



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA**

**“FORAMINÍFEROS (FUSULÍNIDOS) DEL
PENSILVÁNICO DE CERROS EL TULE, NE DE
SONORA, CONSIDERACIONES
BIOESTRATIGRÁFICAS Y PALEOECOLÓGICAS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA

URIEL FIDEL SEVILLA COVARRUBIAS



DIRECTORA DE TESIS

Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez

Noviembre, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A Dios

Porque me ha permitido vivir y me ha dotado de todas las características para poder lograr mis objetivos, de quien estoy infinitamente agradecido.

A Mi Madre

Quien me ha impulsado a cumplir con mis metas y objetivos y me ha proporcionado los recursos necesarios para poder lograrlo, quien desde que tengo uso de razón me ha aconsejado lo mejor que ha podido y me ha brindado todo su amor.

A Mi Padre

Quien me ha impulsado a cumplir con mis metas y objetivos y me ha proporcionado los recursos necesarios para poder lograrlo.

Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez

Doctora, estoy muy contento y agradecido ya que me ha guiado y apoyado en este trabajo profesional el cual me permitirá lograr una de mis metas, además de ser un ejemplo para muchos profesionales que han olvidado su sencillez, además de ser un ejemplo y orgullo para mí.

Dra. Catalina

Doctora, te agradezco tus consejos que me has brindado y aunque estas lejos por tu profesión, se que cuento contigo.

Ing. Bernardo Martell

Quien me ha orientado profesionalmente en el ámbito docente.



A Mis Profesores

Quienes me han enseñado y preparado para poder ser un buen profesionalista y poder aplicar mis conocimientos en la vida.

A mis amigos

Quienes me han acompañado en este difícil camino, con los que he pasado momentos inolvidables que marcaran toda mi vida, con los que he llorado y reído en especial Baltazar y Nancy.



RECONOCIMIENTOS

La tesis fue elaborada en el Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. El autor agradece a la directora Dra. Elena Centeno García, el haberle permitido desarrollar el trabajo de tesis en las instalaciones del instituto que dirige.

La presente investigación se realizó en el marco de los Proyectos CONACYT Núm. 165826 y UNAM, DGAPA-PAPIIT No. IN105012, quienes apoyaron el trabajo de campo en los Cerros El Tule, NE de Sonora.

Asimismo, por el apoyo económico de una beca anual otorgada por el proyecto UNAM, DGAPA-PAPIIT No. IN105012 “Evolución de los Ecosistemas Paleozoicos de México”.

El autor desea expresar su agradecimiento a la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM, quien sugirió el tema de estudio y dirigió la investigación, mostrando un gran interés durante su desarrollo y haciendo valiosos comentarios que el autor agradece sinceramente.

También expreso mi reconocimiento al Dr. Juan José Palafox Reyes, profesor investigador del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, quien asesoró el trabajo de campo.

Mi gratitud a los sinodales Dra. Silvia Rivera Olmos, M. en C. Emiliano Campos Madrigal, M. en C. Noé Piña Santillán y Ing. Bernardo Martell Andrade, quienes revisaron críticamente el manuscrito y aportaron valiosas sugerencias.

| INDICE | PÁGINAS |
|---|----------------|
| I. RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| II. INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| ANTECEDENTES..... | 4 |
| OBJETIVOS..... | 6 |
| HIPÓTESIS..... | 7 |
| LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA..... | 7 |
| VIAS DE COMUNICACIÓN..... | 9 |
| CLIMA..... | 9 |
| FISIOGRAFÍA..... | 10 |
| POBLACIÓN..... | 12 |
| III. MÉTODO..... | 12 |
| MATERIAL..... | 12 |
| ACTIVIDADES DE CAMPO..... | 12 |
| ACTIVIDADES DE LABORATORIO..... | 13 |
| ACTIVIDADES DE GABINETE..... | 13 |
| IV. MARCO GEOLOGICO..... | 15 |
| V. ESTRATIGRAFÍA..... | 18 |
| VI. RESULTADOS..... | 21 |
| PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA..... | 21 |
| VII. CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS..... | 34 |
| VIII. CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS..... | 36 |
| IX. CONCLUSIONES..... | 37 |
| X. BIBLIOGRAFÍA CITADA..... | 39 |

ILUSTRACIONES

| | |
|--|-------|
| Figura 1. Mapas de localización de los Cerros El Tule, Sonora..... | 8 |
| Figura 2. Fotografía de los Cerros El Tule, vista desde el oriente..... | 9 |
| Figura 3. Provincias Fisiográficas del estado de Sonora (Tomado de INEGI, 2011)..... | 11 |
| Figura 4. Fragmento de roca con cortes transversales de fusulínidos donde se observa su morfología..... | 15 |
| Figura 5. Reconstrucción paleogeográfica donde se muestra la conexión entre Sonora, el Cratón Norteamericano (Arizona, Texas) y el dominio sudamericano a través de diferentes terrenos mexicanos..... | 18 |
| Figura 6. Columna estratigráfica de los Cerros El Tule..... | 20 |
| Figura 7. Morfología de la concha de un fusulínido que muestra las cámaras y la fenoteca..... | 24 |
| Figura 8. Morfología de la concha de un fusulínido..... | 25 |
| Figura 9. Morfología de la concha de un fusulínido, que muestra la posición del poro del proloculum..... | 26 |
| Figura 10. Desarrollo de la superficie de la concha y tamaño de los Fusulinacea pertenecientes a la familia Ozawainellidae..... | 27 |
| Figura 11. Estructura alveolar de la espiroteca y septula..... | 27 |
| Figura 12. Diagrama de la espiroteca mostrando las paredes de los alveolos, coma, con poros comatales..... | 28 |
| Figura 13-18 <i>Fusulínidos del Pérmico estudiados</i> | 28-33 |
| Figura 19. Cuadro bioestratigráfico..... | 35 |

ILUSTRACIONES (continuación)

Figura 20. Reconstrucción de los biotopos de fusulínidos (1), crinoideos (2) y Chaetétidos (3), braquiópodos (4).....39

Tabla 1. Cuadro informativo de algunos términos ecológicos (Tomado de López Alemán, 1988).....38

I. RESUMEN

En los Cerros El Tule, localizados en la región noreste, del estado de Sonora, al noroeste de México, existen afloramientos de rocas sedimentarias con una biota constituida por numerosos ejemplares de invertebrados y algas calcáreas, cuya edad se estima entre el Misisípico Inferior al Pérmico .

En esta ocasión se discute la presencia de microfósiles, particularmente fusulínidos que fueron recolectados en afloramientos del Pensilvánico, cuyos sedimentos tienen un espesor total de más de 540 m de caliza, lutita, arenisca y conglomerado. Las especies descritas corresponden a *Millerella* Thompson, 1942, índice del Bashkiriano-Moscoviano inferior, *Pseudostaffella* Thompson, 1935, *Fusulinella* Thompson, 1948, *Eoschubertella* Thompson, 1947 y *Bradyina* Roth y Skinner índices del Atokano, *Beedeina* Roth y Skinner índice del Desmoinesiano; *Triticites* Wilde, 2006 es índice del Missouriiano, *Zellerella* Wilde y especies de *Staffella* son índices del Virgiliano.

En las rocas del Pensilvánico además de la existencia de los fusulínidos se han encontrado invertebrados, entre ellos, briozoarios (*Prismopora*), corales (*Amplexizaphrentis*, *Syringopora*) braquiópodos (*Punctospirifer*, *Neospirifer*), gasterópodos (*Trachydonia*), y numerosas columnas y placas articulares de crinoides de las especies *Lamprosterigma* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocaudex* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocrista* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum* Moore y Jeffords, 1968, *Cycloscapus* Moore y Jeffords, 1968, *Baryschir* Moore y Jeffords, 1968, *Pentadirica* Moore y Jeffords, 1968 y *Cyclocaudex* Moore y Jeffords, 1968 y algas filoides de género *Komia*.

La tanatocenosis es típica de mares tropicales someros cuyas especies tienen una fuerte afinidad con faunas de la región media continental, de Texas y Kansas en los Estados Unidos y con faunas de la provincia Eurasiática-Ártica y posiblemente se incluye Perú.

ABSTRACT

In the Hills El Tule, located in the northeastern region of the state of Sonora, in northwestern Mexico, there are outcrops of sedimentary rocks consisting biota with numerous specimens of invertebrates and calcareous algae, whose age is estimated between Lower Mississippian to Permian.

This time we discuss the presence of microfossils, mainly fusulinids were collected in outcrops of Pennsylvanian sediments which have a total thickness of over 540 m of limestone, shale, sandstone and conglomerate. The species described correspond to *Millerella* Thompson, 1942, lower Moscovian- Bashkirian index *Pseudostaffella* Thompson, 1935, *Fusulinella* Thompson, 1948, *Eoschubertella* Thompson, 1947 and *Bradyina* Roth and Skinner, Atokan index, *Beedeina* Roth and Skinner, Desmoinesian index, *Triticites* is Missourian index and *Zellerella* Wilde and *Staffella* species are Virgilian index.

Pennsylvanian rocks in addition to the existence of fusulinids found invertebrates including bryozoans (*Prismopora*), corals (*Amplexizaphrentis*, *Syringopora*) brachiopods (*Punctospirifer*, *Neospirifer*), gastropods (*Trachydonia*), and numerous columns and plates articular crinoid species *Lamprosterigma* Moore and Jeffords, *Cyclocaudex*, Moore and Jeffords, 1968, *Cyclocrista* Moore and Jeffords 1968, *Preptopremnum* Moore and Jeffords, 1968, *Cycloscapus* Moore and Jeffords 1968, *Baryschir* Moore and Jeffords, 1968, *Pentadirica* Moore and Jeffords *Cyclocaudex* Moore and Jeffords, 1968 and phylloides algae of genus *Komia*.

The tanatocenosis is typical of shallow tropical seas, whose species have a strong affinity with faunas of the continental middle region, Texas and Kansas in the United States and faunas of the Eurasian-Arctic province and possibly include Peru.

II. INTRODUCCIÓN

Los continentes y mares han estado sujetos a grandes cambios en su posición, forma y características fisicoquímicas, cambios que se originaron por la dinámica de las placas tectónicas. En este marco, las rocas del Paleozoico de Sonora corresponden con rocas carbonatadas de ambiente marino, de aguas someras y cálidas. Estas rocas tienen una antigüedad comprendida entre 540 y 230 millones de años aproximadamente y contienen una variada y diversa biota como algas, foraminíferos (fusulínidos), esponjas, corales, briozoarios, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, trilobites y crinoides.

El estudio integral de las secuencias de estas rocas marinas y su contenido biótico permitirá conocer sobre las migraciones faunísticas con referencia a facies de carbonatos de las secuencias paleozoicas en cuestión y su evolución orgánica. Asimismo, permitirá también, reconstruir las características paleogeográficas y paleoecológicas que hubo en ese tiempo. Estas consideraciones básicas tienen aplicaciones en la reconstrucción global de las placas tectónicas y en la evaluación y predicción de yacimientos minerales (Buitrón, 1992).

Las investigaciones sobre el Paleozoico de Sonora comienzan con King (1940) quien en el reconocimiento de la Sierra Madre Occidental, cita rocas del Cámbrico-Ordovícico en la región de Cobachi. Cooper y Arellano (1952,1954) tratan sobre la estratigrafía y el contenido biótico de la región de Caborca, adjuntando las primeras descripciones de arqueociatos, braquiópodos, trilobites y algas calcáreas.

En la década de los setentas, Longoria *et al.* (1978) y Longoria y Pérez (1979) analizaron la estructura del Cuadrángulo de Pitiquito-La Primavera. Peiffer *et al.* (1980) descubrieron graptolites en la región noreste del estado. Baldis y Bordonaro (1981) escribieron sobre la correlación de los trilobites cámbricos de Sonora y de la Precordillera Argentina. Stewart (1982) correlacionó las unidades del Cámbrico de Sonora con las del oeste de EUA. González-León (1982, 1986) publicó sobre la estratigrafía de la Sierra del Tule, situada al norte del estado. Brunner (1984) comentó sobre el descubrimiento de conodontos en Bisaní, con una edad probable del Ordovícico-Silúrico. McMenamin (1985, 1987) estudió en detalle pequeños invertebrados del Cámbrico basal y basó su bioestratigrafía en los trilobites cámbricos de la región de Puerto Blanco. Rivera (1988) definió las condiciones paleoambientales del depósito en las diferentes unidades sedimentarias cámbricas de Sonora. Almazán (1989) escribió sobre el Cámbrico-Ordovícico de la región de Arivechi. Riva y Ketner (1989) y Debrenne *et al.*, (1989) aportaron nuevas descripciones de graptolites ordovícicos y arqueociatos cámbricos.

Pérez-Ramos (1992) hizo la correlación del Paleozoico de Arizona, EUA y Sonora, México. La misma autora, con motivo de su tesis doctoral estudió fusulínidos de varias localidades y en 2002 publicó sobre los fusulínidos de Cobachi. Buitrón *et al.* (2003 a, b) dieron a conocer la presencia de esponjas coralinas pensilvánicas del género *Chaetetes* procedentes de Sierra Agua Verde; sobre los crinoides del Pérmico de Cerro Los Monos en Caborca y del género *Halysites* del Silúrico de Placeritos

Particularmente, las rocas del Paleozoico Superior del Estado de Sonora han sido estudiadas por Ransome (1904), Cooper y Arellano (1946), Brunner (1975), Viveros (1965), Stewart *et al.*, (1983), Ávila (1987), Stewart

et al., (1990); Buitrón, (1992), Mendoza *et al.*, (2004); Buitrón *et al.*, (2005); Almazán *et al.*,(2007); Buitrón *et al.*, (2007), Buitrón *et al.*, (2012).

OBJETIVOS

Los principales objetivos de la investigación propuesta fueron los siguientes:

Generales

1. Reunir, limpiar y preparar para su identificación los fósiles de foraminíferos-fusulínidos de la secuencia del Pensilvánico (Bashkiriano-Moscoviano inferior al Virgiliano) de los cerros El Tule del Estado de Sonora.
2. Contribuir al conocimiento de la estratigrafía y composición faunística del Paleozoico Tardío del noroccidente de México, para ubicar cronoestratigráficamente las unidades de las rocas del Pensilvánico, ello contribuirá a reconstruir con mayor certidumbre, la historia geológica del noroccidente de México.
3. Con la información bioestratigráfica obtenida se podrá contribuir al conocimiento de los fenómenos tectonoestratigráficos y ayudar a modelar la evolución geológica del área de estudio, con base en las aportaciones de diversos especialistas que trabajan en la región.
4. Contribuir al conocimiento integral del Paleozoico Superior sedimentario del Estado de Sonora.

Particulares

- 1) Estudiar los foraminíferos-fusulínidos desde los puntos de vista morfológico y taxonómico.

- 2) Establecer su correlación estratigráfica con el Pensilvánico de otras localidades de Sonora y de las Provincias del Continente Medio Americano y Euroasiático-Ártico.
- 3) Reconstruir el paleoambiente en el que se desarrolló la biota.

HIPÓTESIS

- 1) Se considera que el contenido biótico fósil que caracteriza a la región de estudio, se encuentra constituido principalmente por algas, esponjas, foraminíferos, corales, braquiópodos, briozoarios, moluscos, y crinoides por su presencia en otras localidades del Paleozoico Superior de Sonora y de otras localidades de México.
- 2) La mayoría de los restos fósiles se localizarán *in situ* provenientes de mares someros tropicales.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El estado de Sonora se localiza al noroeste de la República Mexicana, está limitado al norte con Estados Unidos de América, al este con el estado de Chihuahua, al sureste con el estado de Sinaloa y al oeste con el Golfo de California. Sus coordenadas geográficas son: al norte 32°29', al sur 26°18' de latitud norte; al este 108° 25', al oeste 115°03' de longitud oeste. El estado de Sonora tiene una superficie de 185, 492 Km², los cuales representan el 9.2% de la superficie del país y lo ubica entre las entidades de mayor tamaño.

El área de estudio se encuentra en la región central-norte del estado de Sonora; particularmente en el rancho El Tule que se ubica a 35 Km al NNE de la ciudad de Cananea. El Tule se encuentra en la latitud 31°17' y longitud 110°16' (Figura 1).

Los cerros El Tule cubren un área de 1 km², en donde aflora una serie de rocas sedimentarias, cuya edad varía desde finales del Misisípico hasta el Pérmico Inferior (Figura 2).

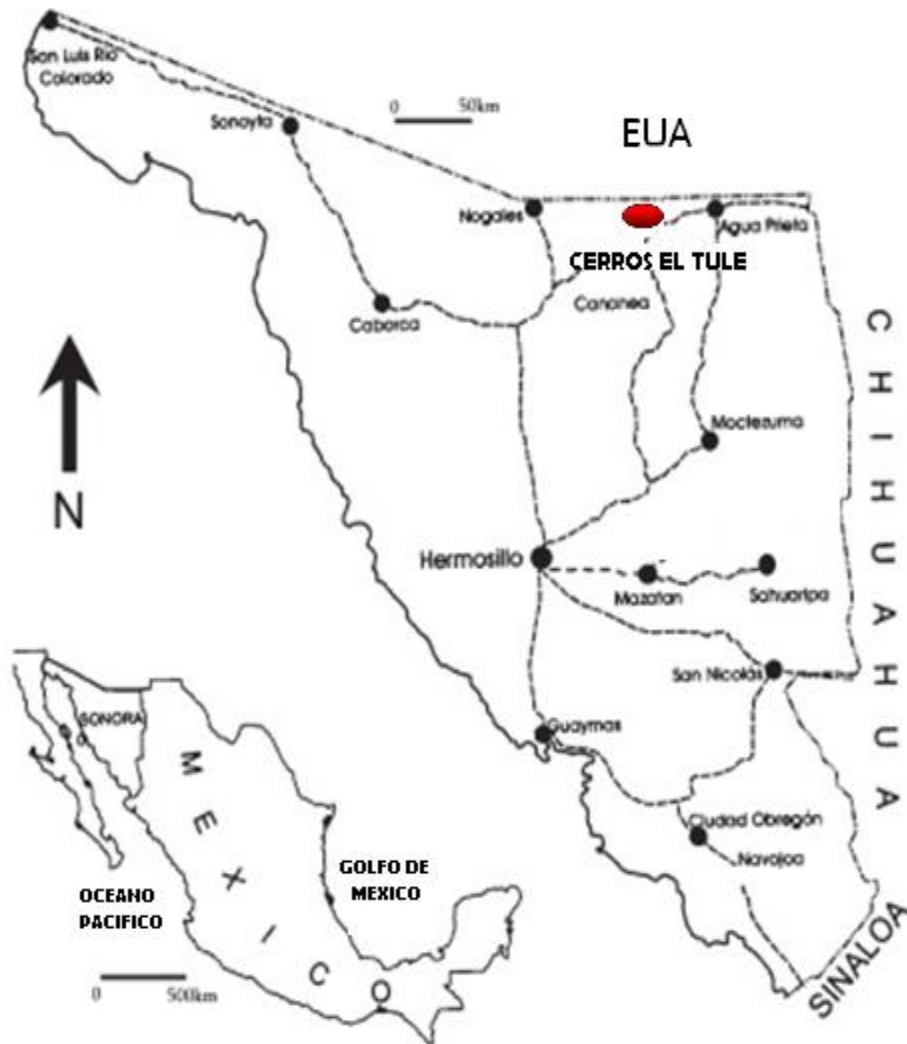


Figura 1. Mapas de localización de los Cerros El Tule, Sonora. (Almazán *et al.*, 2007)



Figura 2. Fotografía de los Cerros El Tule, vista desde el oriente.

VIAS DE COMUNICACIÓN

Para acceder a la zona donde se encuentra la secuencia del Paleozoico, se tiene que llegar a la ciudad de Cananea por la carretera federal No. 2, y se transitan aproximadamente unos 45 km de terracería que conducen a los Cerros El Tule, los cuales tienen una altitud de 1490 m s.n.m.

CLIMA

El clima es seco el cual se caracteriza por una temperatura media máxima anual de 29.8°C, en los meses de junio y julio, y una temperatura mínima anual de 12°C, en los meses de diciembre y enero. La temperatura media anual es de 12.2 °C (García, 1973).

FISIOGRAFÍA

El territorio del estado de Sonora está comprendido dentro de cuatro provincias fisiográficas, la provincia de la Sierra Madre Occidental, la provincia de Sierras Sepultadas, la provincia de Sierras y Llanuras del Norte y la provincia de Llanura Costera del Pacífico (Figura 3).

El área de estudio está situada en la provincia Sierras y Llanuras del Norte y en la subprovincia Llanuras y Médanos del Norte.

- Subprovincia Llanuras y Médanos del Norte

En Sonora abarca una superficie de 7,316.07 km², que corresponden a partes de los municipios de Nogales, Santa Cruz, Imuris, Cananea, Naco (Cerros El Tule), Fronteras, Agua Prieta y Bavispe. Esta zona, a diferencia del resto de la subprovincia, está formada por extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras. Asimismo, en el límite con Chihuahua se localiza un sistema de topoformas denominado bajada. Predominan las rocas sedimentarias (principalmente conglomerados), aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas silíceas, como en la sierra El Chivato.

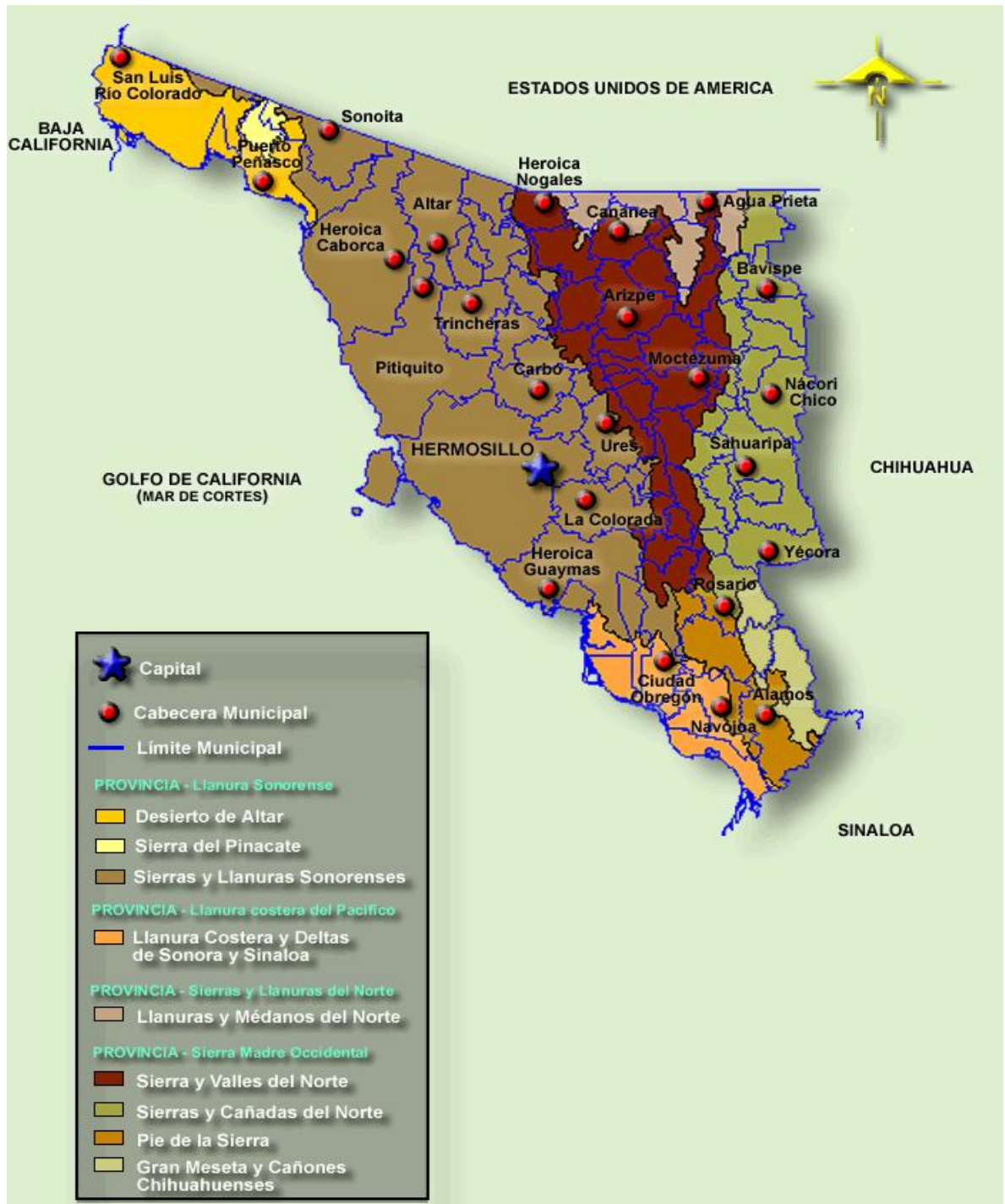


Figura 3. Provincias Fisiográficas del estado de Sonora (Tomado de INEGI, 2011)

POBLACIÓN

De acuerdo a los datos del Censo General de Población y Vivienda del 2010, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Sonora tiene 2, 662,480 millones de habitantes, lo que representa el 2.7% de la totalidad de habitantes de la República Mexicana. El estado de Sonora políticamente, está dividido en 72 municipios.

III. MÉTODO

MATERIAL

El material fósil se recolectó en los afloramientos de los cerros El Tule cuyo espesor alcanza los 680 metros. Allí se observó que la biota fósil está representada por algas, foraminíferos, esponjas, corales, briozoarios, braquiópodos, moluscos y crinoides.

Se utilizó martillo para geólogo, navaja, HCL, cinta métrica, brújula, lupa de diferentes aumentos, cámara digital, libreta de campo, GPS, bolígrafos y lápices.

ACTIVIDADES DE CAMPO

La prospección geológico-paleontológica en la región de los cerros El Tule se realizó durante 10 días en el mes de enero del 2012 y durante 8 días en el mes de mayo de 2012. Se tomaron datos para describir el área de estudio y elaborar la columna estratigráfica. Esta actividad se realizó con la asesoría geológica del Dr. Juan José Palafox Reyes del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y de la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología, y del Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería de la UNAM.

ACTIVIDADES DE GABINETE

Se procedió a realizar la recopilación bibliográfica en la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra de la UNAM y en la Biblioteca del Área Físico Matemáticas y Naturales de la Universidad de Sonora. Las principales publicaciones para llevar a cabo la investigación sobre la geología de la región fueron “Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra El Tule, NW de Sonora” (González-León ,1986), “Geología y Estratigrafía de la Sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico” (Ochoa y Sosa, 1993), “Una secuencia cratónica del Carbonífero al Pérmico Inferior expuesta en los cerros El Tule, noreste de Sonora, México” (Buitrón *et al.*, 2012). Particularmente sobre paleontología se utilizó el Treatise on Invertebrate Paleontology (C) Protista (1-2) Moore (editor) 1964. Stewart *et al.*, (1990); Buitrón, (1992), Mendoza *et al.*,(2004); Buitrón *et al.*, (2005); Almazán *et al.* (2007); Buitrón *et al.*, (2007).

ACTIVIDADES DE LABORATORIO

La limpieza del material se hizo en el Laboratorio del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM. Los sedimentos fueron removidos con agua y cepillos. Se procedió a elaborar talones de muestra en el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora para posteriormente llevarlos al Laboratorio de Laminación del Instituto de Geología, UNAM con el objeto de hacer secciones delgadas. Se utilizó un microscopio óptico con el cual se observaron las características de la muestra, con el objeto de determinar a las especies de foraminíferos-fusulínidos.

Se pueden identificar los diversos taxa de estos microfósiles, sólo a partir de secciones delgadas.

Algunas de las características estructurales de las conchas de los fusulinacea se pueden interpretar a partir de observaciones externas, pero muchas son completamente internas.

Dos secciones de corte a través de la cámara de inicio revelan características más internas de la concha. Una de ellas es cortar a lo largo del eje de enrollamiento y se llama sección axial. La otra sección es en ángulo recto con el eje de enrollamiento y se llama sección sagital.

La terminología aplicada a las secciones de corte a través de otras áreas de estas dos direcciones depende de su orientación y posición. Una sección de corte perpendicular al eje de enrollamiento, pero no a través de la cámara de inicio se llama sección paralela.

Un corte paralelo al eje de enrollamiento, pero no a través de la cámara de inicio se llama una sección tangencial. Secciones cortadas en direcciones no paralelas al eje de enrollamiento o normal a él se refiere como secciones oblicuas.

Para la observación minuciosa de todas las características estructurales de una especie, es necesario estudiar numerosas secciones axiales y sagitales, (Figura 4) así como secciones paralelas y numerosos cortes tangenciales y oblicuos que pasen a través de las diferentes partes de la concha y en diferentes ángulos. También es conveniente observar la naturaleza externa de la concha.

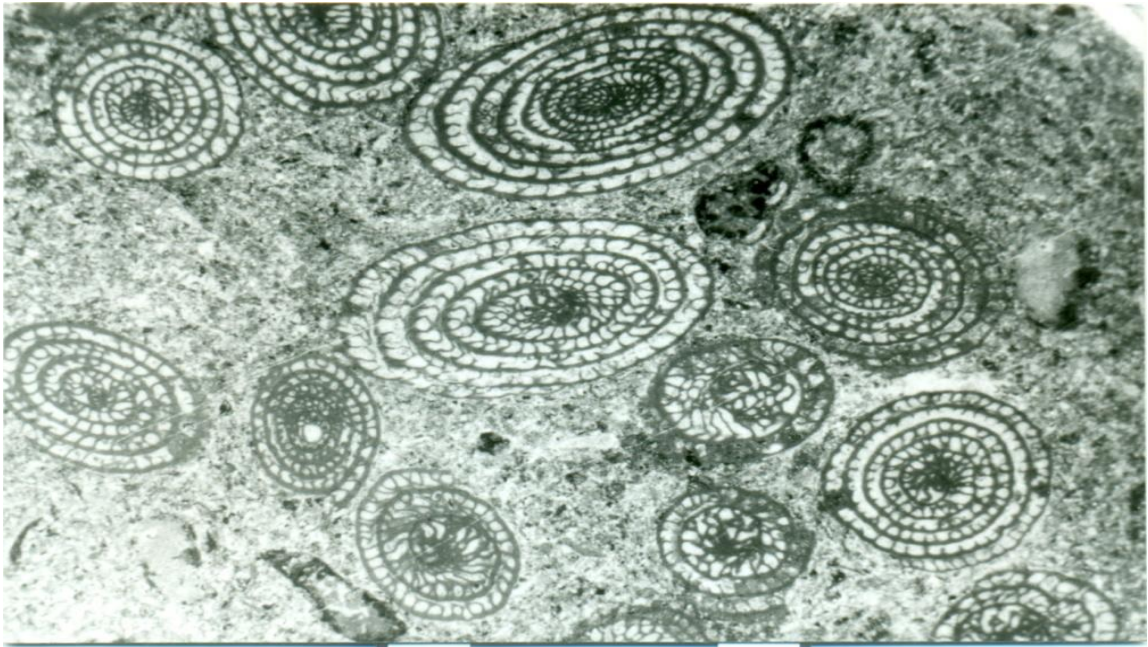


Figura 4. Fragmento de roca con cortes transversales de fusulínidos donde se observa su morfología.

IV. MARCO GEOLÓGICO GENERAL

El territorio de Sonora, se ubicó al suroeste del Continente de Laurentia y al sur del Ecuador en el Paleozoico Medio-Tardío. Desde el punto de vista paleogeográfico, estratigráfico y tectónico en Sonora se han definido una serie de diversos bloques tectónicos sobre la margen sureste de Laurentia.

Dos cinturones orogénicos se formaron en las márgenes de Norteamérica, el primero, al sureste, fue originado por la Orogenia Apalacheana Oachita-Maratón a causa de la colisión entre Gondwana y Laurentia, mientras que el segundo cinturón se desarrolló hacia el oeste y suroeste de Norteamérica; a causa de una colisión arco-continente denominada como la Orogenia Antler y Sonoma.

Estos cinturones quizá se unieron desde el Devónico al Triásico en Arizona y Nuevo México, EUA y en Sonora ocurrió hasta el Paleozoico Tardío (Stewart *et al.*, 1990; Pérez-Ramos, 1992).

Las rocas paleozoicas alóctonas constituyen cuatro cinturones más. El primero está representado por secuencias del Paleozoico Inferior con facies de tipo cuenca oceánica ubicada en las Montañas Roberts, EUA, un segundo cinturón está conformado por el Alóctono de Golcanda de edad Paleozoico Tardío. El tercero constituye las secuencias de arco volcánico en la Sierra Nevada y en las Montañas Klamatha, y finalmente se tiene a la secuencia del Paleozoico Superior representadas por los complejos de subducción y acrecionarios (Miller, *et al.*, 1992).

Por otro lado, las rocas paleozoicas autóctonas al oeste de la cordillera de Norte América fueron depositadas en dos cinturones distintos, el primero se le denomina como la Provincia del Cratón y el segundo como la Provincia de la Plataforma Miogeosinclinal (Ross y Ross, 1983).

De acuerdo con Poole y Madrid (1988); Pool y Madrid (1988) Pool *et al.*, (1993), en Sonora la sedimentación durante el Ordovícico estuvo controlada por tres elementos tectónicos que han sido definidos como, la Plataforma Cratónica de Nuevo México y Arizona adyacente, California y Sonora; la Plataforma al Sur de California-Sonora; la elevación continental de California-Sonora o también denominada como cuenca oceánica marginal.

Anderson y Silver (1979) reportan que la Megacizalla de Mojave-Sonora es el responsable de trasladar sedimentos del Paleozoico Inferior y del Pérmico-Triásico del noroeste de Norte América como es el caso de los Estados de Nevada y California hasta el noroeste de Sonora.

Este último evento tectónico ocasionó una gran dispersión de bloques alóctonos y autóctonos, que involucró el desplazamiento de las cubiertas sedimentarias de edad paleozoica.

Los trabajos de geología regional, paleontológicos, paleomagnéticos, estructurales, estratigráficos y de análisis de terrenos tectónico-estratigráficos que se han efectuado en Sonora han aportado datos muy valiosos, pero los estudios de carácter sedimentológico y paleontológico no se han realizado con la profundidad que éstos ameritan, por lo que un análisis más profundo de las secuencias sedimentarias del Paleozoico Superior y su contenido biótico, sobre estas regiones debe de ser llevado a cabo, puesto que con este tipo de estudios se estará aportando una serie de datos que contribuirán a dilucidar la historia de la evolución Premesozoica de la región (Ross y Ross,1983).

El Cratón Norteamericano estaba separado de Gondwana y Sudamérica por un remanente del Océano Rheico, donde hay algunos terrenos separados tectonoestratigráficamente por plataformas carbonatadas, tal como el Mixteco y Oaxaquia, mientras que algunas cuencas se desarrollaban en las partes intermedias de México (Almazán *et al.*, 2007; Buitrón *et al.*, 2007; Gómez *et al.*, 2008) (Figura 5) .

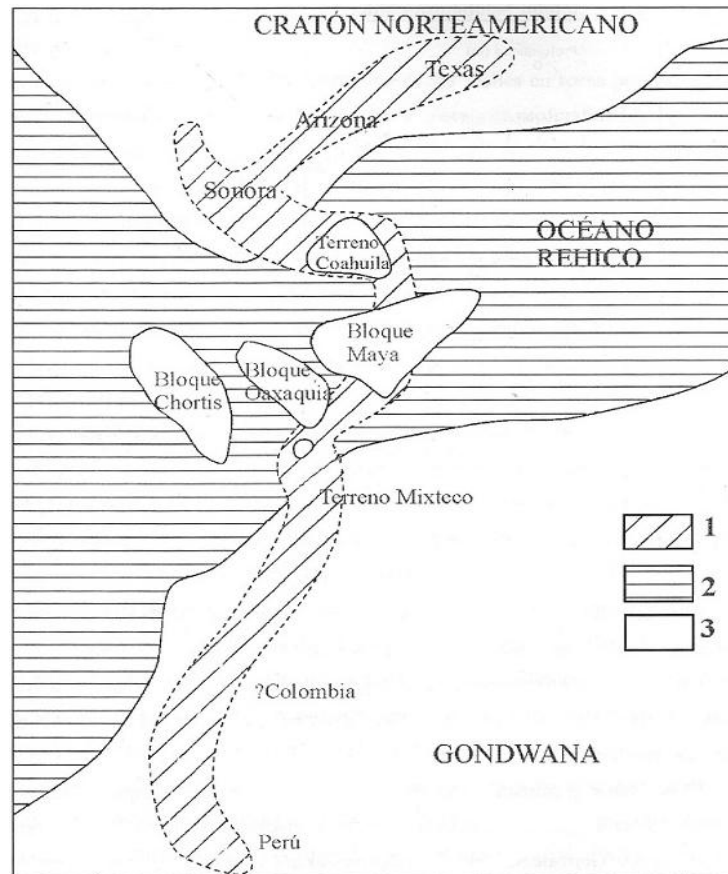


Figura 5. Reconstrucción paleogeográfica donde se muestra la conexión entre Sonora, el Cratón Norteamericano (Arizona, Texas) y el dominio sudamericano a través de diferentes terrenos mexicanos: Coahuila, Maya, Oaxaquia y Mixteco. 1 plataformas carbonatadas, 2 cuencas de flysch, 3 islas y continentes (Gómez *et al.*, 2008).

V. ESTRATIGRAFÍA

La secuencia estratigráfica que se encuentra expuesta en los Cerros El Tule, abarca desde el Cámbrico hasta principios del Pérmico y su espesor llega a los 680 metros. El período Silúrico no está representado.

La base de la secuencia está constituida por un paquete de 140 m de calizas fosilíferas, y pedernal, las calizas van graduando en cuanto a su estratificación, presentan una textura fina que corresponde a packstone-grainstone y corresponden al Misisípico.

Entre los 140 m y 180 m se tiene caliza que en superficie fresca tiene color gris oscuro e imberiza en color gris claro. Los 40m de caliza se ven interrumpidos por niveles delgados de lutita y limolita calcáreas.

Los siguientes 100 m de la columna estratigráfica consisten en calizas de color gris oscuro, la roca presenta textura gruesa por su contenido de crinoides y braquiópodos principalmente.

A continuación se encuentran 90 m (280-370 m de la base) de calizas de color gris oscuro, calizas de grano fino con limo y arena fina que le dan una textura granulosa y tempestitas en los últimos 30 m de este intervalo. El contenido de fósiles en las rocas puede indicar que los sedimentos se depositaron en una plataforma interna en una profundidad entre los 20 y 30m.

En seguida está expuesta 40 m (370-410m) de una alternancia de capas delgadas de limolita que alterna con calizas, y localmente tenemos conglomerado.

Los siguientes 110 m (410-520 m) están constituidos por calizas de tonalidad gris de textura fina, posteriormente tenemos limolita y arenisca de grano fino, de color rojizo. De los 473 m al contacto con la secuencia del Pérmico se tiene caliza con estratificación que varía de gruesa a masiva.

La parte superior está formada por un paquete de 160 m de calizas y lutitas cuya edad corresponde al Pérmico.

Los fósiles estudiados corresponden al paquete de 380 metros que corresponden al Pensilvánico (Figura 6).

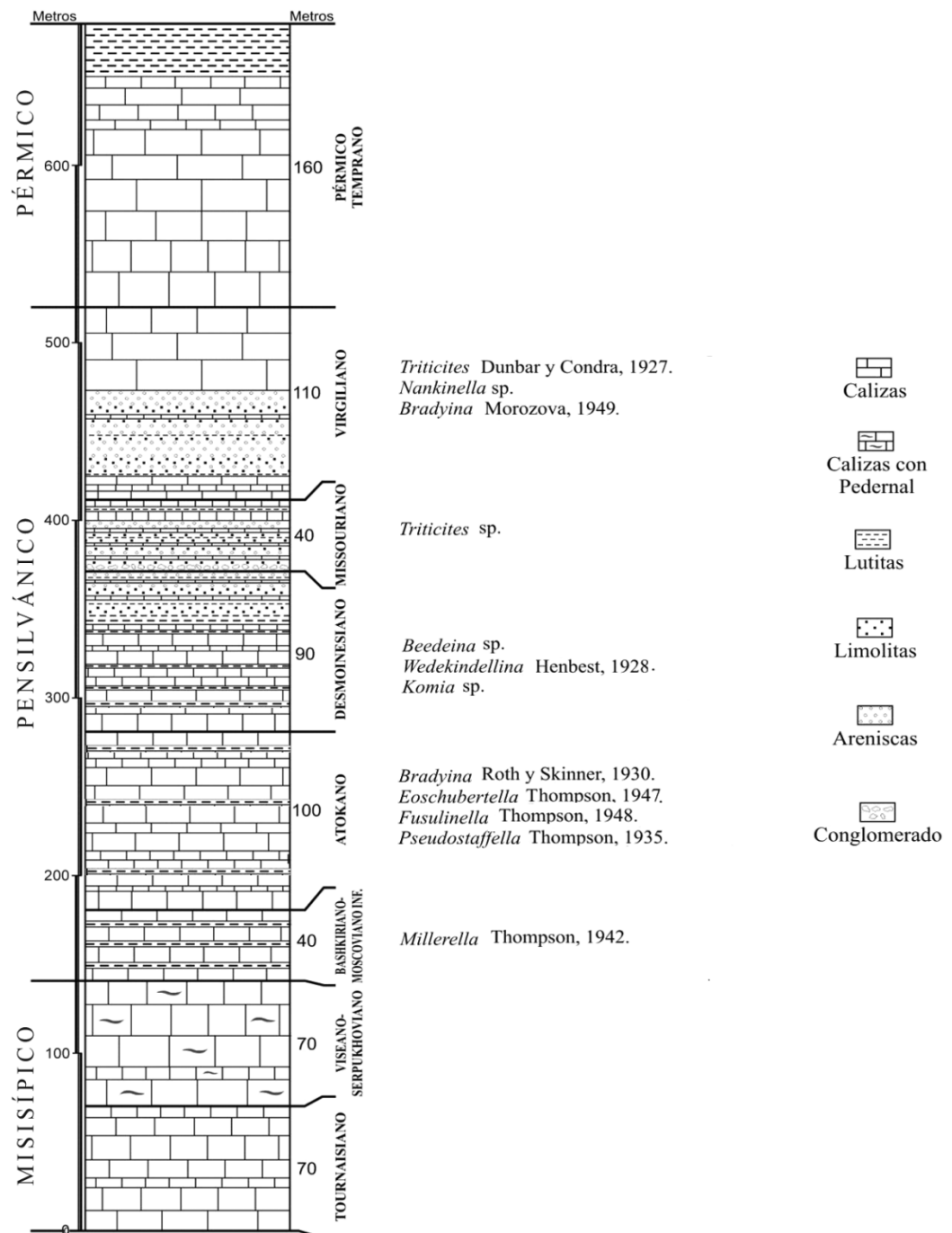


Figura 6. Columna estratigráfica de los Cerros El Tule (Modificada de Buitrón *et al.*, 2012).

VI. RESULTADOS

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

REINO PROTISTA

Los protistas son organismos unicelulares, microscópicos que presentan algunas características morfológicas y funcionales de plantas y animales. Haeckel propuso como solución al Reino Protista para agrupar este tipo de organismos y evitar polémicas entre los investigadores y fue adoptado por el Treatise on Invertebrate Paleontology (C) Protista (1-2) Moore (editor) 1964.

SUBREINO PROTOZOA

Los protozoarios se caracterizan por ser organismos microscópicos, con excepción de algunos que pueden llegar a medir varios centímetros. Presentan un cuerpo protoplasmático, el cual está constituido por el citoplasma y el núcleo, ambos protegidos por una membrana.

Realizan la locomoción por emisión de pseudópodos, característicos de los Sarcodina o Rhizópoda por flagelos propios del desplazamiento de los Flagellata o Mastigophora. Por cilios o pestañas vibrátiles utilizados en el desplazamiento de los Ciliata o Infusoria.

La mayoría protegen su cuerpo con endoesqueletos o exoesqueletos de carbonato de calcio, sílice o por medio de secreciones mucosas (tectina) a las cuales adhieren espículas de esponja, fragmentos de otros protozoarios y granos de arena, entre otros. Las conchas de carbonato de calcio en sus variedades de calcita y aragonita son las más comunes, con un aspecto

vítreo hialino o aporcelanado. Las conchas aporcelanadas son imperforadas y las vítreas tienen pequeños poros. Pueden estar formadas por una sola cámara (monotalámicas o monoculares) con diferentes aspectos como: esferoidal, tabular, piriforme y en ocasiones espiral, la mayoría son pluriloculares con más de 20 cámaras.

Las cámaras tienen diferentes arreglos; si es una sola hilera será denominada arreglo monoserial, si son dos hileras, biserial, y si se trata de tres hileras de cámaras, es triserial, recto. La separación entre las cámaras es denominada sutura; la abertura de la concha a veces presenta un cuello o labio.

Los protozoarios viven en diferentes ambientes: marinos, dulceacuícolas, suelos húmedos, salobres. Se supone que los protozoarios-flagelados comenzaron su existencia en el Precámbrico y a partir de ellos se originaron los otros grupos (Buitrón, *et al.* 2010)

Subphylum SARCODINA Schmarda.

Diagnosis. Son protozoarios que se desplazan a través de pseudópodos (lobópodos, filópodos y actinópodos). Cámbrico-Reciente.

Clase RHYZPODA von Siebel. Cámbrico-Reciente.

Diagnosis. Son organismos de vida libre que tienen como característica la presencia de pseudópodos sin filamentos axiales, los cuales les sirven para desplazarse y obtener alimento. Cámbrico-Reciente.

Orden FORAMINIFERIDA Eichwald. Cámbrico-Reciente.

Existen diversas propuestas de clasificación para los foraminíferos: entre los investigadores de mayor relevancia se puede mencionar a Glaessner, Cushman, Sigal *in* Pivetea (1956). Posteriormente a los autores antes mencionados que han investigado sobre el grupo fueron Loeblich y Tappan que colaboraron en el Tratado de Paleontología de Invertebrados (*In* Moore editor, 1964), los cuales proponen una clasificación muy completa, que se cita a continuación.

La mayoría de los foraminíferos son marinos, bentónicos o planctónicos, algunos son de agua salobre y muy pocos de agua dulce. Viven libres y son muy abundantes en los mares actuales, igual que en el pasado. Este grupo constituye magníficos índices estratigráficos utilizados en la prospección del petróleo, por lo cual es estudiado a profundidad (Buitrón *et al.*, 2010).

Suborden FUSULININA Wedekind. Ordovícico-Triásico.

Los foraminíferos del suborden Fusulinina presentan la concha fusiforme, con el eje de arrollamiento más largo que el diámetro ecuatorial. El suborden comprende tres superfamilias con géneros indicadores estratigráficos. A fines del Paleozoico, este grupo adquirió un gran desarrollo y una gran importancia en la estratigrafía (Thompson *in* Moore editor, 1964; Buitrón *et al.*, 2010) (Figura 7).

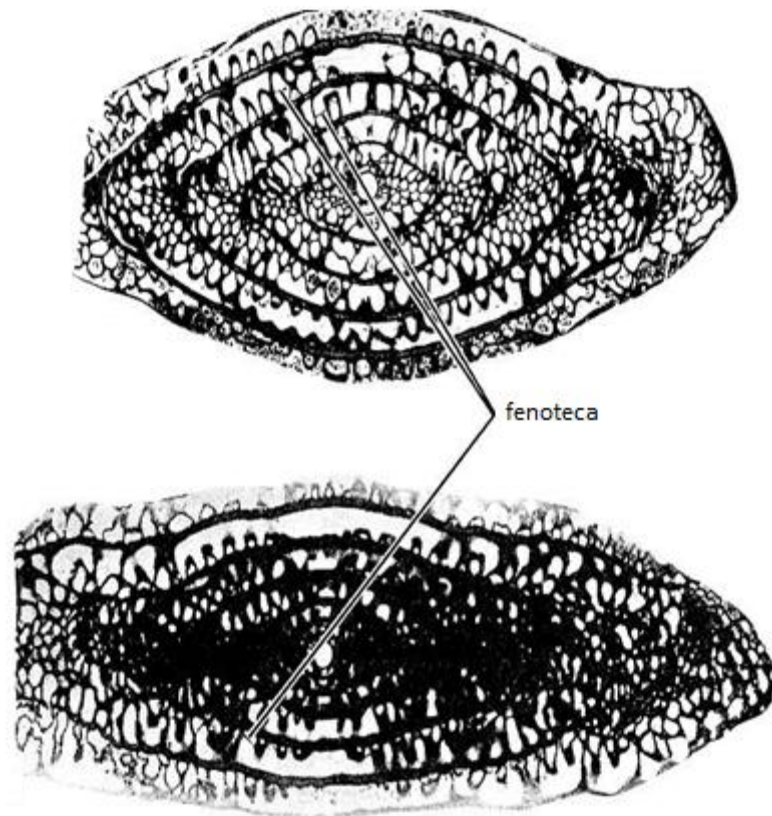


Figura 7. Morfología de la concha de un fusulínido que muestra las cámaras y la fenoteca (tomada de Moore, 1964, editor)

Superfamilia FUSULINACEA von Möller. Misisípico Superior- Pérmico.

Diagnosis. Presentan la concha grande, con forma de huso o cilíndrica y perforada. Las formas primitivas tienen en la pared cuatro capas y las evolucionadas únicamente dos; no presentan abertura (Figura 8 y 9).

Habitan mares neríticos y cálidos y, por lo general, son bentónicos, a excepción de formas con conchas ligeras. Se consideran índices estratigráficos del Pensilvánico y Pérmico (Thompson *in* Moore editor, 1964; Buitrón *et al.*, 2010).

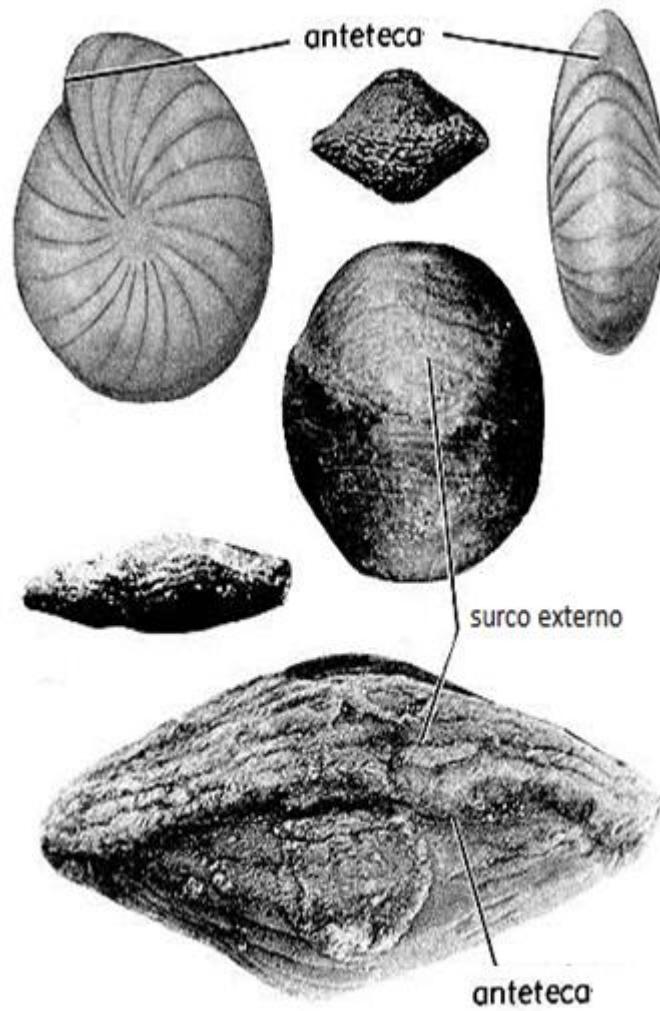


Figura 8. Morfología de la concha de un fusulínido (tomada de Moore, 1964, editor)

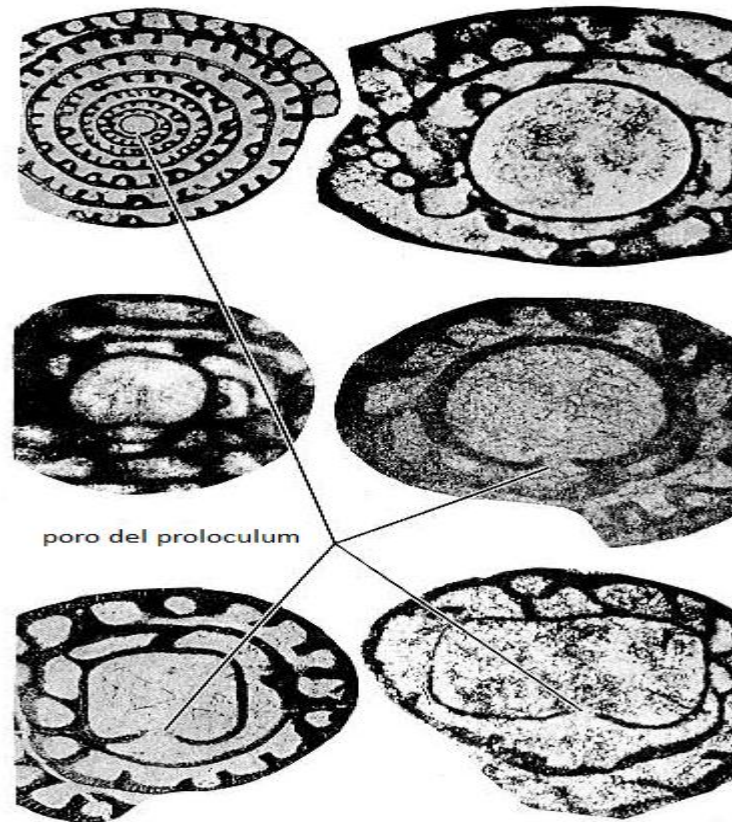


Figura 9. Morfología de la concha de un fusulínido, que muestra la posición del poro del proloculum (tomada de Moore, 1964, editor)

Familia Ozawainellidae Thompson & Foster.

Las conchas son umbilicadas, esféricas a eleongadas, evolutas en formas tempranas involutas o enrolladas irregularmente en formas tardías, el eje de enrollamiento varía de corto a largo. La espiroteca está compuesta de tectum con tectoria en las formas tempranas pero con diafanoteca abajo del tectum y arriba del tectorium; septos planos. Misisípico Superior-Pérmico Superior (Thompson *in* Moore editor, 1964). (Figura 10, 11 y 12).

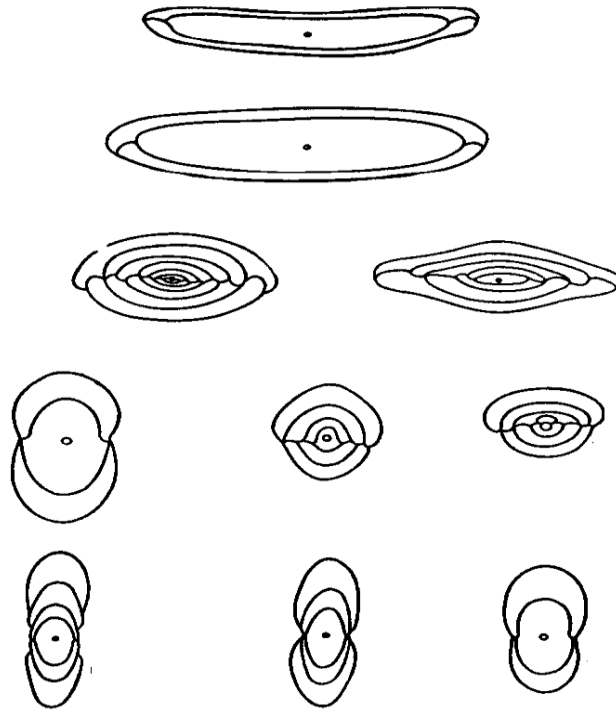


Figura 10. Desarrollo de la superficie de la concha y tamaño de los Fusulinacea pertenecientes a la familia Ozawainellidae (tomada de Moore, 1964, editor).

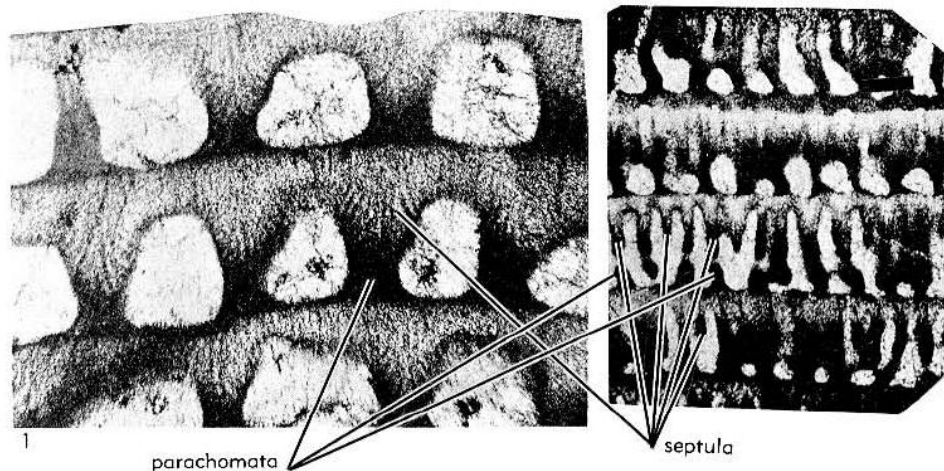


Figura 11. Estructura alveolar de la espiroteca y septula (tomada de Moore, 1964, editor).

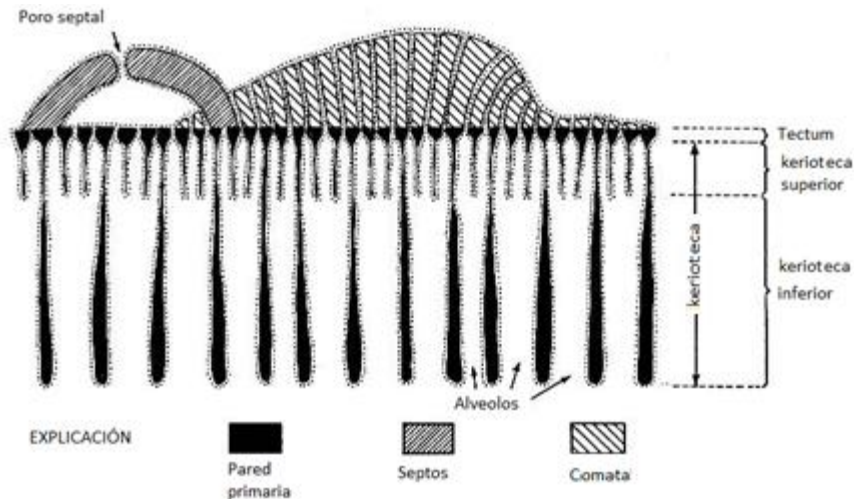
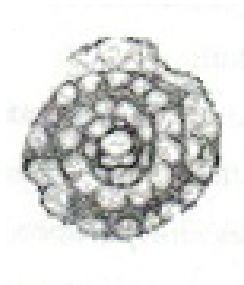


Figura 12. Diagrama de la espiroteca mostrando las paredes de los alveolos, comata, con poros comatales (tomada de Moore, 1964, editor).

Género *Millerella* Thompson, 1942

Millerella sp.

Figura 13. X40



Diagnosis. Concha pequeña, involuta a parcialmente evoluta, eje de diámetro pequeño a través del proloculum; espiroteca de tectum con tectoria tanto en la parte superior como inferior, septos flexionados hacia adelante, comata indistinta a masiva, su periferia estrecha y redondeada. Misisípico

Diagnosis. Presenta concha esferoidal, asimétrica, umbilicada, la espiroteca está compuesta de tectum y diafanoteca con comata largos y masivos.

Alcance estratigráfico. Pensilvánico Medio

Distribución. Norteamérica, Sudamérica, Europa y Asia

Familia Fusulinidae von Möller.

La concha es esférica, fusiforme o subcilíndrica, la mayoría fusiforme irregular, calcárea perforada, planispiral, excepto en géneros aberrantes y en los primeros estadios de crecimiento de algunos géneros. La estructura de la espiroteca de algunos incluyen tectum con tectorium superior e inferior; el tectum y la diafanoteca con discontinuo tectorium en posición superior e inferior, tectum con kerioteca alveolar, eje de enrollamiento generalmente coincidente con el diámetro máximo de la concha; la anteteca está compuesta por capas plegadas en varios grados. Se encuentran poros septales en todas las formas; el túnel con comatas a lo largo de los bordes. Las conchas presentan depósitos secundarios que incluyen comatas y tectoria. Pensilvánico Medio-Pérmico Superior.

Género *Eoschubertella* Thompson, 1935.

Figura 15. X40



Diagnosis. La concha es pequeña inflada, elipsoidal a fusiforme, espiroteca compuesta de tectum con tectoria superior e inferior, septos planos, túnel ancho a lo largo de la concha bordeado por comata bajos.

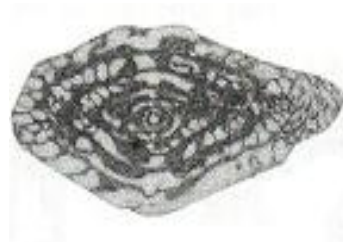
Alcance estratigráfico. Pensilvánico Medio

Distribución. Norteamérica, Sudamérica, Europa y Asia.

Género *Fusulinella* von Möller

Fusulinella Thompson, 1935.

Figura 16. X30



Diagnosis. La concha es pequeña, planispiral y fusiforme, la espiroteca está compuesta de tectum y diafanoteca con tectoria superior e

Superior- Pensilvánico Superior. Se distribuye en Norteamérica, Europa y Asia.

Alcance estratigráfico. Pensilvánico Medio

Distribución. Norteamérica, Sudamérica, Europa y Asia

Familia Staffellidae Miklukho-Maklay.

Las conchas son esféricas o discoidales, umbilicadas con los extremos redondeados, los septos están conspicuamente arqueados hacia adelante, los espacios son cerrados, el tunel está rodeado por comatas asimétricas, excepto en la parte terminal de la última vuelta. La pared está compuesta por dos capas dispuestas en la parte superior e inferior de la misma. La concha en la mayoría de las especies ha sido reemplazada por sílice o por otros minerales. Pensilvánico Inferior-Pérmico (Thompson *in* Moore editor, 1964).

Género *Pseudostaffella* Thompson, 1942

Pseudostaffella sp.

Figura14. X30



inferior, con septos estriados únicamente en la región polar, comata masivos.

Alcance estratigráfico. Pensilvánico Medio

Distribución. Norteamérica (EUA, Canadá y México), Sudamérica (Perú, Chile) y Asia (China, Japón), Rusia y Groenlandia

Género *Wedekindellina* Dunbar y Henbest.

Wedekindellina Henbest.

Figura 17. X 30



Diagnosis. Concha muy alargada y fusiforme, eje de enrollamiento muy alargado, terminaciones polares punteadas; espiroteca compuesta del tectum y la diafanoteca con tectoria inferior y superior; relleno axial masivo a través de la concha excepto para la ultima parte del último giro; comata masiva y amplia.

Alcance estratigráfico. Pensilvánico Medio

Distribución. Norteamérica (EUA, Canadá y Groenlandia), Rusia, Japón, China.

Género *Zellerella* Wilde, 1990

Zellerella sp.

Figura 18 X 30



Diagnosis. La concha es pequeña, planispiral y fusiforme, espiroteca compuesta de tectum y diafanoteca con tectoria superior e inferior, con septos estriados únicamente en la región polar, comata masivos.

Alcance Estratigráfico. Pensilvánico Medio

Distribución. Norteamérica (EUA, Canadá), Sudamérica (Perú.Chile), Asia (China, Japón), Rusia y Groenlandia.

VII. CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS

El contenido de microfósiles en las secuencias del Misisípico y del Pensilvánico es abundante, reduciéndose significativamente en las rocas del Pérmico.

Las microfaunas de los cerros El Tule presentan las mismas sucesiones, apariciones y desapariciones locales que las del Cratón Norteamericano; historia que se vuelve común con América del Sur a partir del Bashkiriano.

El Atokano está caracterizado por una especie de *Fusulinella* y el Desmoinesiano por tres especies de *Beedeina* y una especie de *Wedekindellina*, las cuales se conocen bien en los Estados Unidos de Norteamérica, pero prácticamente son especies desconocidas en el Mar del Tethys (Figura 19).

La paleozona de los cerros El Tule estuvo situada en la plataforma que ocupaba la parte noroeste de la cuenca de Pedregosa.

| SISTEMA | SUB SISTEMA | SERIE GLOBAL | PISO GLOBAL EUROPA DEL ESTE | PISO REGIONAL NORTE AMÉRICA |
|-------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|
| CARBONÍFERO | PENSLVÁLIANO | SUPERIOR | GZHELIANO | VIRGILIANO |
| | | | KASIMOVINO | MISSOURIANO |
| | | MEDIO | MOSCOVIANO | DESMOIDESIANO |
| | | | ATOKANO | |
| | | INFERIOR | BASHKIRIANO | MORROWANO |
| | | | | |
| | MISÍSIPICO | SUPERIOR | SERPUKHOVIANO | CHESTERIANO |
| | | MEDIO | VISEANO | MERAMECIANO |
| | | | | OSAGEANO |
| | | INFERIOR | TOURNACIANO | KINDERHOOKIANO |

Figura 19. Cuadro bioestratigráfico

VIII. CONSIDERACIONES PALEOECOLOGICAS

La Paleoecología se puede definir como la ciencia que trata de la ecología de los organismos fósiles (Morkhoven, 1966). En Ecología los biólogos trabajan con organismos vivos, factores ambientales, y procesos de vida. Es posible por medio del estudio del material viviente obtenido en depósitos conocer con relativa facilidad las interrelaciones de un organismo o grupo de organismo con su ambiente.

Por el contrario, los paleontólogos cuando tratan de establecer la ecología de los grupos fósiles tienen dificultades por los escasos conocimientos, en general, del medio ambiente pretérito. El paleontólogo no tiene material viviente y la gran mayoría de los factores ambientales pasados no pueden cuantificarse en toda su extensión.

Para un estudio paleoecológico, los sedimentos en los cuales están presentes los fósiles, constituyen una de las fuentes de información. Ambos pueden reflejar ciertos datos concernientes a los factores ambientales en el muestreo localizado en el tiempo de deposición.

Los trabajos paleontológicos con fósiles representan una tanatocenosis para lo cual se propuso (Morkhoven, 1966) el término paleotanatocenosis, puesto que una fauna fósil traída de un muestreo no puede representar cabalmente la tanatocenosis de esa localidad. En el tiempo de deposición y solamente parte de ella por las siguientes razones:

Condiciones desfavorables pudieron haber impedido la fosilización de algunos organismos o parte de ellos.

Ciertos elementos de la tanatocenosis, por ejemplo organismos sin partes duras que no se fosilizaron y por tal motivo desaparecieron de la tanatocenosis.

Influencias subsecuentes tales como diagénesis, pudieron haber causado la pérdida de ciertas partes de la tanatocenosis o pudieron haber alterado las estructuras morfológicas de los fósiles.

Los fusulínidos son microorganismos con gran potencial de evolución, que vivieron únicamente en el Paleozoico Tardío, pero han recibido relativamente poca atención por parte de paleontólogos mexicanos. Particularmente la reconstrucción paleoambiental del Pensilvánico de Cerros Los Monos corresponde a una comunidad formada por fusulínidos, esponjas hipercalcáreas, briozoarios, braquiópodos, equinoides y crinoides.

En vista de su importancia paleontológica, es necesario considera en los estudios actuales, no solamente la presencia de organismos vivos, sino también los datos que proporcionan los organismos fósiles o parte de ellos, que es el motivo del estudio de la Paraecología, término propuesto por Van Morkhoven (1966).

La asociación biótica de los Cerros El Tule está constituida por diversos y numerosos invertebrados, entre ellos, foraminíferos-fusulínidos de los géneros *Millerella*, *Pseudostaffella*, *Fusulinella*, *Eoschubertella*, *Bradyina*, *Beedeina*, *Triticites*, *Staffella* y *Zellerella*; briozoarios (*Prismopora*), corales (*Amplexizaphrentis*, *Syringopora*), braquiópodos (*Punctospirifer*, *Neospirifer*), gasterópodos (*Trachydonia*), y numerosas columnas y placas articulares de crinoides de los géneros *Lamprosterigma*, *Cyclocaudex*, *Cyclocrista* *Preptopremnum*, *Cycloscapus*, *Baryschir* *Pentadirica* y *Cyclocaudex* y algas filoides del género *Komia*.

La tanatocenosis es típica de mares tropicales someros cuyas especies tienen una fuerte afinidad con faunas de la región media continental, de Texas y Kansas en los Estados Unidos y con faunas de la provincia Eurasiática-Ártica y posiblemente se incluye Perú (Figura 20, Tabla1).

AFINIDADES DE ORGANISMOS CON SUS AMBIENTES

| | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|
| Alcance | Solamente organismos vivos ECOLOGIA | | Organismos muertos PARA ECOLOGIA | | Acontecimientos de organismos fósiles. PALEO ECOLOGIA |
| Comunidades ó grupos | Totalidad de organismos vivos en una localidad dada. BIO CENOSIS | | Población total de cadáveres en una localidad dada. TANATOCENOSIS | | Totalidad de fauna fósil en una muestra. PALEO-TANATOCENOSIS |
| Áreas de ocurrencia | Total de todos los ambientes habitados por un taxón. AUTO-BIOTIPO | Totalidad de todos los ambientes habitados junto con 2 ó mas taxa SYN-BIOTIPO | Área total de entierros de especímenes muertos pertenecientes a un taxón AUTO-TANATOTIPO | Área total de entierros de especímenes muertos de 2 ó mas taxa SYM-TONATOTIPO | Total de todos los sedimentos en el cual un fósil ó una colección de fósiles se encuentran PALEO-TANATOTIPO |
| Control de factores frecuencia y distribución. | Factores ambientales determinantes, Salinidad. Profundidad. Temperatura. Substrato. Provisión de alimento | | Factores sedimentarios determinantes. Corrientes. Acción del oleaje. talla del cuerpo acuático. Topografía del pesos específico, forma y talla del organismo | | Factores valor tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Primarios fosilización (presencia ó ausencia de partes duras, condiciones desfavorables, etc.) • Secundarios, renovación o alteración(diagénesis, solución perdida) • Mezclas artificiales (tipo de la muestra talla de la muestra). |

Tabla 1. Cuadro informativo de algunos términos ecológicos (Tomado de López Alemán, 1988).

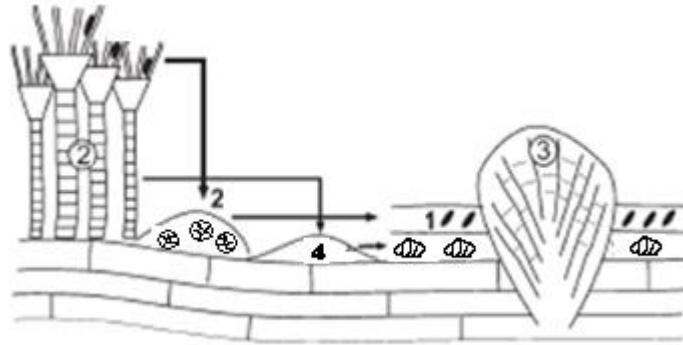


Figura 20. Reconstrucción de los biotopos de fusulínidos (1), crinoideos (2) y Chaetétidos (3), braquiópodos (4).

IX. CONCLUSIONES

Los afloramientos del Paleozoico marino en México son escasos en relación a la extensión territorial, debido a que fue cubierto en gran parte por una gruesa secuencia de sedimentos mesozoicos y cenozoicos. Sin embargo, existen localidades de rocas marinas sedimentarias del Carbonífero que contienen fósiles, estas localidades con foraminíferos fusulínidos del Carbonífero (Misisípico y Pensilvánico). En México, se encuentran en la región norte del país en los Estados de Sonora y Tamaulipas, en la porción central en los Estados de Hidalgo y Puebla y en la zona sur en los Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

La biota identificada para los cerros El Tule corresponde a foraminíferos-fusulínidos de los géneros *Millerella*, *Pseudostaffella*, *Eoshubertella*, *Fusulinella*, *Zellerella* sp. ; esponjas coralinas del género *Chaetetes*; corales coloniales como *Syringopora* y solitarios como *Lophophyllidium*, briozoarios ramosos del género *Thamniscus* y algas del género *Komia*.

Los crinoideos están ampliamente representados por numerosas columnas y placas articulares de los géneros *Pentaridica*, *Pentagonopternix*, *Cyclocaudex*, *Mooreanteris*, *Lamprosterigma*, *Lamprosterigma*, *Cyclocrista*, *Preptopremnum*, *Heterosteleschus* y *Cycloscapus*.

Con este estudio se corrobora la edad de las capas que contiene a la biota de Cerros El Tule, Sonora, en relación a que son índices estratigráficos en localidades de Kansas, Colorado y Texas en Estados Unidos de Norteamérica. Se demuestra que la edad de los estratos sonorenses corresponde al Atokano, piso del Pensilvánico Superior, con una antigüedad de 311 millones de años.

Los ejemplares de las especies que conforman a la biota se encontraron en afloramientos cuyo depósito ocurrió cercano a la costa, interpretado por la presencia de organismos diagnósticos de agua somera, marina normal y cálida.

X. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Almazán, V. E. 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi del Estado de Sonora. UNAM. Instituto de Geología, Revista no. 8, p.58-66.

Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B., Vachard, D., Mendoza-Madera, C., Gómez-Espinosa, C., 2007a, The Late Atokan (Moscovian, Pennsylvanian) chaetetid accumulations of Sierra Agua Verde, Sonora (NW Mexico): composition, facies and palaeoenvironmental signals, *en* Alvaro, J., Aretz, M., Boulvain, F., Munnecke, A., Vachard, D., Vennin, E. (eds.), Palaeozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls: Geological Society Special Publication 275, 189-200.

Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B., Gómez-Espinosa, C., Vachard, D., 2007b, Moscovian sequences with chaetetids in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico, *en* Vennin, E., Aretz, M., Boulvain, F., Munnecke, A. (eds.), Carboniferous: Facies from Palaeozoic reefs and bioaccumulations: 269-271.

Anderson, T. and Silver, L. 1979. The role of the Mojave Sonora Megashield in the tectonic evolution of Northern Sonora. GSA. Annual Meeting Guide book trip 27, p. 59-68.

Baldis, B.A. & Bordonaro, O.L. (1981). Vinculación entre el Cámbrico del Noroeste de México y la Precordillera Argentina: II Congr. Latinoam. Paleont., Porto Alegre, 1 : 1-10.

Brunner, P. (1975) Estudio estratigráfico del Devónico en el área de El Bísani, Caborca, Sonora, Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 7: 16-33.

Brunner, P. (1984). Los Conodontos de México. III Congr. Latinoam. Paleont. México, 1 : 84-90.

Buitrón, B.E., 1992, Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico Inferior de México y su contenido biótico, en Gutiérrez-Marco, J.C., Saavedra, J., Rábano, I. (eds.), Paleozoico Inferior de IberoAmérica: España, Universidad de Extremadura, UNESCO, IGCP, Proyectos 249, 270, 271 y 277, 193-201.

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

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

Buitrón, B. E., Almazán, V. E., Vachard, D. Gómez, C. y Mendoza, M. C., 2005. Crinoides Pensilvánicos asociados a facies “arrecifales” de Chaetétidos en sierra Agua Verde, Estado de Sonora, México. Unión Geofísica Mexicana A. C. Boletín Informativo, Época II, vol. 25, no. 1, 338 p.

Buitrón Sánchez, B., Gómez-Espinosa, C, Almazán-Vázquez, E y Vachard, D. 2007. A late Atokan regional encrinite (early late Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Sierra Agua Verde, Sonora Slate, NW Mexico, in: Álvaro, J. J., Aretz, M., Boulvain, F., Munnecke, A., Vachard, D. and Vennin, E. (eds) Paleozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls. Geological Society, London, Special Publication, 275 p.

Buitrón, B. E., Almazán-Vázquez, E y Gómez-Espinosa, C. 2010 Paleontología General. Invertebrados. Editorial Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Segunda Edición, 2010, 317 p. ISBN 978-607-02-13564

Buitrón, S. B. E., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E. y J. J. Palafox, 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.

Cooper, G.A. & Arellano, A.R. (1946). Stratigraphy near Caborca, Northwest Sonora, México: *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 30 : 606-611.

Cooper, G.A.; Arellano, A.R.; Johnson, J.H.; Okulitch, V.J.; Stoyanow, A. & Lochman, C. (1952). Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, north western Sonora, México; *Smithsonian Misc. coll.*, 119, 1: 1-35.

Cooper, G.A., Arellano, A.R.; Johnson, J.H.; Okulitch, V.J.; Stoyanow, A. & Lochman, C. (1954). Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora: *Bol. Inst. Geol. UNAM*, 58, 1 : 1-259.

Debrenne, F.; Gandin, A. & Rowland, S.M. (1989). Lower Cambrian bioconstructions in Northwestern Mexico (Sonora). Depositional setting, Paleocology and Systematics of Archaeocyaths. *Geobios*, 22, 2 : 137-195.

García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de koppen (para adaptarlo a las condiciones de la republica Mexicana)., *Univ. Nal. Autón. México, Instituto de Geografía*, 243 p.

Gómez-Espinosa, C., Vachard, D., Buitrón-Sánchez, B., Almazán-Vázquez, E., Mendoza-Madera, C., 2008. Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (Northwestern Mexico), and their biostratigraphic and paleobiogeographic implications: *Comptes Rendus Palevol*, 7: 259-268.

González-León, C., 1982. Bioestratigrafía de la sierra del Tule NW, Sonora. VI Convención. *Geológica Nacional, Resúmenes* p. 40-41

González-León, C., 1986, Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 6, núm. 2, p.117-135.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía e informática (INEGI) 2011, Provincias Fisiográficas del estado de Sonora.

King, R., 1940. Paleozoic Stratigraphic of Mexico. VIII Amer. Sci. Congr. Washington, 4, p. 109-119.

Longoria, J.F.; González, M.A.; Mendoza, J.J. & Pérez, V.A. (1978). Consideraciones estructurales en el cuadrángulo Pitiquito- La Primavera, NW de Sonora: Bol. Dept. Geol. Univ. Sonora, 1 : 61-67.

Longoria, J.F. & Perez, V.A. (1979). Bosquejo geológico de los cerros Chino y Rajón, Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera (NW de Sonora). Bol. Dept. Geol. Univ. Sonora, 1 : 119-144.

Lopez Alemán R., 1988 Esponjas y corales triásicos de la Sierra El Alamo en el NW de Sonora y sus implicaciones paleobiogeograficas. UNAM, Facultad de Ciencias, Tesis Profesional, 63 p.

McMenamin, M.A.S. (1985). Basal Cambrian small shelly fossils from the La Cienaga Formation, Nortwestern Sonora, Mexico. J. Paleont., 59, 6: 1414-1425.

McMenamin, M.A.S. (1987). Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation. Sonora, Mexico. J. Paleont., 61, 4: 738-749.

Mendoza Madera, C., Almazán-Vázquez, E., Buitrón, B.E. y Vachard, D., 2004. Bioestratigrafía de la secuencia del Pensilvánico en la Sierra Agua Verde, en la porción central del estado de Sonora. XXIX Semana Cultural, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Resúmenes p. 9

Miller, and M., Stevens, C. 1992. Late Paleozoic Paleogeography and tectonic evolution of the Western USA Cordillera. GSA, v. G-3, p. 57-105.

Moore R.C. (editor) 1964. Treatise on invertebrate Paleontology. Echinodermata 1.1, 1-2. Sociedad Geologica Americana y Universidad de Kansas p. 1-650.

Moore, R.C. & R.M. Jeffords. 1968. Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts of their columns. Paleontological Contributions, Univ. Kansas Publ., Article 9, no. 46: 1-14.

Morkhoven, F. 1966. The concept of paleoecology and its practical applications. Shell oil Co, Houston Texas Transactions Gulf coast Association of Geological Society vol. XVI, p. 306-313.

Ochoa, A. y P. Sosa. 1993. Geología y estratigrafía de la Sierra Agua Verde, con énfasis en el Paleozoico. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora, Sonora, México.

Peiffer, R.F., Echevarri-Perez, A.; Salas, G.A. & Rangin, C. (1980). Sur la présence de l'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: C. R. Acad. Sci. Paris, 290 : 13-16.

Pérez Ramos O. 1992 Permian biostratigraphy and correlation between southeast Arizona and Sonora. Boletín Departamento Geología Universidad Sonora, 9, 2, 74 p.

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

Piveteau, Jean. 1956. Traité de Paléontologie. Mason editor, 356 p

Poole, F.G., Madrid, R.J., 1988, Allochthonous Paleozoic eugeoclinal rocks of the Barita de Sonora mine area, central Sonora, Mexico, *in* Rodríguez-Torres, R. (ed.), El Paleozoico de la región central del Estado de Sonora, Libreto Guía de la Excursión para el Segundo Simposio sobre la

Geología y Minería en el Estado de Sonora: Sonora, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 32-41.

Poole, F., Berry, W and Madrid, R., 1993. Allochthonous Ordovician eugeosinclinal rocks on Turner Islan. Eastern Gulf of California and their paleotectonic significance. GSA, abstract vol. 25, p. 134-135.

Ransome, F. L., 1904, The geology and ore deposits of the Bisbee Quadrangle, Arizona: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 21, 168 p.

Riva, J.F. & Ketner, K.B. (1989). Ordovician graptolites from the northern Sierra de Cobachi, Sonora, Mexico. Trans. Royal Soc. Edinburgh, Earth Sci., 80 : 71-90.

Rivera, C.E. (1988). Consideraciones paleoambientales de depósito de las formaciones del área de Caborca, Sonora. Rev. Inst. Geol. UNAM, 7, 1: 22-27.

Ross, C. A. and Ross, J. R. P., 1983. Late Paleozoic accreted terranes of western North America, in Stevens, C. H., ed., Pre Jurassic rocks in western North America suspect terranes: Society Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, P. 7-22.

Skinner, J. W. and Wilde, G. L. 1954. New early Pennsylvanian fusulinids from Texas, Journal of Paleontology, 28, 796-803.

Stewart, J.H. (1982). Regional relations of proterozoic Z and Lower Cambrian rocks in the Western United States and Northern México: In Cooper J.D.; Troxel, B.W. y Wright, L.A., eds. Guidebook Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains, Western Mojave deser, and South Great Basin California: Anaheim, California, Geol. Soc. America, Ann. Meeting : 171-186.

Stewart, W. 1983. Paleobotany and the evolution of plants. Cambridge University Press, 1983, 405 p.

Stewart, J., Poole, F., Roldán, J., 1990. Tectonic and stratigraphy of the Paleozoic and Triassic southern margin of North America, Sonora, México. Arizona Geol. Survey, Special Paper 7, p. 183-202.

Stewart, J., Madrid, R. J., Poole, F. G. y K. B. Kernet, 1988, Studies of Late Proterozoic, Paleozoic, and Triassic rock in Sonora, Mexico (abstract), in Almazán-Vázquez, E. y M. A. Fernández-Aguirre (eds) resúmenes, segundo simposio sobre geología y Minería de Sonora: hermosillo, Sonora, México, Instituto de Geología, UNAM: 60-62.

Thompson, M.L., 1935, The fusulinid genus *Staffella* in America: Journal of Paleontology, 9, 111-120.

Thompson, M.L., 1942, New genera of Pennsylvanian fusulinids: American Journal of Science, 240(6), 409-431.

Thompson, M.L., 1947, Stratigraphy and fusulinids of Pre-Desmoinesian Pennsylvanian rocks, Llano Uplift, Texas: Journal of Paleontology, 21(2), 147-164.

Thompson, M.L., 1948, Studies of American fusulinids: University of Kansas, Paleontological Contributions. Protozoa. Article 1, 184 p.

Viveros, M. A., 1965, Geología del área Cabullona Caloso, Municipio de Agua Prieta, Sonora: México, D. F., Univ. Nal. Autón. Mexico, Fac. Ingeniería, tesis professional, 80 p. (inérita).

Wilde. G.L. 1990. Practical fusulinid zonation: the species concept, with Permian Basin. West Texas Geol. Soc. Bull. 29: 5-34.

Wilde, G.L., 2006, Pennsylvanian-Permian fusulinaceans of the Big Hatchet Mountains, New Mexico: New Mexico Museum Natural History and Science, 38, 1-311.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS CONSULTADAS

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/son/fisio.cfm?c=444&e=31>http://www.gsi.ir/General/Lang_en/Page_48/SubOrderId_881/SuperFamilyId_1122/FamilyId_1123/SubFamilyId_1152/GenusId_1164/Action_GenusView/Websiteld_13/TUBERENDOTHYRA.html

http://www.gsi.ir/General/Lang_en/Page_48/SubOrderId_881/SuperFamilyId_1122/FamilyId_1123/SubFamilyId_1124/GenusId_1151/Action_GenusView/Websiteld_16/URBANELLA.html

http://www.gsi.ir/General/Lang_en/Page_48/SubOrderId_881/SuperFamilyId_1122/FamilyId_1123/SubFamilyId_1152/GenusId_1164/Action_GenusView/Websiteld_13/TUBERENDOTHYRA.html