



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**“ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO SOBRE
EL TOURNAISIANO DEL CERRO EL
MAGUEY EN LA SIERRA LAS MESTEÑAS,
SONORA, MÉXICO”.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

GEÓLOGO

PRESENTA:

CARLOS ARMANDO NAVARRO CASTRO



Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



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



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

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Micaela Castro Samaniego y Martin Guillermo Navarro Plascencia, que gracias al apoyo incondicional he podido llegar a este punto, por eso les agradezco por todas las oportunidades que me han dado, por no dejarme solo y no ponerme limites en lo que podría llegar a hacer.

A mis abuelas María Esther Samaniego Tadey y Mayra Plascencia Ochoa y mi abuelo Policarpio Castro Piñuelas† por alentarme siempre a salir adelante, por todo su apoyo desde el inicio y el amor y cariño que siempre me han dado.

A mi novia Karla Patricia Noriega Esquer, que siempre me ha apoyado en todo momento para terminar este trabajo, por creer en mi desde el inicio, estar a mi lado siempre y sobre todo por inspirarme a llegar más lejos cada vez y dar lo mejor de mí.

A mis hermanos Martin Guillermo Navarro Obregón y Erika Lilian Navarro Castro que, aunque sé que en algún momento tuvimos diferencias puedo contar con ellos en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente al Dr. Juan José Palafox Reyes director de esta tesis por todo su compromiso, experiencia y sacrificio por la realización de esta tesis y también desde la primera clase que tomé con él por crear en mí esta vocación y compromiso que siento ahora.

Y también a André Becuar Daniels, por su disposición en todo momento para el desarrollo de este trabajo de tesis por sus consejos, conocimientos transmitidos, amabilidad y compañerismo.

A la M.C. Dulce Raquel Reyes Montoya por su ayuda con las láminas delgadas y las correcciones, así como sus conocimientos aportados y la dedicación y empeño para la culminación de este trabajo.

Al Dr. Cuen Romero por su ayuda en las correcciones de este trabajo y también por su disponibilidad para responder mis dudas.

A Aaron Lara por sus consejos y por poner a mi disposición de forma tan amable los datos que requerí para el desarrollo de este trabajo.

Y finalmente a mis compañeros y amigos Emmanuel Pacheco y Janniel Vega por su ayuda y compañía en el trabajo de campo, también al grupo de campo 1 “El círculo del terror” por toda su ayuda con las muestras recolectadas.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	8
4. JUSTIFICACIÓN	8
5. METODOLOGÍA.....	9
5.1.Trabajo de campo.....	9
5.2.Laboratorio.....	9
5.3.Trabajo de gabinete.....	9
6. GENERALIDADES.....	10
6.1.AREA DE ESTUDIO	10
6.2.Fisiografía.....	11
6.2.1. Sierras y Llanuras del Norte.....	11
6.2.2. Subprovincia de Llanuras y Médanos del Norte.....	12
6.3.GEOMORFOLOGÍA.....	13
7. ESTUDIOS PREVIOS	15
8. MARCO GEOLÓGICO	16
8.1.Geología Regional.....	16
8.2.Geología Local.....	18
8.2.1. Precámbrico.....	18
8.2.2. Paleozoico.....	19
8.2.3. Mesozoico.....	20
8.2.4. Cenozoico.....	20
GENERALIDADES DE LOS BRAQUIOPODOS.....	21
9. ESTRATIGRAFIA.....	22
10. RESULTADOS.....	23
10.1.Sección geológica del Cerro El Maguey.....	23
10.2.Laminas delgadas.....	31
11. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
12. CONCLUSIÓN.....	43
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio dentro de la sierra Las Mesteñas.....	10
Figura 2. Mapa de las provincias y subprovincias fisiográficas del estado de Sonora (tomado de CONABIO, 2012).....	12
Figura 3. Mapa geomorfológico del estado de Sonora (Lugo-Hubp, 1990).....	14
Figura 4. Mapa geológico de la sierra Las Mesteñas (modificado de Lara-Peña, 2019).....	21
Figura 5. Columna estratigráfica de la sección realizada en el Cerro El Maguey.....	30
Figura 6. Perfil geológico de la sección realizada en el Cerro El Maguey en la sierra Las Mesteñas.....	31
Figura 7. <i>Laxoendothyra</i> ex gr. <i>parakovensis</i> , <i>Granulifera</i> sp. indet Sección transversal.....	32
Figura 8. <i>Kettnerammina</i> sp.....	32
Figura 9. <i>Proninella tamarae</i>	32
Figura 10. Microfacies con restos de tallos de crinoide.....	32
Figura 11. <i>Laxoendothyra</i> ex gr. <i>parakosnvensis</i>	32
Figura 12. Microfacies de braquiópodos.....	32

Figura 14. Sección transversal de la concha de un braquiópodo.	33
Figura 13. Sección transversal de la concha de un ostrácodo.	33
Figura 15. <i>Kettnerammia</i> sp.	33
Figura 16. Placas de equinodermo.	33
Figura 17. <i>Kettnerammia</i> sp.	33
Figura 18. <i>Granulifera</i> sp. indet y placas de equinodermos.	34
Figura 19. Pellets.	34
Figura 20. Fragmento de foraminífero.	34
Figura 21. Fragmentos de algas.	34
Figura 22. Fragmentos de algas y calciesfera.	34
Figura 23. Fragmento de foraminífero.	35
Figura 23. Corte longitudinal de talla de un crinoide.	35
Figura 25. Microfacies de esparita con ooides y cortoides.	35
Figura 26. Fragmento de briozooario junto con placas de equinodermo.	35
Figura 27. Fragmento de braquiópodo.	35
Figura 28. Corte longitudinal del tallo de un crinoide.	36
Figura 29. Algas, ooides y foraminíferos.	36
Figura 30. Fragmentos de braquiópodos.	36
Figura 31. Fragmentos de algas, corales y placas de equinodermos.	36
Figura 32. Fragmentos de crinoides y algas.	36
Figura 33. Fragmento de briozooario.	37
Figura 34. Corte longitudinal de trilobite?	37
Figura 35. Fragmentos de placas de equinodermos y foraminíferos.	37
Figura 36. Fragmentos de trilobites.	37
Figura 37. <i>Granulifera</i> sp.	37
Figura 38. Corte de tallo de un crinoide y fragmentos de briozooarios.	38
Figura 39. Fragmento de braquiópodo.	38
Figura 40. Fragmentos de tallos de crinoideos.	38
Figura 41. Fragmentos de briozooarios, algas y tallos de crinoides.	38
Figura 42. Fragmentos de placas de equinodermos.	38
Figura 43. Fragmentos de tallo de crinoide.	39
Figura 44. Cortoides y fragmentos de placas de equinodermos.	39
Figura 45. Fragmento de un tallo de crinoide.	39
Figura 47. Fragmento de braquiópodo y fragmentos de placas de equinodermos.	39
Figura 46. Fragmentos de discos de crinoides en una matriz micrítica.	39
Figura 48. Estilolito.	40
Figura 49. Bioclastos de algas, equinodermos.	40
Figura 50. Corte transversal de un tallo de crinoide.	40
Figura 51. Corte transversal de un tallo de crinoide.	40
Figura 52. <i>Paleospiroplectammia</i> sp.	41
Figura 53. <i>Paleospiroplectammia</i> sp y tallo de crinoide.	41
Figura 54. Fragmentos de equinodermos.	41
Figura 55. Corte transversal de tallo de crinoide.	41
Figura 56. Fragmentos de tallos de crinoide con calciesferas en una matriz micrítica.	41

1. RESUMEN

Las rocas sedimentarias del Paleozoico en México representan una escasa extensión del suelo mexicano, siendo las rocas del Carbonífero y Pérmico las más comunes en las secuencias paleozoicas dentro del territorio nacional, además presentan mayor abundancia dentro de la zona noroeste del país.

En la sierra Las Mesteñas se encuentra una gran diversidad de litologías, desde rocas que van desde el precámbrico como el Esquistos Pinal y el Granito Mesteñas hasta depósitos aluviales del Cuaternario. El Paleozoico se representa por rocas del Cámbrico, Devónico, Misisípico y Pensilvánico, y es sobreyacido por una secuencia volcanosedimentaria de edad cretácica.

El presente estudio documenta una secuencia carbonatada de plataforma de un espesor de 61.90 metros de la cual se obtuvieron 24 muestras que fueron analizadas petrográficamente. además, se procesaron en el laboratorio para la extracción de conodontos, sin embargo, se encontraron muy escasos y en mal estado.

Las rocas que configuran la sección realizada, son parte de la Formación Escabrosa del Misisípico Inferior /Tournaisiano por la presencia de los foraminíferos *Laxoendothyra* ex gr. *Parakosvensis*, *Kettnerammia* sp, *Granulifera* sp. y *Paleospiroplectammia* sp. Con base al análisis petrográfico se interpretó el ambiente de depósito como plataforma carbonatada somera de aguas cálidas que es correlacionable con el cratón norteamericano

2. INTRODUCCIÓN

La bioestratigrafía es una rama de la estratigrafía que se enfoca en la correlación y datación relativa de capas rocosas mediante el estudio de los fósiles que se encuentran en ellas. La bioestratigrafía utiliza la presencia, ausencia y evolución de los organismos en el registro fósil para establecer la secuencia de estratos y su edad relativa. La importancia de la bioestratigrafía radica en que permite establecer la edad relativa de los estratos geológicos sin necesidad de recurrir a métodos absolutos como la datación radiométrica. Esto es particularmente útil en áreas donde los fósiles son abundantes, como en la exploración de recursos naturales, la identificación de yacimientos de petróleo y gas, la evaluación de riesgos geológicos y la correlación de eventos climáticos y geológicos a lo largo del tiempo. La bioestratigrafía también ha sido esencial para establecer la escala temporal de la evolución biológica, permitiendo identificar la aparición y desaparición de grupos de organismos y cómo se relacionan entre sí.

El Paleozoico en México ha sido poco estudiado, debido a que representa menos del 1% del suelo nacional encontrándose escasos afloramientos en el norte del país, ya que fueron cubiertos por una secuencia de sedimentos mesozoicos y cenozoicos (Buitrón, 1992)

El Paleozoico de Sonora se compone por secuencias carbonatadas ricas en contenido fósil, dentro de ambientes marinos someros y de aguas cálidas.

Los afloramientos del Carbonífero se encuentran principalmente en la Sierra Las Mesteñas y en la Sierra Agua Verde. La Sierra Las Mesteñas está ubicada al noreste de Sonora, México y contiene una diversidad litológica y paleontológica, la cual se ha reportado por varios autores (Ransome (1904), GEOCA S.A. (1965), Peiffer-Rangin (1988) Gómez-Tagle (1967), Lara-Peña (2017), Macias-Bustillos (2019), Grijalva-Miranda (2019) y Villanueva-Olea (2019)).

La litología que se presenta en La Sierra Las Mesteñas está representada por un complejo metamórfico Precámbrico llamado Esquisto Pinal (Ransome, 1904), posterior mente se encuentra un cuerpo intrusivo de composición félsica, de forma irregular del Mesoproterozoico (GEOCA S.A. 1965); el Paleozoico está compuesto de potentes paquetes de rocas sedimentarias, estas secuencias pueden tener edades que van desde el Precámbrico hasta el Pensilvánico, observándose un hiatus (Macias, 2019) que abarca el sistema Silúrico y adicionalmente el Pérmico. El Mesozoico de la Sierra Las Mesteñas se

representa por el Grupo Bisbee del Cretácico Superior definido por Ransome (1904) y el Grupo Cabullona del Cretácico Superior que definió Taliaferro (1933). Finalmente, el Cenozoico está comprendido por pórfidos de una edad tardía del magmatismo Laramídico (Damon et al.,1981), estos se manifiestan como afloramientos de composición riolítica y andesítica y que se encuentran afectando a las rocas paleozoicas.

Peiffer-Rangin (1988) realizaron descripciones detalladas sobre la estratigrafía en la sierra Las Mesteñas adaptado las correlaciones de Gómez-Tagle (1967). Posteriormente Villanueva et al. (2016) realizó un estudio sobre los géneros y las especies de crinoides dentro de la Formación Naco del Pensilvánico, posteriormente Lara-Peña (2017) realizó una sección geológica para estudiar la Caliza Martín utilizando los conodontos como marcadores bioestratigráficos, asignándole una edad devónica.

3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Realizar un estudio bioestratigráfico sobre el Tournaisiano del Cerro El Maguey en la Sierra Las Mesteñas, Sonora, México

Objetivos específicos

1. Definir una edad geológica para el área de estudio, mediante la elaboración de una columna estratigráfica.
2. Realizar un análisis de microfacies de la sección hecha para así poder definir los ambientes sedimentarios que predominaron en esta área.
3. Aportar nuevos datos sobre la geología de la región, así como contribuir al conocimiento sobre la biota fósil de la Sierra Las Mesteñas de la que se presentan escasas investigaciones acerca de su geología y paleontología.

4. JUSTIFICACIÓN

Debido a los pocos estudios existentes sobre el Paleozoico en el noreste de Sonora y que algunos de estos trabajos datan de hace décadas, este trabajo es realizado para recopilar información y colaborar con nuevos datos sobre la geología y la estratigrafía de esta área tan poco explorada, y de esta forma aportar más al conocimiento geológico de la región.

5. METODOLOGÍA

5.1. Trabajo de campo

Para el presente estudio se realizó una sección geológica medida con el bastón de Jacob de 61.90 metros de longitud, en la que primeramente se tomó el rumbo y echado de las capas, así como las coordenadas de inicio y final, y se procedió a realizar el caminamiento en dirección perpendicular al rumbo de las capas. Además se realizaron descripciones del afloramiento encontrado tomando en cuenta su color tanto en superficie intemperizada como fresca, la presencia de fósiles visibles en este caso fue una secuencia de calizas.

5.2. Laboratorio

- I. Se realizaron laminas delgadas en el Departamento de Geología estudio petrográfico en un microscopio polarizante de la marca "AmScope".
- II. Se efectuaron disoluciones para indagar sobre la presencia de conodontos dentro de las secuencias, por lo cual:
 - 1) Se procedió a disolver las muestras en ácido fórmico en una proporción de 7.4 L de agua con 700 ml de ácido por cada 675 gr de roca triturada.
 - 2) Se colocan las muestras trituradas dentro de una cubeta con agua y se vierte el ácido.
 - 3) Esta mezcla se deja reposar durante 24 horas y se ciernen con mallas #100 para poder atrapar los sedimentos mayores a este tamaño.
 - 4) Estos sedimentos se lavan bien y se llevan a un crisol para eliminar toda la humedad en el sedimento durante otras 24 horas.
 - 5) Una vez seco se procede a visualizar estos sedimentos en el microscopio estereoscópico en busca de conodontos.
- III. Se compuso una columna estratigráfica que se presenta en esta tesis.

5.3. Trabajo de gabinete.

Se recopiló y estudió información acerca de los estudios realizados sobre la geología y bioestratigrafía del área, y sobre la geología regional del estado de Sonora. para aportar información base para el desarrollo de este trabajo.

Fueron utilizados los programas ArcGis, Adobe Photoshop y Adobe ilustrator para la realización de las figuras y mapas presentes en este trabajo.

6. GENERALIDADES

6.1. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el Norte de la Sierra Pedregosa, ubicado en la Sierra las Mesteñas. A 42 km al noreste del poblado de Fronteras, Sonora México.

Las coordenadas UTM son: zona 12N 3,432,386 mN, 617,874 mE y 3,432,436 mN, 617,920 mE. Localizada en la carta topográfica Cuauhtémoc H12B44 Escala 1:50,000 distribuida por INEGI.

El acceso a la sierra de Las Mesteñas se hace por la carretera Nacozari de García-Agua Prieta (Figura 1). De camino hacia poblado de Fronteras a Agua Prieta 3 km antes de arribar a la Garita de Cabullona se parte hacia el NW en un camino de terracería en buen estado, después de recorrer 18 km un entronque en el que después de 800 metros se acaba el acceso para ir en auto y se recorre a pie por 2 km hacia el norte para acceder a las colinas del área de estudio.

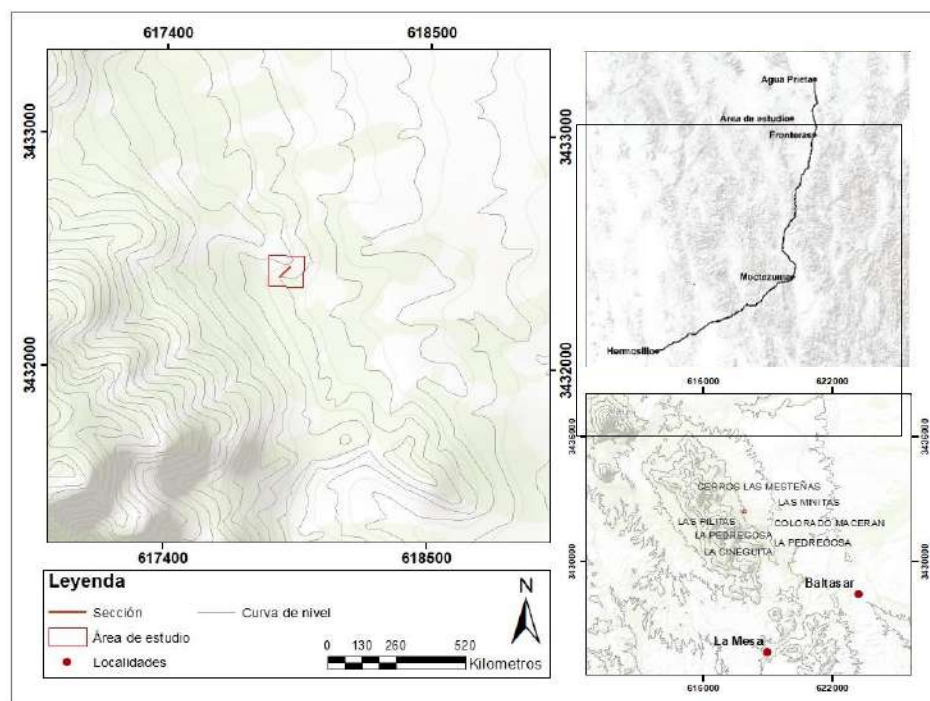


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio dentro de la sierra Las Mesteñas.

6.2. Fisiografía.

La fisiografía del estado de Sonora se compone por cuatro importantes provincias:

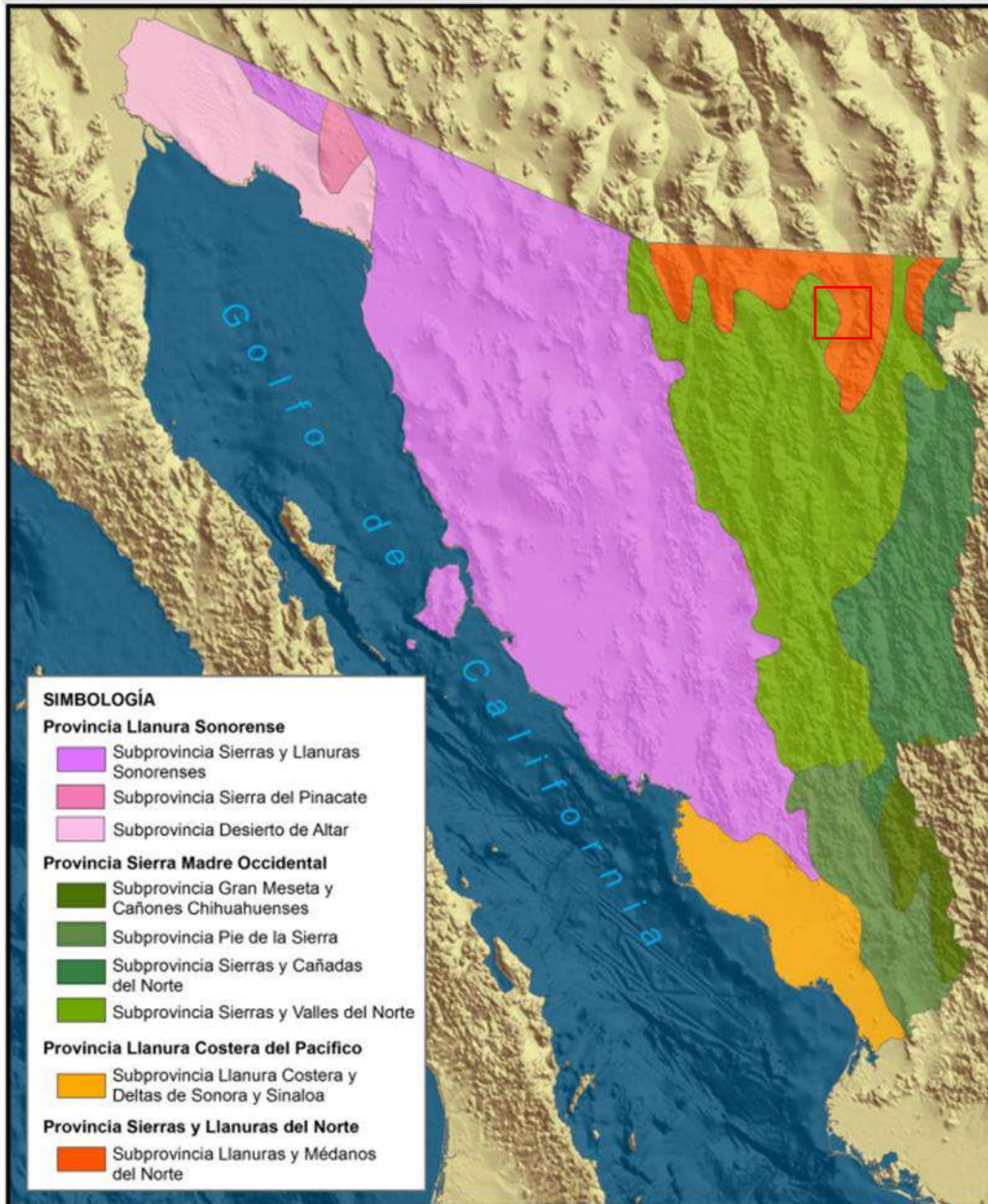
- I. La Provincia **Llanura Sonorense** posee la mayor extensión en el estado y esta se desglosa desde la frontera con Estados Unidos y Baja California y culmina en el límite con la provincia Llanura Costera del Pacífico.
- II. La Provincia **Llanura Costera del Pacífico** hace presencia en la región del Valle del Mayo; delimitada al oeste por el Golfo de California y también al este con la provincia Sierra Madre Occidental.
- III. La Provincia **Sierra Madre Occidental** da inicio 50 km al sur con el límite internacional con Estados Unidos concluyendo en el río Santiago y el Eje Neovolcánico.
- IV. La Provincia **Sierras y Llanuras del Norte** que, a pesar de tener una pobre representación en el estado, para fines de este trabajo posee importancia debido a que domina la fisiografía de la zona de estudio, de forma más precisa en Subprovincia Llanuras y Médanos del Norte (INEGI, 2000) *in* Becuar-Daniels, (2019).

6.2.1. Sierras y Llanuras del Norte.

Esta provincia se caracteriza por poseer sierras bajas y abruptas que se separan entre sí por amplias bajadas y llanuras, algunas de ellas denominados bolsones. En esta provincia se encuentra una parte de la cuenca del Río Conchos, afluente del Bravo y, en su centro, el Bolsón de Mapimí. Se extiende por los territorios de Chihuahua y Coahuila, y en Sonora ocupa una pequeña zona en el extremo nor-noreste del estado en los municipios de Agua Prieta, Fronteras, Naco, Santa Cruz y Cananea, principalmente (CONAGUA, 2011). Esta provincia se subdivide en cinco subprovincias: Llanuras y Médanos del Norte, Sierras Plegadas del Norte, Del Bolsón de Mapimí, Llanuras y Sierras Volcánicas y Laguna de Mayran, de entre las cuales resulta de interés la primera ya que caracteriza al área del estudio.

6.2.2. Subprovincia de Llanuras y Médanos del Norte.

Esta subprovincia está formada por extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras. Predominan las rocas sedimentarias en su mayoría conglomerados y pequeños afloramientos de rocas ígneas. (CONAGUA, 2011)



6.3. GEOMORFOLOGÍA.

El área de estudio se representa por una geomorfología de valles intermontanos y elevaciones montañosas, estos se extienden por la mayoría del territorio sonorense siendo este de los principales elementos geomorfológicos del estado de Sonora, estas cadenas montañosas, están conformadas por rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias del Mesozoico, se alternan con bloques hundidos o grabens rellenos de sedimentos de origen aluvial. Las desembocaduras del agua en esta zona están regidas por las estructuras paralelas a las cadenas montañosas predominando una orientación norte-sur.

La geomorfología de Sonora está representada de manera general por una planicie aluvial y de piedemonte extenso sobre la cual se erigen una serie de montañas que aumentan gradualmente en altitud de oeste a este: desde la costa del Golfo de California hasta culminar con las grandes elevaciones que constituyen a la Sierra Madre Occidental. Este elemento geomorfológico comprende cuatro unidades principales en su relieve: (1) El desierto de Altar en la parte noroccidental del estado en los límites con Baja California; (2) La planicie aluvial y de piedemonte con elevaciones menores localizada en una franja paralela a la línea de costa; (3) Las cadenas montañosas de bloque, transicionales a la Sierra Madre Occidental cuyos rasgos geomorfológicos se presentan hacia el este-sureste del estado y (4) El campo volcánico cuaternario El Pinacate (Lugo-Hubp, 1990).

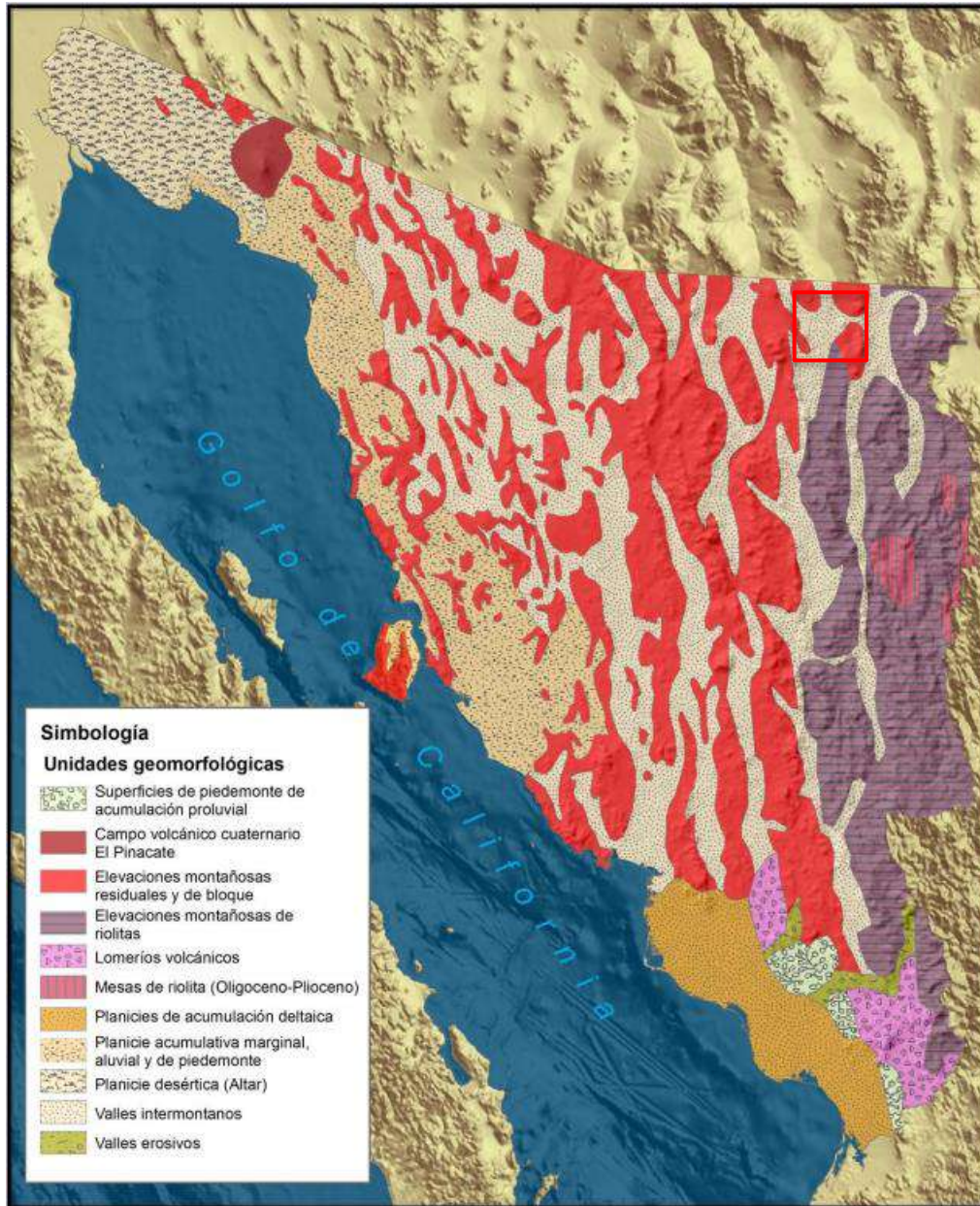


Figura 3. Mapa geomorfológico del estado de Sonora (Lugo-Hubp, 1990).

7. ESTUDIOS PREVIOS

El trabajo realizado por Ransome (1904) describe las unidades del Precámbrico, Cámbrico, Devónico, Carbonífero y las secuencias mesozoicas del grupo Bisbee en Arizona.

Gómez-Tagle (1967) estableció una serie de correlaciones con base a las características litológicas, estratigrafía y contenido fósil de las unidades que describió en su trabajo de tesis realizado en la sierra Las Mesteñas y las cuales fueron propuestas por Ransome (1904).

La Comisión Federal de Electricidad realizó una investigación dentro de la región que comprende a la cuenca Cabullona, realizando una exploración geológica para buscar carbón (antracita) (Yza *et al*, 1984).

En 1988 Peiffer realizó un mapeo geológico en la región, presentando un mapa geológico donde reconoce la distribución espacial reportada por Gómez-Tagle (1967). Así mismo, Peiffer *op. cit.* Menciona la presencia de conodontos dentro de la secuencia devónica (Caliza Martín), sin embargo, no detalla géneros ni especies.

En el rancho la mesa Lara-Peña (2017) realizó un estudio bioestratigráfico en base a conodontos siendo este el primer estudio realizado dentro del área haciendo uso de estos organismos.

Macias-Bustillos (2019) efectuó un estudio geológico incorporando vehículos aéreos no tripulados (VANT'S) con lo que obtuvo nuevos datos que le permitieron caracterizar 14 unidades litológicas de las cuales 3 se reconocen por primera vez en la sierra Las Mesteñas, en su trabajo reconoce el contacto transicional entre la Cuarcita Bolsa y la Caliza Abrigo el cual había sido identificado por Ransome en 1904 en la región de Bisbee, Arizona.

Pone en evidencia rasgos estructurales que indican eventos de transtención caracterizado, por fallas a rumbo NE-SW, así como lineamientos que concuerda con esa dirección en esfuerzos.

Grijalva-Mirada (2019) realiza un estudio bioestratigráfico donde presenta los resultados obtenidos en el área de estudio ubicada al sureste de los Cerros Las Mesteñas, donde identifica el Cámbrico superior de plataforma que corresponde con la Caliza Abrigo definida por Ransome (1904).

Villanueva-Olea (2019) realiza una sección en la interpreta 5 cinturones de facies que corresponden a ambientes arrecifales, márgenes de plataforma externa como bancos de

arena, laguna con circulación abierta y laguna con circulación restringida. No reporta ninguna especie de foraminíferos en la sección de la sierra Las Mesteñas, La sección La Mesa aún no tiene definida una edad en vista de que no se han encontrado foraminíferos para una biozoneación, y reporta 3 géneros de fusulinidos y, en general presenta una baja presencia de foraminíferos.

8. MARCO GEOLÓGICO

8.1. Geología Regional

Dentro del estado de Sonora hay una gran diversidad de afloramientos litológicos que abarcan desde el Proterozoico hasta el Cuaternario, el área de estudio se localiza en la parte NE de Sonora, que forma parte del Cratón de Norteamérica y que se caracteriza por tener un basamento Proterozoico, dicho basamento aflora en la Sierra Las Mesteñas, en la parte este de Nogales, en la parte suroeste y sureste de la ciudad de Naco. En la sierra Las Mesteñas afloran formaciones de edad cámbrica, devónica y carbonífera. En La localidad de Bisbee, Arizona, 40 Km al norte de la sierra Las Mesteñas se encuentran las formaciones: Bolsa, Abrigo, Martin, Escabrosa y Naco, discordantemente a las formaciones paleozoicas mencionadas se le depositó el Grupo Bisbee que está constituido por cuatro formaciones que corresponden al Cretácico Inferior: Conglomerado Glance, Formación Morita, Caliza Mural y la Formación Cintura, estas formaciones fueron propuestas por Ransome (1904).

Las secuencias más antiguas se encuentran aflorando dentro de la Sierra de los Ajos al noroeste del estado y son representadas por el Esquisto Pinal y rocas intrusivas con una composición granítica asociadas con el Granito Cananea 1.4 Ga (Anderson 1997); también, aflora el Granito Mesteñas en el cerro Las Mesteñas que se correlaciona con el Granito Cananea (Guzmán *et al.*, 2013). El Esquisto Pinal que se encuentra aflorando dentro de la sierra Las Mesteñas, también al sureste de la sierra La Morita (Gómez-Tagle, 1967).

En el noreste de Sonora, el Paleozoico está representado por calizas, dolomías, calizas con lentes de pedernal, cuarcitas y lutitas con una columna compuesta de 3,300 m de espesor presentando un importante basculamiento de las rocas del pre-Devónico medio que se le atribuye a la Orogenia Antlerana (Roldán-Quintana 1982).

El Devónico está representado por la Caliza Martín, cuya localidad tipo se localiza en el Monte Martín dentro de la sierra Escabrosa, en Arizona. Estas calizas están caracterizadas por su contenido fósil en tallos de crinoideos y abundante cantidad de lentes de pedernal, aflorando además en la región central de Arizona (Huddle y Dobrovlny, 1952), sierra El Tule (González-León, 1986; Palafox, 2011), sierra Las Mesteñas (Gómez-Tagle, 1967; Peiffer, 1988; Lara-Peña, 2017, Macias, 2019 y Grijalva, 2019) y en el cerro Cabullona (Yza, 1984; Taliaferro, 1933).

La Formación Escabrosa definida por Ransome (1904) representa al Misisípico y dentro de sus características esta su aspecto granuloso, estratificación gruesa, color gris claro, con fósiles de tallos de crinoideos y braquiópodos, además de su localidad tipo también se encuentra en la región central de Arizona (Huddle y Dobrovlny, 1952), sierra El Tule (Gonzales-Leon), sierra Las Mesteñas (Gómez-Tagle, 1967; Peiffer, 1988; Lara-Peña, 2017, y en el cerro Cabullona (Yza, 1984; Taliaferro 1933).

La Formación Horquilla representa al Pensilvánico al noreste de Sonora y Sureste de Arizona, está presente afloramientos de calizas de un color gris claro presente en estratificaciones delgadas, una cantidad abundante de contenido fósil, en la zona superior se presenta una interestratificación de areniscas y margas. Estas formaciones fueron caracterizadas por primera vez por Ransome (1904) e identificada por Taliaferro (1933) en Sonora, en la cuenca Cabullona, También expuesta en la Sierra Las Mesteñas (Gómez-Tagle, 1967; Peiffer, 1988; Villanueva *et al.*, 2016; Lara Peña, 2017) y en la Sierra El Tule (González-León, 1986).

La secuencia detrítica-carbonatada paleozoica se encuentra suprayacida en discordancia del Cretácico Inferior las cuales presentan características marinas que aumentan hacia el este (Guzmán *et al.* 2013), posteriormente al Cretácico Inferior se encuentra el Grupo Cabullona se identifica una unidad del Cretácico Superior que se constituye por depósitos de areniscas y limonitas rojas.

El Cretácico Superior descrito originalmente por Taliaferro (1933) en la cuenca Cabullona, es correspondiente a la región del noreste de Sonora, asignándole el nombre de Grupo Cabullona, Posteriormente Gonzales-León y (1995) renombraron tres de estas unidades: Conglomerado El Cemento, integrando a la Formación Snake Ridge en las formaciones

Corral de Enmedio y Areniscas Camas, se renombra también la Formación Capas Rojas Superiores como Formación Lomas Coloradas y finalmente el Conglomerado El Cemento; fue correlacionado lateralmente con la Formación Lutita Packard y Lomas Coloradas (Galindo-Ruiz, 2017).

El Grupo Cabullona se encuentra discordantemente sobre una secuencia de rocas volcánicas (Palafox *et al.* 1998) compuestas de paquetes de riolitas y tobas riolíticas, andesitas, tobas andesíticas, andesitas y areniscas de edad Cretácico Tardío al Oligoceno y que pudieron pertenecer al Complejo volcánico Inferior de Mc Dowell (1978). También grandes cuerpos intrusivos con composición félsica a intermedia e intrusiones hipabisales de tipo porfídico con composición intermedia fueron emplazadas.

En Sonora el Cenozoico comprende en su mayoría de secuencias volcánicas compuestas en su mayoría por andesitas, riolitas, basaltos e ignimbritas; que también incluye traquitas y tobas de diversas composiciones con edad del Oligoceno (Cochemé, 1985).

La Formación Baucarit se deposita sobre estas rocas volcánicas, se compone de conglomerados y areniscas no consolidados, y basaltos que corresponden al Mioceno, Por consiguiente, más paquetes de conglomerados y areniscas más jóvenes (Pleistoceno) de deposita sobre esta. Durante el Cuaternario ocurrieron depósitos de arenas y limos, y algunos derrames de basalto, El aluvión reciente se compone de gravas, arenas y arcillas (Palafox *et al.*, 1998).

8.2. Geología Local

La geología que se presenta en la Sierra Las Mesteñas al noroeste del municipio de Fronteras, se muestra conformada por litologías que abarcan edades del Precámbrico hasta el Reciente, enmarcadas por un régimen Tectónico particular que afecta a la parte noreste de Sonora (Gómez-Tagle, 1967).

8.2.1. Precámbrico

El Esquisto Pinal con una edad paleoproterozoica (1640 Ma) compuesto por rocas metamórficas de color gris verdoso y aspecto micáceo (Gómez-Tagle, 1967). Sobreyaciendo discordantemente a esa unidad, se presenta la Cuarcita Bolsa del Cámbrico inferior, está también es intrusionada por un conjunto de cuerpos graníticos irregulares denominados como Granito Mesteñas (GEOCA, S.A, 1965, Gómez-Tagle 1967).

Este cuerpo ígneo intrusivo que afecta al Esquisto Pinal aflora en la porción sur de la Sierra Las Mesteñas y dentro de la parte oriental del cerro Cabullona, donde se le describe como una roca de composición granítica de color gris rojizo de grano muy grueso y en ocasiones pegmatítico (Yza et al., 1984). En los Cerros Las Mesteñas está presente con un color gris amarillento y una textura hipidiomorfa y también conformado de cuarzo, feldespatos potásico, plagioclasas sódicas y micas.

8.2.2. Paleozoico

La Cuarcita Bolsa representa el Cámbrico inferior de la sierra Las Mesteñas, con una coloración café rojiza, textura sacaroide y una estratificación mediana a gruesa (Gómez-Tagle, 1967).

Transicionalmente se emplaza la Caliza Abrigo como una secuencia carbonatada del Cámbrico superior, con una estratigrafía que varía de estratos de delgados a gruesos, en algunos de los estratos se muestra una dolomitización, horizontes y nódulos de pedernal e intraclastos, también con contenido fósil, se observaron tallos de crinoides y braquiópodos (Peiffer-Rangin, 1988). Los principales afloramientos en el área de estudio se encuentran al noreste del cerro La Pedregosa.

La Caliza Martin se encuentra discordante a la Caliza Abrigo, Ransome (1904) le asignó la edad devónica por su contenido fósil de braquiópodos, en la sierra Las Mesteñas el Devónico está dividido en dos unidades, el miembro inferior que se constituye de calizas de color gris oscuro y con contenido en fósiles de placas de crinoideos y el superior de calizas de color gris oscuro con lentes de pedernal y ausencia de macrofauna (Gómez-Tagle, 1967).

Para el Misisípico se encuentra la Formación Escabrosa que se caracteriza por calizas grises y con estratos gruesos y de aspecto granulosos, con el contenido fósil de placas de crinoides y braquiópodos. Los afloramientos de la Formación Escabrosa se distribuyen en la zona noreste de los cerros Las Mesteñas de espesores de hasta 150 m (Gómez-Tagle, 1967).

De manera concordante con la Formación Escabrosa se encuentra la Caliza Naco, esta secuencia carbonatada del Pensilvánico distribuida en varios puntos a lo largo de Escabrosa Ridge fue definida por Ransome (1904) en Arizona. Dentro de Las Mesteñas se encuentra

aflorando al noreste, se compone de calizas de estratos delgados a medios con intercalación de calizas arenosas en la parte media y superior, colores grises claros.

8.2.3. Mesozoico

Está compuesto por dos unidades del grupo Bisbee del Cretácico Inferior, el Conglomerado Glance y la Formación Morita definidas por Ransome (1904), que también se encuentran cubiertas por sedimentos del Cuaternario. En los Cerros Las Mesteñas los afloramientos del Conglomerado Glance se distribuyen en pequeñas zonas al nor-noroeste y noreste y se componen de una secuencia conglomerática constituida por clastos subredondeados y mal clasificados con un tamaño que oscila entre los 2 y 40 cm además de cuarcitas y calizas cementadas por un material arenoso (Gómez-Tagle, 1967). De forma ascendente se encuentra la Formación Morita en contacto transicional con el Conglomerado Glance. Esos afloramientos se componen de secuencias de areniscas de grano medio con fragmentos angulosos constituidos casi en su totalidad por cuarzo detrítico en matriz clorítica, La base de esta formación se compone de areniscas conglomeráticas y lutitas gris-verdoso. Con un espesor estimado de 160m. Dichos afloramientos representan a las rocas cretácicas más jóvenes expuestas en la Sierra Las Mesteñas (Gómez-Tagle, 1967).

8.2.4. Cenozoico

Los afloramientos cenozoicos, están representados por rocas ígneas intrusivas y volcánicas, inicialmente mostrándose como masas irregulares de composición granítica que se muestran intrusionando de forma parcial al Esquisto Pinal y a las secuencias cretácicas del grupo Bisbee. Estos afloramientos están distribuidos al nor-noroeste y al sur-suroeste de la sierra Las Mesteñas, también encontrándose al noreste (Gómez-Tagle, 1967)

Al noreste de la sierra Las Mesteñas, así como al noreste y sureste se tienen importantes afloramientos de rocas extrusivas que constan de depósitos de tobas y corrientes riolíticas con coloraciones blancas amarillento y textura porfídica. (Gómez-Tagle, 1967).

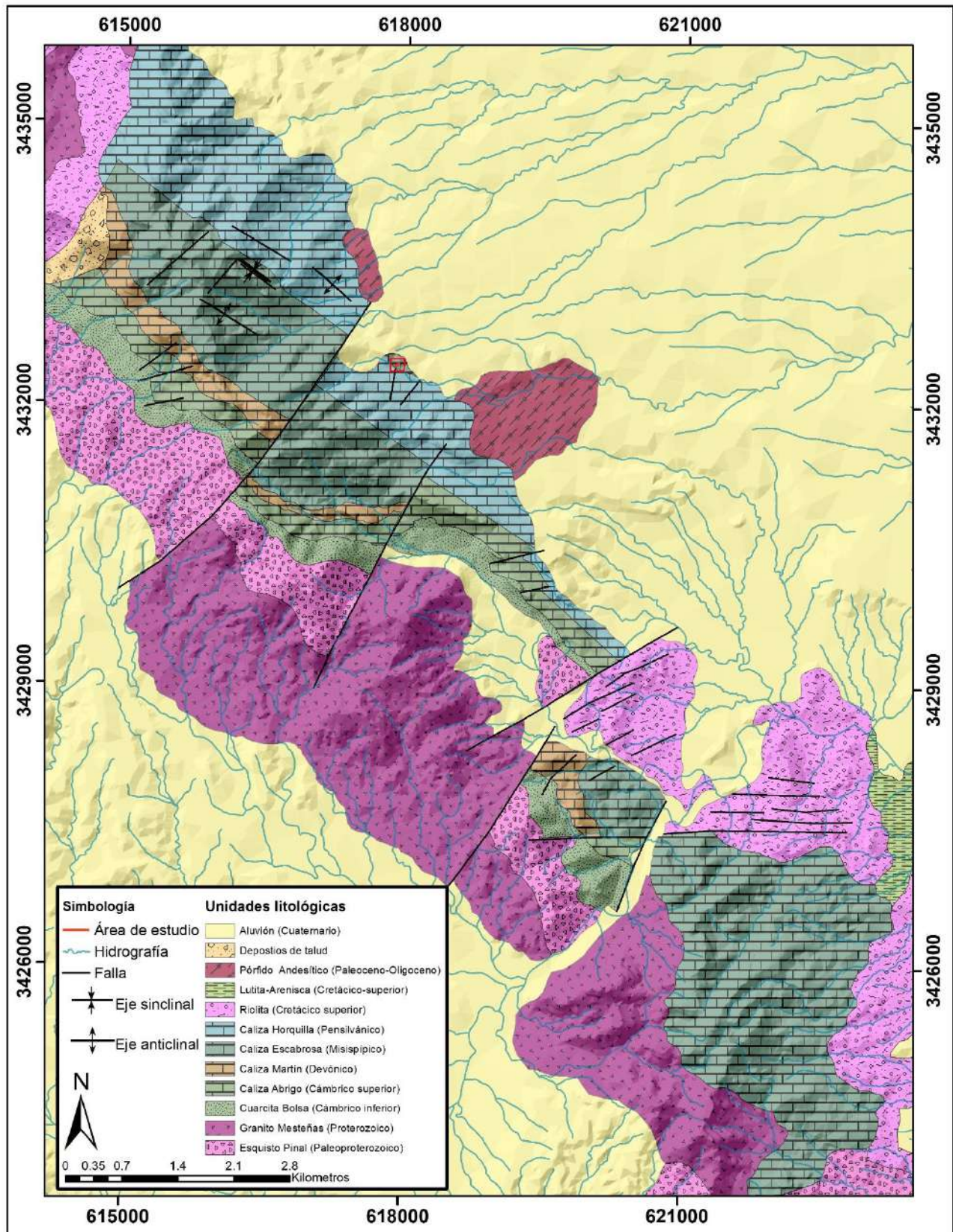


Figura 4. Mapa geológico de la sierra Las Mesteñas (modificado de Lara-Peña, 2019).

9. ESTRATIGRAFIA.

El límite superior de la Caliza Martin no está bien claro en algunas partes. Por lo general está La Sierra Las Mesteñas en su conjunto contiene todo tipo de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas que se han depositado o emplazado durante el Proterozoico, Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. En este trabajo se utiliza como bibliografía básica las investigaciones sobre las series sedimentarias del Devónico.

Ransome (1904) estudió en la región de Bisbee, Arizona el Paleozoico y el Mesozoico, en este trabajo se va a considerar de las 5 formaciones paleozoicas solo la Caliza Martin de edad devónica y la Formación Escabrosa de edad misisípica.

Caliza Abrigo.

La sección tipo de la Caliza Abrigo se tomó del cañón abrigo que se localiza aproximadamente 5 km al SW de Bisbee, Arizona.

Litológicamente la Caliza Abrigo se compone de calizas grises en estratos delgados con lentes de pedernal, aunque a veces se presenta en laminaciones.

Caliza Martin.

La Caliza Martin debe su nombre al Cerro Martin donde esta formación está bien desarrollada y expuesta, compuesta por aproximadamente 110m de espesor de calizas compactas duras y de color gris generalmente fosilíferas con pequeños braquiópodos. algunos estratos a veces tienen una apariencia nodulosa lo que permite identificarla a primera vista, en los perímetros de Bisbee mientras que en otros estratos son ricos en corales.

La Caliza Martin de edad devónica tiene intercalaciones de calizas oscuras con lutitas claras. Estas lutitas están bien expuestas al NE del cerro Martin, donde los fósiles devónicos son numerosos. La Formación pasa de calizas compactas y duras a calizas granulares blancas con tallos de crinoides, la caliza pura de la Formación Martin, la ausencia de dolomías y de sedimentos terrígenos y la abundancia de restos fósiles marinos si son

testigos de alguna deposición en un mar abierto cercano a la costa y en aguas de profundidad media, la Formación Escabrosa toma su nombre de la Sierra Escabrosa y suprayace a la Caliza Martín y es fácil distinguirla por su tono claro y sus capas delgadas y más resistentes a la erosión.

En la parte superior de la Formación Escabrosa el cambio litológico permite distinguirla de la suprayacente Caliza Naco, es importante hacer hincapié que las diferencias litológicas son mínimas y la caracterización de las dos formaciones está basada sobre criterios paleontológicos.

La litoestratigráfica de la Formación Escabrosa se caracteriza por calizas granulares grises, en capas delgadas y con abundantes fragmentos de tallos de crinoides.

La Formación Escabrosa se distingue por la ausencia de sedimentos terrígenos y estratos dolomíticos lo que indica un depósito en mar abierto y relativamente profundo.

RESULTADOS.

9.1. Sección geológica del Cerro El Maguey.

Se levantó una sección geológica en la sierra Las Mesteñas, con un rumbo de 40° NE, cuyas capas tienen una orientación de NW 60° SE; 40° NE de inclinación.

Las muestras recolectadas fueron etiquetadas como SB, esta se sitúa en el cerro El Maguey (Figura 6) donde se describe la litología y donde se estudió la litoestratigrafía y las microfacies. Cabe mencionar que la tectónica local es difícil de descifrar debido a discordancias o fallas; el estudio estratigráfico permite superar este obstáculo.

Esta sección representa a la Formación Escabrosa en una buena parte de ella (Figura 6 sección geológica cerro el Maguey).

SB-1. (0-1.83 m).

La sección se inicia con una caliza gris claro en la pátina y gris oscuro en la superficie fresca, presenta cierto grado de recristalización y no presenta fauna aparente. Las microfacies es un packstone con abundantes restos biogénicos no identificables con largas vetillas de esparita. Con tallos de crinoide y foraminíferos.

La sección está cubierta por coluvión de 1.83-18.75 m.

SB-2. (18.75-12.70 m).

Hacia la cima se presenta una caliza color gris oscuro azoica, con presencia de lentes de pedernal, se depositó en estratos delgados. Las microfacies es un packstone con una gran abundancia de restos biogénicos no identificables, con vetillas de esparita y con la presencia de foraminíferos, ostrácodos y crinoides.

La sección se presenta cubierta desde los 12.7 m hasta los 16.70 m.

SB-3. (16.7m-17.18 m).

Caliza color gris oscuro en superficie intemperizada y gris claro en fractura fresca en estratos delgados a medianos con presencia de lentes de pedernal, sin fauna aparente y con vetillas de calcita. A las microfacies se observa un packstone con restos biogénicos, y restos esqueléticos de crinoides, braquiópodos y foraminíferos.

Cubierto de 17.18m-20.16m.

SB-4. (20.16 m-22.16 m).

Se observó una caliza gris oscura en superficie intemperizada y gris claro en superficie fresca, con presencia de lentes de pedernal y estilolitos. Los estratos delgados se encuentran bien expuestos y azoicos. A las microfacies se observa un packstone con restos biogénicos no identificables y también escasos tallos de crinoides.

Cubierto de 22.16 m a 22.76 m.

SB-5. (22.16 m-26.72 m).

Este nivel de la columna está conformado por caliza color gris oscuro en superficie fresca, y gris claro a fractura presencia de vetillas de calcita y abundantes lentes de pedernal gris. Se presenta en estratos delgados a medianos, con numerosas fracturas. Al microscopio se observa como un packstone bioclástico, con pellets, restos de braquiópodos y vetillas de esparita, se observa la presencia de *Granulifera* sp. indet. (ver figura 20).

SB-6. (26.72 m-27.72 m).

Suprayaciendo a SB-5 Se caracterizo una caliza gris tanto en superficie intemperizada como en fresca, se observa en estratos medianos bien expuestos, e igual que en la anterior con nódulos de pedernal y presencia de corales solitarios. Al microscopio se observa como un grainstone con restos esqueléticos en tallos de crinoides y briozoarios

SB-7. (27.72 m-31.72 m).

Su litología está compuesta de caliza gris clara en superficie intemperizada y fresca, sus estratos medianos se encuentran mal expuesta con presencia de corales y cierto grado de cristalización. A las microfacies se observa como un packstone biogénico con cortoides, ooides, corales también se observa un brechamiento donde la dentro de la fractura se filtró fluido recristalizándose.

SB-8. (31.72 m-31.97 m).

Su litología está compuesta de caliza gris oscuro en superficie intemperizada y fresca, sus estratos medianos se encuentran bien expuestos con cierto grado de cristalización. Sus microfacies son Packstone con gran contenido en esqueletos fósil en trilobites, corales, briozoarios, braquiópodos moluscos, crinoides.

SB-9. (31.97 m-35.55 m)

Caliza intercalada con dolomías de color gris tanto en superficie intemperizada como en superficie fresca con nódulos de pedernal rojo. Sus microfacies son un grainstone con restos esqueléticos en tallos de crinoides, foraminíferos y cortoides.

SB-10. (35.55 m-36.50 m)

Se observan calizas grises claro en superficie intemperizada y fresca con lentes de pedernal y corales solitarios, se presentan en estratos delgados mal expuestos. Al microscopio se muestra un packstone con una gran cantidad de granos esqueléticos en crinoides.

SB-11. (43.10 m-48.16 m)

Se presenta una caliza gris en la pátina y gris oscuro en superficie fresca, bien expuesta en estratos masivos con presencia de restos de tallos de crinoides. Sus microfacies es un packstone con restos biogénicos no identificable presencia de tallos de crinoide y briozooarios.

SB-12. (37.70 m-41.10 m)

Caliza presente en estratos masivos color gris en la pátina y gris con tonos parduscos en superficie fresca, en cuanto a contenido fósil destacan tallos de crinoides. Sus microfacies son un grainstone con restos biogénicos no identificables y contenido en tallos de crinoides.

SB-13. (41.10 m-42.10 m).

Se observa una caliza gris oscuro tanto en superficie expuesta como en fresca, azoica, con nódulos de pedernal y presente en estratos mal expuestos. Las microfacies son un mudstone con apenas restos biogénicos.

SB-14. (42.10 m-43.10 m).

Caliza gros oscuro tanto en superficie intemperizada como en fresca en estratos mal expuestos y delgados, con cierto grado de cristalización y tallos de crinoides. Sus microfacies es un Packstone con restos biogénicos no reconocibles y presencia de cortoides, braquiópodos y crinoides.

SB-15. (43.10 m-44.10 m).

Caliza gris claro en superficie expuesta y tonos pardos en la superficie fresca, presente en estratos delgados con nódulos de pedernal y abundantes tallos de crinoides. Al microscopio se observa un wackstone con abundantes cortoides y tallos de crinoides.

SB-16. (44.10 m-48.10 m).

Caliza de color gris claro en la pátina y gris con tonos parduscos en la superficie fresca en menor frecuencia que la muestra anterior, presente en estratos masivos con contenido en nódulos de pedernal y tallos de crinoides en mayor frecuencia. Sus microfacies son un packstone con abundantes restos biogénicos no reconocible y contenido en tallos de crinoides, corales y braquiópodos.

SB-17. (48.10 m-49.10 m).

Caliza gris en la superficie expuesta y gris oscuro en la superficie fresca, caliza azoica con presencia de lentes de pedernal eslitolitos y vetillas de calcita expuesta en estratos delgados. Sus microfacies son una mudstone con escasos restos biogénicos y con eslitolitos.

SB-18. (49.10 m-51.90 m).

Caliza tipo encrinita color gris claro en superficie intemperizada y oscura en superficie fresca, se expone en estratos de medios a masivos, se observan abundantes restos de tallos de crinoideos. Las microfacies son un packstone con abundantes cortoides y granos esqueléticos de tallos de crinoideos.

SB-19. (51.90 m-53.90 m).

Caliza gris en la superficie expuesta y gris oscuro en la superficie fresca, caliza azoica con presencia de lentes de pedernal esilolitos, vetillas de calcita y con cierto grado de cristalización expuesta en estratos delgados. Al microscopio se observa un wackstone con abundantes pellets y restos biogénicos no reconocibles.

SB- 20. (53.9 m-54.9 m).

Caliza tipo encrinita color gris claro en superficie intemperizada y en superficie fresca, se expone en estratos de medios a masivos, se observan abundantes restos de tallos de crinoideos. Sus microfacies son un grainstone con abundantes restos de tallos de crinoideos.

SB-21. (54.9 m-56.9 m).

Este nivel está constituido por una caliza recristalizada gris claro en estratos delgados a medianos bien expuestos y con presencia de corales solitarios. Sus microfacies son un grainstone con abundantes restos de tallos de crinoideos.

SB-22. (56.90 m-59.90 m)

Este nivel está constituido por una caliza recristalizada gris claro en estratos delgados a medianos bien expuestos, con presencia de corales solitarios, restos de tallos de crinoideos y briozoarios. Sus microfacies son un grainstone con abundantes restos de tallos de crinoideos.

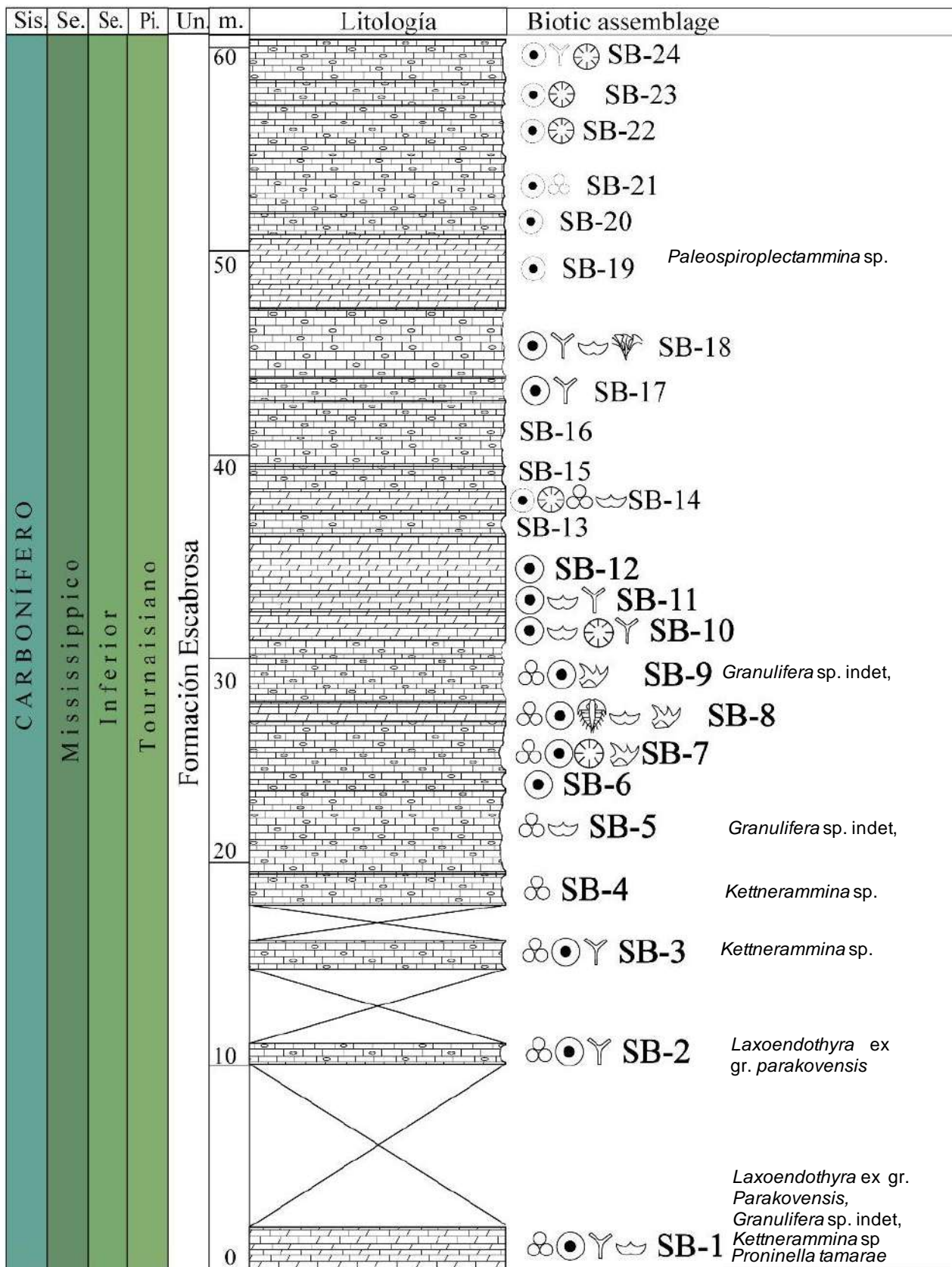
SB-23. (59.90 m-60.90 m).

Caliza color gris en la parina y gris oscuro en la superficie fresca presenta abundantes corales tallos de crinoideos en menor cantidad y lentes de pedernal rojo. Sus microfacies son un packstone con abundantes restos de tallos de crinoideos.

SB-24. (60.90 m-61.90 m).

En la cima de esta columna se presenta caliza de color gris en superficie intemperizada y en superficie fresca en estratos masivos bien expuestos con abundante fauna: briozoarios, corales, gasterópodos y abundantes restos de tallos de crinoideos, en la parte superior se observa una capa de aproximadamente 20 cm de un pedernal blanco con restos fósiles no caracterizables. Sus microfacies son un packstone con abundantes granos esqueléticos no reconocibles, contenido en crinoideos y braquiópodos.

Debido a que se encontraron muy pocos y deteriorados ejemplares de conodontos, no se pudieron asignar biozonas en esta sección.



- Simbología**
- ⊗ Corales
 - Crinodes
 - ⊗ Foraminíferos
 - ⊗ Trilobites
 - ⊗ Braquiópodos
 - ⊗ Algas
 - ⊗ Conodontos
 - Y Briozooarios

- Caliza con lentes de pedernal
- Caliza recristalizada

Figura 5. Columna estratigráfica de la sección realizada en el Cerro El Maguey. Sis. Sistema, Se. Serie, Pi. Piso, Un. Unidad, m. Metros.

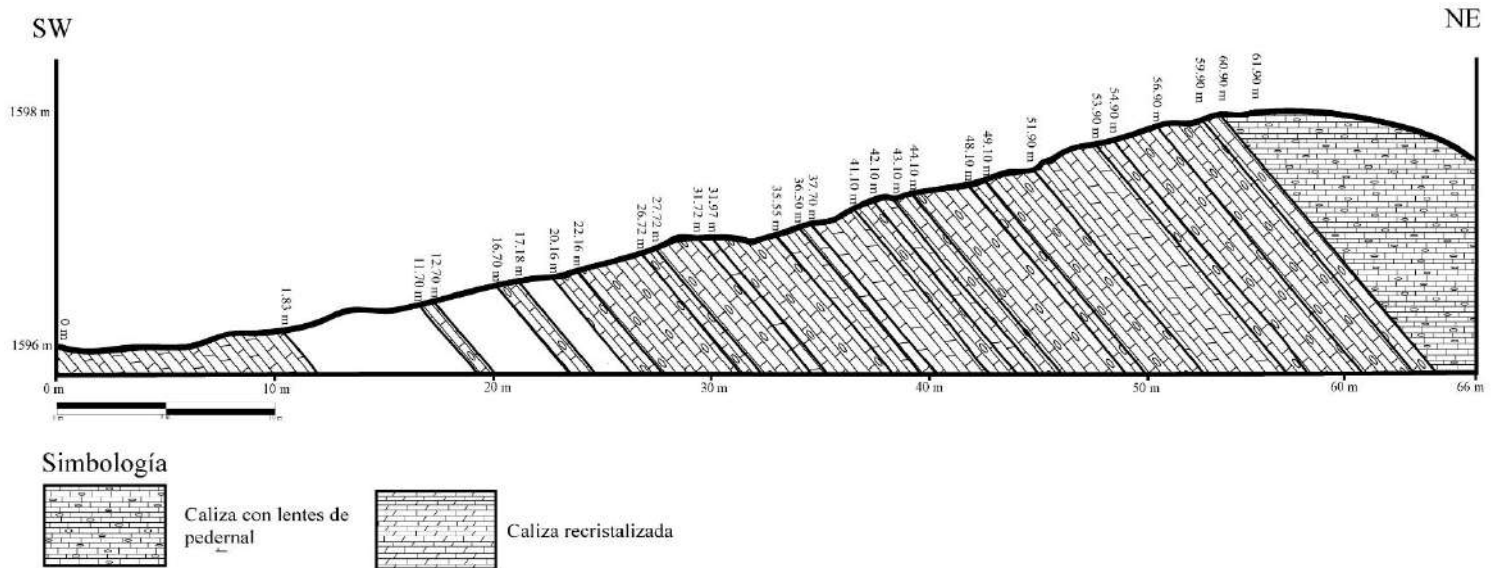


Figura 6. Perfil geológico de la sección realizada en el Cerro El Maguey en la sierra Las Mesteñas.

9.2. Láminas delgadas.

Para las láminas delgadas se encontraron 4 distintos géneros de foraminíferos: *Laxoendothya* ex gr. *Parakosnvensis*, *Kettnerammia* sp, *Granulifera* sp. y *Paleospiroplectammia* sp. todos de edad del Misisípico inferior/ Turnaisiano así como también abundantes tallos de crinoides, braquiópodos, bivalvos, algas, gasterópodos y briozoarios siendo esta fauna fósil correlacionable con un ambiente de depósito de plataforma carbonatada de aguas cálidas y someras.

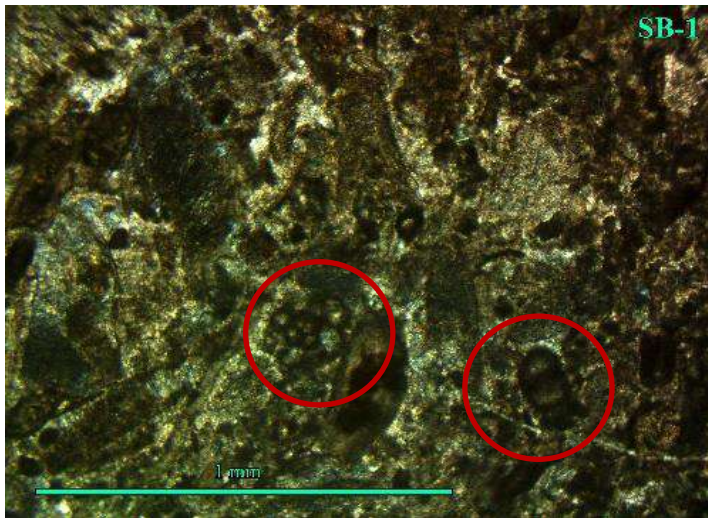


Figura 7. *Laxoendothyra* ex gr. *parakovensis*, *Granulifera* sp. indet Sección transversal.

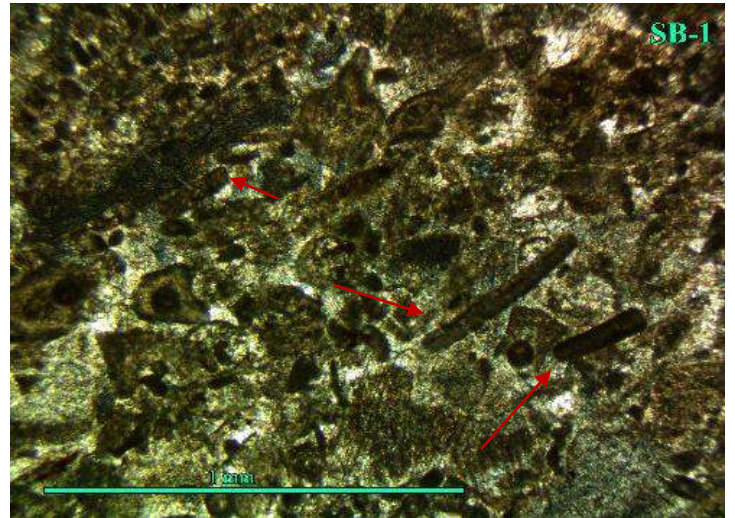


Figura 8. *Kettnerammina* sp.

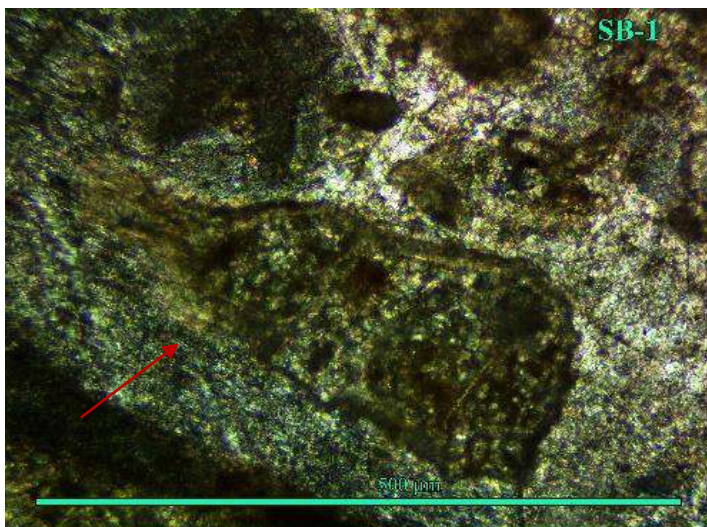


Figura 9. *Proninella tamarae* .

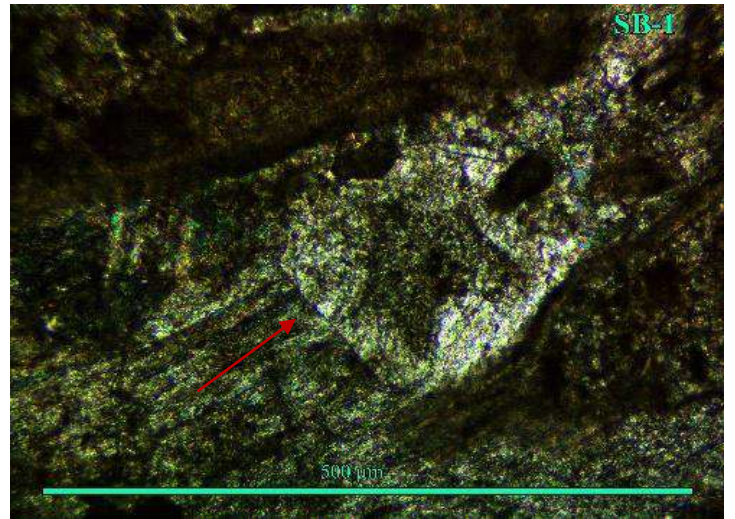


Figura 10. Microfacies con restos de tallos de crinoide.

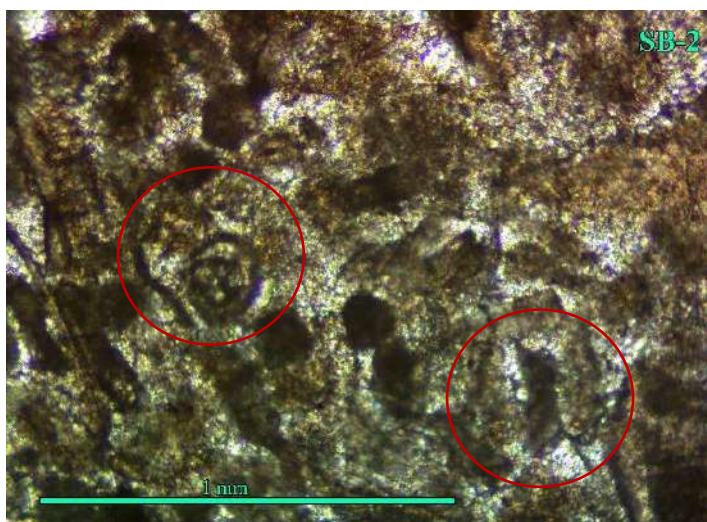


Figura 11. *Laxoendothyra* ex gr. *parakosnvensis* .

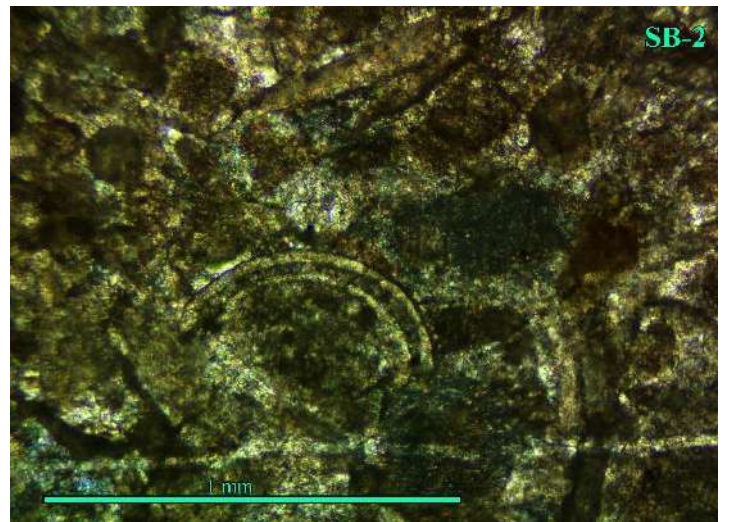


Figura 12. Microfacies de braquiópodos.

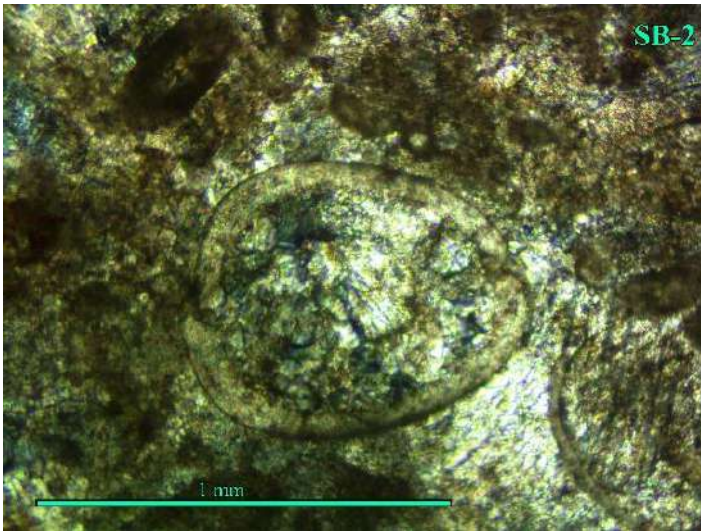


Figura 14. Sección transversal de la concha de un ostrácodo.

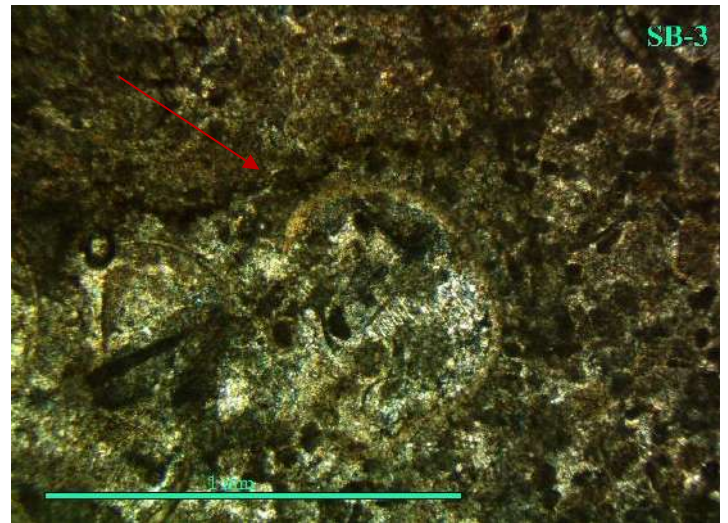


Figura 13. Sección transversal de la concha de un braquiópodo.



Figura 15. *Kettnerammina* sp.

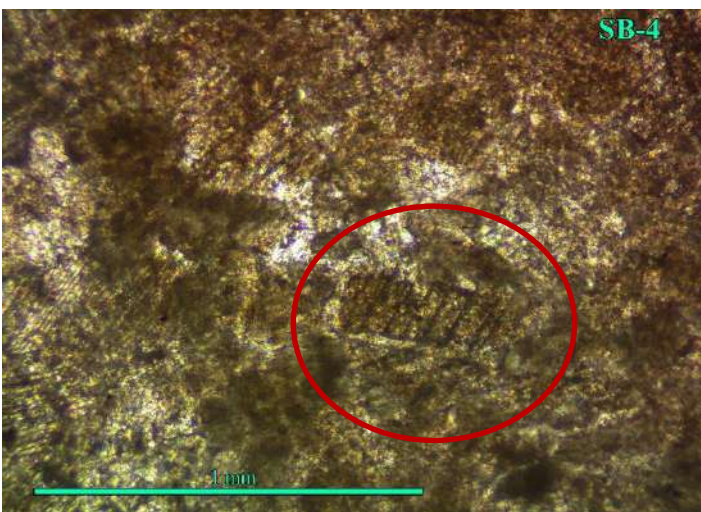


Figura 16. Placas de equinodermo.

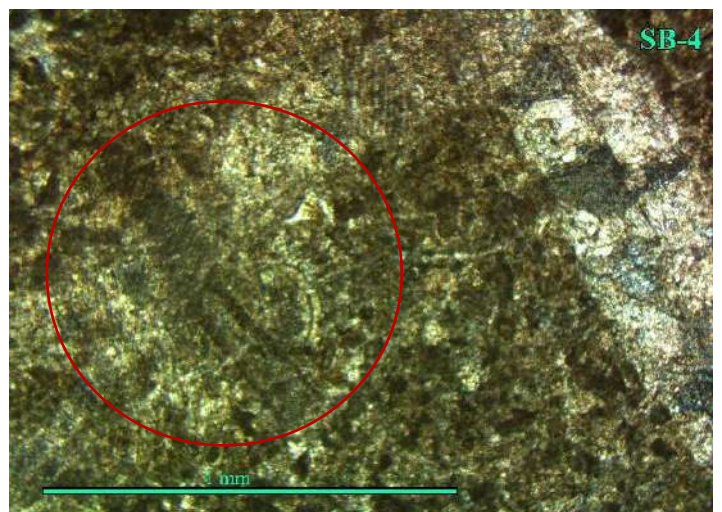


Figura 17. *Kettnerammina* sp.

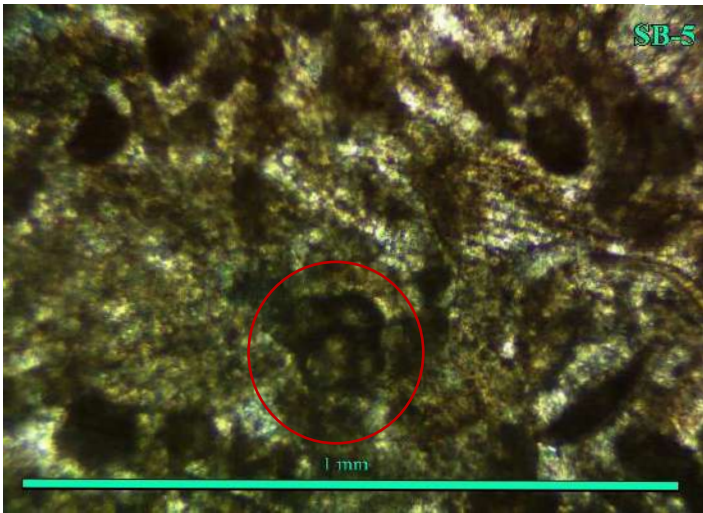


Figura 18. *Granulifera* sp. indet y placas de equinodermos.

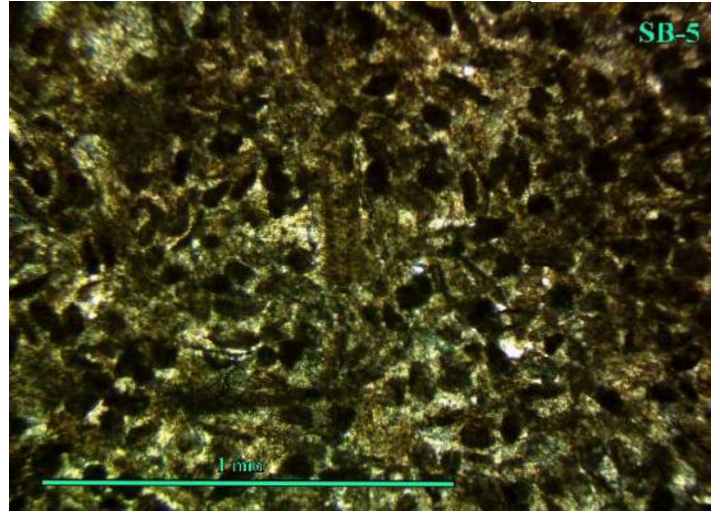


Figura 19. Pellets.

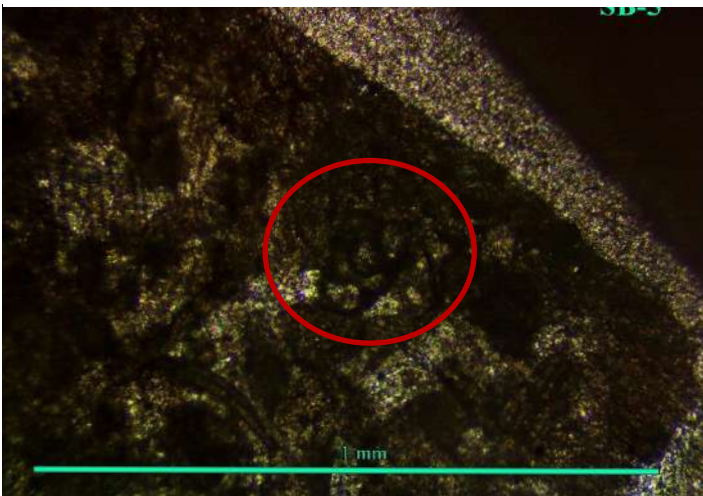


Figura 20. Fragmento de foraminífero.

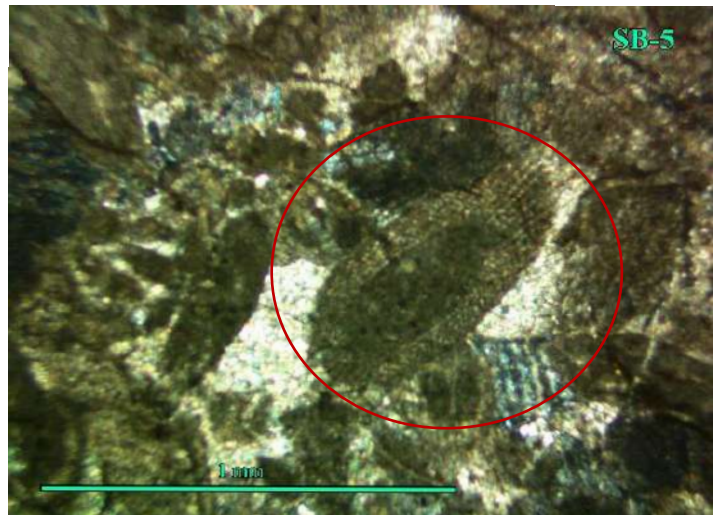


Figura 21. Fragmentos de algas.



Figura 22. Fragmentos de algas y calciesfera.



Figura 23. Fragmento de foraminifero.

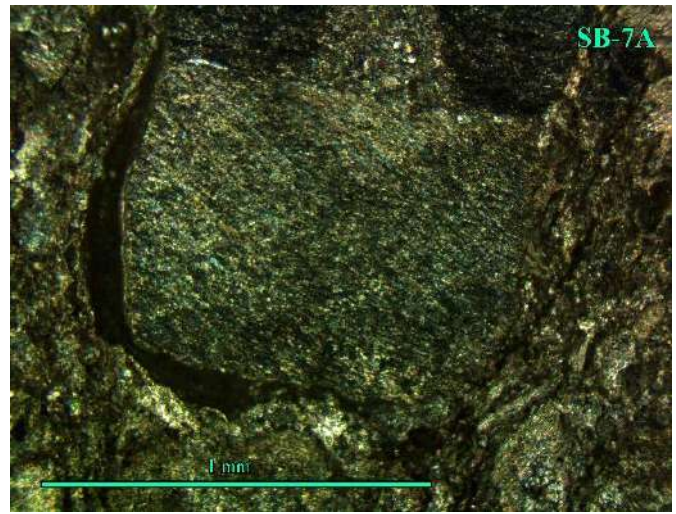


Figura 24. Corte longitudinal del tallo de un crinoide.

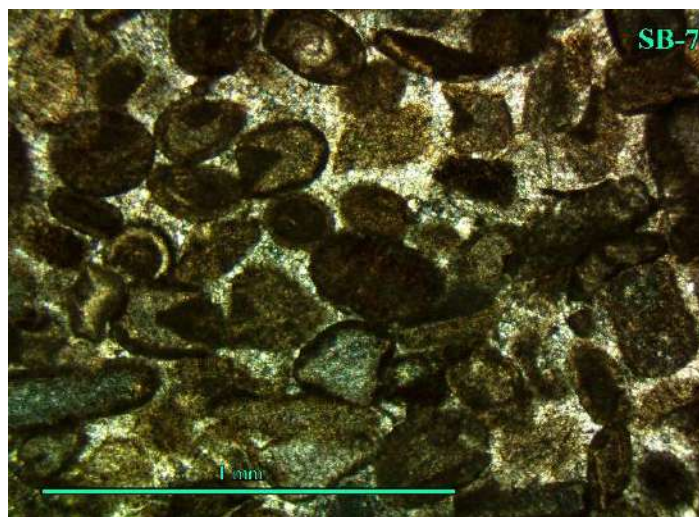


Figura 23. Microfacies de esparita con ooides y cortoides.

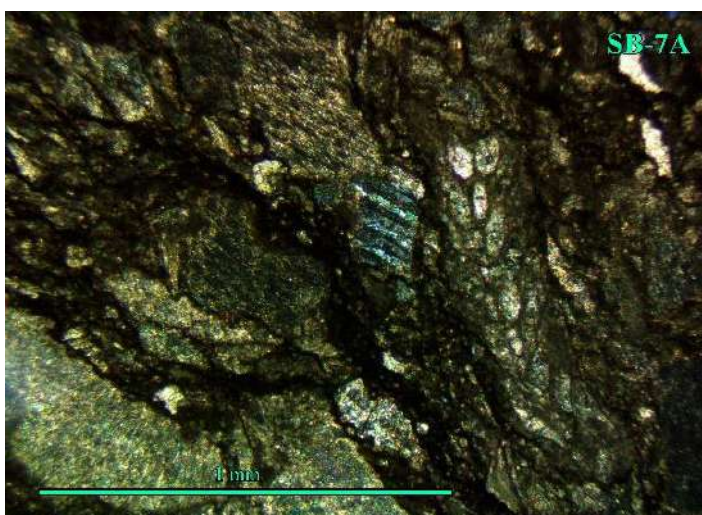


Figura 24. Fragmento de briozooario junto con placas de equinodermo.

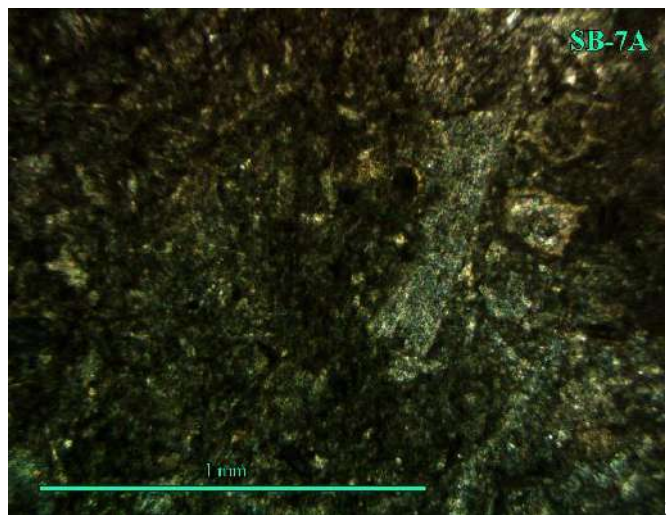


Figura 25. Fragmento de braquiópodo.

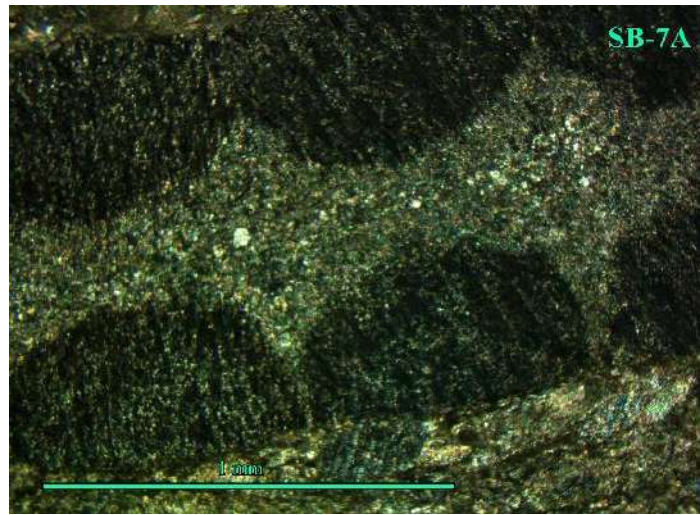


Figura 26. Corte longitudinal del tallo de un crinoide.

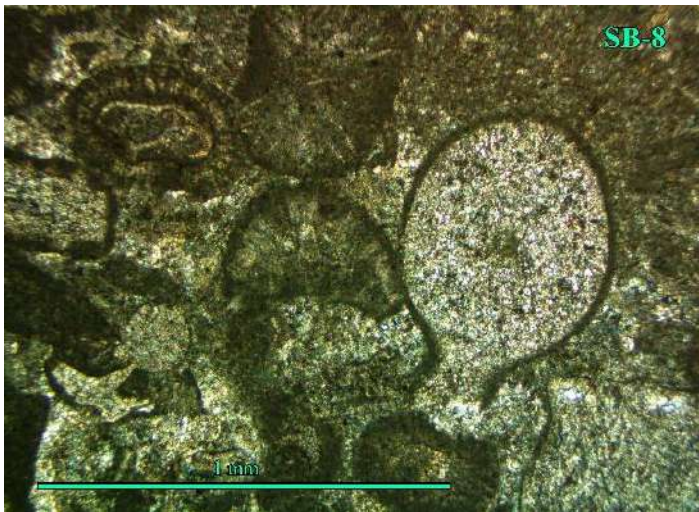


Figura 27. Algas, ooides y foraminíferos.



Figura 28. Fragmentos de braquiópodos

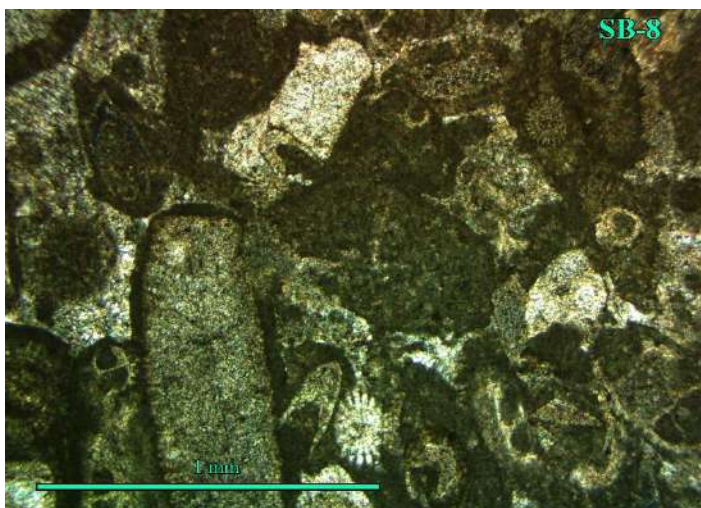


Figura 29. Fragmentos de algas, corales y placas de equinodermos

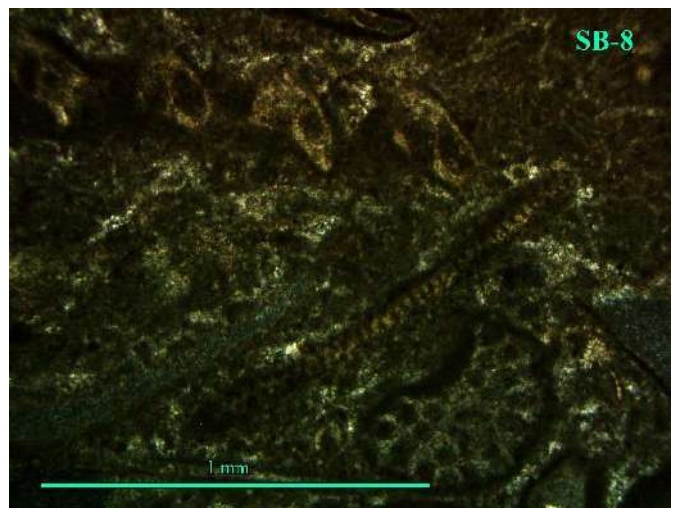


Figura 30. Fragmentos de crinoides y algas.



Figura 31. Fragmento de briozooario.



Figura 32. Corte longitudinal de trilobite?

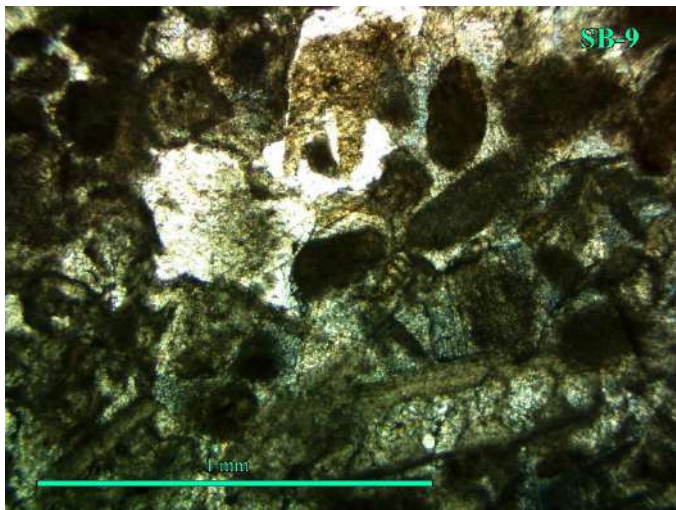


Figura 33. Fragmentos de placas de equinodermos y foraminiferos.

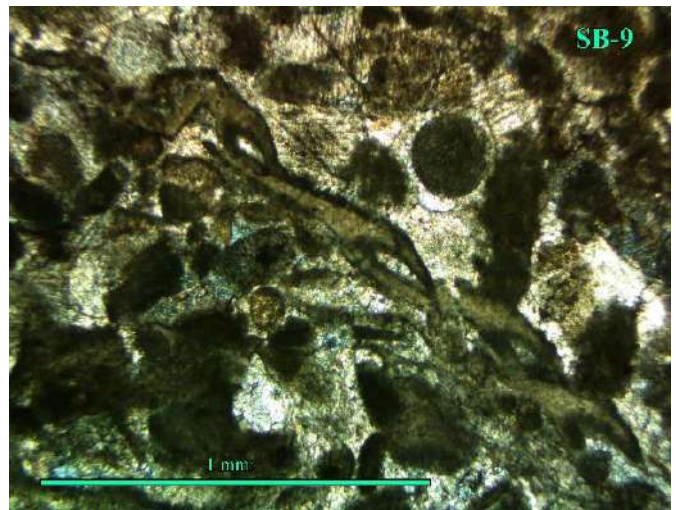


Figura 34. Fragmentos de trilobites.

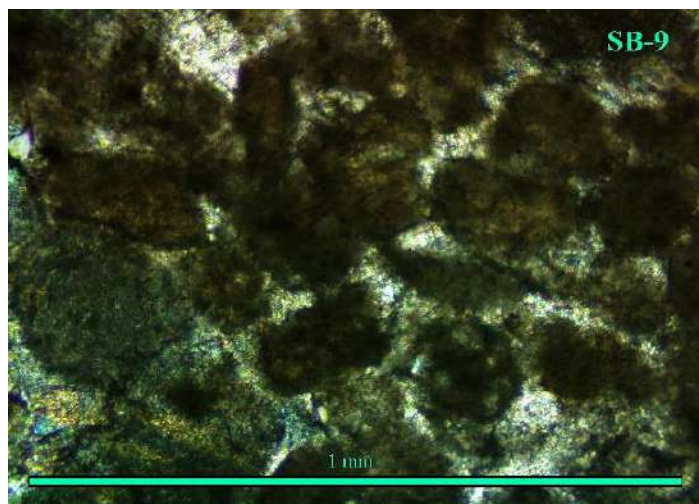


Figura 35. *Granulifera* sp.

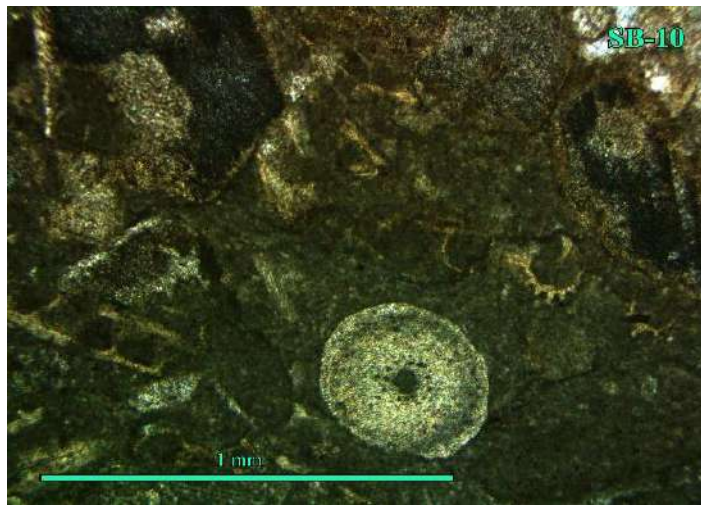


Figura 36. Corte de tallo de un crinoide y fragmentos de briozooarios

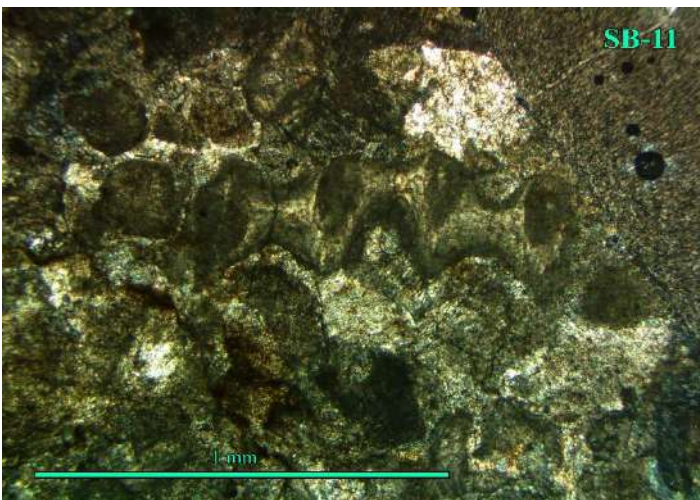


Figura 37. Fragmento de braquiópodo.

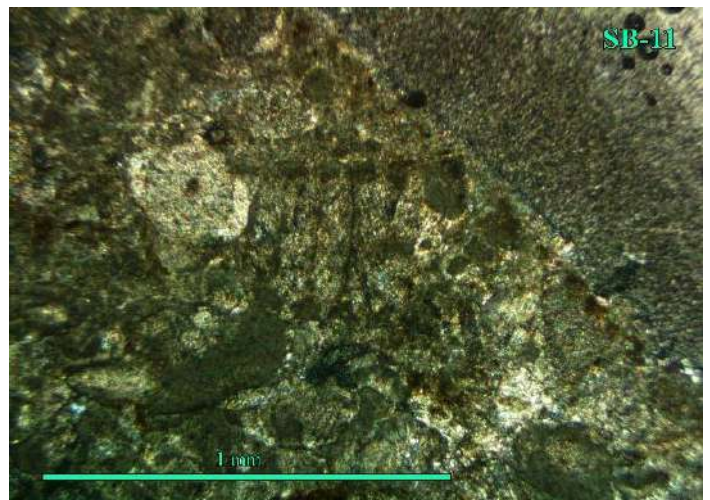


Figura 38. Fragmentos de tallos de crinoideos

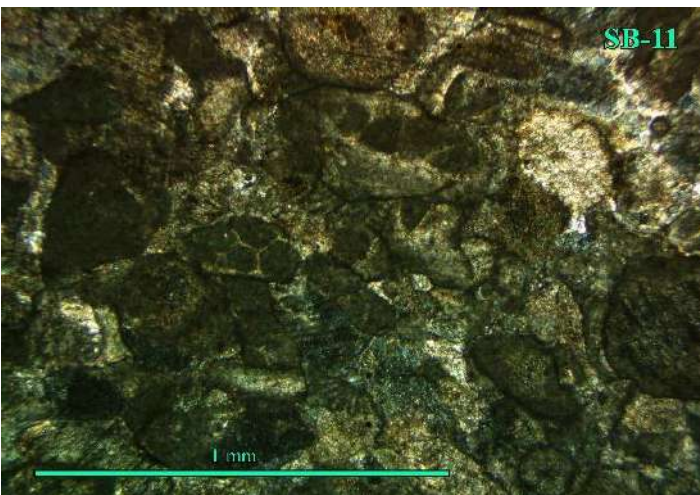


Figura 39. Fragmentos de briozooarios, algas y tallos de crinoideos.

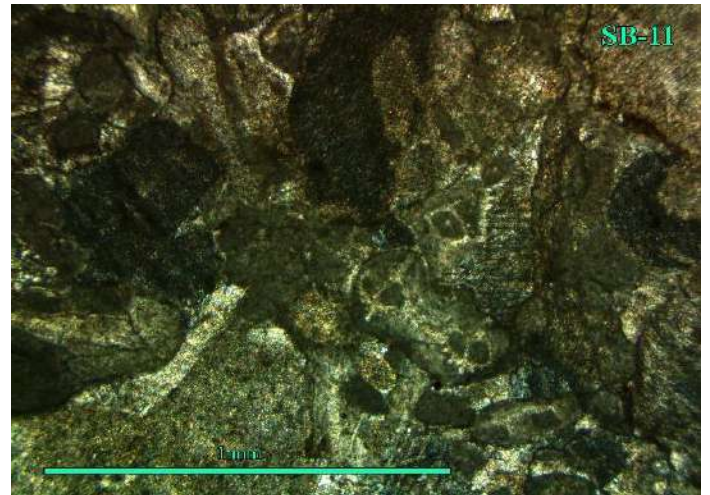


Figura 40. Fragmentos de placas de equinodermos.

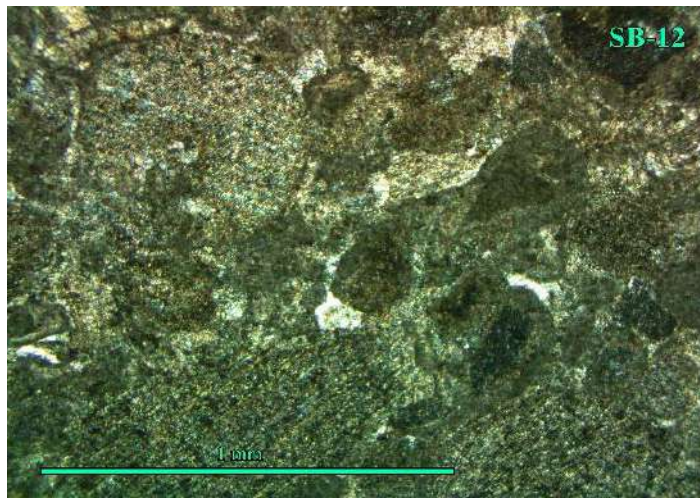


Figura 41. Fragmentos de tallo de crinoide.

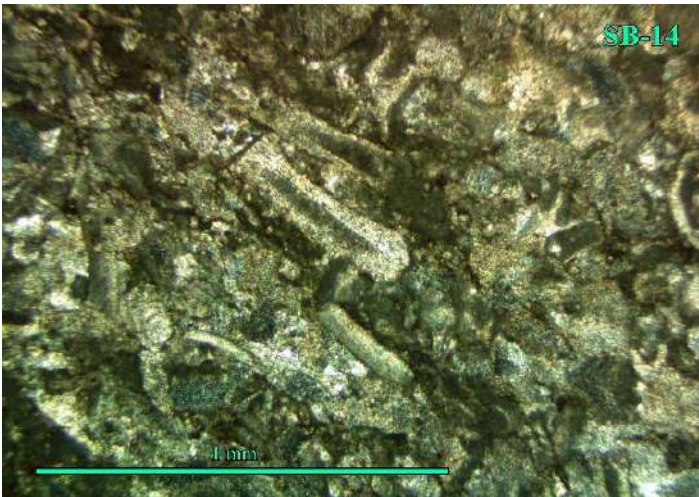


Figura 42. Cortoides y fragmentos de placas de equinodermos.

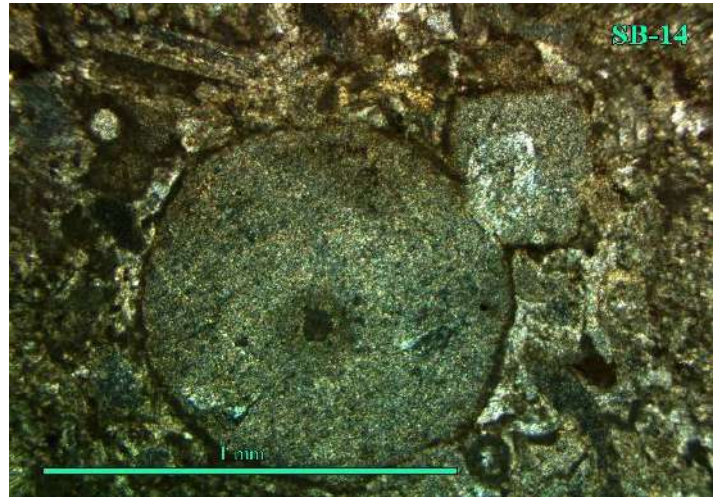


Figura 43. Fragmento de un tallo de crinoide

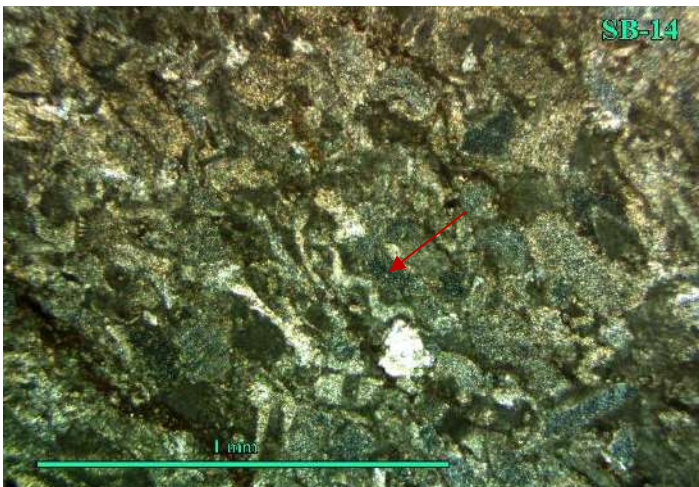


Figura 46. Fragmento de braquiópodo y fragmentos de placas de equinodermos.

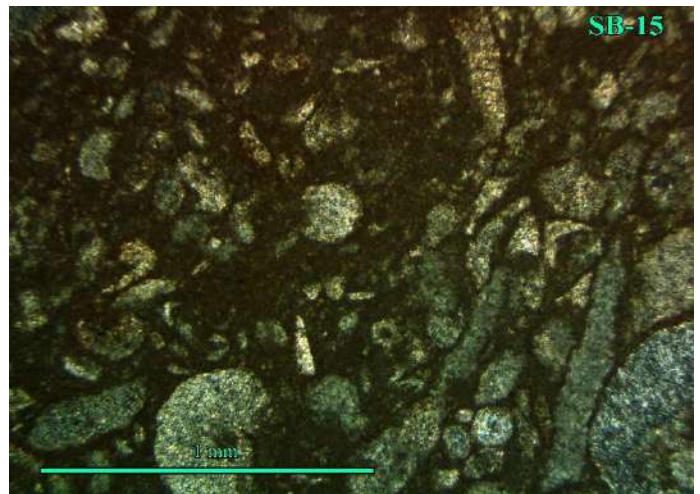


Figura 47. Fragmentos de discos de crinoides en una matriz micrítica.

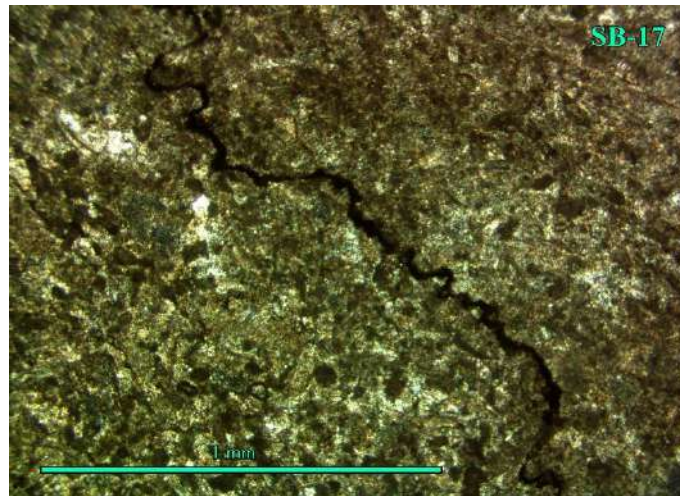


Figura 44. Estilolito.

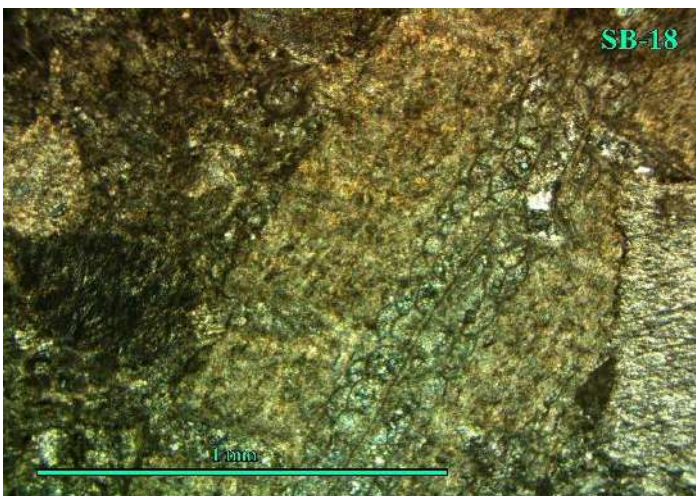


Figura 45. Bioclastos de algas, equinodermos.

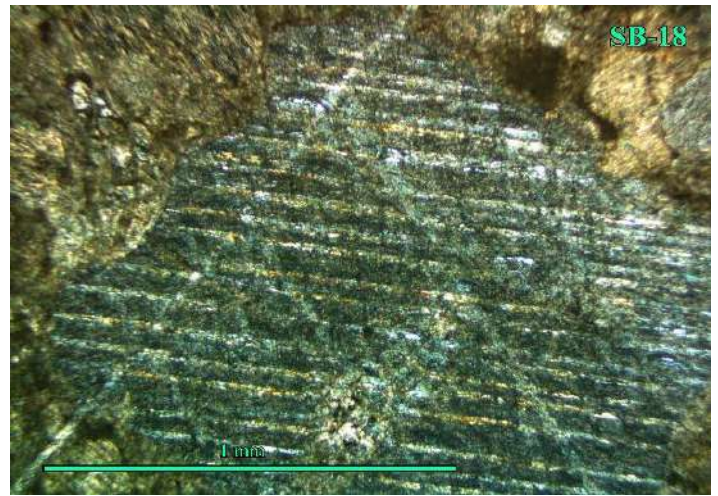


Figura 46. Corte transversal de un tallo de crinoide.

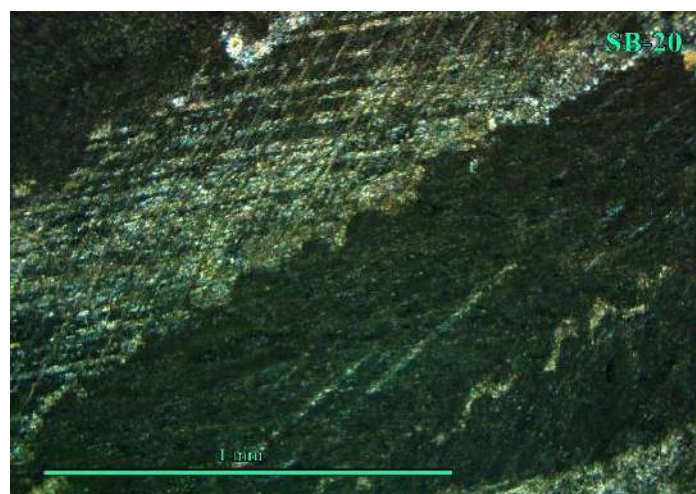


Figura 47. Corte transversal de un tallo de crinoide.

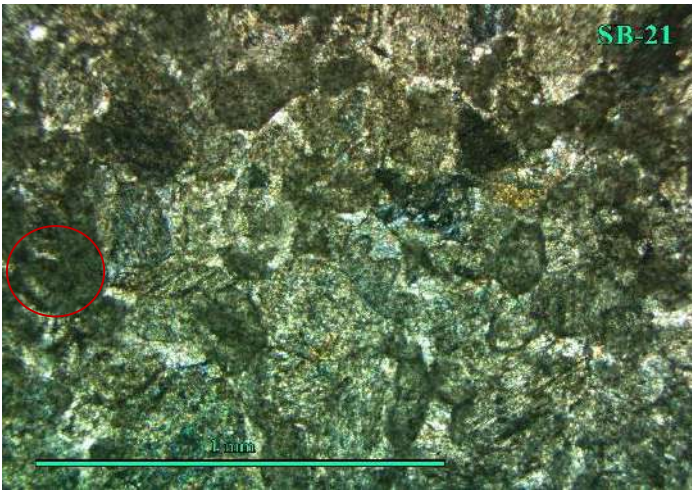


Figura 48. *Paleospiroplectammina* sp.

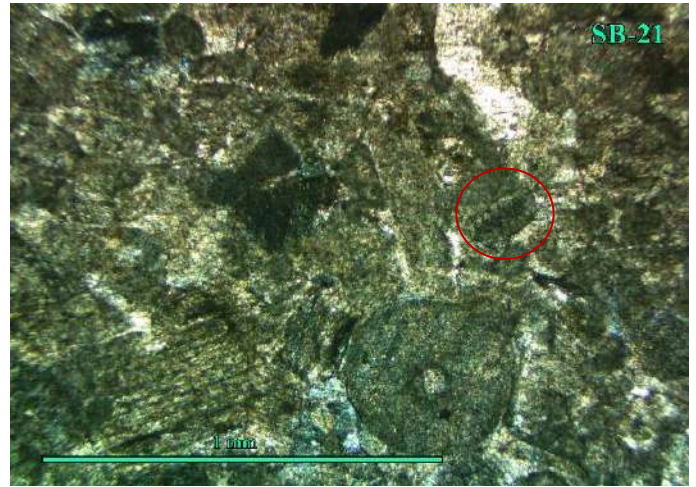


Figura 49. *Paleospiroplectammina* sp y tallo de crinoide.

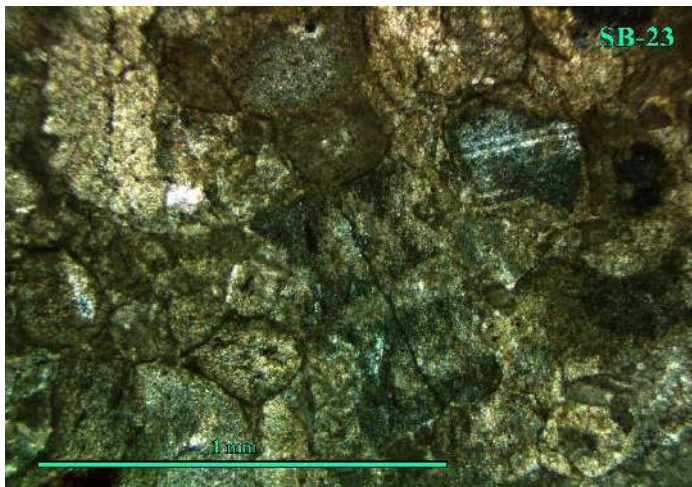


Figura 50. Fragmentos de equinodermos.

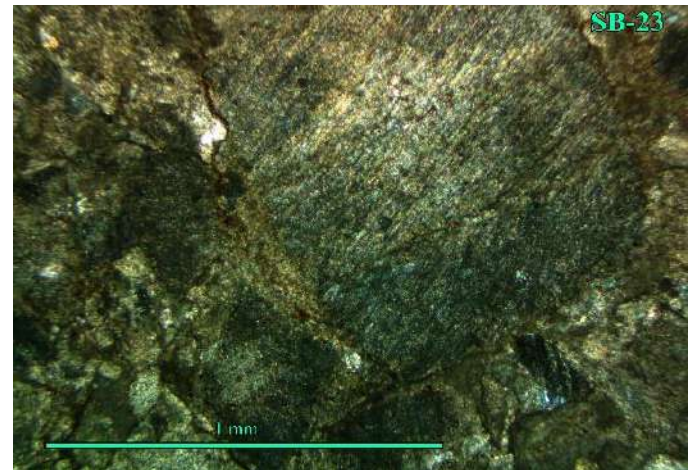


Figura 51. Corte transversal de tallo de crinoide.

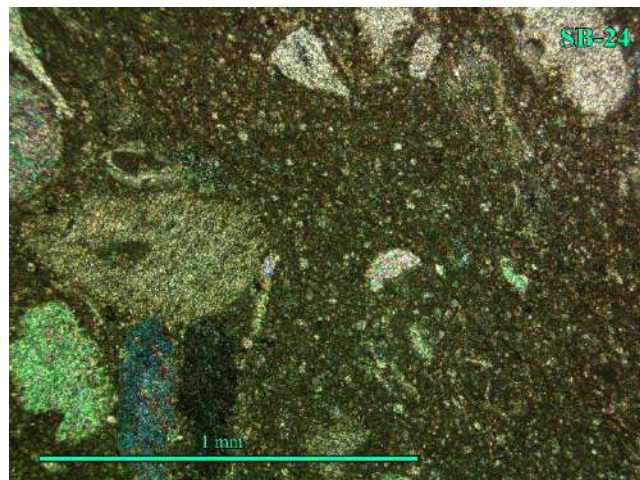


Figura 52. Fragmentos de tallosde crinoide con calciesferas en una matriz micritica.

10. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para este trabajo de tesis se tomó como referencia el mapa geológico de Peiffer-Rangin (1988), Macias-Bustillos (2019) y Aaron-Lara (2017). Dando así base para la realización de una columna bioestratigrafía y posterior mente un análisis de microfaisces a partir de la secuencia carbonatada estudiada en este trabajo, correspondiendo con la Formación Escabrosa del Misisípico descrita por Ransome (1904) en Arizona, de forma más específica perteneciendo al Tournaisiano. Cabe mencionar que el área de estudio se encuentra en un lugar inusual debido a que no coincide con la secuencia litológica de la región, ya que esta presenta nuevamente después de la Formación Horquilla del Pensilvánico.

Para los eventos tectónicos ocurridos Peiffer (1988) menciona que algunos bloques de la Formación Escabrosa están plegados formando anticlinales y sinclinales, sin embargo, Macias (2019) menciona pequeños bloques que fueron rotados y desprendidos de su roca original a causa de una potente falla a rumbo que se encuentra en la zona.

Se recomienda realizar estudios más específicos sobre la tectónica del área para tener así un panorama más amplio sobre estos bloques separados de su roca de origen y de esta forma tener un panorama más amplio sobre la orogenia culpable de este bloque separado.

11. CONCLUSIONES

La sección realizada se pertenece a una secuencia carbonatada donde se encontró abundante fauna fósil como, braquiópodos, tallos de crinoides, briozooarios, trilobites, gasterópodos, bivalvos y corales siendo esto característico de un ambiente de depósito de plataforma carbonatada somera de aguas cálidas que es correlacionable con el cratón norteamericano.

La secuencia carbonatada estudiada en esta tesis es correlacionable con la Formación Escabrosa del Misisípico observada en Arizona; de forma más específica del Tournaisiano, de acuerdo con los foraminíferos: *Laxoendothyra* ex gr. *Parakosnvensis*, *Kettnerammina* sp, *Granulifera* sp. y *Paleospiroplectammina* sp. identificados en las láminas delgadas y de acuerdo con el ambiente de depósito se correlaciona esta área con la parte sur del cratón norteamericano.

Se desconoce a qué orogénesis pertenecen los eventos tectónicos ocurridos en el área de estudio se observaron bloques de la Formación Escabrosa, formando anticlinales y sinclinales, y fallas a rumbo que se encuentran en la zona.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Anderson, W. I. 1969. Lower Mississippian conodonts from northern Iowa. *Journal of Paleontology*, v. 43, núm. 4, p. 916-928.
- Becuar-Daniels, A. 2019. Bioestratigrafía de conodontos del Paleozoico inferior de la zona del cerro El Santísimo, Arivechi, Sonora. Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Tesis profesional. p. 10-17.
- C.F.E., 1983. Informe Anual de Actividades. Residencia de Estudios Carboníferos de Sonora C.F.E.: Informe Interno.
- CONAGUA, 2011. Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero 2660 Cuitaca, Estado de Sonora. Organismo de Cuenca Noroeste, Dirección Técnica, p. 32.
- Cocheme, J. J., 1985, Le magmatisme cézoïque dans le NW du Mexique. Cartographie de la région Yecora Maicoba, Mulatos. Illustration magmatique de la fin d'un régime en subduction type cordillerain et du passage a un régime distensif. Thèse d'état. Univ. d'Aix Marseille III.
- GEOCA, S.A. 1965. Informes de los Estudios Geológicos-Radiométricos realizados para la C.N.E.N., en la Sierra de las Mesteñas, Son., Méx. (inédito).
- González-León, C. M. 1986. Estratigrafía del paleozoico de la Sierra Del Tule, noreste de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, Revista, v. 6, núm. 2, p. 117-135.
- González-León, C. M. 2013. La Geología de Sonora: Una historia de 1800 millones de años. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología.
- Gómez-Tagle, A. 1967. Estudio geológico de la Sierra de las Mesteñas, municipio de Fronteras, Estado de Sonora. Facultad de Ingeniería, UNAM. Tesis Profesional. p. 1-69.
- Grijalva-Miranda, S.M. 2019. Estudio Paleontológico del Proterozoico-Cámbrico del Cerro La Pedregosa, Sierra Las Mesteñas, Sonora, México. Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Tesis profesional. p. 1-77.
- Huddle, J. W., Dobrovoly, E. 1952. Devonian and Mississippian Rocks of Central Arizona. Geological Survey Professional Paper 233-D, p. 67-112.
- Lara-Peña, R. A. 2017. Bioestratigrafía de conodontos del devónico superior en el área del Cerro Las Pintas, noreste de Sonora, México. Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Tesis Profesional. p. 1-90.

- Macias-Bustillos, L. S. 2019. Nuevas aportaciones geológicas y técnicas mediante el empleo de VANTs en el área de la Sierra Las Mesteñas, noreste del estado de Sonora, México. Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Tesis Profesional. p. 37-79.
- McDowell, F. W., Clabaugh, S. E. 1981. The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of western Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 132, p. 1737-1746.
- Palafox-Reyes, J. J., Minjarez, I., Monreal, R., Almazán, E., Morales, M., Ochoa, L., Rodríguez, R., Rivera, B. 1998. Carta Geológico-Minera escala 1:250,000 Nacozari H12-6 Sonora y Chihuahua. Servicio Geológico Mexicano (SGM).
- Peiffer-Rangin, F. 1988. Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern and central Sonora, unpublished manuscript on file with J.H. Stewart, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California and F.G. Poole, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, p. 90.
- Ransome, F. L. 1904. Geology and ore deposits of the Bisbee Quadrangle, Arizona. Department of the Interior, United States Geological Survey. Professional Paper No. 21, p. 168.
- Roldán-Quintana, J. 1982. Evolución tectónica del Estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, Revista, v. 5, núm. 2, p. 178-185.
- Sánchez-Zavala, J.L., Centeno-García, E., Ortega-Gutiérrez, F., 1999, Review of Paleozoic stratigraphy of Mexico and its role in the Gondwana-Laurentia connections, in Ramos, V.A., Keppie, J.D. (eds.), Laurentia-Gondwana connections before Pangea: Boulder, Geological Society of America Special Paper, 336, 211-225.
- Taliaferro, N.L. 1933. An Occurrence of Upper Cretaceous Sediments in Northern Sonora México: Jour Geol. Vol. 41 No. 91 p. 12-37.
- Villanueva-Olea, R. 2019 Microfósiles como indicadores de cambios paleoambientales en el carbonífero del estado de sonora (sierras agua verde y mesteñas).
- Villanueva-Olea, Rafael, Buitrón-Sánchez, Blanca E., Palafox-Reyes, Juan José, & Piña-Flores, Samael. (2016). Crinoides (Echinodermata: Crinoidea) del Pensilvánico de sierra Las Mesteñas, NE de Sonora, México. Revista mexicana de biodiversidad, 87(4), 1225-1234. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.014>.
- Yza, R., Alcántara, J., Silva, N. 1984. Exploración carbonífera en el Estado de Sonora. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 45, núm. 3, p. 17-40.

