V.15, No. 2, p. 145- 156.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) 2000, *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora*. 100p.
- López Ramos, E. (1969). *Rocas Paleozoicas marinas de México*. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 32(1), 15–44. <https://www.jstor.org/stable/44174003>

- 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.
- Montigny, R., Demant, A., Delpretti, P., Cocheme, J.J. (1987). *Chronologie K-Ar des sequences tertiaires du nord de la Sierra Madre Occidental (Mexique)*, C.R. Acad Sc. Paris, 304, Serie II, No. 16, P. 987-992.
- Morales Palacios, A. (2015). *Actualización Sistemática de los Crinoides (Echinodermata, Crinoidea) del Paleozoico Tardío de Sonora. Consideraciones Estratigráficas*.
<https://doi.org/http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/8828>
- Ramos Martínez, O. I. (2016). *Estudio bioestratigráfico de conodontos del Devónico del Cerro La Cueva, San Pedro de la Cueva, Sonora, México (centro de Sonora)* [Universidad de Sonora]. In 148.225.114.121. <http://148.225.114.121/handle/unison/1683>
- Ransome, F.L. (1904). *The geology and ore deposits of the Bisbee Quadrangle, Arizona*; U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 21, 168 p.
- Rangi, C. (1982). *Contribution a l'etude géologique du Systeme Cordillérain du Nord-Ouest du Mexique*: París, Univ. Pierre et Marie Curie, disertación Doctoral 588 p.
- Servicio Geológico Mexicano (2005). *Texto explicativo de la carta geológica del estado de Sonora, escala 1:500,000*. Editado por SGM 2005, p. 141.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología* (Sanjosé Román, E., Trans.; 6ta ed.). Pearson Educación.
- Sundberg, F. A., & Cuen-Romero, F. J. (2021). *Trilobites from the Crepicephalus Zone (upper Guzhangian Stage, Miaolingian Series, Cambrian) from northern Sonora, Mexico, and its correlation to Arizona and Texas, USA*. Journal of South American Earth Sciences, 108.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103185>

Velazquez Heras, J. E. (2021). *Paleoecología de una comunidad marina del Cretácico inferior en el área de Cerro de Oro, Rayón, Sonora, México*. Universidad de Sonora. <http://hdl.handle.net/20.500.12984/6657>

Villanueva-Olea, R., Buitrón-Sánchez, B. E., Palafox-Reyes, J. J., & Piña-Flores, S. (2016). *Crinoides (Echinodermata: Crinoidea) del Pensilvánico de sierra Las Mesteñas, NE de Sonora, México*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(4), 1225–1234.

Viveros, M. A. (1965). *Geología del área de Caballuna-Caloso, Municipio de Agua Prieta, Sonora, México*. D.F. Univ. Nal. Autón. Mexico Tesis profesional, 80 p.