



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

SISTEMÁTICA

FUSULÍNIDOS DEL PÉRMICO DE SONORA CENTRAL, MÉXICO:

BIOESTRATIGRAFÍA Y PALEOBIOGEOGRAFÍA

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

JUAN JOSÉ AVENDAÑO PAZOS

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. MIGUEL ANGEL TORRES MARTÍNEZ
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. BLANCA ESTELA MARGARITA BUITRÓN SÁNCHEZ
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM**

**DR. JUAN FRANCISCO SÁNCHEZ BERISTAIN
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO, 2023



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

SISTEMÁTICA

FUSULÍNIDOS DEL PÉRMICO DE SONORA CENTRAL, MÉXICO:

BIOESTRATIGRAFÍA Y PALEOBIOGEOGRAFÍA

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

JUAN JOSÉ AVENDAÑO PAZOS

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. MIGUEL ANGEL TORRES MARTÍNEZ
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. BLANCA ESTELA MARGARITA BUITRÓN SÁNCHEZ
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM**

**DR. JUAN FRANCISCO SÁNCHEZ BERISTAIN
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO, 2023

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ENTIDAD INSTITUTO DE GEOLOGÍA

OFICIO CPCB/1135/2022

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted, que en la reunión ordinaria (Virtual) del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **17 de octubre de 2022**, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Sistemática** del estudiante **AVENDAÑO PAZOS JUAN JOSÉ** con número de cuenta **306099203** con la tesis titulada **“FUSULÍNIDOS DEL PÉRMICO DE SONORA CENTRAL, MÉXICO: BIOESTRATIGRAFÍA Y PALEOBIOGEOGRAFÍA”**, realizada bajo la dirección del DR. MIGUEL ANGEL TORRES MARTÍNEZ, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. RICARDO BARRAGÁN MANZO
Vocal: DRA. MARÍA DEL PILAR NAVAS PAREJO GARCÍA
Vocal: DRA. ROSAURA MAYÉN ESTRADA
Vocal: DR. FRANCISCO JAVIER VEGA VERA
Secretario: DR. JUAN FRANCISCO SÁNCHEZ BERISTAIN

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 06 de diciembre de 2022

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradezco en primer lugar al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y por todo el apoyo que se me brindó para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas.

Agradezco también a los programas institucionales que brindaron los apoyos para poder realizar mis actividades académicas. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para estudios de Posgrado número 1085746. Así como al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por los proyectos que subsidiaron esta tesis, registrados con los números IA103920 (responsable Dr. Miguel Torres) e IN106920 (responsable Dra. Pilar Navas Parejo).

A los miembros de mi comité tutor el Dr. Miguel Angel Torres Martínez, la Dra. Blanca Estela Margarita Buitrón Sánchez y el Dr. Juan Francisco Sánchez Beristain cuyas observaciones, comentarios y sugerencias contribuyeron grandemente en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

Agradezco primeramente a todos los miembros de mi jurado, a la Dra. Rosaura Mayén Estrada, a la Dra. María del Pilar Navas Parejo García, al Dr. Ricardo Barragán Manzo, al Dr. Juan Francisco Sánchez Beristain y al Dr. Francisco Javier Vega Vera por todas sus observaciones y su tiempo para la mejora fundamental de este trabajo.

A el Instituto de Geología que ha sido mi segundo hogar desde la licenciatura.

Agradezco enormemente a mi tutor el Dr. Miguel Angel Torres Martínez, por toda la confianza, paciencia, amistad, consejos y apoyo incondicional a lo largo de todos estos años, desde la licenciatura hasta ahora.

A la Dra. Pilar Navas Parejo García y al Mtro. Aaron Lara Peña por todo el apoyo brindado en estos últimos dos años, sin el cual este trabajo no habría podido concretarse.

Al Dr. Fernando Núñez Useche por la atención brindada para la revisión de mis láminas en los microscopios petrográficos del laboratorio de microscopios Francisco J. Fabregat del Instituto de Geología, UNAM.

A mis amigos de la maestría, Aaron, Chava, Pablo y Dany con los cuales pase momentos increíbles en campo.

A mi familia, especialmente a mi madre Leonor quien siempre ha dado todo por sus hijos y me ha apoyado en todos mis proyectos incondicionalmente.

Y finalmente a Daniela, la persona que me ha acompañado durante estos años en las buenas y las malas, en mis momentos de locura y desesperación y a pesar de todo sigue a mi lado con su inmenso amor.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
GENERAL	4
PARTICULARES	4
ANTECEDENTES DEL PÉRMICO DE SONORA	5
GENERALIDADES DE LOS FUSULÍNIDOS	7
ÁREA DE ESTUDIO	8
ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
METODOLOGÍA GENERAL	11
TRABAJO DE CAMPO	11
TRABAJO DE GABINETE Y LABORATORIO	11
RESULTADOS	15
PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA	15
BIOESTRATIGRAFÍA	21
SECCIÓN LAS RASTRAS	21
SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 1	24
SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 2	26
DISCUSIÓN	28
BIOESTRATIGRÁFICA	28
SECCIÓN LAS RASTRAS	28
SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 1 Y 2	29
PALEOAMBIENTAL	30
SECCIÓN LAS RASTRAS	30
SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 1	36
SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 2	40
PALEOBIOGEOGRÁFICA	44
CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS	50
ANEXO	60

LISTA DE FIGURAS

1	Esquema general de las características de los fusulínidos	8
2	Localización geográfica del área de estudio	9
3	Columnas estratigráficas de las secciones trabajadas	10
4	Clasificación de rocas carbonatadas según Dunham	13
5	Distribución de los tipos de microfacies estándar tipo (SMF) en las zonas de facies (FZ) de Wilson del modelo de plataforma carbonatada bordeada	14
6	Columna estratigráfica de la Sección Las Rastras	23
7	Columna estratigráfica de la Sección Sierra Martínez 1.....	25
8	Columna estratigráfica de la Sección Sierra Martínez 2.....	27
9	Figuras MF1LR (A-D) y figuras MF2LR (E-H)	31
10	Figuras MF3LR (A-D) y figuras MF4LR (E-H)	33
11	Figuras MF5LR (A-D) y figuras MF6LR (E-H)	35
12	Figuras MF1SM1 (A-D) y figuras MF2SM1 (E-H)	37
13	Figuras MF3SM1 (A-D) y figuras MF4SM1 (E-H)	39
14	Figuras MF1SM2 (A-D) y figuras MF2SM2 (E-H)	41
15	Figuras MF3SM2 (A-D)	42
16	Mapa de la composición de las masas continentales durante el Misisípico	44
17	Mapa de la composición de las masas continentales durante el Pensilvánico.....	45
18	Mapa de la composición de las masas continentales del Pérmico con una Pangea formada	46
19	Mapa paleobiogeográfico de México durante el Pérmico inferior	47

RESUMEN

En la región del centro del estado de Sonora, se encuentran expuestas rocas pertenecientes al Paleozoico superior, destacando los afloramientos del Cerro Las Rastras y de la Sierra Martínez, en los cuales se han reportado rocas de edades que van del Carbonífero al Pérmico. El registro fósil de estos depósitos está representado por diversos invertebrados y protistas marinos como los fusulínidos, reconocidos como uno de los fósiles índice más importantes del Paleozoico a nivel global. En este trabajo se estudiaron tres secciones estratigráficas, de las cuales una pertenece al Cerro Las Rastras (Sección Las Rastras) y dos a la Sierra Martínez (Sección Sierra Martínez 1 y Sección Sierra Martínez 2), compuestas de rocas de la Caliza La Cueva y la Formación Mina México del Cisuraliano inferior. De la Sección Las Rastras se describieron cinco taxones de fusulínidos: *Parafusulina* sp., *Paraskinnerella* cf. *skinneri*, *Praeskinnerella crassitectoria*, *Skinnerella cobachiensis* y *Skinnerella imlayi*, las cuales se asocian con una edad del Artinskiano tardío-Kunguriano temprano (=Leonardiano temprano-medio). En el caso de los fusulínidos en la Sección Sierra Martínez 1, no fue posible su determinación taxonómica debido a la mala conservación. Con respecto a los de la Sección Sierra Martínez 2, solo se describió una especie (*Eoparafusulina* cf. *linearis*) de un estrato de la Caliza La Cueva cuya edad se pudo asociar con el Artinskiano medio (=Wolfcampiano superior). En cuanto al paleoambiente, se pudo observar que el material de fusulínidos de las secciones estudiadas no pertenecía a los ambientes de depósito en el que fue hallado, dado que en la Sección de Las Rastras se encontraron en ambientes de zonas profundas, talud y bancos de arena; para la Sección Sierra Martínez 1 en ambientes de bancos de arena y para la Sección Sierra Martínez 2 en ambientes de talud y aguas abiertas, los cuales no eran los ambientes típicos de estos foraminíferos durante el Paleozoico tardío. En un contexto paleobiogeográfico, estas especies son correlacionables con las reportadas previamente para el Cisuraliano de Arizona, California, Nevada, Nuevo México y Texas en los Estados Unidos, y con taxones de Coahuila, Chiapas, Puebla y de otras regiones de Sonora en México; además de los reportados en Guatemala. En estas regiones se ha registrado la ocurrencia de fusulínidos que se han asociado con la Provincia Biótica Grandiana.

ABSTRACT

In the central region of Sonora state, rocks from the Upper Paleozoic are exposed, standing out the Cerro Las Rastras and Sierra Martínez outcrops, in which rocks ranging in ages from Carboniferous to Permian have been reported. The fossil record of these deposits is represented by several marine invertebrates and protists, including fusulinids, which are considered one of the most important index fossils of the Paleozoic worldwide. In this work, three stratigraphic sections were studied, one of which belongs to Cerro Las Rastras (Las Rastras Section) and two to Sierra Martínez (Sierra Martínez 1 Section and Sierra Martínez 2 Section), composed of rocks from the La Cueva Limestone and Mona Mexico Formation of the lower Cisuralian. In the Las Rastras Section, five fusulinid taxa were described: *Parafusulina* sp., *Paraskinnerella* cf. *skinneri*, *Praeskinnerella crassitectoria*, *Skinnerella cobachiensis*, and *Skinnerella imlayi*, which are associated with a late Artinskian-early Kungurian age (=early-middle Leonardian). Regarding the Sierra Martínez 1 Section, the taxonomic determination of fusulinids was not possible due to their poor preservation. Finally, from the Sierra Martínez 2 Section, only one species (*Eoparafusulina* cf. *linearis*) sampled from a stratum of the La Cueva Limestone was described and its associated with the middle Artinskian (=upper Wolfcampian). Concerning paleoenvironment, it was observed that the fusulinids of the three sections did not belong to any of the depositional environments identified. For instance, they were recorded from facies of deep zones, slopes, and marginal sandbanks in the Las Rastras Section, whereas in the Sierra Martínez 1 Section, they were related to marginal sandbanks and with slope and open water environments on the Sierra Martínez 2 Section. None of them corresponds to the typical environments of the late Paleozoic foraminifera. In a paleobiogeographical context, these species are correlated with those previously reported from the Cisuralian of Arizona, California, Nevada, New Mexico, and Texas in the United States, and with taxa from Coahuila, Chiapas, Puebla, and other Sonora regions in Mexico; in addition to fusulinids reported in Guatemala. In all these regions, fusulinids have been associated with the Biotic Grandian Province.

INTRODUCCIÓN

En la región central del estado de Sonora, México están ampliamente expuestas diferentes unidades litoestratigráficas pertenecientes, en su mayoría, al Paleozoico superior. Particularmente, en la región de Sonora central en la Sierra Martínez y el cerro Las Rastras, afloran diferentes sucesiones de rocas carbonatadas de plataforma continental, las cuales pertenecen a la Caliza La Cueva y la Formación Mina México, con alcances estratigráficos que van del Pérmico inferior al medio (Cisuraliano-Guadalupiano).

A finales del Paleozoico, el estado de Sonora estuvo sometido a diversos eventos geológicos, siendo la deformación diacrónica Ouachita-Marathon-Sonora uno de los más importantes. Esta formó diversas cuencas de antepaís sobre el margen sur-suroeste de Laurentia, repercutiendo en la distribución geográfica de distintas faunas marinas del Pérmico de Norteamérica (Poole et al., 2005; Stevens, 2010). La biota paleozoica de la región está constituida por diferentes organismos marinos, tal como gasterópodos, ostrácodos, braquiópodos, briozoos, equinodermos y conodontos, además de fusulínidos como uno de los grupos más diversos y abundantes (Hewett, 1978; Schmidt, 1978; Stevens et al., 2014; Lara-Peña, 2019). Estos protistas fósiles han sido registrados previamente para diferentes localidades pérmicas de Sonora, como en Hermosillo, Arivechi (Pérez-Ramos, 1992), Cobachi (Pérez-Ramos y Nestell, 2002) y Cerro El Tule (Gómez-Espinosa et al., 2008; Buitrón-Sánchez et al., 2012), contribuyendo a establecer la bioestratigrafía de las unidades estudiadas.

Los fusulínidos son los protistas extintos con mayor diversidad y amplia distribución durante el Carbonífero-Pérmico a nivel global. Estos son considerados como uno de los fósiles índice más importantes del Paleozoico, ya que son una herramienta muy valiosa para establecer edades relativas precisas. Además de su gran valor estratigráfico proporcionan información útil acerca de las afinidades paleobiogeográficas y la configuración deposicional de los estratos en los que están contenidos (Buitrón-Sánchez et al., 2010, Stevens et al., 2014). En particular, los fusulínidos de Sonora han sido relacionados con faunas del oeste de Texas y este de Nuevo México (King, 1939; Dunbar, 1939; Stevens, 2010), regiones donde se distribuía la denominada provincia Biótica Grandiana durante el Pérmico temprano-medio. Dada la importancia paleoambiental, bioestratigráfica y paleobiogeográfica de este grupo es que se plantea el estudio sistemático de los fusulínidos, previamente no estudiados, de tres

secciones estratigráficas asociadas a la Caliza La Cueva y la Formación Mina México de Sonora. Asimismo, se plantea el estudio y discusión de las características petrográficas de las rocas portadoras mediante el análisis de microfacies, esto para realizar interpretaciones en un contexto paleoambiental. Conjuntamente se llevará a cabo la zonación faunística de las unidades estratigráficas basándose en la determinación e identificación de los fusulínidos, con lo cual también se podrán hacer correlaciones estratigráficas y paleobiogeográficas con otras regiones de edades coetáneas.

OBJETIVOS

GENERAL

Describir los fusulínidos de las tres secciones estratigráficas que presentan rocas de la Caliza La Cueva y la Formación Mina México del Pérmico inferior-medio del centro de Sonora, México, analizando su bioestratigrafía, paleoambiente de depósito y relaciones paleobiogeográficas con otras regiones de edades coetáneas.

PARTICULARES

- Describir a los fusulínidos pérmicos depositados en rocas carbonatadas de tres secciones estratigráficas que afloran en el centro de Sonora.
- Analizar la bioestratigrafía y paleobiogeografía de los taxones descritos, relacionándolos con faunas de localidades coetáneas.
- Discutir sobre las condiciones paleoambientales que predominaban al momento del depósito de las asociaciones fósiles, llevando a cabo el análisis de microfacies respectivo.

ANTECEDENTES DEL PÉRMICO DE SONORA

Los estudios realizados sobre el Paleozoico de Sonora se han enfocado en diferentes aspectos paleontológicos y geológicos. Uno de los primeros fue el de Aguilera (1896), quién realizó la sinopsis de la Geología de México, con el fin de obtener los datos de la naturaleza, su situación, su posición actual, así como su valor, bajo el punto de vista industrial de las rocas de toda la República Mexicana. Después, Cooper y Arellano (1946) y Cooper y colaboradores (1952) describieron las rocas del Cámbrico-Pérmico de Sonora aportando un panorama general de la estratigrafía de la región. Después, en 1962, Fries se dedicó a afinar la geología de Sonora, describiendo los eventos tectónicos del Paleozoico a los que estuvo sometida dicha región. Posteriormente, Stewart (1982) se dedicó a correlacionar las unidades del Paleozoico inferior del estado con diferentes formaciones de los Estados Unidos de América, encontrando una correspondencia entre ellas.

Para 1989, Almazán-Vázquez llevó a cabo el estudio de las rocas del Cámbrico-Ordovícico de la región de Arivechi, encontrando estratos del Paleozoico inferior compuestos por diversos organismos marinos, incluyendo trilobites cuya presencia permitió establecer diferentes zonas faunísticas; además estableció que las rocas *miogeosinclinales* de Arivechi ubicaron el borde sur del cratón norteamericano, en los actuales límites internacionales entre México y Estados Unidos. Después, Lara-Peña (2019) estudió la bioestratigrafía, con base en conodontos, de las rocas del Pérmico inferior-medio (Cisuraliano-Guadalupeño) del Cerro Los Monos, noroeste de Sonora (Formación Monos) y del Cerro Las Rastras y Sierra Martínez, en Sonora central (Caliza La Cueva y Formación Mina México), esto con el objetivo de determinar las implicaciones estratigráficas, paleoambientales y paleobiogeográficas de los elementos conodontales estudiados. El trabajo más reciente fue el de Lara-Peña y colaboradores (2021) en el que se estudiaron los conodontos de la Formación Monos, los cuales contribuyeron a establecer una edad del Wordiano-Capitaniano (Pérmico medio) para la unidad, la cual solo se reconocía previamente como Wordiano; además, detectaron que la procedencia de las rocas estudiadas tenía un origen autóctono y no alóctono como anteriormente se hipotetizaba.

Con respecto a los fusulínidos, los primeros estudios realizados en Sonora fueron los de King (1939) y de Dunbar (1939) los cuales incluían especies semejantes a las del oeste de Texas. Pérez-Ramos (1992) realizó diversos estudios de fusulínidos pérmicos en los

alrededores de Hermosillo y Arivechi, comparándolos con los reportados para el sureste de Arizona. En el año 2002, Pérez-Ramos y Nestell identificaron fusulínidos pérmicos cerca de Cobachi en el centro de Sonora correlacionándolos con biotas reportadas para California, Texas en Estados Unidos de América, el sureste de México (Chiapas) y Sudamérica (Venezuela). Gómez-Espinosa y colaboradores (2008) describieron los fusulínidos y algas calcáreas del Cerro el Tule y Sierra Agua Verde, Sonora, en los que identificaron las biozonas de Wilde (1990) A3, DS1 y MC1-1, con las que pudieron establecer las migraciones entre México y el Paleotetis con una edad del Pensilvánico medio al tardío. Buitrón-Sánchez y colaboradores (2012) también describieron fusulínidos del Cerro el Tule e identificaron las zonas de fusulínidos de Wilde (1990) M2, A4, DS1, DS2, MC1/2, VC2/3 y PW1/2, además sugirieron que el límite geográfico de México, durante el Pensilvánico, estuvo entre el cratón norteamericano y los terrenos situados más al sur, en el océano Rheico. En 2013, Pérez-Ramos y Palafox-Reyes describieron seis especies de fusulínidos, siendo cuatro de ellas nuevas para el Cerro Prieto del Pérmico inferior, ubicado al centro-oeste de Sonora, las cuales presentaban semejanza con taxones de California, Nevada y Texas. Stevens y colaboradores (2014) reexaminaron los fusulínidos del Pensilvánico y Pérmico colectados por diversos autores, por ejemplo, el material de Raymond C. Douglas de la década de los 80's, Poole de las décadas de los 80's y 90's, y Poole y Amaya-Martínez de la década de los 2000's. Estos especímenes fueron analizados con la finalidad de comprender más acerca de la historia geológica del alóctono de Sonora de la Formación Rancho Nuevo, y de la plataforma carbonatada de Laurentia de la Caliza La Cueva y de las cuencas de antepaís de la Formación Mina México. Cabe resaltar que en este trabajo no se llevó a cabo un estudio bioestratigráfico riguroso de los fusulínidos del centro de Sonora.

GENERALIDADES DE LOS FUSULÍNIDOS

Los fusulínidos (Fusulinida) son un orden extinto de foraminíferos bentónicos gigantes (con tallas de 8-12 mm), muy abundantes y diversos durante el Carbonífero y el Pérmico. Su morfología consiste en una testa primaria microgranular compuesta de calcita baja en Mg, en la que las unidades de cristal no presentan una alineación óptica definida, pudiendo contener diversas partículas ajenas (terrígenos, elementos traza o algún otro mineral). Las formas más evolucionadas tenían dos o más capas diferenciadas en la pared (Rauzer-Chernousova, 1948; Brazhnikova y Vdovenko, 1973; Tappan y Loeblich, 1988; Vachard et al., 2010; Rigaud et al., 2014; Loeblich y Tappan, 2015; Boudaughier-Fadel, 2018).

Las especies de este orden tiene caracteres morfológicos diagnósticos (Figura 1) como surcos septales que son las trazas de los septos en la superficie externa, los cuales se extienden de extremo a extremo de la testa y determinan el comienzo de los septos que forman las cámaras. La anteteca es la superficie de apertura de la testa, mientras que la espiroteca corresponde a la pared externa de la testa. Presentan múltiples poros septales ubicados en la anteteca como en la espiroteca, la testa en general carece de aberturas primarias. Las cámaras tienen una comunicación entre sí, la cual ocurre en la base de los septos a través de un túnel en la parte central de la testa de algunos fusulínidos; también en otros grupos ocurre la comunicación de las cámaras a través de túneles circulares pequeños a lo largo de la testa. En linajes de fusulínidos más derivados, la anteteca es ondulada formando ondas espaciadas uniformes o irregulares, las cuales se llaman estrías. Los cortes laminados permiten observar las complejas estructuras internas, las cuales permiten diagnosticar a los géneros y las especies de este grupo. La primera cámara se llama prolóculo y es de forma esférica a subesférica. La comata es calcita densa que se deposita a lo largo de los márgenes del túnel, mientras que la paracomata son crestas de calcita densa que se desarrollan entre los forámenes adyacentes. La formación simultánea de la comata y paracomata puede presentarse como un relleno en la región axial. En cuanto al tectum, es reconocida como una capa primaria delgada y densa. En formas más evolucionadas el tectum puede incrementar su tamaño por la presencia una capa transparente llamada diafanoteca, o por una capa gruesa en forma de panal denominada kerioteca (Hageman y Kaesler, 1998; Vachard et al., 2010; Boudaughier-Fadel, 2018).

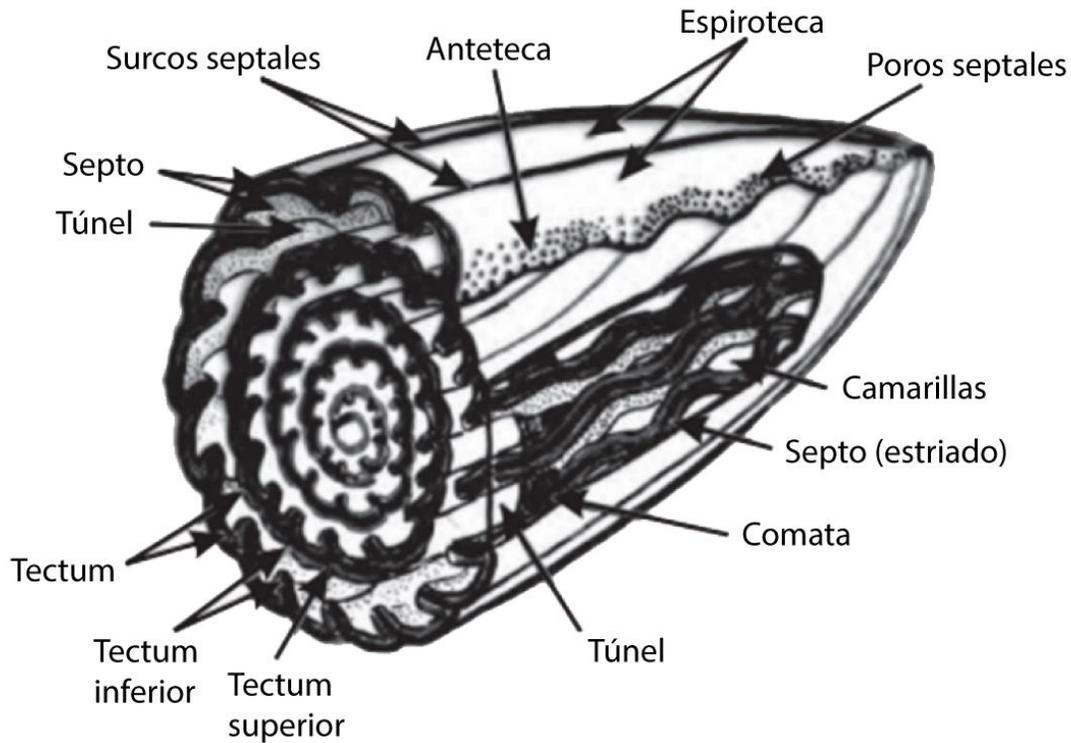


Figura 1. Esquema general de las características de los fusulínidos. (Modificado de Boudaughier-Fadel, 2018).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la región de Sonora central y está comprendida por dos zonas:

La primera de ellas se encuentra en el área del Cerro Las Rastras (Sección Las Rastras), ubicado a 20 km al sureste del poblado de Mazatán entre las coordenadas 28° 55' y 28° 56' N, y 109° 58' y 109° 55' O dentro de los límites del Rancho Las Rastras (Figura 2).

La segunda zona es la denominada Sierra Martínez (Sección Sierra Martínez 1 y 2) la cual está localizada a 26 km al sureste del poblado de Mazatán, dentro de los límites del Rancho El Pescadero entre las coordenadas 28° 56' y 28° 57' N, y 109° 53' y 109° 52' O (Figura 2).

En las dos zonas afloran series carbonatadas de plataforma pertenecientes a la Caliza La Cueva y rocas siliciclásticas y carbonatadas de la Formación Mina México, las cuales están acotadas al Cisuraliano superior (Stevens et al., 2014).

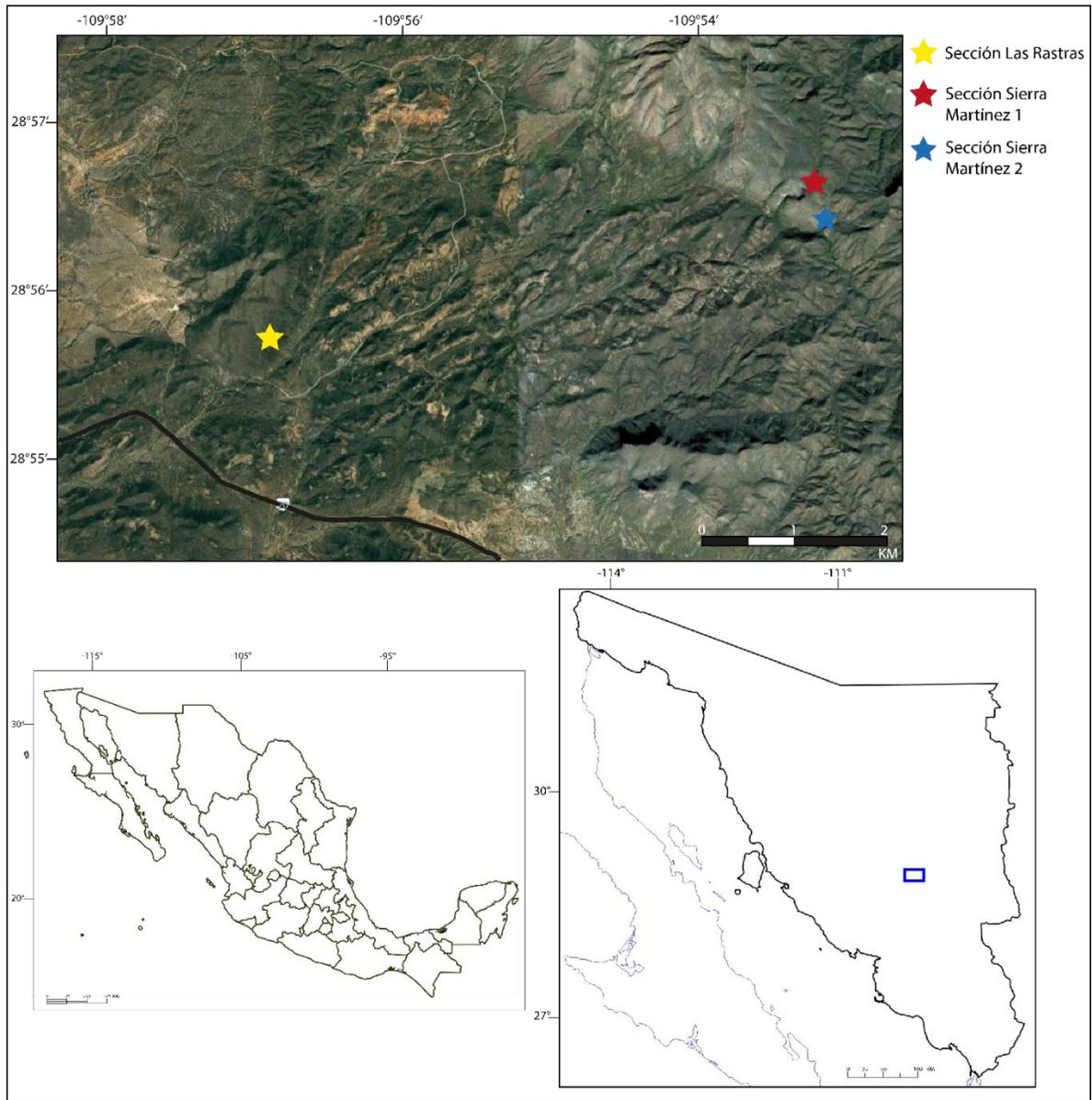


Figura 2. Localización geográfica del área de estudio donde se ubican las secciones muestreadas para este trabajo. (Tomado de Google Earth, 2022).

ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La sección las Rastras es una columna de 211 m de espesor de rocas carbonatadas y siliciclásticas, que contienen capas de la Caliza La Cueva y la Formación Mina México, con una edad del Kunguriano superior al Roadiano inferior (Figura 3A) (Lara-Peña, 2019).

La sección de Sierra Martínez 1 está representada por una columna estratigráfica de 285 m, la cual contiene los últimos 5.3 m de la Caliza La Cueva y la fracción carbonatada-siliciclástica de la Formación Mina México con edad del Kunguriano superior (Figura 3B) (Lara-Peña, 2019).

La sección de Sierra Martínez 2 comprende un espesor de 104 m e incluye parte de la Caliza La Cueva y de la Formación Mina México cuya edad es del Kunguriano superior (Figura 3C) (Lara Peña, 2019).

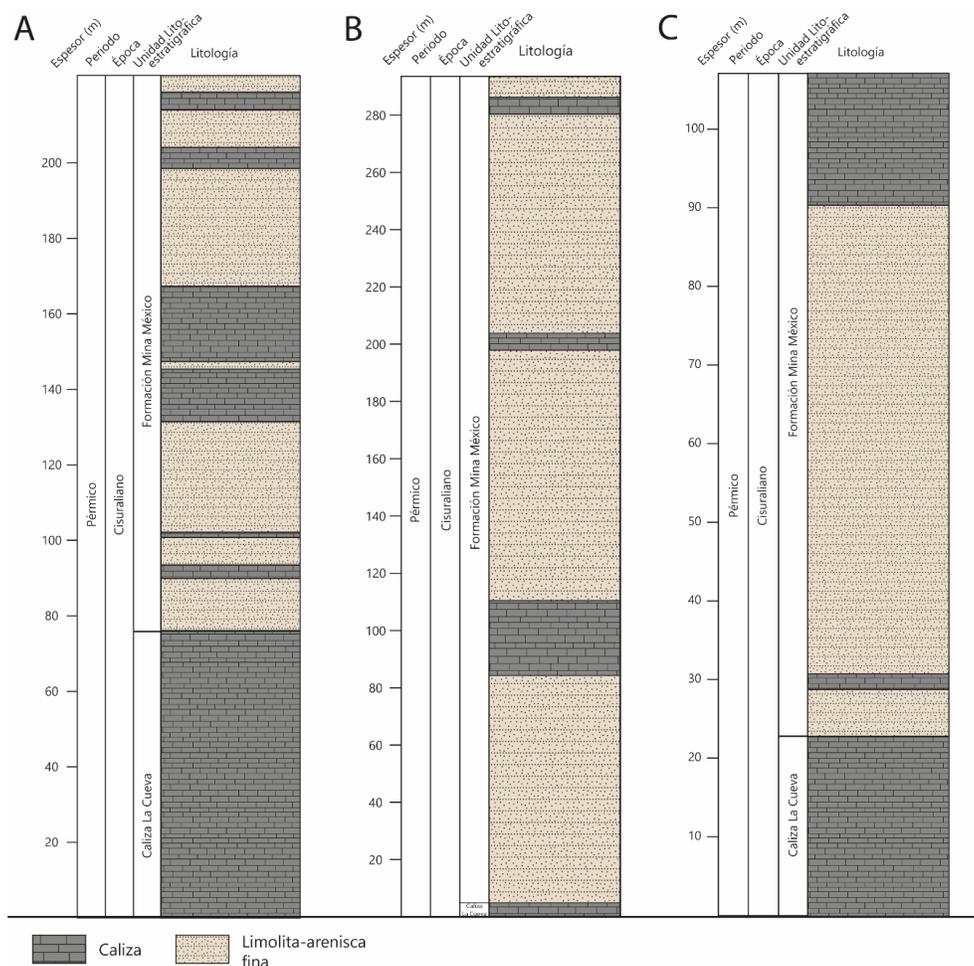


Figura 3. Columnas estratigráficas de las secciones trabajadas. A: Sección Las Rastras. B: Sección Sierra Martínez 1. C: Sección Sierra Martínez 2. (Modificado de Lara Peña, 2019).

METODOLOGÍA GENERAL

La metodología se llevó a cabo en dos partes principales, que son, el trabajo de campo y el trabajo de gabinete y laboratorio.

TRABAJO DE CAMPO

Se realizó una salida de campo del 11 al 15 de noviembre de 2021 a la región de Sonora central. Esta se llevó a cabo con la finalidad de recabar los datos *in situ* (nivel estratigráfico, fauna acompañante de los fusulínidos, estructuras sedimentarias, coordenadas geográficas), así como para la recolecta del material paleontológico y litológico.

TRABAJO DE GABINETE Y LABORATORIO

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva referente a los fusulínidos del Pérmico y su papel en diferentes paleoambientes marinos de México y Norteamérica. Se revisaron libros, revistas científicas y tesis de grado, además de buscadores académicos electrónicos como BioOne, GeoScienceWorld, Google Scholar, JSTOR, Redalyc, ResearchGate y Springer link.

Se observaron 81 láminas de tres secciones estratigráficas: Sierra Martínez 1, Sierra Martínez 2 y las Rastras, las cuales se componen de rocas pertenecientes a la Caliza La Cueva y la Formación Mina México. De estas láminas, 35 fueron facilitadas por la Dra. María del Pilar Navas-Parejo García y el Mtro. Ramón Aarón Lara Peña de la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología, UNAM. Las otras 48 láminas fueron elaboradas a partir de rocas colectadas durante el muestreo de campo (Ver Anexo, Tabla 1). Posteriormente, las láminas fueron observadas en un microscopio petrográfico con la finalidad de poder obtener diferentes vistas y cortes que permitieran observar los caracteres diagnósticos de los fusulínidos.

En estas secciones delgadas se observaron 676 testas de fusulínidos, encontrando la presencia de al menos un individuo en 54 de ellas. De las 81 láminas analizadas, 48 pertenecían a la Caliza La Cueva: A) cuatro de la sección de Sierra Martínez (presentando solo una de ellas (17SM4) la presencia de cuatro fusulínidos); B) 44 láminas de la sección de las Rastras (de las cuales en 27 había testas de los foraminíferos estudiados). Aquí, destacan las muestras de los estratos 18LR1B, 18LR150C, 18LR165B, 18LR9 y 18LR10 por la

presencia de más de 30 individuos en cada lámina, siendo las muestras que presentaron el mayor número de ejemplares.

Para la Formación Mina México se observaron 33 láminas: A) ocho de la sección de Sierra Martínez (encontrando fusulínidos solo en seis de ellas, con una abundancia de entre una a cinco testas); B) 25 láminas de la sección de las Rastras se observaron (detectando una abundancia de entre dos a 54 individuos en 21 láminas).

Estas láminas fueron necesarias para llevar a cabo la determinación taxonómica de los ejemplares, con lo cual se pudieron observar diferentes cortes axiales, sagitales y tangenciales de los especímenes. Al identificar los diferentes taxones se pudo llevar a cabo la zonación faunística de las secciones estudiadas, afinando la edad de los estratos donde se obtuvieron las testas fósiles.

Para la determinación del paleoambiente se realizó la laminación de rocas calcáreas portadoras de fusulínidos. Después, mediante la técnica de análisis de microfacies, se estudiaron las características petrográficas de las calizas, siguiendo los lineamientos de la clasificación de rocas carbonatadas según Dunham (1962) (Figura 4). Todas las secciones delgadas fueron observadas y fotografiadas en los microscopios petrográficos del laboratorio Francisco J. Fabregat del Instituto de Geología, UNAM. Para establecer y definir las condiciones de depósito se llevó a cabo una interpretación de las características obtenidas en un contexto paleoambiental, de acuerdo con el modelo de cinturón de facies de Wilson (*sensu* Flügel, 2010) (Figura 5). Una vez identificada la biota fósil y sus condiciones de depósito, se llevaron a cabo las correlaciones bioestratigráficas y paleobiogeográficas correspondientes, no solo con faunas coetáneas, sino también de ambientes similares.

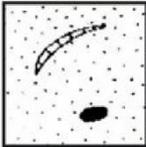
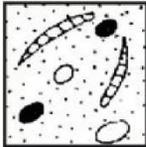
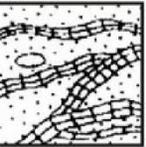
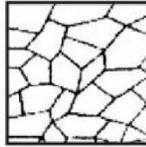
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	
Con barro micrítico			Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico		Boundstone
Esqueleto matriz-soportado		Esqueleto grano-soportado		Grainstone	
Granos < 10%	Granos > 10%	Packstone	Mudstone		Wackestone
					Carbonato cristalino
					

Figura 4. Clasificación de rocas carbonatadas según Dunham (1962).

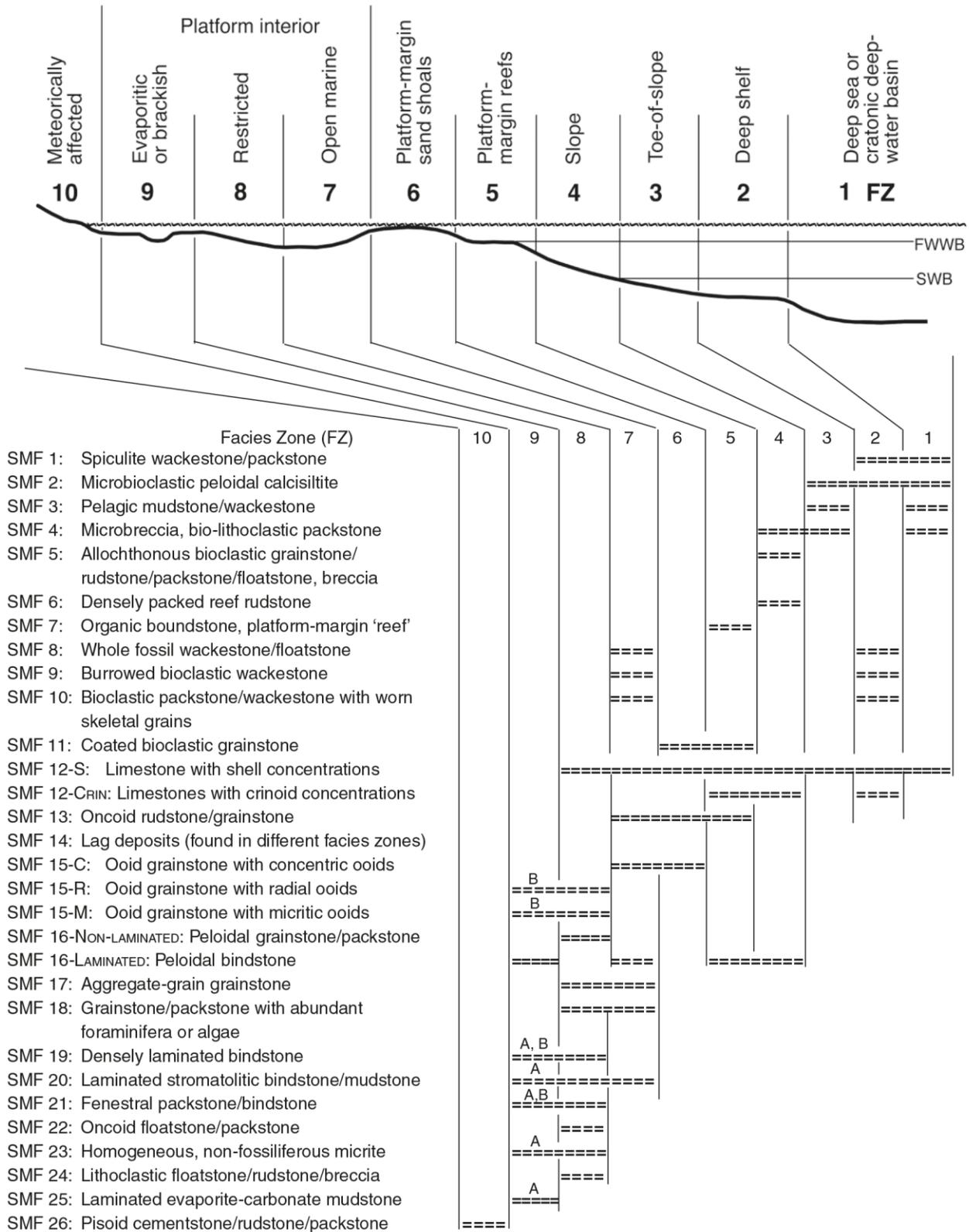


Figura 5. Distribución de los tipos de microfacies estándar tipo (SMF) en las zonas de facies (FZ) de Wilson del modelo de plataforma carbonatada bordeada. A: evaporítico, B: salobre. (Tomado de Flügel, 2010).

RESULTADOS

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

La nomenclatura utilizada para las clasificaciones supragenéricas es la propuesta por Vachard y colaboradores (2010), en tanto que para la delimitación de géneros de fusulínidos del Pérmico, así como los métodos y parámetros morfológicos (diámetro, ancho, alto, ángulo apical, diámetro del prolóculo, alto de la última cámara, grosor de la pared en la última espiral) se estudiaron siguiendo la propuesta de Loeblich y Tappan (2015).

Phylum Foraminifera D'Orbigny, 1826

Clase Fusulinata Maslakova, 1990

Subclase Fusulinana Maslakova, 1990

Orden Fusulinida Fursenko, 1958

Suborden Fusulinina Wedekind, 1937

Superfamilia Schwagerinoidea Dunbar y Henbest, 1930

Familia Polydiexodinidae Miklukho-Maklay, 1953

Subfamilia Parafusulininae Bensch en Rauzer-Chernousova et al., 1996

Género *Parafusulina* Dunbar y Skinner, 1931

***Parafusulina* sp.**

Lámina I, Figura 1

Descripción: Concha mediana, fusiforme con pendientes laterales ligeras con los polos ligeramente puntiagudos con una longitud de 5.10 mm y un diámetro de 2.05 mm en 5 vueltas. Prolóculo de pared delgada con un espesor de 34.59 μm y un diámetro externo de 311.11 μm , sin presencia de comata. El enrollamiento de la primera vuelta es muy cerrado, pero las posteriores vueltas van aumentando en tamaño gradualmente, presenta un kerioteca alveolar. Septos fuertemente plegados, pero espaciados en parte media de la concha y formando camarillas hacia los extremos en el eje longitudinal. Presencia de frenotecas, pero son poco comunes. Depósitos secundarios muy ligeros, casi ausentes.

Ocurrencia: Estrato 18LR15C de la Sección Las Rastras, Sonora Central, México. Leonardiano medio, Pérmico inferior.

Observaciones. La ausencia de comata y la presencia de septos fuertemente estriados además de la poca o casi nula presencia de depósitos secundarios permiten asignarla al género *Parafusulina*, del mismo modo, tales rasgos permiten diferenciarla del género *Skinnerella* (Coogan, 1960; Vachard et al., 2000a). La falta de otros especímenes y el tipo de conservación no permitieron establecer una asignación específica confiable.

Género *Paraskinnerella* Bensch en Rauzer-Chernousova et al., 1996

***Paraskinnerella* cf. *skinneri* (Dunbar, 1939)**

Lámina I, Figura 2

Parafusulina skinneri Dunbar, 1939, p. 1749-1750, lám. 2 figs.1-7.

Parafusulina leonardensis Ross, 1962 p. 17-18, lám. 5, figs. 1-8.

Skinnerella skinneri Leven, 1992 p. 108, lám. 27, fig. 5.

Skinnerella (Paraskinnerella) leonardensis Bensch en Rauzer et al., 1996, p. 145, lám. 40, fig. 4.

Descripción: Testa grande, fusiforme, alargada a subcilíndrica, la parte media de la testa es plana y los bordes ligeramente puntiagudos; con una longitud de 6.02 mm y un diámetro de 2.18 mm. Los septos son fuertemente estriados, además de que las estrías septales son altas y espaciadas, presencia de cuniculi muy bien desarrollado. Formación de múltiples camarillas hacia los polos por el pliegue de los arcos septales.

Ocurrencia: Estrato 18LR14A de la Sección Las Rastras, Sonora Central, México. Leonardiano medio, Pérmico inferior.

Observaciones. Presenta las características diagnósticas externas de la especie *Paraskinnerella skinneri*, del Leonardiano de Sección del Cañón de Santa Rosa, El Tigre,

Sonora (Dunbar, 1939) y del Leonardiano de la Formación Leonard en Glass Mountain, Texas (Ross, 1962), tales como su longitud y aspecto fusiforme, los septos profundamente plegados y el cuniculi bien desarrollado, pero al no tener otros cortes donde se pueda observar el prolóculo, los depósitos secundarios o el número total de vueltas, no es posible asignarla completamente con seguridad a esta especie.

Género *Praeskinnerella* Bensch, 1991

***Praeskinnerella crassitectoria* (Dunbar y Skinner, 1937)**

Lámina I, Figuras 3-6

Schwagerina crassitectoria Dunbar y Skinner, 1937, p. 641-43, lám. 65, figs. 1-15.

Praeskinnerella crassitectoria Rauzer-Chernousova et al., 1996, p. 132, 133.

Descripción: Cuerpo fusiforme, con las pendientes laterales ligeramente pronunciadas, los polos son subredondeados, la parte media de la testa presenta una ligera hendidura, longitud total: 6.45-6.59 mm, diámetro: 2.02-3.34 mm, en 6-8 vueltas. Prolóculo de tamaño pequeño con un diámetro externo de 223.85 μ m. Las primeras 2 a 3 vueltas son bajas y alargadas, el incremento de la sucesión del crecimiento de las seis voluciones es gradual. Los septos son estriados a lo largo de toda la cámara, presencia de chomata rudimentaria. Presenta en las vueltas externas un cuniculi ligeramente desarrollado. Depósitos secundarios conspicuos.

Ocurrencia: Estratos 18LR1B, 18LR150A, 18LR150C, 18LR150D, 18LR2A, 18LR249D, 18LR5B, 18LR56A, 18LR562A de la Sección Las Rastras, Sonora Central, México. Leonardiano temprano, Pérmico inferior.

Observaciones. Los ejemplares de *Praeskinnerella crassitectoria* descritos presentan las características diagnósticas de los ejemplares de *Praeskinnerella crassitectoria* del Leonardiano de la Formación Leonard y la Formación Bone Spring en Glass Mountain, Texas (Dunbar y Skinner, 1937; Ross, 1962, 1963), como son la forma de huso con una longitud de 6 -8.5 mm, con un número de vueltas de enrollamiento de 6-8 y un diámetro de

3.0-3.5 mm. Esta especie es afín a *Praeskinnerella guembeli* del Leonardiano de la Formación Leonard y Bone Spring en Glass Mountain, Texas (Dunbar y Skinner, 1937; Ross, 1962, 1963) y a *Parafusulina bosei*, del Wordiano de la Formación Word en Glass Mountain, Texas (Dunbar y Skinner, 1937); sin embargo *P. crassitectoria* tiene una forma más esbelta, además de que es más grande y alargada que *P. guembeli*, además de tener un tamaño y prolóculo más pequeños que *P. bosei*. También, difiere del género *Skinnerella* en sus depósitos secundarios, ya que en *P. crassitectoria* son conspicuos, mientras que en el género *Skinnerella* son muy abundantes (Coogan, 1960; Vachard et al., 2000a).

Género *Skinnerella* Coogan, 1960

***Skinnerella cobachiensis* Pérez-Ramos y Nestell, 2002**

Lámina II, Figura 1-2

Skinnerella cobachiensis Pérez-Ramos y Nestell, 2002, p. 30-32, lám. 1, figs. 1-10.

Descripción: Testa de tamaño grande, fusiforme, pendientes laterales convexas con extremos subredondeados, con una ligera constricción en la parte media de la testa. Testa de 6-8 vueltas con una longitud entre 8.0-10.56 mm y un diámetro de 2.95- 3.45 mm. Prolóculo esférico de paredes muy delgadas con grosor de 97.79 μm y un diámetro exterior de 383.2 μm . Pared con kerioteca finamente alveolar y gruesa. Los septos son fuertemente estriados, con pliegues septales dispersos y disminuyendo en el área del túnel. Depósitos secundarios recubriendo los septos y una comata muy rudimentaria.

Ocurrencia: Estratos 17LR4, 18LR15 de la Sección Las Rastras, Sonora Central, México. Leonardiano medio, Pérmico inferior.

Observaciones. Los ejemplares descritos en el presente estudio presentan características relacionadas con *Skinnerella cobachiensis* reportado en la Formación Picacho Colorado del Pérmico inferior de Sonora (Pérez-Ramos y Nestell, 2002). Se caracterizan por una longitud de 8.8-12.5 mm, diámetro del prolóculo esférico de 320-450 μm , de 6-9 vueltas y pendientes

convexas hacia los polos. *Skinnerella cobachiensis* difiere de *Praeskinnerella crassitectoria* en su mayor tamaño, así como en la disposición y cantidad de depósitos secundarios (Dunbar y Skinner, 1937; Ross, 1962, 1963). También difiere de *Skinnerella imlayi* por ser de mayor tamaño, septos mucho más estriados y diámetro del prolóculo más grande (Thompson y Miller, 1944; Vachard et al., 2000a).

***Skinnerella imlayi* (Dunbar, 1939)**

Lámina II, Figura 3

Parafusulina imlayi Dunbar, 1939, p. 1748-1749, lám. 1, figs. 1-5.

Schwagerina figueroai Thompson y Miller, 1944, p. 496-497, lám. 82, figs. 1-4.

Parafusulina (Skinnerella) figueroai Kanmera, 1963, p. 118-119, lám. 16, figs. 1-5.

Skinnerella imlayi Vachard et al., 2000a, p. 22-24, lám. 10, figs. 4-8.

Descripción: Testa de tamaño medio, subcilíndrica, pendientes laterales pronunciadas con los extremos redondeados. La testa cuenta con 5 vueltas con una longitud de 3.94 mm y un diámetro de 2.15 mm. Prolóculo esférico de paredes muy delgadas con un grosor de 58.6 μm y un diámetro exterior de 350 μm , presenta una comata muy pequeña. Pared keriotecal alveolada. Los septos son estriados con pliegues septales amplios y dispersos, siendo casi nulos en el área del túnel. Depósitos secundarios recubriendo ampliamente los septos.

Ocurrencia: Estrato 17LR622B de la Sección Las Rastras, Sonora Central, México. Leonardiano medio, Pérmico inferior.

Observaciones. El ejemplar que aquí se reporta presenta características similares a las previamente descritas para *Skinnerella imlayi* como son la forma subcilíndrica y longitud total 3-8 mm, pared del prolóculo de 320-390 μm y septos amplios pero discontinuos de la Caliza La Vainilla, en la región de Chicomuselo Chiapas (Thompson y Miller, 1944) y de la Formación Bone Spring del Leonardiano de Texas (Dunbar y Skinner, 1937; Ross, 1962, 1963). *Skinnerella imlayi* difiere de *Skinnerella cobachiensis* en el tamaño, siendo la primera más pequeña y menos fusiforme en su forma externa, además de tener un prolóculo más

pequeño (Pérez-Ramos y Nestell, 2002). *Praeskinnerella crassitectoria* es disimilar de *Skinnerella imlayi* por ser de mayor tamaño y de forma más alargada, además de presentar depósitos secundarios menos densos (Dunbar y Skinner, 1937; Ross, 1962, 1963).

Familia Schwagerinidae Dunbar y Henbest, 1930

Subfamilia Monodiexodininae Kanmera, Ishii y Toriyama, 1976

Género *Eoparafusulina* Coogan, 1960

***Eoparafusulina* cf. *linearis* (Dunbar y Skinner, 1937)**

Lámina II, Figura 5

Schwagerina linearis Dunbar y Skinner, 1937, p. 637-638, lám. 62, figs. 12-15; lám. 63, figs. 1-7.

Monodiexodina linearis Ross, 1963, p. 160-161, lám. 14, figs. 1-7.

Eoparafusulina linearis Ueno, 2006, p. 390.

Descripción: Testa cilíndrica extremadamente delgada con una longitud 7.72 mm y un diámetro de 1.91 mm, con extremo obtusamente redondo. La pared es una kerioteca alveolar bien definida, el grosor de la última vuelta de la pared es de 61.51 μm . Los septos son débilmente estriados. Depósitos secundarios abundantes en la región axial.

Ocurrencia: Estrato 17SM3B de la Sección Sierra Martínez 1, Sonora Central, México. Wolfcampiano tardío, Pérmico inferior.

Observaciones. Este ejemplar se pudo asociar con *Eoparafusulina linearis* debido a la forma externa de la testa, su longitud, grosor de la pared y los depósitos secundarios en la región axial, presentes en los ejemplares de *Eoparafusulina linearis* de las formaciones Lenox Hills (Ross, 1962, 1963) y Wolcamp de Texas (Dunbar y Skinner, 1937), de la Formación Bird Spring de California (Stevens y Stone, 2007), y de la cordillera miogeosinclinal central de Nevada y Utah (Stevens et al., 1979). A pesar de contar con diversos rasgos taxonómicos,

por la conservación y la poca cantidad de material disponible, no fue posible realizar una asignación específica confiable.

BIOESTRATIGRAFÍA

La bioestratigrafía de este trabajo se llevó a cabo mediante la determinación de seis taxones, de los cuales cinco pertenecen a la Sección de Las Rastras y uno a la Sección Sierra Martínez 2. Los fusulínidos de este trabajo permitieron establecer un alcance estratigráfico del Artinskiano medio (Wolfcampiano superior) para un nivel de la Sección Sierra Martínez 2, así como un alcance del Artinskiano superior al Kunguriano inferior (Leonardiano inferior-medio) para la Sección Las Rastras. La edad de la Sección Sierra Martínez 1 no fue establecida en este trabajo, debido a que los fusulínidos que se encontraron no se lograron identificar para incluirlos en el presente análisis.

SECCIÓN LAS RASTRAS

La sección estudiada fue el flanco este del Cerro Las Rastras, la cual está comprendida por una columna de 211 m de espesor de rocas carbonatadas y siliciclásticas de los estratos de la Caliza La Cueva y la Formación Mina México de una edad del Artinskiano superior-Kunguriano inferior (Leonardiano inferior-medio). De esta sección, se estudiaron 23 niveles y 78 láminas, de los cuales 11 niveles y 53 láminas pertenecían a la Caliza La Cueva (17LR6, 18LR1-18LR10), así como 12 niveles y 25 láminas correspondían a la Formación Mina México (17LR4, 17LR5, 18LR11-18LR20). De las 78 láminas, solo en 14 se obtuvieron fusulínidos con características morfológicas que permitían realizar una determinación taxonómica (Figura 6).

El primer nivel en el que se obtuvieron fusulínidos identificados fue el nivel 18LR1 (láminas 18LR1B, 18LR150A, 18LR150C, 18LR150D9) con la presencia de *Praeskinnerella crassitectoria*. Los siguientes niveles fueron el 18LR2 (láminas 18LR2A, 18LR249D) y el 18LR5 (láminas 18LR5B, 18LR56A, 18LR562A) con la presencia de *Praeskinnerella crassitectoria*. Del nivel 18LR1 al nivel 18LR5 se pudo identificar la biozona de *Praeskinnerella crassitectoria* del Leonardiano temprano (Artinskiano tardío). Más hacia la cima se detectó el nivel 17LR6 (lámina 17LR622B) donde se reportó la ocurrencia de *Skinnerella imlayi*. Sobreyaciendo se encontró en el nivel 17LR4 (lámina

17LR4) la primera aparición de *Skinnerella cobachiensis*, mientras que en el nivel 18LR14 (lámina 18LR14A) se identificó a *Paraskinnerella skinneri*. El siguiente nivel fue el 18L15 (láminas 18LR15, 18LR15C) con la presencia de *Skinnerella cobachiensis* y un individuo del género *Parafusulina* sp. Dicha asociación (*Paraskinnerella skinneri* – *Parafusulina*), además de la aparición de las especies *Skinnerella cobachiensis* y *Skinnerella imlayi* permitió ubicar a las rocas portadoras de estos niveles dentro de la biozona *Paraskinnerella skinneri* del Kunguriano inferior (Leonardiano medio) (Figura 6).

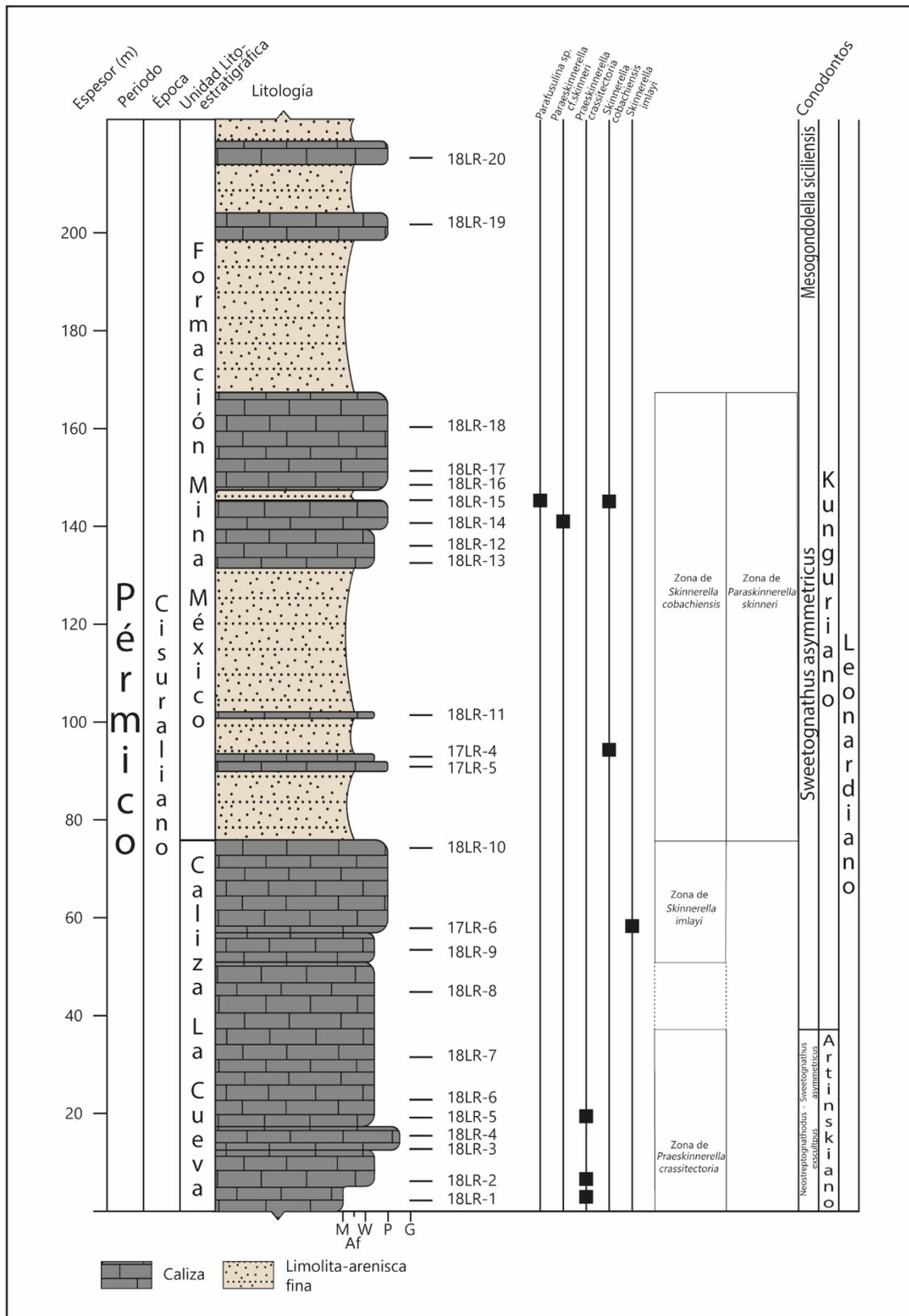


Figura 6. Columna estratigráfica de la Sección Las Rastras. M: Mudstone; W: Wackestone; P: Packstone; G: Grainstone; Af: Areniscas finas (Modificado de Lara-Peña, 2019).

SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 1

La sección estudiada aflora en la ladera sur de la Sierra Martínez, compuesta por una sucesión estratigráfica de 285 m, datada para el Artinskiano medio (Wolfcampiano superior). Los primeros 5.3 m de la base de esta sección pertenecen a la Caliza La Cueva, mientras que el resto de la sección corresponde a la Formación Mina México. En esta sección se estudiaron 7 niveles y 9 láminas, de las cuales 2 niveles y 2 láminas corresponden a la Caliza La Cueva (17SM1 y 17SM2), mientras que 5 niveles y 7 láminas pertenecientes a la Formación Mina México (17SM3, 17SM6, 17SM7, 18SM1 y 18SM2). De las 9 láminas, en ninguna se obtuvo una testa de fusulínido cuya conservación permitiera realizar una determinación taxonómica aceptable (Figura 7). La edad referida para esta sección fue asignada por Pérez-Ramos (2001) y Stevens y colaboradores (2014).

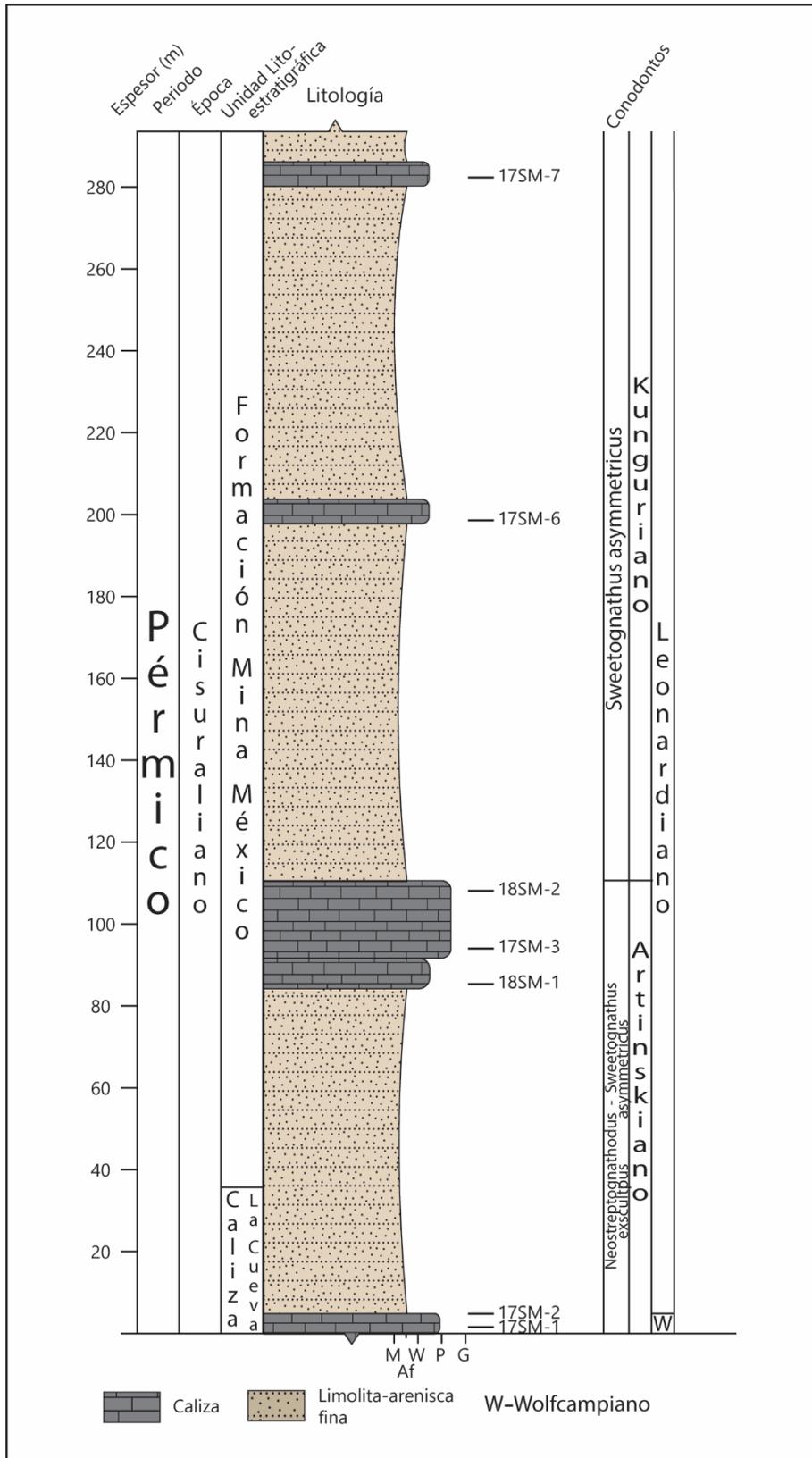


Figura 7. Columna estratigráfica de la Sección Sierra Martínez 1. M: Mudstone; W: Wackestone; P: Packstone; G: Grainstone; Af: Areniscas finas (Modificado de Lara-Peña, 2019).

SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 2

La sección comprende una sucesión de 104 m de espesor, la cual se compone de rocas carbonatadas de la Caliza La Cueva y la Formación Mina México, cuya edad se ha asociado con el Artinskiano medio (Wolfcampiano). Se examinaron 5 niveles y 7 láminas: A) 2 niveles y 4 láminas pertenecían a la Caliza La Cueva (17SM4 y 17SM5); B) 3 niveles y 3 láminas correspondientes con la Formación Mina México (18SM3-18SM5). En esta sección, el único nivel con fusulínidos identificados fue el 17SM4 (Caliza La Cueva), localizado en la base de la unidad. Aquí, se observó un individuo con características de *Eoparafusulina linearis* cuya especie está reportada en estratos del Wolfcampiano superior (Figura 8). La edad referida previamente para esta sección fue propuesta por Pérez-Ramos (2001) y Stevens y colaboradores (2014).

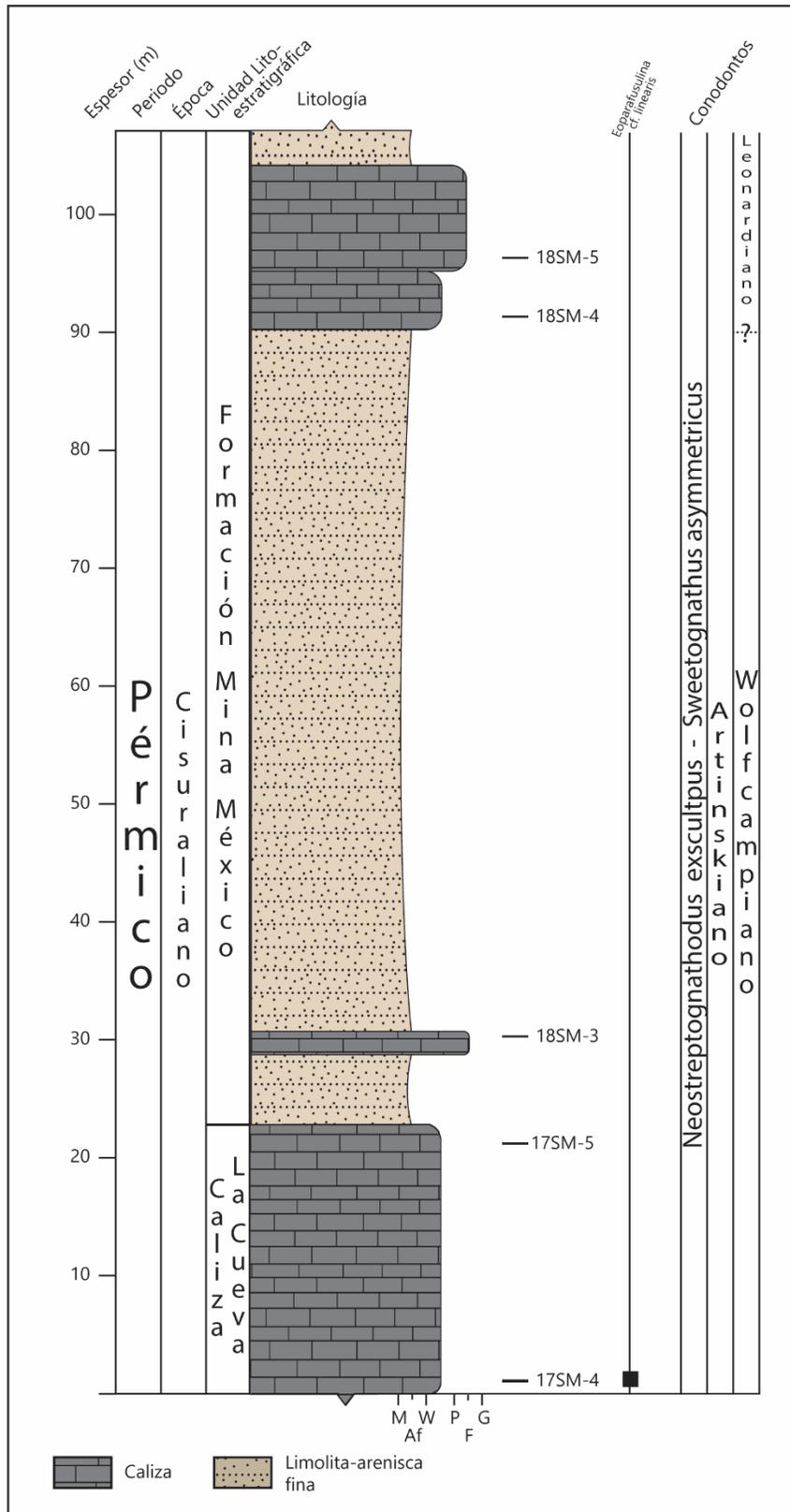


Figura 8. Columna estratigráfica de la Sección Sierra Martínez 2. M: Mudstone; W: Wackestone; P: Packstone; G: Grainstone; Af: Areniscas finas (Modificado de Lara-Peña, 2019).

DISCUSIÓN

BIOESTRATIGRÁFICA

SECCIÓN LAS RASTRAS

La Sección Las Rastras aflora en el Cerro Las Rastras que se encuentra ubicado a 20 km al sureste del poblado de Mazatán, Sonora. Las rocas paleozoicas de este cerro han sido datadas mediante el uso de diferentes ejemplares fósiles, tales como fusulínidos (*Beedeina clarkensis*, *Chalartoschwagerina nelsoni*, *Eoparafusulina linearis*, *Eoparafusulina mendenhalli*, *Fusulina haworthi*, *Paraskinnerella skinneri*, *Praeskinnerella crassitectoria*, *Praeskinnerella guembeli*, *Protriticites*, *Skinnerella australis*, *Skinnerella cobachiensis*; *Skinnerella gruperaensis*; *Skinnerella figueroai* (= *Skinnerella imlayi*), *Skinnerella multisepta*, *Schwagerina gracilitatis*, *Triticites acutuloides*, *Triticites celebroides*) (Pérez-Ramos, 2001; Stevens et al., 2014) y conodontos (*Neostreptognathodus exsculptus*, *Sweetognathus asymmetricus*, *Mesogondolella siciliensis*) (Lara-Peña, 2019; Lara-Peña et al., 2020; Lara-Peña, comp. pers.), los cuales han sido correlacionados con biotas del Pensilvánico medio (Desmoinesiano) al Pérmico inferior (Leonardiano) de California, Nevada, Nuevo México, Texas y Utah en Estados Unidos (Ross, 1962, 1963; Stevens et al., 1979; Stevens y Stone, 2007) y de otras regiones de Sonora, México (Vachard, et al., 2000b; Pérez-Ramos, 2001; Stevens et al., 2014).

Para esta sección, en el presente trabajo se reporta la presencia de *Paraskinnerella skinneri* del Kunguriano temprano (=Leonardiano medio), *Praeskinnerella crassitectoria* del Artinskiano tardío (=Leonardiano temprano), *Skinnerella cobachiensis* del Kunguriano temprano-medio (=Leonardiano medio) y *Skinnerella imlayi* del Kunguriano temprano (=Leonardiano medio). Dado que todos estos taxones pertenecen a una edad del Artinskiano tardío-Kunguriano temprano (=Leonardiano medio), se pudo correlacionar bioestratigráficamente a las formas identificadas con otros proxies previamente estudiados en otros afloramientos de esta región, como fusulínidos y conodontos (Pérez-Ramos, 2001; Stevens et al., 2014; Lara-Peña, 2019; Lara-Peña et al., 2020; Lara Peña, comp. pers.).

Cabe resaltar que *Skinnerella imlayi* fue descrita como *Schwagerina figueroai* (= *Skinnerella figueroai*) en estratos de la Caliza La Vainilla de Chicomuselo, Chiapas, la cual, de acuerdo a Thompson y Miller (1944), al estar asociada con *Paraschwagerina roveloi* permitía establecer una edad del Wolfcampiano superior (Artinskiano medio) para las rocas

de esta unidad. No obstante, a pesar de que la Caliza La Vainilla es considerada una unidad formal, existen trabajos (p.ej. Hernández-García, 1973 y Godínez-Urban, 2009) donde se propone que dicha unidad en realidad forma parte de la base de la Formación Paso Hondo cuya edad se ha establecido recientemente (Torres-Martínez et al., 2016, 2019; Fitz-Díaz et al., 2021) como del Kunguriano inferior-Roadiano inferior (=Leonardiano inferior-Roadiano inferior). Por lo tanto, la edad de *Skinnerella imlayi* coincide con los datos estratigráficos de los otros taxones descritos en este trabajo. El presente estudio es el más completo que se ha realizado con bioestratigrafía de fusulínidos para el Cerro Las Rastras de Sonora, México.

SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 1 Y 2

La Sierra Martínez se ubica a 26 km al sureste del poblado de Mazatán. En la ladera sur de esta sierra se encuentran expuestos los estratos de dos de las secciones estudiadas: Sección Sierra Martínez 1 y Sección Sierra Martínez 2.

Las rocas de esta sierra se han datado mediante proxies bioestratigráficos, tales como fusulínidos (*Eoparafusulina linearis*, *Pseudochusenella hazzardi*, *Skinnerella multisepta*) (Pérez-Ramos, 2001; Stevens et al., 2014) y conodontos (*Neostreptognathodus exsculptus*, *Sweetognathus asymmetricus*) (Lara-Peña, 2019; Lara-Peña et al., 2020; Lara-Peña, comp. pers.), los cuales se han correlacionado con biotas del Pérmico inferior (Sakmario-Kunguriano) de California, Nevada, Nuevo México, Texas y Utah en Estados Unidos (Ross, 1962, 1963; Stevens et al., 1979; Stevens y Stone, 2007) y de diferentes zonas de Sonora, México (Vachard, et al., 2000b; Pérez-Ramos, 2001; Stevens et al., 2014).

De estas dos secciones (Sierra Martínez 1 y Sierra Martínez 2), únicamente se pudo trabajar con un espécimen de *Eoparafusulina linearis* de la sección Sierra Martínez 2. Su hallazgo permitió relacionar la edad del estrato portador con el Artinskiano medio (Wolfcampiano superior), coincidiendo con la datación preestablecida con otros fósiles índice. No obstante, dada la falta de material de fusulínidos, aunado a la pobre preservación de la gran mayoría de las testas, la edad de estas dos secciones no pudo ser determinada de manera fehaciente con el estudio de los foraminíferos.

PALEOAMBIENTAL

En el presente trabajo se observaron las características petrográficas de los estratos presentes en las secciones Las Rastras, Sierra Martínez 1 y Sierra Martínez 2. Dado que la mayoría de las características fueron reportadas previamente por Lara-Peña (2019), el presente estudio se enfocó en corroborar los rasgos presentes en las diferentes asociaciones de facies descritas con anterioridad, enriquecer las características sedimentológicas de algunas de las asociaciones, y discutir la relevancia de los ambientes de depósito propuestos con respecto a los fusulínidos encontrados.

SECCIÓN LAS RASTRAS

La sección Las Rastras se caracterizó por presentar seis asociaciones de facies (MF1LR a MF6LR):

- MF1LR Mudstone-Wackestone con pocos bioclastos

Esta asociación presenta una matriz de calcita microcristalina con restos de braquiópodos, fusulínidos, algunos bioclastos y espículas de esponjas monoxílicas, además de bioturbación y algunos peloides dispersos (Figuras 9A-D). Cabe resaltar que esta asociación resulta de la combinación de dos asociaciones de facies propuestas por Lara-Peña (2019), que son MF-LR-1 (Mudstone con escasos bioclastos) y MF-LR-2 (Wackestone-Packstone con abundantes peloides). La revisión de diversas láminas permitió corroborar que se trata de la misma asociación.

- Interpretación paleoambiental

Los rasgos sedimentológicos detectados en las láminas permitieron establecer que el ambiente deposicional de esta facies fue en la FZ-2, ya que se observaron espículas monoxílicas de esponjas, bioturbación y peloides dispersos en las secciones delgadas (Wilson, 1975).

- MF2LR Packstone-Grainstone con numerosas placas columnares de crinoideos

Asociación compuesta por una matriz de calcita microcristalina con numerosas placas columnares de crinoideos, restos de briozoos, foraminíferos bentónicos, incluidos

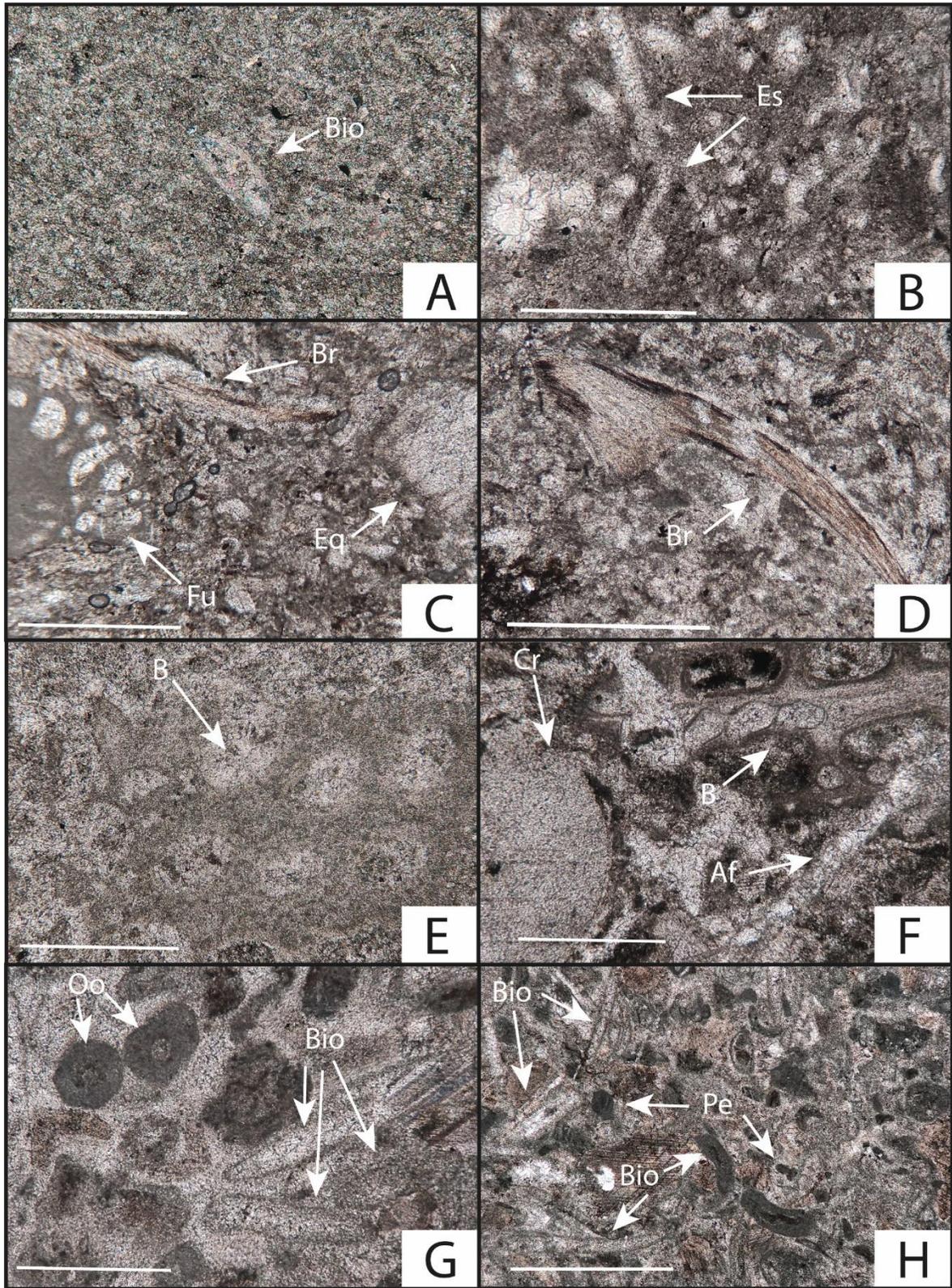


Figura 9. Figuras MF1LR (A-D) y figuras MF2LR (E-H). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfacies. Af: algas filodiales; B: briozoo; Bio: bioclasto; Br: braquiópodo; Cr: crinoideo; Eo: equinodermo; Es: espícula de esponja; Fu: fusúlido; Oo: ooides; Pe: peloides. Escala 500 μ m.

fusulínidos, braquiópodos, ooides, algunas algas filodiales y peloides sin un orden aparente. Los granos de esta asociación presentan señales de abrasión (Figuras 9E-H).

- Interpretación paleoambiental

Las características petrográficas de esta asociación proporcionaron evidencia de un ambiente de depósito de talud de la zona de facies FZ-4, debido a que se observaron diversos granos esqueléticos y no esqueléticos típicos de esta zona de facies como placas columnares de crinoideos, briozoos, braquiópodos, foraminíferos bentónicos, algas filodiales, ooides y peloides desordenados con señales de abrasión en las láminas (Wilson, 1975).

- MF3LR Wackestone-Packstone bioclástico con abundantes ooides

Esta asociación de microfacies se caracteriza por la presencia de abundantes ooides, numerosos restos de equinodermos, algunos de ellos placas columnares de crinoideos, así como briozoos, foraminíferos bentónicos, además de algunas vetas de ortoesparita (Figuras 10A-D).

- Interpretación paleoambiental

Esta microfacies presenta características de bancos de arenas del margen de plataforma de un ambiente deposicional FZ-6, dado que presenta granos recubiertos de calcita microcristalina y abundantes ooides que apoyan la determinación (Wilson, 1975).

- MF4LR Packstone-Grainstone con numerosos fusulínidos y crinoideos

Esta asociación de facies representa un flujo de detritos con la existencia de numerosos fusulínidos y placas columnares de crinoideos, al igual que algunos fragmentos de briozoos y braquiópodos, además de escasos ooides y peloides (Figuras 10E-H).

- Interpretación paleoambiental

Esta microfacies corresponde a un paleoambiente de aguas marinas abiertas de la FZ-7. La presencia de los numerosos fusulínidos y otros foraminíferos asociados a crinoideos son característicos de ambientes de aguas someras con alta productividad, como la zona de barras

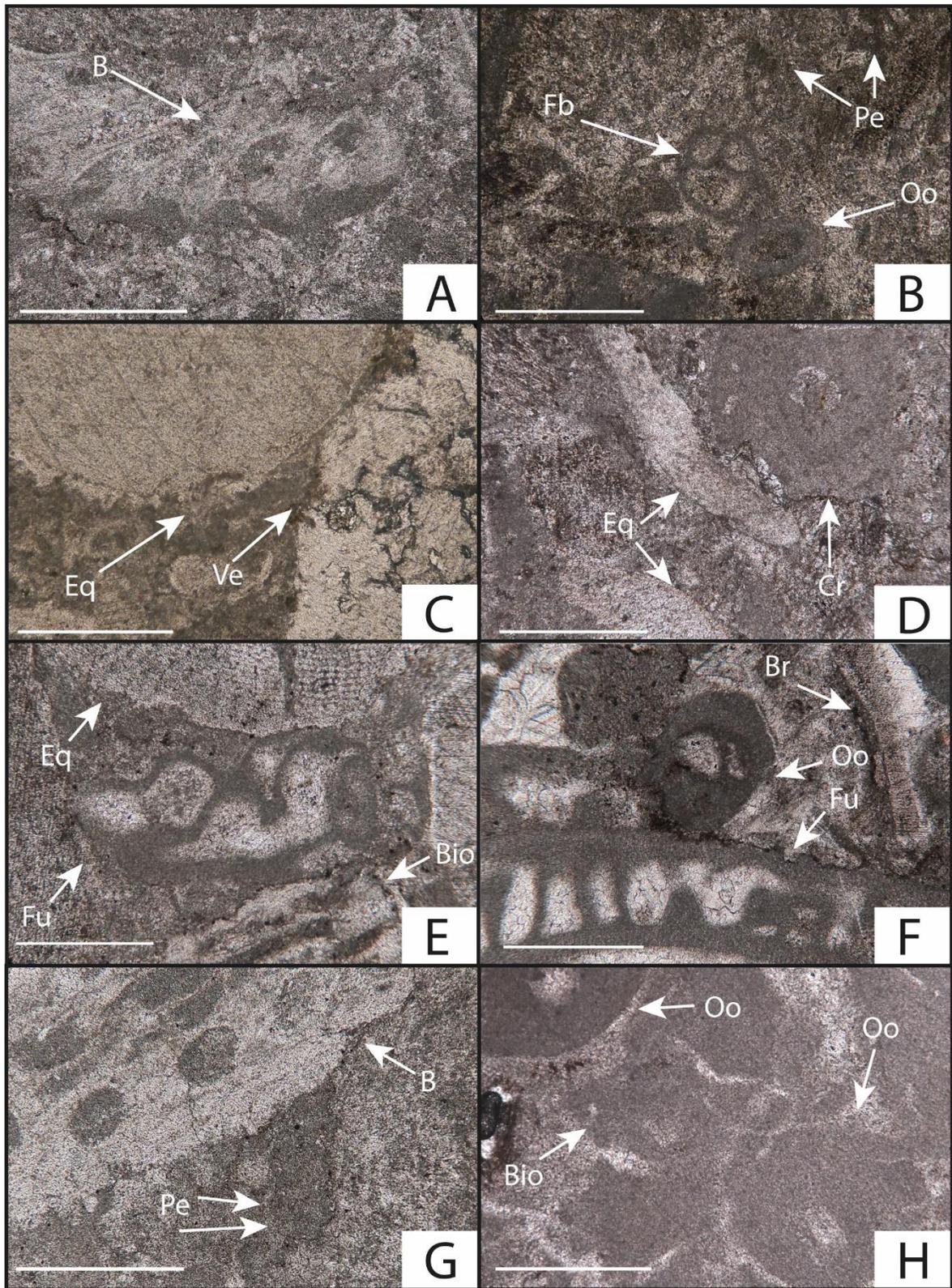


Figura 10. Figuras MF3LR (A-D) y figuras MF4LR (E-H). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfácies. B: briozoo; Bio: bioclasto; Br: braquiópodo; Cr: crinoideo; Eq: equinodermo; Fb: foraminífero bentónico; Fu: fusulínido; Oo: ooides; Pe: peloides; Ve: veta de ortoesparita. Escala 500 µm.

de arena. Estos depósitos se han interpretado como un flujo de detritos de ambientes de aguas marinas abiertas (FZ-7), pero depositados en zonas más profundas de la plataforma, relacionados al talud (FZ-4) (Lara-Peña, 2019).

- MF5LR Packstone-Grainstone con bioclastos retrabajados y siliciclásticos.

Esta microfacies representa un flujo de detritos con una matriz de calcita microcristalina, con abundantes fusulínidos y crinoideos, algunos fragmentos de diversos equinodermos, briozoos y peloides, asociados con trazas de foraminíferos bentónicos. Todos los elementos esqueléticos presentan algún grado de abrasión, además de observarse numerosos granos de cuarzo (Figuras 11A-D).

- Interpretación paleoambiental

La interpretación paleoambiental de esta asociación fue la de un flujo de detritos depositado en un ambiente de talud, FZ-4. La presencia de fusulínidos, crinoideos y briozoos retrabajados, que proceden de ambientes someros son granos alóctonos procedentes de zonas arrecifales. Además, el buen grado de preservación de los granos permite inferir que la fuente de origen fue cercana al ambiente de depósito (Flügel, 2010).

- MF6LR Packstone-Grainstone con bioclastos desgastados

Asociación de microfacies con una matriz de calcita microcristalina, con numerosos fragmentos de equinodermos, algunos fusulínidos, foraminíferos bentónicos, briozoos y escasos fragmentos de braquiópodos, además de ooides y peloides. Todos los granos presentando desgaste por abrasión (Figuras 11E-H).

- Interpretación paleoambiental

Los aloquímicos y ortoquímicos encontrados permiten ubicar la asociación entre las FZ-6 y FZ-7. Sin embargo, las características sedimentológicas observadas en campo y en sección delgada permiten interpretar a la asociación como un flujo de detritos depositados en zonas más profundas, sugiriendo que la zona de facies correspondiente sería la FZ-4 (Flügel, 2010; Lara Peña, 2019).

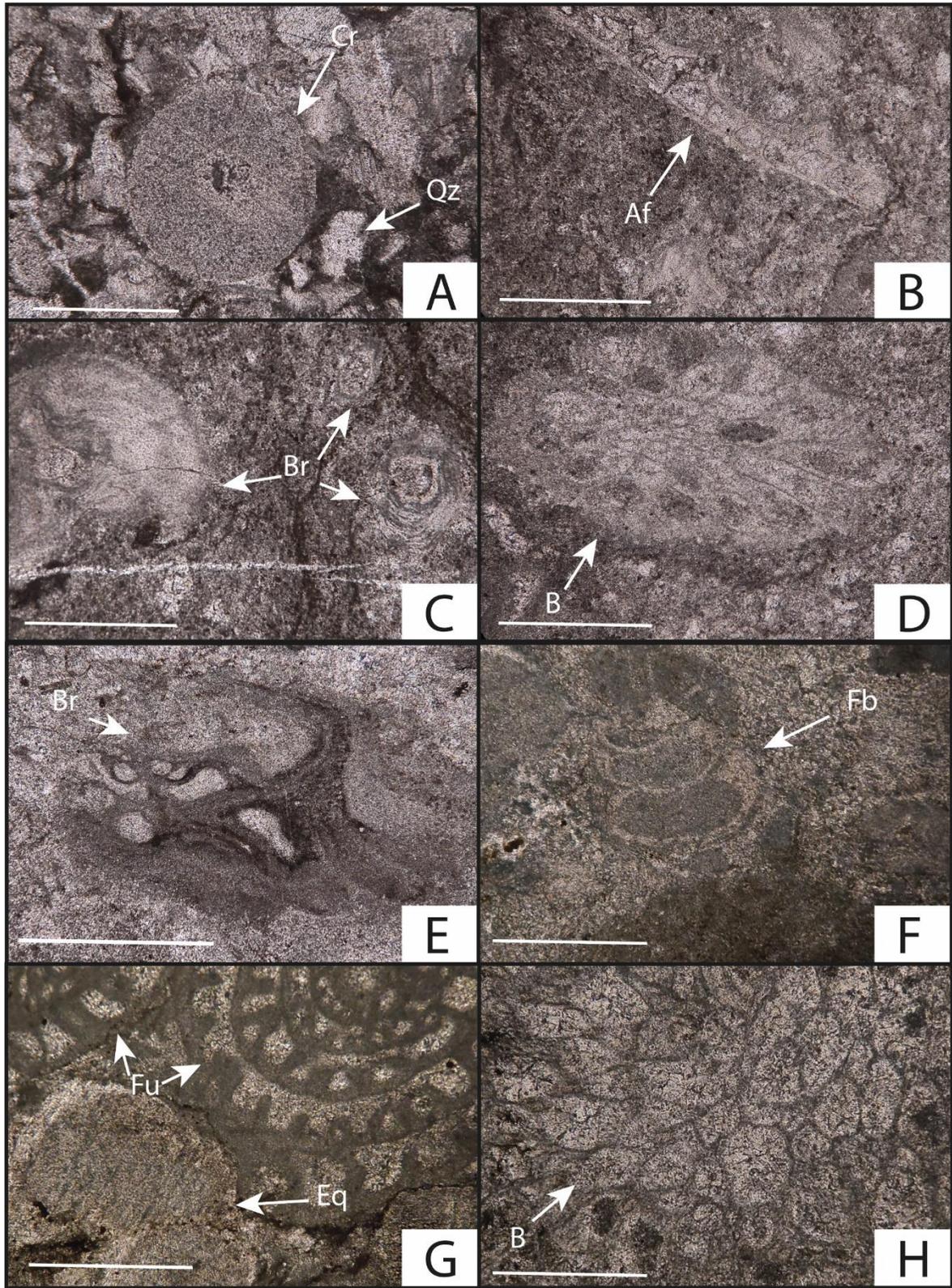


Figura 11. Figuras MF5LR (A-D) y figuras MF6LR (E-H). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfacies. Af: algas filodiales; B: briozoo; Br: braquiópodo; Cr: crinoideo; Eq: equinodermo; Fb: foraminífero bentónico; Fu: fusulínido; Qz: cuarzo (terrígeno). Escala 500 μ m.

SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 1

La Sección Sierra Martínez 1 se caracteriza por presentar cuatro asociaciones de facies (MF1SM1 a MF4SM1):

- MF1SM1 Packstone con numerosos ooides y bioclastos recubiertos de calcita microcristalina

Asociación compuesta por una matriz de calcita microcristalina con numerosos ooides, peloides y placas columnares de crinoideos, algunos briozoos, foraminíferos bentónicos y fragmentos de braquiópodos. Destacan las señales de abrasión y el recubrimiento de calcita microcristalina en la mayoría de los granos esqueléticos (Figuras 12A-D).

- Interpretación paleoambiental

Esta asociación de facies se puede relacionar con el depósito de bancos de arena del margen de plataforma, FZ-6, principalmente por la presencia de ooides y de granos esqueléticos cubiertos de calcita microcristalina (Wilson, 1975).

- MF2SM1 Wackestone-Packstone con numerosas espículas de esponjas y otros bioclastos desgastados

En esta asociación abundan las espículas de esponjas, fusulínidos con evidente estado de abrasión y fragmentos de equinodermos, además de ocurrir algunos peloides y escasos fragmentos de braquiópodos y ooides con matriz de calcita microcristalina (Figuras 12E-H).

- Interpretación paleoambiental

Esta microfacies representa un flujo de detritos. Esta asociación constituye un ambiente de depósito de talud de una zona de facies FZ-4. La mezcla de numerosas espículas de esponja con granos provenientes de la zona de arrecifes (fusulínidos, crinoideos y briozoos) y los bancos de arena contiguos, permiten sugerir que los elementos provienen de zonas más someras (Flügel, 2010; Lara-Peña, 2019).

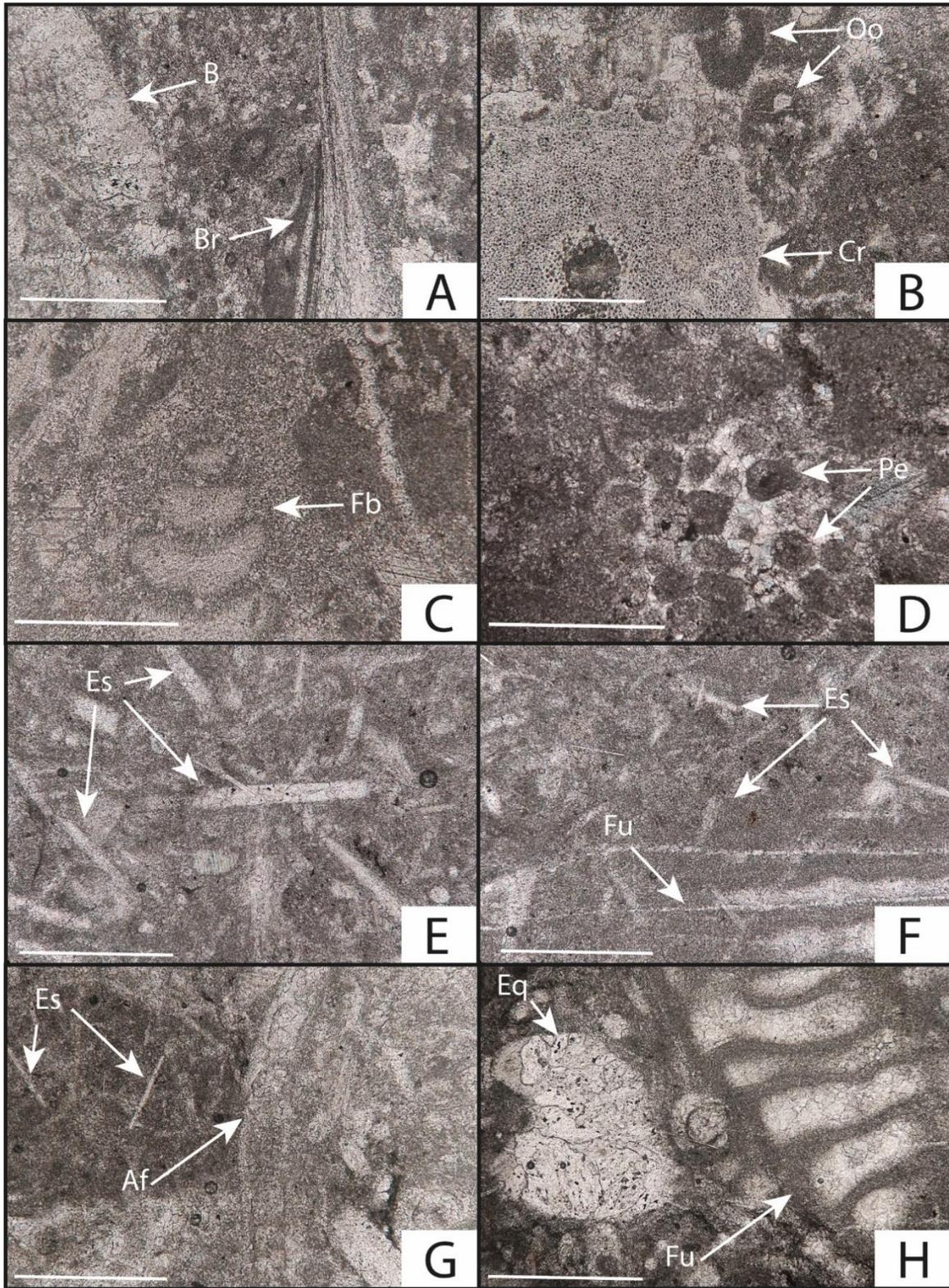


Figura 12. Figuras MF1SM1 (A-D) y figuras MF2SM1 (E-H). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfacies. Af: algas filiciales; B: briozoo; Br: braquiópodo; Cr: crinoideo; Eq: equinodermo; Es: espículas de esponja; Fb: foraminífero bentónico; Fu: fusulínido; Oo: ooides; Pe: peloides. Escala 500 μ m.

MF3SM1 Packstone-Grainstone con abundantes fragmentos de equinodermos y fusulínidos. Microfacies correspondiente a un flujo de detritos de matriz de calcita microcristalina, con abundantes fragmentos de equinodermos y fusulínidos, y algunos briozoos. En esta asociación, numerosos granos presentan diversos grados de abrasión, así como recubrimiento de lodo calcáreo (Figuras 13A-D).

- Interpretación paleoambiental

La asociación de esta microfacies corresponde a un ambiente de talud de la zona de facies FZ-4. La presencia de equinodermos, fusulínidos y briozoos con abrasión se puede asociar con un flujo de detritos, donde los elementos esqueléticos pertenecían a los bancos arrecifales próximos a la zona del talud (Flügel, 2010).

- MF4SM1 Wackestone-Packstone arenoso con bioclastos desgastados

Esta asociación se compone de matriz de calcita microcristalina con presencia de abundantes granos de cuarzo. Esta microfacies contiene numerosos fragmentos de equinodermos y algunos fragmentos de braquiópodos y briozoos. (Figuras 13E-H).

- Interpretación paleoambiental

Esta microfacies representa una zona en el pie del talud (FZ-3). La fuerte abrasión de los granos alóctonos del arrecife permiten referir este ambiente de depósito (Wilson, 1975). También el alto contenido de granos de cuarzo refleja una importante cercanía con la zona continental. Todos los granos muestran un grado alto de abrasión, lo cual aunado a lo observado en muestras de mano y en secciones delgadas, se pudo asociar con un flujo de detritos (Flügel, 2010).

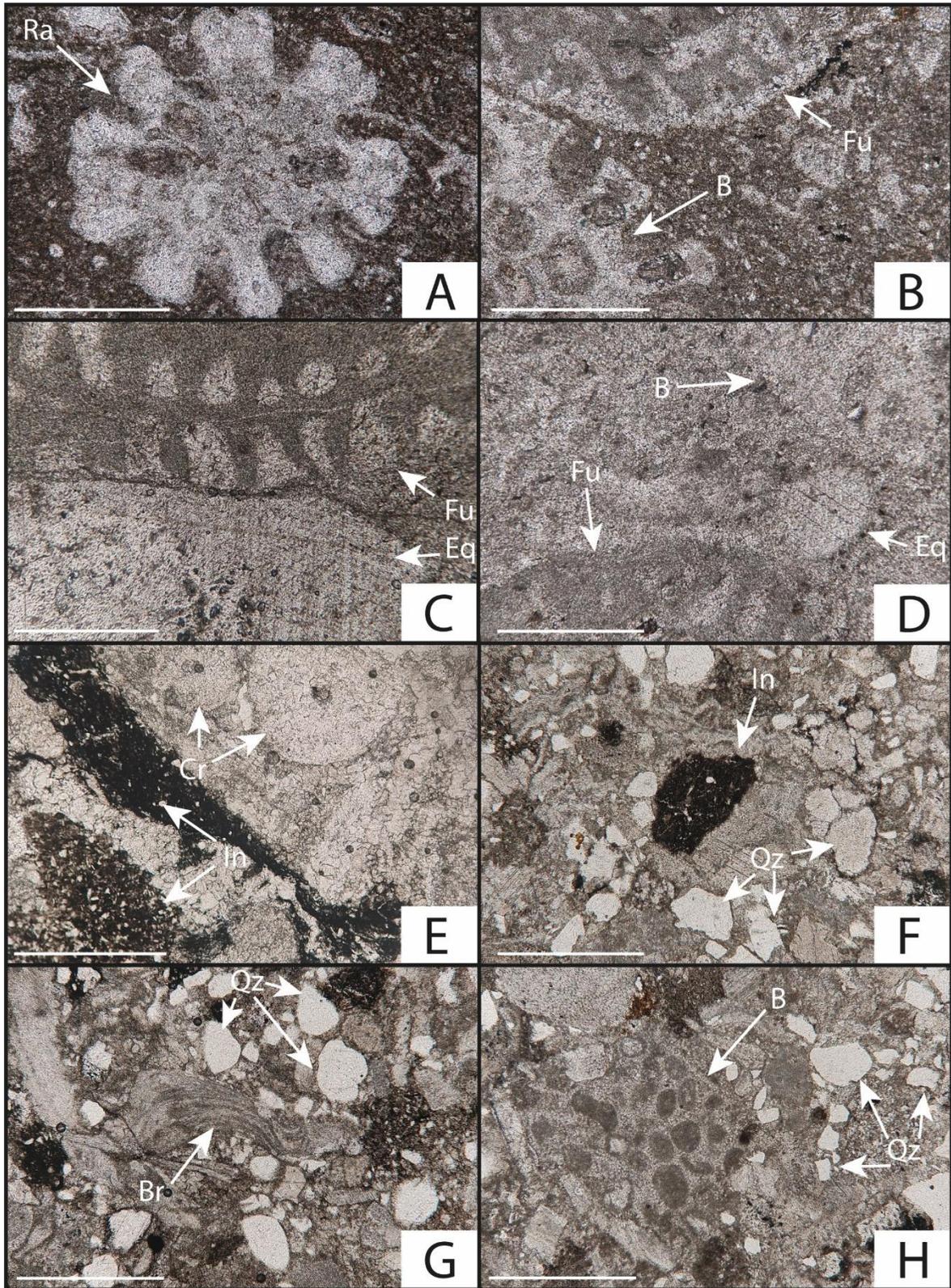


Figura 13. Figuras MF3SM1 (A-D) y figuras MF4SM1 (E-H). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfacies. B: briozoo; Br: braquiópodo; Cr: crinoideo; Eq: equinodermo; Fu: fusulínido; In: intraclasto; Qz: cuarzo (terrígeno); Ra: radiola de equinoideo. Escala 500 µm.

SECCIÓN SIERRA MARTÍNEZ 2

La Sección Sierra Martínez 2 se caracteriza por presentar tres asociaciones de facies (MF1SM2 a MF3SM2):

- MF1SM2 Wackestone-Packstone con numerosos fusulínidos

Esta asociación presenta una matriz de calcita microcristalina, con numerosos fusulínidos y peloides; además de algunos fragmentos de briozoos, algas filodiales, crinoideos y bioclastos. Destacan algunos granos con poca abrasión y otros con una buena conservación (Figuras 14A-D).

- Interpretación paleoambiental

Las características sedimentológicas presentes en las láminas permitieron establecer que el ambiente de depósito fue en la FZ-7, debido a la presencia de abundantes fusulínidos y peloides, los cuales fueron depositados en un ambiente de aguas marinas abiertas (Wilson, 1975).

- MF2SM2 Wackestone-Packstone con numerosas espículas de esponjas y otros bioclastos desgastados

Esta microfacies representa un flujo de detritos con una matriz de calcita microcristalina. En esta asociación abundan las espículas de esponjas, los fragmentos de equinodermos y los fusulínidos con evidente estado de abrasión, además de ocurrir algunos peloides y escasos fragmentos de algas filodiales. (Figuras 14E-H). Esta asociación de facies fue descrita por Lara-Peña (2019) como un Wackestone-Packstone arenoso con abundantes bioclastos; sin embargo, en este trabajo también se detectó la presencia de espículas monoxílicas de esponjas.

- Interpretación paleoambiental

Esta asociación constituye un ambiente de depósito de talud, de una zona de facies FZ-4. Se observa una mezcla de numerosas espículas de esponja con granos provenientes de la zona de arrecifes (fusulínidos, crinoideos y briozoos) y los bancos de arena, con lo cual el ambiente deposicional se pudo relacionar con dicha zona de facies (Wilson, 1975).

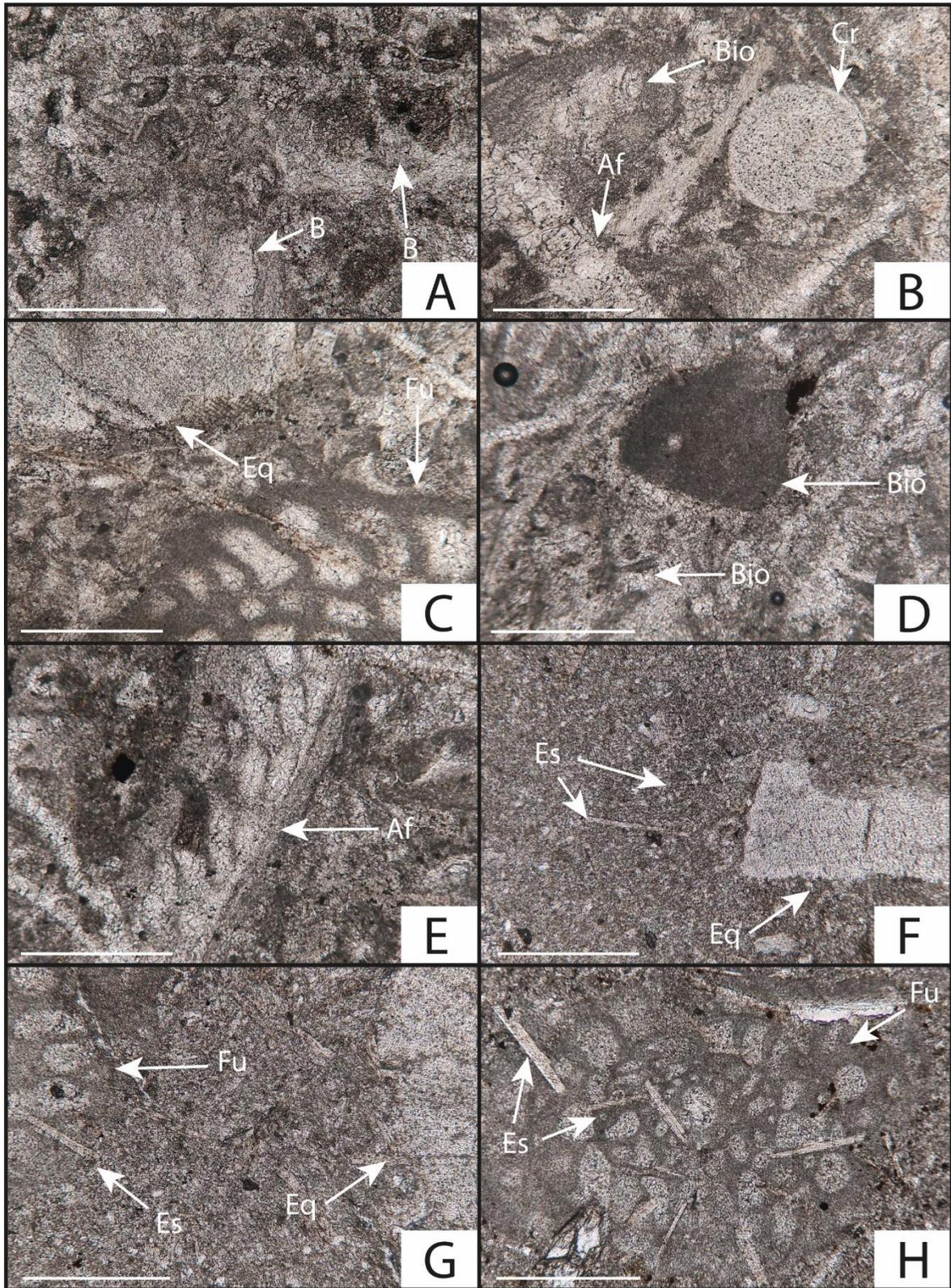


Figura 14. Figuras MF1SM2 (A-D) y figuras MF2SM2 (E-H). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfacies. Af: algas filodiales; B: briozoo; Bio: bioclastos; Cr: crinoideo; Eq: equinodermo; Es: espículas de esponja; Fu: fusulínido. Escala 500 μ m.

- MF3SM2 Grainstone-Wackestone con numerosos crinoideos articulados y otros bioclastos

Esta asociación de facies está caracterizada por representar un flujo de detritos con matriz de calcita microcristalina con numerosas placas articuladas de crinoideos; además de fragmentos de otros equinodermos, fusulínidos, briozoos y foraminíferos bentónicos con un alto grado de abrasión.

- Interpretación paleoambiental

Las características de los granos de esta facies permiten establecer un ambiente de depósito de talud, en la zona de facies FZ-4. Principalmente por la abrasión observada en los aloquímicos provenientes de las zonas arrecifales (Wilson, 1975).

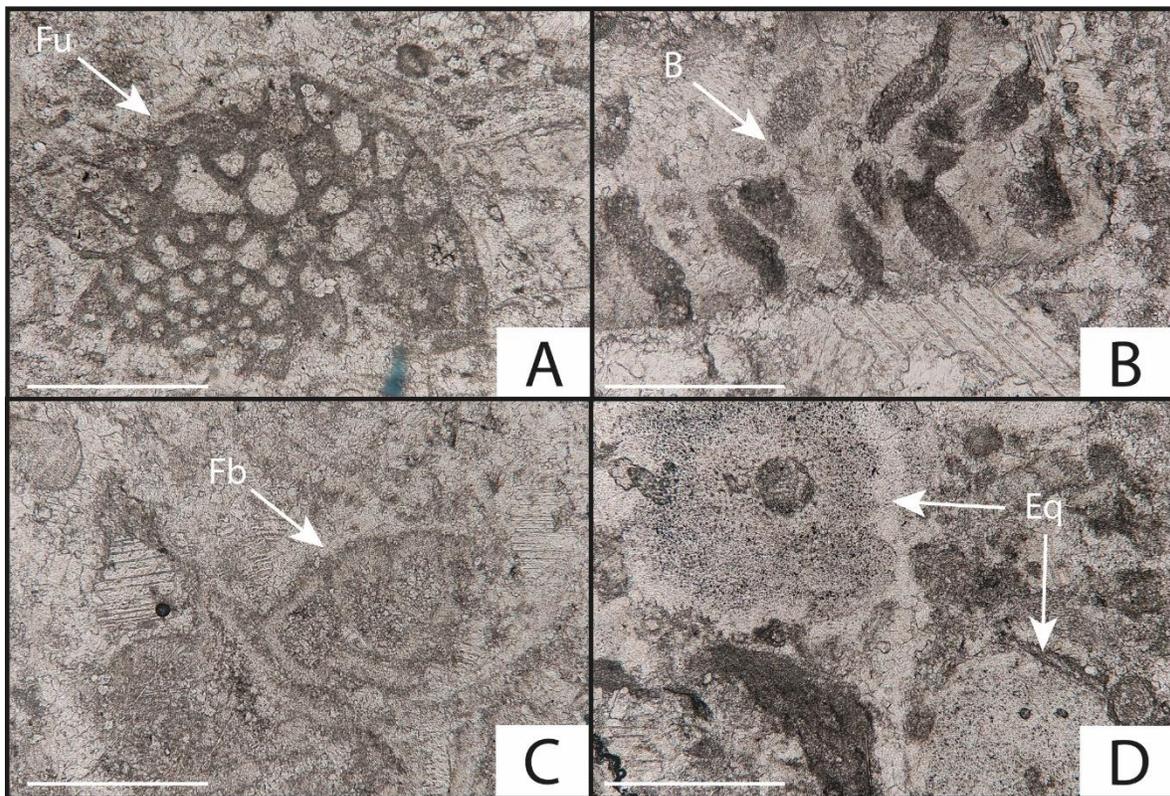


Figura 15. Figuras MF3SM2 (A-D). Las flechas indican los aloquímicos característicos de esta microfacies. B: briozoo; Eq: equinodermo; Fb: foraminífero bentónico; Fu: fusulínido. Escala 500 μ m.

El estudio de las microfacies permitió identificar los ambientes de depósito donde se encontraban los fusulínidos descritos de las tres secciones estratigráficas estudiadas. Dado que se ha señalado que estos foraminíferos habitaron principalmente ambientes someros (Stevens, 1966; Ross, 1995; Ross y Ross, 1995; Zhang y Wang, 2017), se puede establecer que su ocurrencia en las zonas de facies 7 (aguas abiertas) y 8 (restringida) del modelo de plataforma carbonatada bordeada de Wilson (1975) es común. No obstante, en este trabajo destaca la presencia de fusulínidos en las zonas de facies 2 (cuenca profunda), 3 (pie de talud), 4 (talud), 5 (margen de rampa) y 6 (bancos de arena) del modelo de Wilson (1975), cuyos hábitats no coinciden con los establecidos para estos foraminíferos del Paleozoico superior (p.ej. Stevens, 1966; Ross, 1995; Ross y Ross, 1995; Zhang y Wang, 2017).

Debido a esto, se puede considerar que todos los fusulínidos estudiados representarían elementos esqueléticos alóctonos, los cuales fueron transportados desde las zonas de aguas someras hacia zonas de mayor profundidad de la plataforma carbonatada. A pesar de esto, se pudo observar una buena conservación en las testas de diversos ejemplares (sin observarse un patrón relacionado con la lejanía o cercanía a la zona poco profunda de la plataforma), señalando que, a pesar del transporte al que estuvieron sometidos diversos especímenes de foraminíferos pudieron conservar sus rasgos taxonómicos más importantes. Esto se le ha atribuido a la configuración interna de los septos y a la composición de la testa, formada de una estructura microgranular de calcita homogénea baja en magnesio, lo cual les podía brindar una mayor resistencia al movimiento y transporte de las corrientes marinas (Ross, 1995; Boudaughier-Fadel, 2018; Dubicka et al., 2021). Este es el primer trabajo donde se relaciona a los fusulínidos con su ambiente deposicional en la región de Sonora central.

PALEOBIOGEOGRÁFICA

Durante el Carbonífero y Pérmico, la Tierra estuvo sometida a diversos cambios geológicos, incluyendo los correspondientes a la ubicación de las masas continentales. Para el Misisípico, la Tierra se encontraba organizada principalmente por dos supercontinentes: Laurentia al norte (América del Norte, Europa y Asia) y Gondwana al sur (América del Sur, la Antártida, India y Australia). Los dos supercontinentes se ubicaban en un solo hemisferio del planeta, además los cratones de China, Kazajstán y Siberia se encontraban en latitudes altas al noreste de Laurentia. Los mares carboníferos estaban representados por los océanos Pantalassa cubriendo la mayor parte del planeta, Paleotetis que rodeaba a Laurentia, Gondwana y China, y Rheico que separaba las masas continentales de Laurentia y Gondwana, el cual se cerró completamente para finales del Misisípico (Figura 16) (Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2022).

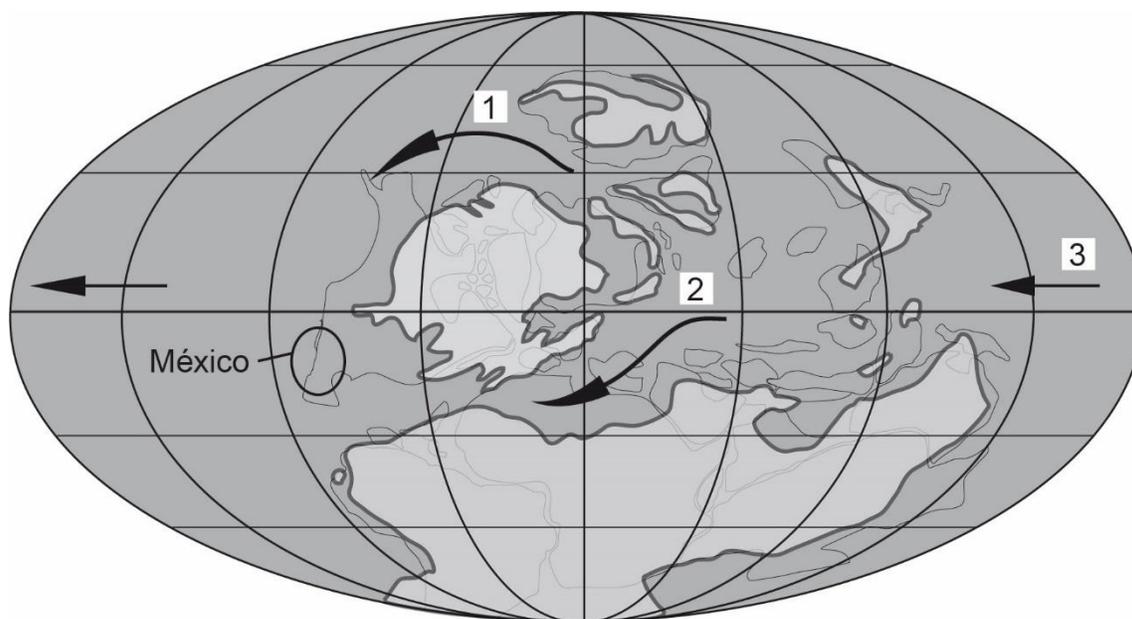


Figura 16. Mapa de la composición de las masas continentales durante el Misisípico, resaltando la ubicación que presentaba México. Corrientes oceánicas principales: 1) Boreal; 2) Océano Reico y 3) Circumecuatorial (Modificado de Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2022).

Para ese tiempo Oaxaquia, el cual incluye parte lo que actualmente son los estados de Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Tamaulipas, ya se encontraba unido al cratón norteamericano, cerca del denominado Mid-Continent de los Estados Unidos (Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2022). Por otro lado, la región actual de Chicomuselo, Chiapas, se encontraba cercana a la región sureste de los Estados Unidos (Molina-Garza et al., 1992; Weber et al., 2006, 2007).

Es por esto que se había propuesto (p. ej. Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2022) que existieron conexiones marinas entre las masas de agua someras de México con diversos territorios de los Estados Unidos, beneficiando la migración de muchos taxones marinos como los invertebrados y los protistas.

Para el Pensilvánico, Laurentia y Gondwana se fueron uniendo hasta formar el supercontinente de Pangea. Por lo que, Norteamérica y Europa quedaron ubicadas aún cercanas a la zona ecuatorial y los cratones de China y Siberia en latitudes más altas. Como consecuencia de la nueva conformación de las masas continentales se formaron dos grandes masas oceánicas: Pantalassa y Paleotetis. Destaca, que desde el Pensilvánico Temprano, tras el cierre del océano Rheico las corrientes marinas se modificaron, principalmente la corriente circumequatorial, formando un corredor de aguas cálidas hacia el norte (corredor Frankliniano) y otro al sur (Paleotetis), desplazando aguas cálidas de zonas ecuatoriales hacia latitudes de zonas más frías, lo que generó un aislamiento geográfico al este y oeste de Pangea, regionalizando varios taxones de foraminíferos e invertebrados como bivalvos, gasterópodos y braquiópodos (Figura 17) (Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2022).

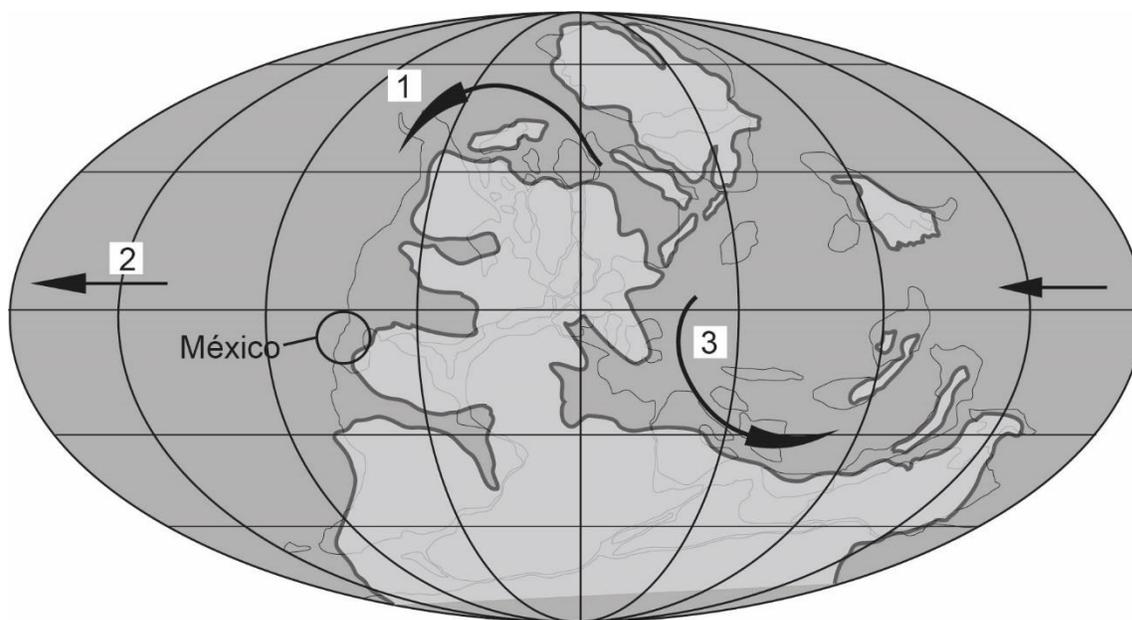


Figura 17. Mapa de la composición de las masas continentales durante el Pensilvánico, dónde se resalta la ubicación que presentaba México. Corrientes oceánicas principales: 1) Corredor Frankliniano, 2) Circumequatorial y 3) Paleotetis (Modificado de Torres-Martínez y Sour-Tovar, 2022).

Hacia el Pérmico temprano, la región noroeste de Gondwana se unió con la porción sur de Laurentia, formando la orogenia Alegheniana de Norteamérica. Durante el Pérmico medio, Pangea quedó completamente formada con la adición del cratón Siberiano con Kazajstán y el norte del cratón de China, a las costas del norte de Laurentia. Solo la región sur del cratón de China quedó completamente aislada de Pangea rodeado por el Paleotetis. Durante este período hubo diversas fluctuaciones del nivel del mar, por el derretimiento del glaciar gondwánico. Estas variaciones produjeron eventos de diversificación y extinción de taxones marinos como los crinoideos y fusulínidos (Figura 18) (Isbell et al, 2003; Torres-Martínez et al., 2017; Escobedo-Aguilar, 2022).

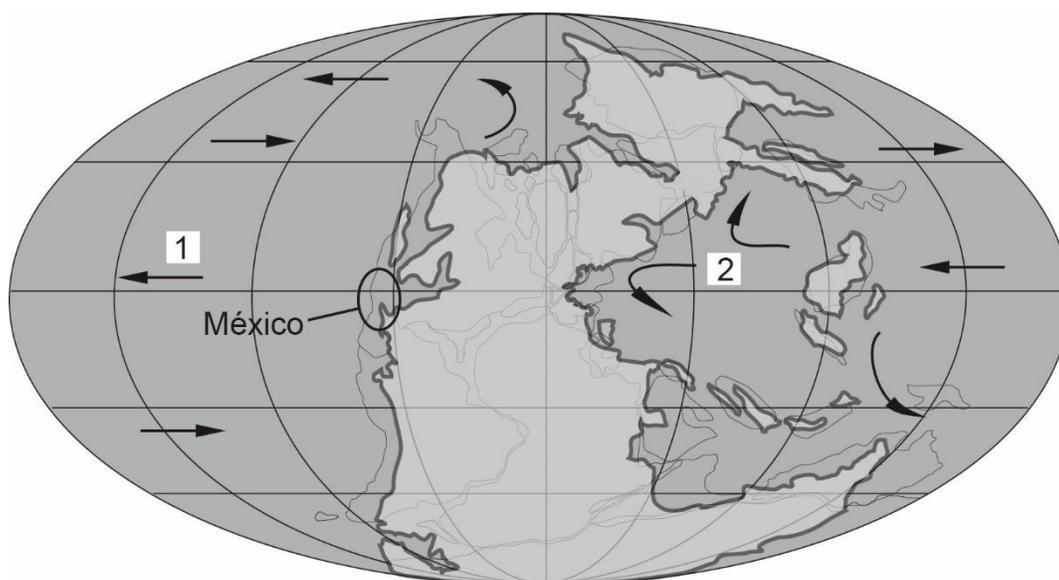


Figura 18. Mapa de la composición de las masas continentales del Pérmico con una Pangea formada, resaltando la ubicación que presentaba México. Corrientes oceánicas principales: 1) Circumecuatorial y 2) Paleotetis (Modificado de Torres-Martínez et al., 2019).

En lo que concierne específicamente a los fusulínidos, para finales del Paleozoico tuvieron una amplia distribución y radiación en todo el mundo, lo cual se fue modificando a través del Carbonífero y Pérmico. Para el Misisípico, los fusulínidos presentaban una amplia distribución geográfica favorecida por la presencia del océano Rheico, que funcionaba como un corredor marítimo entre diferentes zonas del planeta. Debido al aislamiento geográfico de las regiones del este y oeste de Norteamérica, se obstaculizó el intercambio biótico de ambas regiones, generando ciertos endemismos en el margen suroeste de Laurentia, en los territorios

de lo que actualmente forma parte de México y los Estados Unidos (Stevens, 1977; Ross, 1995).

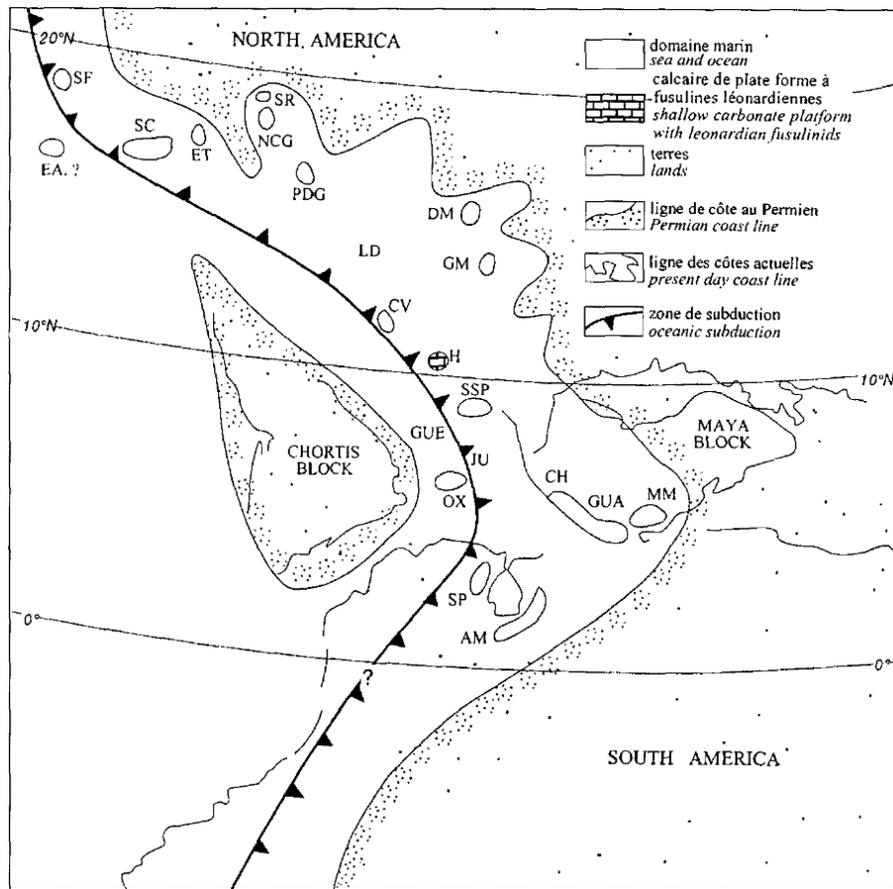


Figura 19. Mapa paleobiogeográfico de México durante el Pérmico inferior. Abreviaturas: AM: Andes de Mérida (Venezuela); CH: Estado de Chiapas; CV: Ciudad Victoria (Tamaulipas); DM: Diablo Mountains (Texas); EA: El Antimonio (Sonora); ET: El Tigre (Sonora); GM: Glass Mountains (Texas); GUA: Guatemala; GUE: Estado de Guerrero; H: Hidalgo; JU: Juchatengo (Oaxaca); LD: Las Delicias (Coahuila); MM: Montañas Mayas (Belice); NCG: Nuevo Casas Grandes (Chihuahua); OX: Estado de Oaxaca; PDG: Placer de Guadalupe (Chihuahua); SC: Sonora central; SF: San Felipe (Baja California); SP: Sierra de Perijá (Colombia); SR: Sierra de Santa Rita (Chihuahua); SSP: San Salvador Patlanoaya (Puebla) (Tomado de Vachard et al., 2000b).

En la región de Sonora Central los fusulínidos reportados por King (1939), Dunbar (1939), Cooper y colaboradores (1953), Pérez-Ramos (1992), Pérez-Ramos (2001), Pérez-Ramos y Nestell (2002), Pérez-Ramos y Palafox-Reyes (2013), y Stevens y colaboradores (2014) se pueden correlacionar con los descritos previamente en Arizona (Sabins y Ross, 1963; Ross y Tyrrell, 1965), California (Thompson et al., 1946; Skinner y Wilde, 1965; Ross y Sabins, 1966; Rich, 1971; Stevens, 1987), Nevada (Skinner y Wilde, 1966), Nuevo México (Skinner, 1971) y Texas (Dunbar y Skinner, 1931, 1937; Ross, 1960, 1962, 1963; Kauffman y Roth, 1966; Skinner, 1971; Lambert et al., 1995; Wilde, 1995a, 1995b) en los Estados

Unidos, además de los estudiados en Baja California (Gastil et al., 1973), Coahuila (Wardlaw et al., 1979), Chihuahua (Díaz y Navarro, 1964a, 1964b; Sanderson y Fickman, 1964), Chiapas (Thompson y Miller, 1944) y Puebla (Vachard et al., 2000a, 2000b) en México, junto con los de Guatemala (Kling, 1960; Vachard et al., 1997) (Figura 16).

De acuerdo con los trabajos de Yancey (1975), Shen y colaboradores (2009) y Torres-Martínez y colaboradores (2016, 2019), en estas regiones se distribuyeron los taxones pertenecientes a la Provincia Biótica Grandiana, la cual se desarrolló durante el Pérmico temprano-medio (Cisuraliano-Guadalupeño) en los actuales territorios de Texas y Nuevo México de los Estados Unidos, oeste de Sonora, Coahuila y Chiapas de México, Huehuetenango en Guatemala y Palmarito en Venezuela. Esta se caracterizaba por sus aguas cálidas con una alta diversidad taxonómica, representada por la presencia de foraminíferos de gran tamaño (incluidos los fusulínidos), corales, esponjas, briozoos, algas, braquiópodos (Lyttoniidae y Richthofeniidae) y moluscos ornamentados (Yancey, 1975).

Cabe resaltar que *Paraskinnerella skinneri* se ha reportado en la Formación Leonard del Pérmico inferior del oeste de Glass Mountains, Texas (Ross, 1962; Ross y Ross, 2003), en la parte superior del Grupo Owens Valley del Pérmico inferior de California (Magginetti, et al., 1988), en la Caliza Colina del Pérmico inferior que aflora al sureste de Arizona (Pérez-Ramos, 1992; Stevens et al., 2015), en la Formación El Tigre de Sonora central (Pérez-Ramos, 1992) y en la Formación Patlanoaya del Pérmico inferior de Puebla (Vachard et al., 2000a, 2000b). *Praeskinnerella crassitectoria* ha sido registrada en las formaciones Leonard y Bone Spring del Pérmico inferior del oeste de Glass Mountains, Texas (Dunbar y Skinner, 1931, 1937; Ross, 1962; Ross y Ross, 2003; Wahlman et al., 2017). *Skinnerella imlayi* ha sido descrita para la Formación Gruperá del Pérmico inferior de Chiapas (Thompson y Miller, 1944) y en la Formación Patlanoaya del Pérmico inferior de Puebla (Vachard et al., 2000a, 2000b). En tanto que *Eoparafusulina linearis* ha sido reportada previamente para las formaciones Wolfcamp y Lenox Hills en el oeste de Glass Mountains y Hueco Mountains de Texas (Dunbar y Skinner, 1931, 1937; Ross, 1960, 1962, 1963; Ross y Ross, 2003). Por lo tanto, la ocurrencia de *Paraskinnerella skinneri*, *Praeskinnerella crassitectoria*, *Skinnerella imlayi* y *Eoparafusulina linearis* permite sugerir que las biotas de fusulínidos del Wolfcampiano y Leonardiano (Pérmico inferior) de las secciones Las Rastras y Sierra Martínez 2 también formaban parte de la denominada Provincia Grandiana.

CONCLUSIONES

- Se reportan las especies de *Parafusulina* sp., *Paraskinnerella* cf. *skinneri*, *Praeskinnerella crassitectoria*, *Skinnerella cobachiensis*, *Skinnerella imlayi* y *Eoparafusulina* cf. *linearis* del cerro Las Rastras y Sierra Martínez, Sonora, México.

- *Paraskinnerella skinneri*, *Praeskinnerella crassitectoria*, *Skinnerella cobachiensis* y *Skinnerella imlayi* permitieron asignar una edad del Artinskiano superior-Kunguriano inferior (=Leonardiano inferior-medio) para la Sección Las Rastras.

- *Eoparafusulina linearis* presente en un estrato de la Sección Sierra Martínez 2 sugiere una edad mínima del Artinskiano medio (=Wolfcampiano superior) para las rocas portadoras.

- La falta de testas de fusulínidos identificables en la Sección Sierra Martínez 1 no permitió realizar el análisis bioestratigráfico correspondiente.

- Los fusulínidos de las secciones estratigráficas Las Rastras y Sierra Martínez 2 permiten establecer una edad del Artinskiano medio-Kunguriano temprano (=Wolfcampiano tardío-Leonardiano medio) para las unidades estudiadas.

- Con respecto a las características paleoambientales se pudo observar que los fusulínidos de la Sección Las Rastras fueron redepositados en facies de zonas profundas, talud y bancos de arena de una plataforma carbonatada, mientras que los de la Sección Sierra Martínez 1 indican depósitos en ambientes de bancos de arena al pie del talud y los de la Sección Sierra Martínez 2 en ambientes de talud y aguas abiertas. Dado que los ejemplares se encontraron depositados en ambientes que no habitaban dichos foraminíferos, se puede señalar que todos los especímenes eran elementos alóctonos de las diferentes asociaciones de facies.

- La biota de fusulínidos del Wolfcampiano y Leonardiano (Pérmico inferior) de las localidades estudiadas se puede correlacionar con las faunas reportadas en la denominada Provincia Biótica Grandiana.

REFERENCIAS

- Aguilera, J.G. 1896. Bosquejo geológico-Sinopsis de la geología mexicana. Boletín del Instituto Geológico de México, 4-6:189-250.
- Almazán-Vázquez, E. 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi del estado de Sonora, UNAM, Instituto de Geología. Revista, 8: 58-66.
- Bensh, F.R. 1991. *Praeskinnerella*-novoye nazvaniye dlya roda *Guembelites* Bensh, (Fusulinida) - *Praeskinnerella*, a new name for the genus *Guembelites* Bensh, (Fusulinida). Paleontologicheskii zhurnal, 4: 107.
- Boudaughier-Fadel, M.K. 2018. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. UCL Press. London, UK, 695 p.
- Brazhnikova, N.E. y Vdovenko, M.V. 1973. Early Visean foraminifers from Ukraine: Vidavintsvo "Naukova Dumka", Kiev, 296 p.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Almazán-Vázquez, E. y Gómez-Espinosa, C. 2010. Paleontología General. Invertebrados. Editorial Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Segunda Edición, 317 p.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E. y Palafox, J.J. 2012. Una secuencia cratónica del Carbonífero al Pérmico inferior expuesta en los cerros El Tule, noreste de Sonora, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(1), 39-62.
- Coogan, A.H. 1960. Stratigraphy and Paleontology of the Permian Nosoni and Dekkas Formations (Bollibokka Group). University of California Publications in Geological Sciences, 36(5):243-315.
- Cooper, G.A. (1953). Stratigraphy and Faunal zones. En: Cooper, G.A., Dunbar, C.O., Duncan, H., Miller, A.K. y Knight, J.B (Eds.). Permian Fauna at El Antimonio, Western, Sonora, Mexico. Smithsonian Miscellaneous Collection, 119 (2): 1-13.
- Cooper, G.A. y Arellano, A.R. 1946. Stratigraphy near Caborca, Northeastern Sonora, México. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 30: 606-611.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A. y Lochman, C. 1952. Cambrian Stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, Mexico. Smithsonian Miscellaneous Collection, 119 (1): 1-35.
- D'Orbigny, A.D. 1826. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. Annales des Sciences Naturelles, (7) : 96-169, 245-314.

- Díaz, T. y Navarro, A. 1964a. Lithology and stratigraphic correlation of the upper Paleozoic in the region of Palomas, Chihuahua. West Texas Geological Society, Midland, Texas, 64-50: 65-84.
- Díaz, T. y Navarro, A. 1964b. Litología y correlación estratigráfica del Paleozoico superior en la región de Palomas, Chihuahua, México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 16: 107-120.
- Dubicka, Z., Gajewska, M., Kozłowski, W. y Mikhalevich, V. 2021. Test structure in some pioneer multichambered Paleozoic foraminifera. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(26), e2100656118.
- Dunbar, C.O. 1939. Permian fusulines from Sonora. Geological Society of America Bulletin, 50(11), 1745-1760.
- Dunbar, C.O. y Skinner, J.W. 1937. Permian Fusulinidae of Texas; En: Dunbar, C.O. y Skinner, J.W (Eds.). The geology of Texas. Texas University Bulletin, 3701, 3(2): 517-825.
- Dunbar, C.O., Skinner, J.W. 1931. New fusulinid genera from the Permian of west Texas. American Journal of Science, 5-22(129): 252-268.
- Dunbar, C.O. y Henbest, L.G. 1930. The fusulinid genera *Fusulina*, *Fusulinella*, and *Wedekindella*. American Journal of Science, 5(119), 357-364.
- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Ham, W. E (Eds.). Classification of Carbonate Rocks. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1, 108-121.
- Escobedo Aguilar, I.A. 2022. Revisión de los crinoideos del Paleozoico superior de México y sus implicaciones paleoambientales, estratigráficas y paleobiogeográficas. Seminario de Titulación. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 55 p.
- Fitz-Díaz, E., Hernández-Vergara, R., Ortega-Gutiérrez, F., Sanz-Valencia, J., Albarrán-Santos, M.A. y Pi-Puig, T. 2021. Kinematics and Ar–Ar illite age of deformation in the late Paleozoic Chicomuselo Fold-Thrust Belt (CFTB), Chiapas, Mexico and tectonic implications, Journal of south American Earth Sciences, 113(113), 13.
- Flügel, E. 2010. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 984 p.

- Fries, Jr. C. 1962. Reseña de la geología del Estado de Sonora, con énfasis en el Paleozoico. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 14, 257–273.
- Fursenko A.V. 1958. Osnovnye etapy razvitiya fauny foraminifer v geologicheskom proshlom (Fundamental stages of development of foraminiferal fauna in the geological past). *Trudy Instituta Geologicheskikh Nauk, Akademiya Nauk Beloruskoi SSR*, 1: 10-29.
- Gastil, R.G., Lemone, D.V. y Stewart, W.J. 1973. Permian fusulinids from near San Felipe, Baja California. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 57(4), 746-747.
- Godínez-Urban, A. 2009. Paleomagnetismo de la Formación Todos Santos, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 161 p.
- Gómez-Espinosa, C., Vachard, D., Buitrón-Sánchez, B.E., Almazán-Vázquez, E. y Mendoza-Madera, C. 2008. Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (northwestern México), and their biostratigraphic and palaeobiogeographic implications. *Comptes Rendus Palevol*, 7(5), 259-268.
- Hageman, S.A. y Kaesler, R.L. 1998. Wall structure and growth of fusulinacean foraminifera. *Journal of Paleontology*, 181-190.
- Hernández-García, R. 1973. Paleogeografía del Paleozoico de Chiapas. México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 25(1-3), 77-134.
- Hewett R.L. 1978. Geology of the Cerro La Zacatera area, Sonora, México. Tesis Doctoral Northern Arizona University, 99 p.
- Isbell, J.L., Lenaker, P.A., Askin, R.A., Miller, M.F., Babcock, L.E. 2003. Reevaluation of the timing and extent of late Paleozoic glaciation in Gondwana. Role of the Transantarctic Mountains. *Geology* 31, 977–980.
- Kanmera, K. 1963. Fusulines of the Middle Permian Kozaki Formation of Southern Kyushu. *Memoirs Faculty Sciences Kyushu University, D, Geology*. 14, 2: 79-141.
- Kanmera, K., Ishii, K. y Toriyama, R. 1976. The evolution and extinction patterns of Permian fusulinaceans. En: Kobayashi, T., Hashimoto, W. (Eds.), *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*. The University of Tokyo Press, Tokyo 17, 129–154.
- Kauffman, A.E. y Roth, R.L. 1966. Upper Pennsylvanian and Lower Permian fusulinids from North-Central Texas. *Cushman Foundation Foraminiferal Research, Special Publication* 8, 49 p.

- King, R.E. 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of México. Geological Society of America Bulletin, 50(11), 1625-1722.
- Kling, S.A. 1960. Permian fusulinids from Guatemala. Journal of Paleontology, 34: 637-655.
- Lambert, L.L., Wardlaw B.R. y Glenister B.F. 1995. West Texas Permian series as world chronostratigraphic reference standards, a status report. West Texas Geological Society, 95-97:123-133.
- Lara-Peña, R.A. 2019. Conodontos del Pérmico de Sonora: Bioestratigrafía y paleobiogeografía. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, 134 p.
- Lara-Peña, R.A., Navas-Parejo, P. y Amaya-Martínez, R. 2020. New conodont data related to the western Ouachita-Marathon-Sonora orogen: Age of the autochthonous Laurentian deformation. Journal of South American Earth Sciences, 103, 102763.
- Lara-Peña, R.A., Navas-Parejo, P. y Torres-Martínez, M.A. 2021. Permian autochthony of northwestern Mexico based on conodont paleogeographic relationships with southwestern Laurentia. Newsletters on Stratigraphy, 54(3): 363-376.
- Leven, E.J. 1992. Fusulinids, in Perm'Darvaz-Zaalayskoy zony Pamira (fusulinidy, ammonoidei, stratigrafiya). Rossiyskaya Akademiya Nauk, Trudy Paleontologicheskogo Instituta, 253:64-109.
- Loeblich Jr, A.R. y Tappan, H. 2015. Foraminiferal genera and their classification. Springer.
- Magginetti, R.T., Stevens, C.H. y Stone, P. 1988. Early Permian fusulinids from the Owens Valley Group, east-central California. Boulder: Geological Society of America, Special Paper 217, 61 p.
- Maslakova, N.I. 1990. Критерии выделения высших таксонов фораминифер - Criteria of establishing of higher taxa in Foraminifera, p. 22-27. Систематика и филогения беспозвоночных. Systematics and phylogeny of Invertebrata. Izdatelstvo Nauka, Moscow.
- Miklukho-Maklay, A.D. 1953, К систематике семейства Fusulinidae Moeller: On the systematics of the family Fusulinidae Moeller, Uchenye Zapiski Leningradskogo Ordena Lenina Gosudarstvennogo Universiteta im A. S. Bubnova, Ser. Geol, 159(3): 12-24.
- Molina-Garza, R.S., van der Voo, R. y Urrutia-Fucugauchi, J. 1992. Paleomagnetism of the Chiapas Massif, southern Mexico: evidence for rotation of the Maya block and the implications for the opening of the Gulf of Mexico. Geol. Soc. Am. Bull. 104, 1156-1168.

- Pérez-Ramos, O. 1992. Permian biostratigraphy and correlation between southeast Arizona and Sonora. *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 9 (2), 1-74.
- Pérez-Ramos, O. 2001. Bioestratigrafía del Pérmico en Sonora y consideraciones paleobiogeográficas. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, 173 p.
- Pérez-Ramos, O. y Palafox-Reyes, J.J. 2013. Fusulínidos del Pérmico de Cerro Prieto, centro-oeste de Sonora, México. *Paleontología Mexicana*, 3(1), 38-50.
- Pérez-Ramos, O. y Nestell, M. 2002, Permian fusulinids from Cobachi, central Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 1, 25-37.
- Poole, F.G., Perry, W.J., Jr., Madrid, R.J. y Amaya-Martínez, R. 2005. Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events and plate tectonic model. *Geological Society of America Special Paper 393*, 543-596.
- Rauzer-Chernousova, D.M. 1948. Some new species of foraminifera from the Lower Carboniferous deposits of the Moscow Basin. *Trudy Instituta Geologicheskikh Nauk, Akademiya Nauk SSSR*, 62, 227-238.
- Rauzer-Chernousova, D.M., Bensch, F.R., Vdovenko, M.V., Gibshman, N.B., Leven, E.Ya., Lipina, O.A. Reitlinger, E.A., Solovieva, M.N. y Chediya, I.O. 1996. Справочник по систематике фораминифер палеозоя (эндотироиды, фузулиноиды) - Handbook on taxonomy of Paleozoic foraminifera (endotyroids, fusulinoids). Nauka, 1-205.
- Rich, M. 1971. Fusulinids from central Mojave Desert area, California. *Journal of Paleontology*, 45: 1022-1027.
- Rigaud, S. Vachard, D. y Martini R. 2014. Unsuspected phylogenetic links between Paleozoic Fusulinana and Recent Textulariana. Conference: International Symposium on Foraminifera FORAMS 2014, Chile, p. 4.
- Ross, C. 1995. Permian fusulinaceans. En : Scholle, T. y Perry, O. (Eds.). *The Permian of northern Pangea, V.1. Paleogeography, Paleoclimates, Stratigraphy*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 167-185.
- Ross, C.A. 1960. Fusulinids from the Hess Member of the Leonard Formation, Leonard series (Permian), Glass Mountains, Texas. *Contributions Cushman Foundation Foraminiferal Research*, 11: 117-133.

- Ross, C.A. 1962. Fusulinids from the Leonard Formation (Permian) Western Glass Mountains, Texas. Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 13(1): 1-21.
- Ross, C.A. 1963. Standard Wolfcampian Series (Permian), Glass Mountain, Texas. Geological Society of America, 88, 205.
- Ross, C.A. y Ross, J.R. 2003. Sequence evolution and sequence extinction: Fusulinid biostratigraphy and species-level recognition of depositional sequences, Lower Permian, Glass Mountains, West Texas, USA. En: Olson H.C. y Leckie M. Micropaleontologic Proxies for Sea-Level Change and Stratigraphic Discontinuities. Society for Sedimentary Geology Special Publication 75: 317-359.
- Ross, C.A. y Ross, J.R. 1995. Foraminiferal zonation of late Paleozoic depositional sequences. Marine Micropaleontology, 26(1-4), 469-478.
- Ross, C.A. y Tyrrell W.W. 1965. Pennsylvanian and Permian Fusulinids from the Whetstone Mountains, Southeast Arizona. Journal of Paleontology, 39: 615-635.
- Ross, C.A. y Sabins, F.F. 1966. Permian fusulinids from El Paso Mountains, California. Journal of Paleontology, 155-161.
- Sabins, F.F. y Ross, C.A. 1963. Late Pennsylvanian-Early Permian Fusulinids from Southeast Arizona. Journal of Paleontology, 37: 323-365.
- Sanderson, G.A. y Fickman, P. 1964. Fusulinids of the Placer de Guadalupe. Cerro de Enmedio areas Chihuahua, Mexico. Field Trip Guidebook, West Texas Geological Society Publication, 64, 99-103.
- Schmidt, G.T. 1978. Geology of the northern Sierra El Encinal, Sonora, México. Tesis Doctoral. Northern Arizona University, 80 p.
- Shen, S.Z., Xie, J.F., Zhang, H. y Shi, G.R. 2009. Roadian–Wordian (Guadalupian, middle Permian) global palaeobiogeography of brachiopods. Global and Planetary Change, 65(3-4), 166-181.
- Skinner, J.W. 1971. New Lower Permian Fusulinids from Culberson County, Texas. The University of Kansas, Paleontological Contribution, 53, 10 p.
- Skinner, J.W. Wilde, G.L. 1965. Permian biostratigraphy and fusulinid faunas of the Shasta Lake area, northern California. The University of Kansas Paleontological Contributions, Protozoa, 6: 1-98.

- Skinner, J.W. y Wilde, G.L. 1966. Permian fusulinids from northwestern Nevada. The University of Kansas, Paleontological Contribution, 4, 1, 10 p.
- Stevens, C.H. 1966. Paleoecologic implications of Early Permian fossil communities in eastern Nevada and western Utah. Geological Society of America Bulletin, 77(10), 1121-1130.
- Stevens, C.H. 1987. Affinities of Permian fusulinid faunas in the Golconda Allochthon and Northern Sierra Nevada. 83rd Annual Meeting Cordilleran Section. The Geological Society of America, Abstracts with Programs, Hilo, Hawaii, p. 455.
- Stevens, C.H. 1977. Permian depositional provinces and tectonics, western United States. En: Pacific Coast Paleogeographic Symposium I: Paleozoic Paleogeography of the western United States. Stewart, J, Stevens, C. y Fritsche, A. (Eds.). Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, California, 113-135.
- Stevens, C.H. 2010. Distribution of three key Early Permian fossil groups in western USA and northern México and their relevance to interpretation of paleotectonic features along the southwestern margin of Laurentia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, and Palaeoecology, 288, 103-107.
- Stevens, C.H., Poole, F.G. y Amaya-Martínez, R. 2014. Late Paleozoic fusulinids from Sonora, México: Importance for interpretation of depositional settings, biogeography, and paleotectonics. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 31(1), 14-27.
- Stevens, C.H. y Stone, P. 2007. The Pennsylvanian-Early Permian Bird Spring carbonate shelf, southeastern California: Fusulinid biostratigraphy, paleogeographic evolution, and tectonic implications. Special Paper of the Geological Society of America, 429: 1-82.
- Stevens, C.H., Stone, P., y Maggini, R.T. 2015. Regional implications of new chronostratigraphic and paleogeographic data from the Early Permian Darwin Basin, east-central California. Stratigraphy, 12(2), 149-166.
- Stevens, C.H., Wagner, D.B. y Sumsion R.S. 1979. Permian fusulinid biostratigraphy, Central Cordilleran Miogeosyncline. Journal of Paleontology, 53: 29-36.
- Stewart, J.H. 1982. Regional relations of Proterozoic Z and lower Cambrian rocks in the Western United States and Northern Mexico: En: Cooper J.D., Troxel, B.W. y Wright, L.A. (Eds). Guidebook Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains,

- Western Mojave Desert, and South Great Basin California: Anaheim California, Geological Society of America, Annual Meeting, 171-186.
- Tappan, H. y Loeblich Jr, A.R. 1988 Foraminiferal evolution, diversification, and extinction. *Journal of Paleontology*, 695-714.
- Thompson, M.L. y Miller, A.K. 1944. The Permian of Southernmost Mexico and Its Fusulinid Faunas. *Journal of Paleontology*, 18(6): 481-504.
- Thompson, M.L., Wheeler, H.E. y Hazzard, J.C. 1946. Permian Fusulinids of California. Geological Society of America. *Memoir* 17, 77 p.
- Torres-Martínez, M.A., Barragán, R., Sour-Tovar, F. y González-Mora, S. 2017. Depositional paleoenvironments of the Lower Permian (upper Cisuralian) carbonate succession of Paso Hondo Formation in Chiapas State, southeastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 254–263.
- Torres-Martínez, M.A., Heredia-Jiménez, D.P., Sour-Tovar, F., Buitrón-Sánchez, B.E. y Barragán, R. 2019. Permian brachiopods from Chiapas, Mexico: new stratigraphical and paleobiogeographical insights. *PalZ*, 93(4), 607-624.
- Torres-Martínez, M.A., Sour-Tovar, F. y Barragán, R. 2016. Permian (Leonardian) brachiopods from Paso Hondo Formation, Chiapas, southern Mexico. Paleobiogeographical implications. *Journal of South American Earth Sciences*. 71, 71-81.
- Torres-Martínez, M.A. y Sour-Tovar, F. 2022. New rhynchonellid and spire-bearing brachiopods from the Carboniferous of Mexico. Paleogeographical significance of the Oaxacan brachiopod fauna through the Serpukhovian–Moscovian. *Journal of Paleontology*, 1-22.
- Ueno, K. 2006. The Permian antitropical fusulinoidean genus *Monodiexodina*: Distribution, taxonomy, paleobiogeography and paleoecology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3-4), 380-404.
- Vachard, D., de Dios, A.F., Buitrón, B.E. y Grajales, M. 2000a. Biostratigraphie par fusulines des calcaires carbonifères et permians de San Salvador Patlanoaya (Puebla, Mexique). *Geobios*, 33(1), 5-33.
- Vachard, D., de Dios, A.F., Pantoja, J., Buitrón, B.E., Arellano, J. y Grajales, M. 2000b. Les fusulines du Mexique, une revue biostratigraphique et paléogéographique. *Geobios*, 33(6), 655-679.

- Vachard, D., Fourcade E., Romero J.E., Mendez J., Cosillo A., Alonzo M., Requena J., Azema J. y Cros P. 1997. Foraminifères et algues de la Formation Chóchal, Permien du Guatemala. *Geobios*, 30: 745-784.
- Vachard, D., Pille, L. y Gaillot, J. 2010. Palaeozoic Foraminifera: systematics, palaeoecology and responses to global changes. *Revue de micropaléontologie*, 53(4), 209-254.
- Wahlman, G.P., Pate, C.R., Rohr, D.M. y Ross, C.A. 2017. Leonardian (Lower Permian) fusulinids from the Cibolo Formation, Chinati Mountains, Presidio County, Texas, USA. *Stratigraphy*, 14(1-4), 425-441.
- Wardlaw, B.R., Furnish, W.M. y Nestell, M.K. 1979. Geology and paleontology of the Permian beds near Las Delicias, Coahuila, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 111-116.
- Weber, B., Iriondo, A., Premo, W.R., Hecht, L. y Schaaf, P. 2007. New insights into the history and origin of the southern Maya block, SE Mexico: U-Pb-SHRIMP zircon geochronology from metamorphic rocks of the Chiapas massif. *International Journal of Earth Sciences*, 96, 253-269.
- Weber, B., Schaaf, P., Valencia, V.A., Iriondo, A. y Ortega-Gutiérrez, F. 2006. Provenance ages of late Paleozoic sandstones (Santa Rosa Formation) from the Maya block, SE Mexico: Implications on the tectonic evolution of western Pangea. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(3), 262-276.
- Wedekind, R. 1937. Einführung in die Grundlagen der historischen Geologie II. Mikrobiostratigraphie. Die Korallen- und Foraminiferenzeit. Ferdinand Enke Verlag. 8: 1-136.
- Wilde, G.L. 1995a. Wolfcampian-Leonardian biostratigraphy, Sierra Diablo: its relationship to sequence stratigraphic markers in the surface and subsurface. *West Texas Geological Society*. 95-97: 67-81.
- Wilde, G.L. 1995b. Recent observations on the Hueco and Bone Spring Formations, Sierra Diablo with subsurface analogies. *West Texas Geological Society*. 95-97: 105-122.
- Wilde, G.L. 1990. Practical fusulinid zonation: the species concept, with Permian basin emphasis. *West Texas Geological Society Bulletin*. 29: 5-15, 28-34.
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer Verlag, New York, 471p.

- Yancey, T.E. 1975. Permian marine biotic provinces in North America. *Journal of Paleontology*. 758-766.
- Zhang, Y.C. y Wang, Y. 2017. Permian fusuline biostratigraphy. En: Lucas, S.G. y Shen, S.Z. (Eds.). *The Permian Timescale*. Geological Society, London, Special Publications, 450 (1), 253-288.

ANEXO

Tabla 1. Niveles y láminas revisados en este trabajo

Sección	Niveles	Láminas	Observaciones	
Las Rastras	17LR4	17LR4	Lámina proporcionada por la ERNO	
	17LR5	17LR5	Lámina proporcionada por la ERNO	
	17LR6	17LR6	17LR6	Lámina proporcionada por la ERNO
		17LR6A, 17LR6B	17LR6A, 17LR6B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 17LR6, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
		17LR622A, 17LR622B, 17LR622C, 17LR622D	17LR622A, 17LR622B, 17LR622C, 17LR622D	Muestra colectada a 22 cm por arriba de la muestra 17LR6
	18LR1	18LR1	18LR1	Lámina proporcionada por la ERNO
		18LR1A, 18LR1B	18LR1A, 18LR1B	Muestra colectada a 73 cm por arriba de la muestra 18LR1
		18LR150A, 18LR150B, 18LR150C, 18LR150D	18LR150A, 18LR150B, 18LR150C, 18LR150D	Muestra colectada a 50 cm por arriba de la muestra 18LR1
	18LR2	18LR2	18LR2	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR2A, 18LR2B	18LR2A, 18LR2B	Muestra colectada a 30 cm por debajo de la muestra 18LR2
		18LR249A, 18LR249B, 18LR249C, 18LR249D	18LR249A, 18LR249B, 18LR249C, 18LR249D	Muestra colectada a 49 cm por debajo de la muestra 18LR2
	18LR3	18LR3	18LR3	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR3A, 18LR3B	18LR3A, 18LR3B	Muestra colectada a 62 cm por debajo de la muestra 18LR3
		18LR35A, 18LR35B	18LR35A, 18LR35B	Muestra colectada a 42 cm por debajo de la muestra 18LR3
	18LR4	18LR4	18LR4	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR4A, 18LR4B	18LR4A, 18LR4B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 18LR4, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
			18LR5	Muestra proporcionada por la ERNO

	18LR5	18LR5A, 18LR5B	Muestra colectada a 47 cm por arriba de la muestra 18LR5
		18LR56A, 18LR56B, 18LR562A, 18LR562B	Muestra colectada a 62 cm por debajo de la muestra 18LR5
	18LR6	18LR6	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR66A, 18LR66B	Muestra colectada a 3 cm por arriba de la muestra 18LR6
		18LR625A, 18LR625B, 18LR625C, 18LR625D	Muestra colectada a 25 cm por arriba de la muestra 18LR6
	18LR7	18LR7	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR7A, 18LR7B, 18LR7C, 18LR7D	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 18LR7, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	18LR8	18LR8	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR8A, 18LR8B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 18LR8, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	18LR9	18LR9	Muestra proporcionada por la ERNO
	18LR10	18LR10	Muestra proporcionada por la ERNO
	18LR11	18LR11	Muestra proporcionada por la ERNO
	18LR12	18LR12	Muestra proporcionada por la ERNO
	18LR13	18LR13	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR13A, 18LR13B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 18LR13, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	18LR14	18LR14	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR14A, 18LR14B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 18LR14, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	18LR15	18LR15	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR15A, 18LR15B, 18LR15C	Muestra colectada a 41 cm por arriba de la muestra 18LR15
	18LR16	Muestra proporcionada por la ERNO	

	18LR16	18LR16A, 18LR16B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 18LR16, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	18LR17	18LR17	Muestra proporcionada por la ERNO
		18LR174A, 18LR174B	Muestra colectada a 42 cm por debajo de la muestra 18LR17
		18LR175A, 18LR175B	Muestra colectada a 57 cm por debajo de la muestra 18LR17
	18LR18	18LR18	Muestra proporcionada por la ERNO
	18LR19	18LR19	Muestra proporcionada por la ERNO
	18LR20	18LR20	Muestra proporcionada por la ERNO
Sierra Martínez 1	17SM1	17SM1	Muestra proporcionada por la ERNO
	17SM2	17SM2	Muestra proporcionada por la ERNO
	17SM3	17SM3	Muestra proporcionada por la ERNO
		17SM3A, 17SM3B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 17SM3, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	17SM6	17SM6	Muestra proporcionada por la ERNO
	17SM7	17SM7	Muestra proporcionada por la ERNO
	18SM1	18SM1	Muestra proporcionada por la ERNO
	18SM2	18SM2	Muestra proporcionada por la ERNO
Sierra Martínez 2	17SM4	17SM4	Muestra proporcionada por la ERNO
	17SM5	17SM5	Muestra proporcionada por la ERNO
		17SM5A, 17SM5B	Muestra colectada a la misma altura de la muestra 17SM5, pero en un lugar diferente (muestreo lateral)
	18SM3	18SM3	Muestra proporcionada por la ERNO
	18SM4	18SM4	Muestra proporcionada por la ERNO
	18SM5	18SM5	Muestra proporcionada por la ERNO

Lámina I. Figura 1. *Parafusulina* sp. Sección axial lámina 18LR15C de la Sección Las Rastras. **Figura 2.** *Paraskinnerella* cf. *skinneri* (Dunbar, 1939). Sección tangencial lámina 18LR14A de la Sección Las Rastras. **Figuras 3-6.** *Praeskinnerella crassitectoria* (Dunbar y Skinner, 1937). **3.** Sección axial lámina 18LR249D de la Sección Las Rastras. **4.** Sección tangencial lámina 18LR1B de la Sección Las Rastras. **5.** Sección axial lámina 18LR150C de la Sección Las Rastras. **6.** Sección sagital lámina 18LR562A de la Sección Las Rastras. Escala 2 mm.

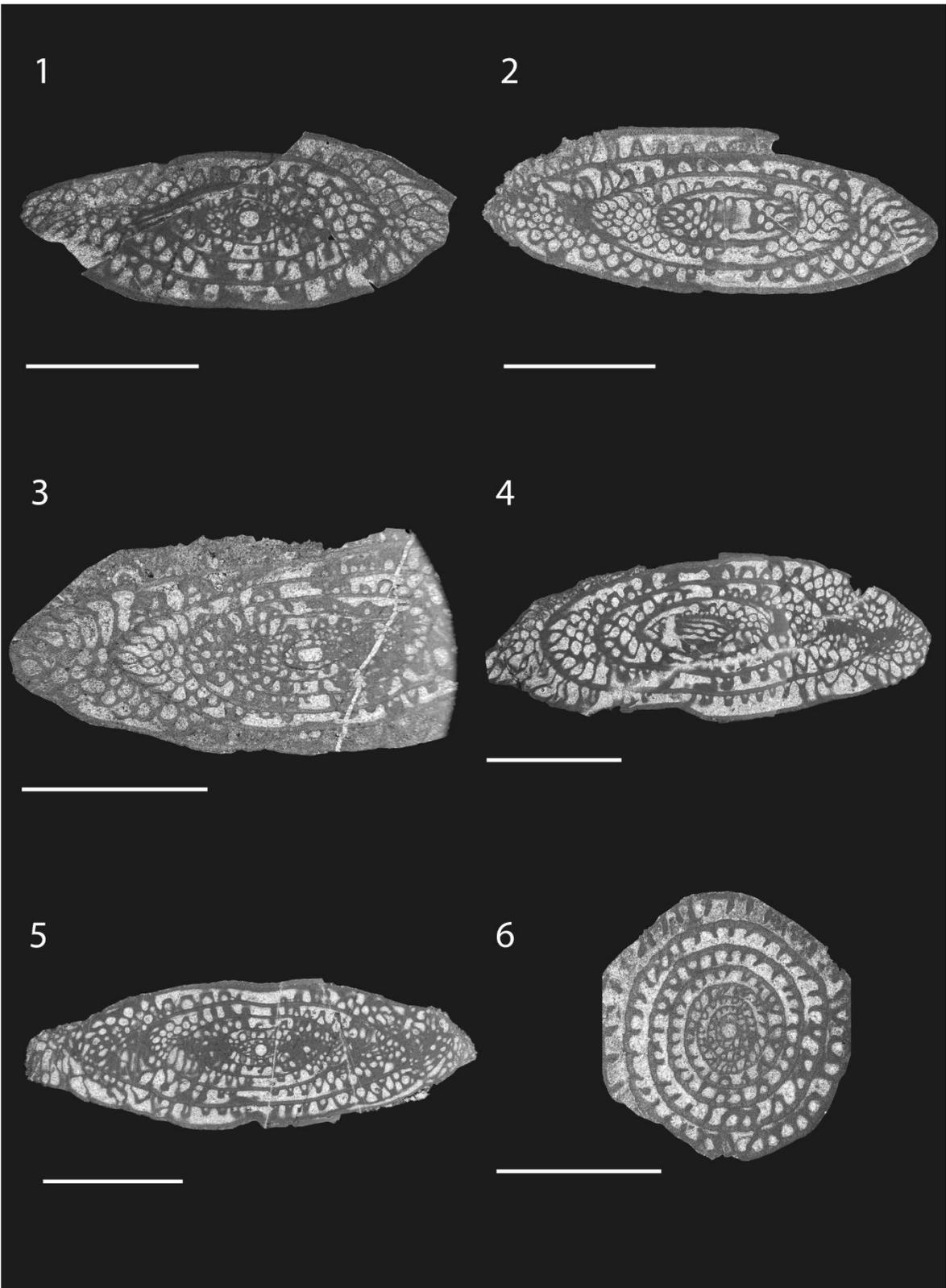


Lámina II. Figuras 1-2. *Skinnerella cobachiensis* Pérez-Ramos y Nestell, 2002. **1.** Sección axial lámina 17LR4 de la Sección Las Rastras. **2.** Sección sagital lámina 18LR15 de la Sección Las Rastras. **Figura 3.** *Skinnerella imlayi* (Dunbar, 1939). Sección axial lámina 17LR622B de la Sección Las Rastras. **Figura 4.** *Eoparafusulina* cf. *linearis* (Dunbar y Skinner, 1937). Sección tangencial lámina 17SM3B de la Sección Sierra Martínez 1. Escala 2mm.

