



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

**DETERMINACIÓN PALEOAMBIENTAL, A PARTIR DE UN ANÁLISIS
MICROFACIAL, DE UNA SECUENCIA DEL CRETÁCICO SUPERIOR EN
OCHUSJOB, MUNICIPIO DE TZIMOL, CHIAPAS.**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GEOLOGÍA APLICADA

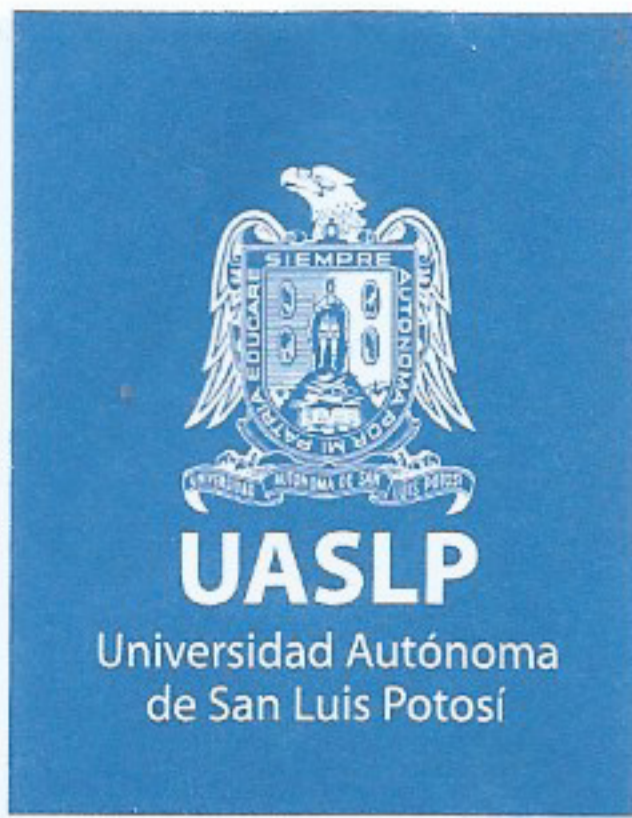
PRESENTA
ING. NAYELI LUPERCIO ESPERICUETA

ASESOR
DR. JOSÉ RAMÓN TORRES HERNÁNDEZ
CO-ASESOR
DR. JESÚS ALVARADO ORTEGA

ALUMNA BECADA POR
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CLAVE 1008454

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P. ENERO 2022





17 de junio de 2021

**ING. NAYELI LUPERCIO ESPERICUETA
P R E S E N T E.**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por los **Dres. José Ramón Torres Hernández y Jesús Alvarado Ortega** Asesor y Coasesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestra en Ciencias en Geología Aplicada**. Me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 17 de junio del presente, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

“Determinación paleoambiental, a partir de un análisis microfacial, de una secuencia del Cretácico Superior en Ochusjob, municipio de Tzimol, Chiapas”

- Introducción.
- 1. Generalidades
- 2. Análisis de microfacies de la Cantera Tzimol
- 3. Microfósiles de la zona de estudio
- 4. Interpretación de microfacies (SMF) de la Cantera Tzimol y su asociación faunística
- Conclusiones.
- Referencias.

“MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO”

A T E N T A M E N T E



DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR

www.uaslp.mx

Copia. Archivo
*etn.

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al39
fax (444) 826 2336

Índice	
Resumen	1
Introducción	4
Planteamiento del problema	5
Justificación	6
Hipótesis	7
Objetivos	7
Metas	7
Trabajos previos	
a. Paleontológicos	8
b. Geológicos	9
Materiales y equipo	
Trabajo de gabinete	11
Trabajo de campo	
Elaboración del perfil estratigráfico y toma muestras	11
Trabajo de laboratorio	
Elaboración de láminas delgadas	12
Método de levigado	13
Observación y toma de fotografías en el MEB	14
Análisis de facies	15
Determinación taxonómica	16
1. Generalidades	
1.1. Localización y vías de acceso	18

1. 2. Fisiografía y geomorfología	18
1. 3. Geología regional	19
2. Análisis de microfacies de la Cantera Tzimol	
2. 1. Descripción general del perfil litológico estratigráfico-facial de la Cantera Tzimol	22
2. 2. Análisis microfacial	28
2. 2. 1. Masa básica	28
2. 2. 2. Texturas	28
2. 2. 3. Análisis de componentes	29
Muestra TC ₁ -1	30
Muestra TC ₁ -3	32
Muestra TC ₁ -5	34
Muestra TC ₁ -7	37
Muestra TC ₁ -9	40
Muestra TC ₁ -11	44
Muestra TC ₁ -13	48
Muestra TC ₁ -15	50
Muestra TC ₁ -17	54
Muestra TC ₁ -19	56
Muestra TC ₁ -21	60
Muestra TC ₁ -23	64
ACT-1, 2, 3	68

3. Microfósiles de la zona de estudio	
3. 1. Determinación taxonómica	79
3. 1. 1. Foraminíferos	79
3. 1. 2. Ostrácodos	87
4. Interpretación de microfacies (SMF) de la Cantera Tzimol y su asociación faunística	
4.1. Interpretación de microfacies	95
4. 2. Reconstrucción paleoambiental	103
Conclusiones	
Discusiones	105
Nuevos aportes	106
Conclusiones finales	106
Referencias	108

Figuras

Figura 1. Fotografía del perfil de la Cantera Tzimol	12
Figura 2. Elementos utilizados para el método de levigado	14
Figura 3. Microscopio Electrónico de Barrido de la UASLP	15
Figura 4. Clasificación propuesta para rocas calizas	16
Figura 5. Localización de la zona de estudio	18
Figura 6. Mapa fisiográfico y geomorfológico	19
Figura 7. Mapa y columna estratigráfica regional	21
Figura 8. Afloramientos de la Cantera Tzimol	22
Figura 9. Detalle de los estratos de la Cantera Tzimol	23
Figura 10. Columna estratigráfica de la Cantera Tzimol	24
Figura 11. Estructuras sedimentarias	25
Figura 12. Estructuras sedimentarias	26
Figura 13. Fotografía de la muestra TC1-21	27
Figura 14. Microfotografía muestra TC1-1	31
Figura 15. Microfotografía muestra TC1-3	33
Figura 16. Microfotografía muestra TC1-5	36
Figura 17. Microfotografía muestra TC1-7	39
Figura 18. Microfotografía muestra TC1-9	42
Figura 19. Microfotografía muestra TC1-9	43
Figura 20. Microfotografía muestra TC1-11	46
Figura 21. Microfotografía muestra TC1-11	47
Figura 22. Microfotografía muestra TC1-13	49

Figura 23. Microfotografía muestra TC1-15	52
Figura 24. Microfotografía muestra TC1-15	53
Figura 25. Microfotografía muestra TC1-17	55
Figura 26. Microfotografía muestra TC1-19	58
Figura 27. Microfotografía muestra TC1-19	59
Figura 28. Microfotografía muestra TC1-21	62
Figura 29. Microfotografía muestra TC1-21	63
Figura 30. Microfotografía muestra TC1-23	66
Figura 31. Microfotografía muestra TC1-23	67
Figura 32. Microfotografía muestra ACT-1	72
Figura 33. Microfotografía muestra ACT-1	73
Figura 34. Microfotografía muestra ACT-2	74
Figura 35. Microfotografía muestra ACT-2	75
Figura 36. Microfotografía muestra ACT-3	76
Figura 37. Microfotografía muestra ACT-3	77
Figura 38. Comparación de facies	78
Figura 39. Foraminífero planctónico del género <i>Heterohelix globulosa</i>	80
Figura 40. Foraminífero planctónico del género <i>Hedbergella sp</i>	81
Figura 41. Foraminífero planctónico del género <i>Muricihedbergella monmouthensis</i>	82
Figura 42. Foraminífero bentónico del género <i>¿Navarella sp?</i>	83
Figura 43. Foraminífero planctónico del género <i>Globigerinelloides alvarezi</i>	84
Figura 44. Foraminífero planctónico sin identificar	85

Figura 45. Foraminíferos identificados en la zona de estudio	86
Figura 46. Partes de un ostrácodo	87
Figura 47. Ostrácodo del orden Pocopida	88
Figura 48. Ostrácodo de la familia Cytherillidae	89
Figura 49. Ostrácodo de la familia Cytherillidae	90
Figura 50. Ostrácodo del género <i>Cytheropteron sp</i>	90
Figura 51. Ostrácodo del género <i>Cytherella sp</i>	91
Figura 52. Ostrácodo de la familia Cytherellidae	92
Figura 53. Ostrácodo de la familia Trachyleberididae	92
Figura 54. Ostrácodo de la familia Limnocytherinae	93
Figura 55. Cantidad de ostrácodos de acuerdo con la familia	94
Figura 56. Agrupación de microfacies en la Cantera Tzimol	102
Figura 57. Reconstrucción paleoambiental de la zona de estudio	104

Tablas

Tabla 1. Resultados del análisis de facies	95
Tabla 2. Descripción general de las calizas y margas de la Cantera Tzimol	96
Tabla 3. Descripción de rocas fuera de la Cantera Tzimol	100
Tabla 4. Ambiente de depósito determinado mediante el análisis de facies	101
Tabla 5. Comparación entre los foraminíferos de la Fm. Angostura, Ocozocoautla y la Cantera Tzimol	105

Anexos

Anexo 1. Características morfológicas utilizadas en los foraminíferos	118
Anexo 2. Características morfológicas utilizadas en los ostrácodos	119

Anexo 3. Clasificación de Cushman	120
Anexo 4. Clasificación de carbonatos según Dunham (1962)	121
Anexo 5. Clasificación de las rocas carbonatadas según Folk (1959, 1962)	122

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A:

CONACYT por el apoyo económico para poder terminar y lograr mis objetivos de obtener una especialidad en Ciencias Aplicadas, con la beca clave 1008454.

Al Dr. Jesús Alvarado por aceptarme como su asesora en el transcurso de mi maestría aquí en San Luis, y que a pesar de la distancia estuvo pendiente de mí; gracias por sus consejos, paciencia y confianza.

Al Dr. Ramón Torres, gracias por aceptarme como su estudiante, al M. C. Marco Rojas por los consejos y los ánimos dados durante mis estudios, al Dr. Rubén López Doncel por sus enseñanzas y las dudas resueltas.

A todo el personal del Instituto de Geología, tanto al personal administrativo como académico, en especial a los profesores que formaron parte de mi preparación durante la especialidad; al Ing. Erasmo Mata por su colaboración en la preparación de láminas delgadas.

Me pondré un poco sentimental y dedicaré unas palabras a las personas más importantes durante este tiempo:

Primero que nada, a mis padres, mamá y papá gracias por la paciencia en mis estados de estrés y en los que no me aguantaba ni yo misma, gracias por las porras, por escucharme y por estar al pie del cañón conmigo y en todo momento.

A mis hermanos; Selene gracias por estar y por apoyarme, por la paciencia; a Rodolfo gracias por escucharme cuando necesitaba desahogarme, los amo demasiado a los dos.

A mi familia, abue, tía Mina, Fer, primis (Adri, Itzel), gracias por estar, pero en especial, tío, ya no pudo estar conmigo en mi titulación, pero sé que está viéndome donde quiera que este, nunca olvidaré de dónde vengo.

Quiero dedicarle unas palabras a Mariana y a Sol, niñas no pude haber elegido mejores compañeras durante este viaje, gracias por los consejos, por escucharme, por las risas, las lloradas, el apoyo, gracias por estar.

A Andrés gracias por todo tu amor y comprensión durante mis momentos de tanta tensión, por estar durante mis altibajos, gracias por tu paciencia y apoyo incondicional durante los buenos y malos momentos. Te amo mucho verde.

Quiero dejar unas palabras para cuando ya no pueda o piense en rendirme, Nayeli, cuando sientas que ya no puedes, recuerda este trabajo y que eres capaz de lograr cosas increíbles, nunca dudes de ti, tú puedes.

Resumen

En este trabajo se estudia La Cantera Tzimol, una localidad tipo *Lagerstätte*, ubicada a las afuera del pueblo Ochusjob, Municipio de Tzimol, Chiapas. Este sitio es parte del Bloque Maya, el cual se encuentra rodeado por un sistema de fallas sinestrales conocida como Polochic-Motagua (límite entre la placa Norteamericana y Caribeña). El hallazgo de peces e invertebrados en la Cantera Tzimol fue recientemente reportado; sin embargo, sus rasgos geológicos y micropaleontológicos generales no fueron detallados. Así, en esta primera aproximación estratigráfica y micropaleontológica, donde se emplean estos elementos para definir el paleoambiente y resolver la pertenencia de las rocas de este sitio a una unidad geológica formal. Aquí, la secuencia estratigráfica de este sitio fosilífero se describe como una sección continua cercana a los 3 metros de espesor, compuesta por una alternancia cíclica de calizas y margas. A partir de las láminas delgadas, obtenidas a lo largo de esta sección, se llevó a cabo un análisis de facies para inferir las condiciones paleoambientales presentes en el depósito de las rocas de Tzimol. Además, se describen, identifican e ilustran los microfósiles recuperados de los estratos margosos por el método del levigado y los observados en láminas delgadas de los estratos de rocas calizas. En las margas se observaron distintos microfósiles, incluyendo ostrácodos (primera vez reportados en la zona), abundantes foraminíferos planctónicos como *Heterohelix globulosa*, *Hedbergella* sp y *¿Globigerinelloides alvarezii?*, pocos foraminíferos bentónicos que incluyen *¿Muricohedbergella monmouthensis?* y *¿Navarella* sp?, que indican que la edad de este sitio paleontológico podría ser Campaniano-Maastrichtiano. Las capas calcáreas de textura *mudstone*, *wackestone* y *packestone* muestran una laminación paralela persistente y componentes orgánicos como foraminíferos, espículas de esponja, ostrácodos y espinas de equinodermos; los foraminíferos más abundantes representan a las familias Miliolidae, Globotruncanidae y Textulariidae, lo cual sugiere que la secuencia rocosa de Tzimol, se depositó en aguas poco profundas e hipersalinas, dentro de una plataforma interna protegida, posiblemente con abundantes algas. Los rasgos litológicos, paleontológicos y paleoambientales de la

Cantera Tzimol coinciden con aquellos de la Formación Angostura y difieren de los de la Formación Ocozocoautla.

Palabras claves: *Lagerstätte*, paleoambiente, microfósiles

Abstract

In this work, La Cantera Tzimol is studied, a Lagerstätte-type locality, located outside the town of Ochusjob, Municipality of Tzimol, Chiapas. This site is part of the Maya Block, which is surrounded by a sistralt fault system known as Polochic-Motagua (boundary between the North American and Caribbean plate). The finding of fish and invertebrates in the Tzimol Quarry was recently reported; however, its general geological and micropaleontological features were not detailed. Thus, in this first stratigraphic and micropaleontological approach, these elements are used to define the palaeoenvironment and resolve the belonging of rocks to a formal geological unit. Here, the stratigraphic sequence of this fossil site is described as a continuous section close to 3 meters thick, composed of a cyclical alternation of limestone and marl. From the thin sheets, obtained throughout this section, a facies analysis was carried out to infer the paleoenvironmental conditions present in the Tzimol rock deposit. In addition, the microfossils recovered from the marly strata by the levigating method and those observed in thin sheets of the limestone rock strata are described, identified and illustrated. Different microfossils were observed in the marls, including ostracods (first reported in the area), abundant planktonic foraminifera such as *Heterohelix globulosa*, *Hedbergella* sp and *Globigerinelloides alvarezi* ?, few benthic foraminifera that include *Muricohedbergella monmouthensis*? and *Navarella* sp ?, which indicate that the age of this paleontological site could be Campanian-Maastrichtian. The calcareous layers of mudstone, wackestone and packestone texture show persistent parallel lamination and organic components such as foraminifera, sponge spicules, ostracods and echinoderm spines; the most abundant foraminifera represent the families Miliolidae, Globotruncanidae and Textulariidae, which suggests that the rocky sequence of Tzimol was deposited in shallow and hypersaline waters, within a protected internal platform, possibly with abundant algae. The lithological,

paleontological and paleoenvironmental features of the Tzimol Quarry coincide with those of the Angostura Formation and differ from those of the Ocozocoautla Formation.

Key words: *Lagerstätte*, paleoenvironment, microfossils

Introducción

A lo largo de la historia, el territorio del Estado de Chiapas fue marcado por tres grandes procesos tectónico-deposicionales, la abertura del Golfo de México durante el Jurásico Medio, la presencia de una plataforma carbonatada Barremiano-Aptiano Temprano y la diversificación deposicional y litológica generada por la Orogenia Laramide durante el Cenomaniano-Paleogéno (Michaud y Fourcade, 1989). A pesar de este escenario general bien definido hasta el momento, el conocimiento de la estratigrafía del Cretácico Superior del Estado de Chiapas es un tanto confusa y controversial, debido en gran parte a la incertidumbre sobre la edad, contenido fósil y extensión de las unidades geológicas reconocidas en esta región (Quezada-Muñetón, 1987). Recientemente y con pleno conocimiento de ello, distintos autores se han esforzado por precisar las características litológicas, micropaleontológicas y paleoambientales de distintas unidades estratigráficas de este Estado (Omaña L, 2006; Pons *et al.*, 2016; Omaña y Alencáster, 2019).

En particular, los alcances estratigráficos y diferenciación litológica-paleontológica de las formaciones Angostura y Ocozocoautla han venido siendo definidos a lo largo del límite occidental de los altos de Chiapas, entre Ocozocoautla y Comitán (Omaña L, 2006; Pons *et al.*, 2016; Omaña y Alencáster, 2019). Recientemente, un equipo de estudiantes e investigadores de la UNAM, liderado por Jesús Alvarado Ortega, reportó el hallazgo en esta región de una asociación fosilífera bien conservada y diversa en las margas explotadas en la Cantera Tzimol. Las rocas de este sitio, se encuentra en el Municipio de Tzimol, cerca de Comitán, son explotadas desde hace cerca de 30 años por gente local y vecinos del pueblo de Ochusjob. Las lajas extraídas en este sitio son portadoras de fósiles de vertebrados e invertebrados de afinidad marina, principalmente peces, así como algunos restos vegetales de origen continental. De acuerdo con Alvarado-Ortega, *et al.*, (2020) este sitio *Lagerstätte* y sus fósiles son elementos de edad Cenomaniana conservados en una secuencia de estratos laminares y paralelos de rocas carbonatadas y margosas de la Formación Angostura, depositados en un ambiente marino, somero y cercano a la costa.

Las *Lagerstätten* son sitios paleontológicos especiales y muy importantes debido a la conservación extraordinaria de sus fósiles, entre los que se incluyen organismos completos, articulados y con detalles morfológicos finos bien conservados, en algunos casos los organismos se concentran de manera inusual (muy abundantes), y la diversidad que representan cubren un amplio taxonómico, (plantas, animales, etc) contienen numerosas especies y los fósiles exhiben rasgos morfológicos finos muy bien conservados (Seilacher, 1985). En particular, estos sitios de preservación excepcional documentan o evidencian un episodio de la historia biológica y geológica del planeta (Selden y Nudds, 2004).

En este trabajo se identificó un problema científico, el reconocimiento del ambiente de depósito de la Cantera Tzimol, se justifica la recuperación e interpretación de evidencias litológicas para satisfacer este problema y también, se establece la siguiente hipótesis de trabajo, objetivos y metas.

Planteamiento del problema

La Cantera Tzimol es un sitio paleontológico tipo *Lagerstätte* recientemente descubierto por Alvarado-Ortega *et al.* (2020). Este sitio se compone de una secuencia de calizas y margas exploradas en los linderos del Pueblo de Ochusjob, Municipio de Tzimol, en el Estado de Chiapas. Actualmente, la edad y pertenencia a una unidad litoestratigráfica formal en este sitio está en disputa, y su paleoambiente aún debe ser determinado con elementos de prueba concluyentes.

Los avances geológico-paleontológicos preliminares sobre la Cantera Tzimol fueron presentados en el Congreso de la Sociedad Mexicana de Paleontología de 2019, celebrado en la Ciudad de Chihuahua (Alvarado-Ortega *et al.* 2020; Cantalice-Kleyton *et al.*, 2019; Carranza-Becerra, *et al.* 2019) y más tarde publicados por Alvarado-Ortega *et al.*, (2020). En estos trabajos, sus autores concluyeron que las rocas de este sitio son de edad Campaniana, pertenecen a la Formación Angostura, y fueron depositadas en un ambiente marino poco profundo, de baja energía, cercano a la costa, como una laguna. No obstante, durante el mencionado congreso, se expresaron opiniones donde tales conclusiones podrían estar equivocadas, sugiriendo que estas rocas y sus fósiles podrían

ser de edad Maastrichtiana, pertenecientes a la Formación Ocozocoautla y podrían haberse depositado en un ambiente marino somero y restringido (Pons, 2019 comunicación verbal). Ante esta controversia, en este estudio se caracterizan las microfacies presentes en la secuencia sedimentaria de la Cantera Tzimol, tanto de los estratos carbonatados (calizas) como aquellos calcáreo-arcillosos (margas), además, de manera general, se identifican los microfósiles encontrados en esta localidad. Estos datos son considerados para determinar de manera más precisa el ambiente de depósito de la secuencia fosilífera de la Cantera Tzimol.

Justificación

Las *Lagerstätten* son sitios paleontológicos importantes, no solo por la conservación exquisita de sus fósiles, sino porque son verdaderos veneros de información geológico-paleontológica que complementan de manera importante el conocimiento sobre el devenir de la vida a través del tiempo geológico profundo. Usualmente estos sitios o sus fósiles son tan llamativos que llevan al establecimiento de museos regionales que, en cierta medida y en mediano y largo plazo, son polos turísticos que impulsan el desarrollo económico de las regiones donde están presentes.

La caracterización precisa de los rasgos geológico-paleontológicos de Tzimol requiere del esfuerzo conjunto de paleontólogos y geólogos. La generación de datos precisos de este sitio y su eventual incorporación a las discusiones científicas permanentes sobre geología y la paleontología en la región sur de México y del subcontinente norteamericano durante el Cretácico Temprano, llevarán al mejor entendimiento de estos fenómenos. La interpretación del ambiente de depósito sugerido para Tzimol por Alvarado-Ortega, *et al* (2020) se fundamenta casi exclusivamente en parte de la asociación faunística hasta ahora recuperada en el sitio; por eso en este trabajo se pretende contribuir al reconocimiento del ambiente de depósito del sitio desde un punto de vista geológico, a partir de la interpretación de la litología y las facies observadas en las rocas de esta cantera.

Hipótesis

“Los elementos litológicos y las facies conservadas en la Cantera de Tzimol permiten determinar el paleoambiente en que se formó esta localidad”.

Objetivos

Objetivo general- Caracterizar los rasgos estratigráficos, petrográficos y microfaciales de la secuencia fosilífera explotada en la Cantera Tzimol y utilizarlos para determinar su ambiente de depósito.

Objetivos específicos- En este trabajo se establecen los siguientes objetivos particulares:

- Caracterizar la secuencia estratigráfica de la Cantera Tzimol
- Reconocer los rasgos litológicos generales y microfaciales de esta secuencia fosilífera.
- Utilizar los datos litológicos y microfaciales como elementos diagnósticos del ambiente de depósito de esta secuencia fosilífera

Metas

Para resolver la hipótesis de trabajo y cubrir de manera satisfactoria los objetivos planteados en esta tesis se reconoce que las siguientes metas deben cumplirse:

- Llevar a cabo una exploración en campo para levantar un perfil estratigráfico de los estratos fosilíferos de la Cantera Tzimol.
- Describir la litología de esta secuencia fosilífera a partir de la observación directa en campo, selección de muestras de mano y elaboración de láminas delgadas.
- Determinar el ambiente de depósito de Tzimol a partir de la comparación de los rasgos litológicos y microfaciales con los patrones observados en los contextos teóricos previamente establecidos por otros autores e.g. Omaña-Pulido (2006), Pons *et al.*, (2016), Omaña y Alencáster (2019), etc.

Trabajos previos

A pesar de ser un lugar paleontológicamente recién descubierto, en este trabajo se consideran los antecedentes como elementos comparativos que permitirán alcanzar los objetivos aquí planteados. Por su temática general y naturaleza, estos antecedentes se dividen en dos grupos:

a. Paleontológicos

Alvarado-Ortega, *et al.*, (2020), informa el descubrimiento de un nuevo sitio paleontológico perteneciente, tentativamente, a la Formación Angostura, de edad Campaniana; esta se ubica en la ciudad de Ochusjob, en el municipio de Tzimol, Chiapas, México. Los fósiles encontrados en Tzimol son de una gran diversidad de especímenes bien preservados, lo que permite proponer este sitio como una nueva localidad Lagerstätte, en el extremo sureste de América del Norte. Los fósiles que se han encontrado en la localidad incluyen microfósiles como foraminíferos y algunas algas; así como macrofósiles de plantas, vertebrados e invertebrados. Las plantas se encuentran representadas por posibles frutos, hojas y restos de coníferas, así como restos de palmeras. Los invertebrados incluyen bivalvos, gasterópodos, escafópodos y equinodermos. Los vertebrados son principalmente peces y un mosasaurio. Los fósiles identificados incluyen equinoideos pertenecientes a los hemiasteridos indeterminados, un rudista solitario *Radiolitides acustocostata* (este fósil respalda la edad Campaniana). Los peces fósiles son restos de *Nursallia*, *Saurodon* y *Enchodus*, previamente conocidos en México; así como el primer reporte de *Apuliadercetis* en América. Por las características litológicas y la diversidad fósil observadas en Tzimol sugieren que se depositó en un ambiente marino poco profundo y de baja energía, como una laguna.

Cortéz-Zárate, *et al.*, (2019), describen las características morfológicas de un mosasaurio descubierto en el sur de México, en la localidad de Tzimol, en un excelente estado de preservación.

Carranza-Becerra, *et al.*, (2019), describen las características morfológicas de un pez del orden Holocentriforme, descrito por primera vez en la cantera de Tzimol, con una buena

preservación, puesto que la parte anterior de la aleta dorsal y algunos fragmentos de los huesos del cráneo no se preservaron.

b. Geológicos

En el municipio de Tzimol, se reconocen la Formación Angostura y la Formación Ocozocoautla. La Formación Angostura, consiste en calizas que van de packstone a graistone con bioclastos, que intemperizan a blanco-amarillento, contiene microfauna bentónica, principalmente alveolínidos y rudistas; así como mudstone-packstone de microfauna bentónica con algas; margas y areniscas (Palmira-Ramírez, 2018); mientras que la Formación Ocozocoautla se caracteriza por sus areniscas de grano fino, arcillosas y sobre estas, descansa un piso conglomerático (Pérez-Martínez, 2011).

Aunque no se tiene bien definido el límite entre ellas, se han realizado algunos estudios para determinarlo mediante microfósiles y con rudistas, por ejemplo:

Michaud y Fourcade (1989) en donde realizan un estudio estratigráfico y una reconstrucción paleogeográfica del sureste de México, desde el Jurásico hasta el Cretácico Tardío.

Omaña, L (2006) realizó un estudio micropaleontológico de las capas donde se han encontrado inoceramidos y foraminíferos en la parte superior de la Formación Ocozocoautla, al noroeste de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; en donde describe que las rocas son areniscas arcillosas y areniscas margosas, en esta plantea la zona *Gansserina gansseri*, que le permite asignar una edad Maastrichtiano temprano, más que del Campaniano-Maastrichtiano

Pons *et al.*, (2016), revisa los rudistas encontrados en la Depresión Central de Chiapas, considerado en un rango Campaniano-Maastrichtiano. Con esta revisión dedujeron que hubo tres eventos dentro de los conjuntos de rudistas; 1) uno de edad Campaniano Temprano-Medio en la parte superior de la Formación Sierra Madre o Formación Suchiapa; 2) uno más del Maastrichtiano medio o principios del tardío en la parte superior de la Formación Ocozocoautla y 3) uno superior del Maastrichtiano tardío, divididos en varios horizontes dentro de la Formación Angostura. La posición

estratigráfica se ajusta a un modelo deposicional que se caracteriza por ser una plataforma de carbonatos fragmentada en bloques, en la que cada uno tiene una evolución tectono-sedimentaria diferente: 1) un bloque “ahogado” que constituye la cuenca de Tuxtla Gutiérrez, que va hacia un bloque elevado vecino y que recibe material de la Sierra Madre de Chiapas, que después de un hiato se colmata y posteriormente se deposita una plataforma marginal de carbonato poco profunda, rodeada por detritos y 2) un bloque elevado que constituye un alto, donde, después de un largo hiato, se desarrolló una plataforma insular de carbonato poco profunda. Por lo que se propone un cambio que no es lateral para la Formación Angostura y Ocozocoautla, en donde deja a ambas formaciones como de edad Maastrichtiana

Omaña y Alencáster (2019), hacen una recopilación de los foraminíferos de la plataforma carbonatada de la Formación Angostura, en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; los ejemplares estudiados son mayormente bentónicos y algunos planctónicos; con el estudio de estos foraminíferos algunos reportados por primera vez en dicha unidad, pudiéndole asignar una edad del Maastrichtiano tardío. Las condiciones en las que se depositó la plataforma donde se ubica la Formación Angostura corresponden con un entorno marino de aguas profundas de baja a moderada energía.

Un trabajo que trata de delimitar la edad entre el Cretácico Medio-Superior en la Sierra de Chiapas, es el de Quezada-Muñetón (1987), en donde describe que la Formación Angostura es una plataforma de carbonatos de edad Campaniano-Maastrichtiano, que subyace a una secuencia de brechas calcáreas con restos de rudistas e intercalaciones de calizas y margas, con foraminíferos planctónicos y bentónicos (Formación Xochitlán), pero no menciona a la Formación Ocozocoautla.

Otro trabajo tomado en cuenta es la Carta geológica E15-D83, escala 1:50 000, donde hacen aparecen las formaciones reportadas en la zona de Tzimol, en ella reportan que la unidad más antigua es del Grupo Sierra Madre, de edad Albiana.

Materiales y equipo

Trabajo de gabinete

En este trabajo, la etapa de gabinete consistió en la recopilación y análisis permanente de la información bibliográfica y mapas disponibles sobre la geología y paleontología de la región de Tzimol y de las formaciones Angostura y Ocozocoautla. Esto permitió establecer un marco comparativo con el cual contrastar las observaciones logradas en esta localidad.

Trabajo de campo

Esta etapa consistió en la exploración de campo para observar los contactos y rasgos geológicos generales de la secuencia fosilífera de Tzimol, tomar fotografías de distintos afloramientos y en proceso de explotación, reconocer la presencia de fallas y pliegues, y finalmente, seleccionar la zona que ofrecía más facilidades para realizar el levantamiento del perfil estratigráfico y la toma de muestras en este sitio.

Los diferentes puntos de importancia para la elaboración de esta tesis dentro de Tzimol fueron geo-referenciados con un GPS marca *Garmin*, fueron fotografiados repetidamente y, en medida de lo posible, fueron marcados con pintura indeleble.

Elaboración del perfil estratigráfico y toma de muestras— En esta labor, el perfil estratigráfico fue descrito y muestreado a nivel macroscópico en una sola sección dentro de la cantera (Figura 1). Cada estrato duro de este perfil estratigráfico fue definido a partir de los cambios drásticos de litología (cambios de sedimentos blandos pobremente litificados) o a la presencia de límites de interestratificación bien definidos, donde las distintas capas de roca pueden ser separados fácilmente por la percusión del martillo. Los datos de espesor, naturaleza lítica, color, presencia de estructuras sedimentarias primarias, bioturbación y presencia de fósiles reconocibles en cada uno de los estratos fueron registrados en una libreta de campo.

Una muestra de mano de cada uno de los estratos observados en el perfil fue tomada, etiquetada y guardada en bolsas plásticas. El código utilizado es TC₁-X donde

“TC” corresponde a “Tzimol Cantera”, “1” es “primer muestreo” y “X” es el número consecutivo del estrato muestreado dentro del perfil ordenado de manera ascendente.



Figura 1. Fotografía del perfil en la Cantera Tzimol

Trabajo de laboratorio

Esta etapa consistió en la preparación de las muestras rocosas obtenidas (calizas y margas) para su observación, análisis y descripción. Los procedimientos involucrados incluyen el corte de las muestras, la elaboración de láminas delgadas la extracción de fósiles de sedimentos poco consolidados. A continuación, se describen estos procedimientos.

Elaboración de láminas delgadas— Las muestras de roca obtenidas en Tzimol y que fueron seleccionadas para elaborar láminas delgadas fueron un total de 15. Estas muestras fueron procesadas utilizando los equipos disponibles en el Laboratorio de Preparación de Láminas Delgadas, en el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Con ayuda de una cortadora de roca manual refrigerada por agua y con disco de diamante marca Hilquist, se cortaron las aristas irregulares de cada muestra. Se obtuvieron cubos de aproximadamente 3 cm de ancho, 6 cm de largo y 4 cm de grosor, de donde finalmente se obtuvieron las láminas delgadas. En estos cubos, se expusieron los planos verticales (que mostrara el orden deposicional natural de los sedimentos) y horizontales (en donde, idealmente se muestren los sedimentos que componen el mismo plano deposicional dentro del estrato rocoso) del estrato correspondiente.

La superficie seleccionada en cada uno de los cubos fue pulida por la abrasi3n repetida contra un disco giratorio met3lico con polvos abrasivos de carburo de silicio de diferente tama1o de granos, comercialmente conocidos como 400, 600 y 800. Cuando la superficie seleccionada estuvo totalmente plana y libre de rayones o marcas de abrasi3n de los polvos m3s gruesos, y antes de ser pegada, se deshidrato por calentamiento gradual en una parrilla comercial por 5 minutos, y posteriormente se peg3 a un portamuestra-petrogr3fico de cristal con resina ep3xica de la marca Buehler. En el proceso, la muestra se presiona contra la l3mina de cristal para extraer cualquier burbuja de aire atrapada y el exceso de resina; una vez que esto se logr3, se dej3 que la resina se endureciera a la sombra, a temperatura ambiente, y en una atmosfera libre de polvo y cambios bruscos de temperatura. Despu3s de esto, el cubo de roca adherido a cada lamina de cristal fue cortado y desbastado en una m3quina desbastadora con micr3metro, hasta alcanzar un espesor de aproximadamente 3 mm. Como paso final, la roca restante fue repetidamente pulida a mano sobre una superficie de cristal con los abrasivos 600 y/o 400 ya mencionados, hasta alcanzar un grosor de 0.03 mm, para que los microf3siles, componentes l3ticos y otras microestructuras pudieran ser observadas en microscopio petrogr3fico. En todo momento, las muestras cortadas, los cubos y las l3minas delgadas obtenidas, fueron rotuladas con sus claves correspondiente TC₁-X.

M3todo de levigado—Este procedimiento permite la extracci3n o liberaci3n de microf3siles en 3D de sedimentos poco litificados. En este trabajo, se extrajeron f3siles de 11 muestras de este tipo. Este consiste en un principio en sumergir 100 gramos de sedimento a tratar (preferentemente este sedimento debe ser de aspecto polvoso), en una cantidad generosa de soluci3n de agua oxigenada al 2.5-10 %, durante al menos 30 minutos y con tres o cuatro periodos de breve agitaci3n manual. Posteriormente, se extrae el agua oxigenada de la muestra por decantado y se lav3 repetidamente en agua corriente limpia hasta que esta saliera clara y sin sedimentos en suspensi3n. una vez que la muestra estuvo limpia se dej3 secar al aire libre y a temperatura ambiente, despu3s de seca es pasada por tamices para micropaleontolog3a que permiten separar las part3culas obtenidas en distintos tama1os (Figura 2). Finalmente, peque1as fracciones de los tamizados de distinta textura son observados bajo un microscopio estereosc3pico de la

marca Leica modelo MZ12₅, los microfósiles observados son extraídos manualmente con ayuda de agujas de disección o pinceles muy finos, y son depositados en un recipiente adecuando antes de ser montados para su conservación y observación mediante técnicas microscópicas más potentes.

Este procedimiento destruye los restos de materia orgánica que actúa como aglutinante de partículas líticas pequeñas (generalmente arcillas) y restos orgánicos mineralizados (esqueletos), favoreciendo así, la disgregación de estos componentes. En las margas, esta sustancia permite la disgregación de las arcillas y microfósiles, lo que permite conservarlos para ser observados a través de distintas técnicas microscópicas (a través de microscopios estereoscópicos o el Microscopio Electrónico de Barrido MEB).



Figura 2. Elementos utilizados para el metodo de levigado; a. Agua oxigenada y b. Tamices para micropaleontología

Observación y toma de fotografías de microfósiles en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)— Toda vez que los fósiles fueron seleccionados manualmente al observarlos al microscopio estereoscópico, se seleccionaron los mejor preservados y se prepararon para ser observados y fotografiados en el Microscopio Electrónico de Barrido.

Esta parte del trabajo se llevó a cabo en el MEB modelo Jeol JSM-6610LUV (figura 3) del Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Los microfósiles seleccionados fueron adheridos a un porta-muestra metálico del MEB utilizando una solución diluida de pegamento blanco y agua. Una vez que el adhesivo estuvo seco, los ejemplares fueron cubiertos con una capa de carbón gasificado. Los ejemplares fueron observados al vacío y fotografiados de manera individual. Posteriormente, estas imágenes fueron utilizadas para identificar rasgos diagnósticos que soportan la identidad taxonómica cada uno de ellos.

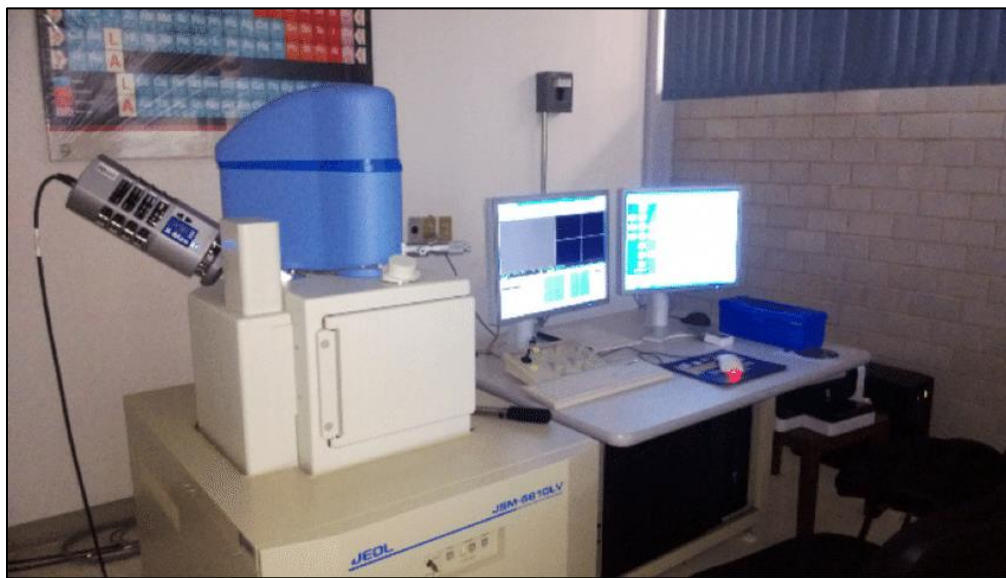


Figura 3. Fotografía del Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Metalurgia, UASLP, modelo JEOL JSM-6610LUV. Tomada de Pérez-Roldán *et al.*, 2016.

Análisis de facies-- Una vez pulidas las muestras, se procedió a la observación y descripción de cada una; esto utilizando el manual de rocas carbonatadas de López Doncel (2004), en donde se encuentran tablas de rocas carbonatadas tanto los propuestos por Dunham y Folk en 1962 (Figura 4a), en donde utiliza el porcentaje y tipos de componentes (fragmentos fósiles, granos no esqueléticos, granos agregados, etc.), así como el tipo de masa básica (micrita o esparíta).

Posteriormente, se utiliza la clasificación de Flügel (1972) modificado por Wilson (1975) (figura 4b), para determinar las microfacies y el ambiente de depósito (SMF) al que pertenecen las muestras (para más información véase sección 2.2).

Posteriormente los microfósiles encontrados en las láminas delgadas, y se irán ubicando en las columnas estratigráficas realizadas en campo.

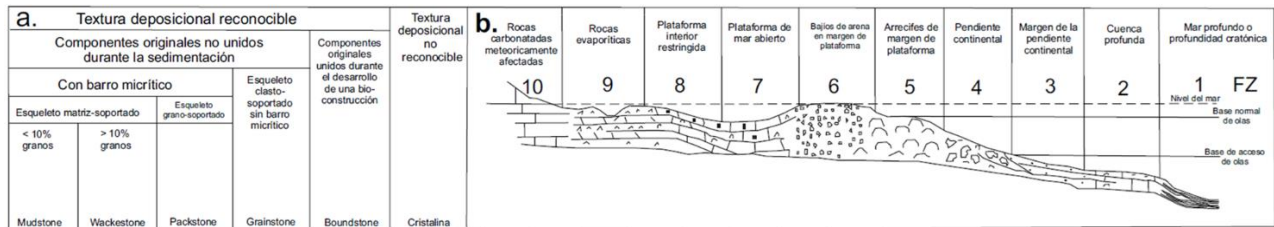


Figura 4. Clasificación propuesta para rocas calizas; a. propuesta por Dunham y Folk para las rocas caliza y b. clasificacion propuesta por Flügel y Wilson (1975).

Determinación taxonómica-- Después de la obtención de microfósiles durante el método del levigado y de sus imágenes bajo el MEB; así como de la observación de las láminas delgadas, se procedió a la determinación taxonómica tanto en los foraminíferos y ostrácodos. Esta consiste en clasificar a los microfósiles de acuerdo con la familia, Género y especie a la que pertenece, siguiendo las reglas de la taxonomía y sistemática específica tanto en foraminíferos como en ostrácodos, siempre y cuando las características morfológicas o caracteres taxonómicos de estos lo permitan, es decir, si su estado de preservación es el óptimo para la obtención de estos caracteres.

Teniendo en cuenta lo anterior hay que recordar que tanto los foraminíferos como los ostrácodos son organismos que se caracterizan por desarrollar una concha o testa que posee todos los rasgos diagnósticos que los permiten clasificar dentro del género y especie a la que pertenecen.

Uno de los ejemplos y metodologías más ocupadas para la clasificación de los foraminíferos es la de Cushman (1922), esta se trata de una clasificación dicotómica en vista normal (3D); aunque esta, solo permite determinar la familia a la que pertenecen los foraminíferos. Por lo anterior se utiliza anatomía comparada (se utilizan de referencia los

fósiles descritos en la zona de estudio y/o los que sean similares a la edad que se investiga), esta se consultará en varios artículos, tesis y libros sobre microfósiles del Cretácico Superior, para posteriormente hacer una comparación de la microbiota encontrada en la zona de estudio. Omaña, L (2006); Omaña y Alencáster, (2019); Buncic *et al.*, (2017); Hewaidy *et al.*, (2019); Molina, (2004); Maestas *et al.*, (2003); Tshakreen *et al.*, (2017); Rosales-Domínguez, (1998); Omaña, (2011); Arz *et al.* (2001); Calonge *et al.* (2001); Görög *et al.* (2020); Rodríguez-López, (2007); etc.

1. Generalidades

1.1. Localización y vías de acceso

El área de estudio se localiza en el pueblo de Ochusjob, a 15 minutos de la cabecera municipal de Tzimol, en el estado de Chiapas, México. Las diferentes canteras se localizan al norte del municipio a lo largo de caminos de terracería (Figura 5). Entre las coordenadas 15Q 0579687, 1793311 y 15Q 0579541, 1792668.

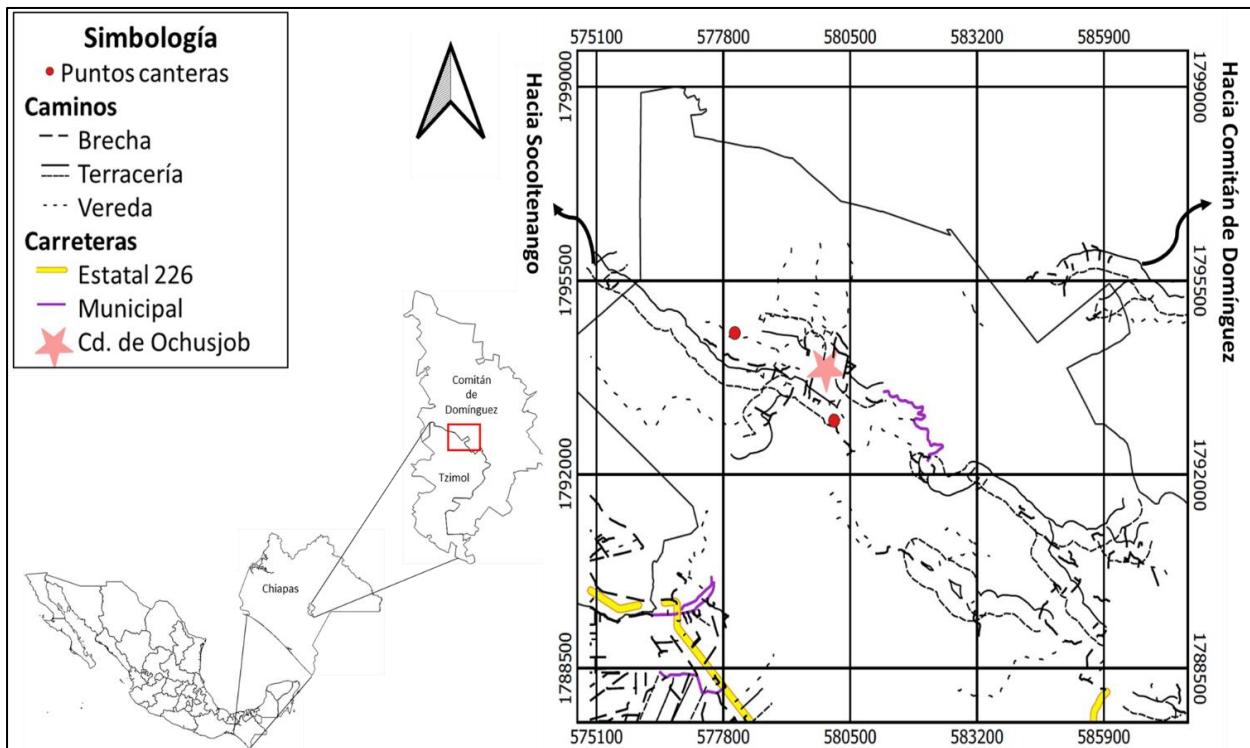


Figura 5. Localización de la zona de estudio. Elaborado con los datos vectoriales de CONABIO e INEGI

1. 2. Fisiografía y geomorfología

El municipio de Tzimol se localiza en la provincia fisiográfica conocida como Altos de Chiapas (Figura 6), esta se encuentra en la parte central del estado, ocupando aproximadamente el 15% del territorio de Chiapas. Topográficamente es una zona montañosa en donde existe gran cantidad de valles de origen kárstico (conocidas como

uvalas o polijés). Los volcanes Tzontehuitz y Huitepec son las elevaciones mayores del Altiplano.

Geomorfológicamente su altimetría va de los 1500 m.s.n.m a los 251 m.s.n.m; por lo que se clasifican entre una zona en etapa de madurez madura (valles ensanchados y redes fluviales bien desarrolladas) a senil (pendientes de los valles se reducen más, la topografía es suave con pocos desniveles) (Figura 6).

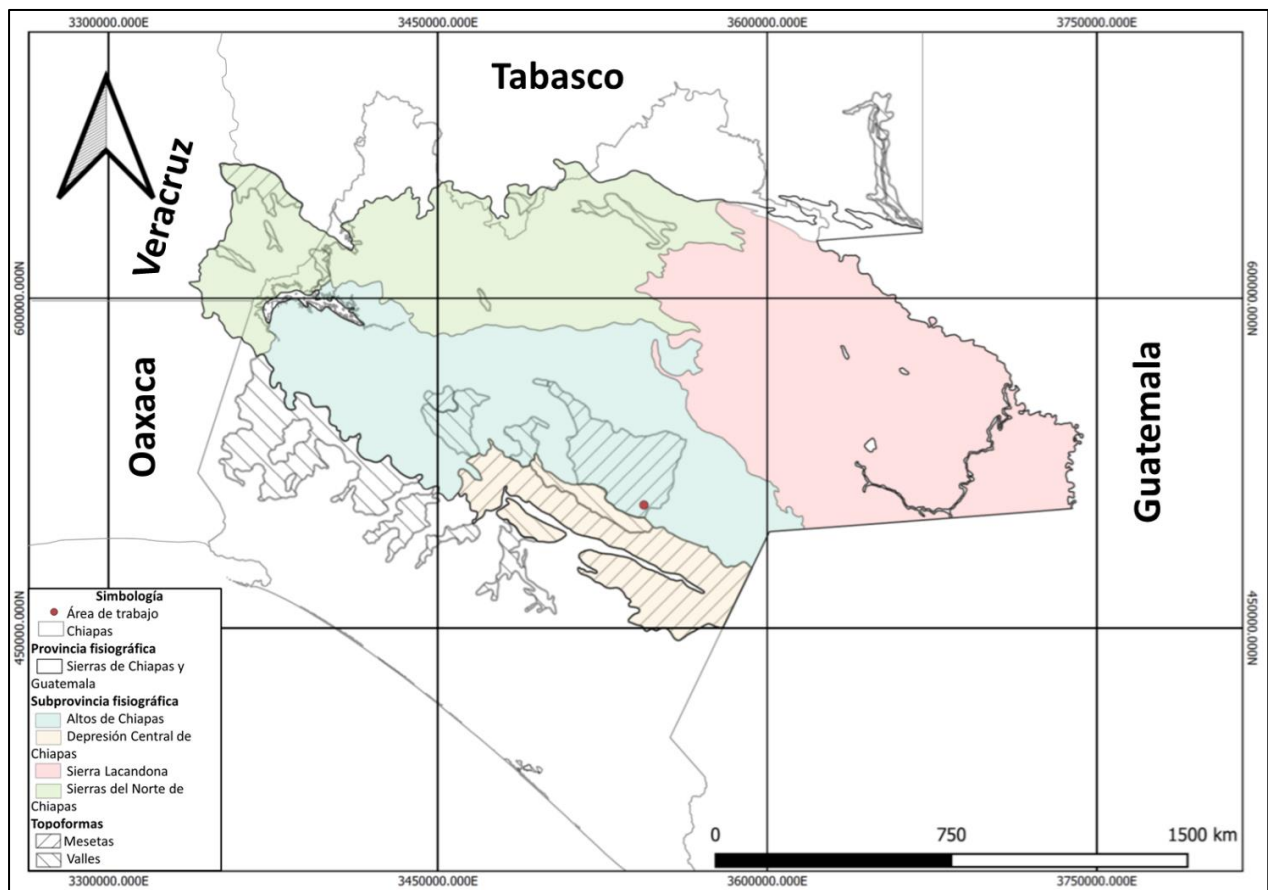


Figura 6. Mapa fisiográfico y geomorfológico de la zona de estudio. Mapa elaborado con los datos vectoriales de INEGI.

1. 3. Geología regional

En el área de estudio, afloran, de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano y de algunos autores como Ornelas-Sánchez, (2002-2005) de manera predominante dos unidades de edad Cretácica Superior (Figura 7).

El área de estudio se encuentra dentro del Bloque Maya, que, como ya se mencionó anteriormente, se encuentra rodeado al sur por el sistema de fallas sinestrales Polochic-Motagua, límite entre las placas Norteamericana y Caribeña (Michaud y Fourcade, 1989). Las rocas expuestas en el Municipio de Tzimol pertenecen a dos formaciones, Angostura y Ocozocoautla. La Formación Angostura, de acuerdo al Servicio Geológico Mexicano, consiste en calizas que van de packstone a graistone con bioclastos, que intemperizan a blanco-amarillento, contiene microfauna bentónica, principalmente alveolínidos y rudistas; así como mudstone-packstone de microfauna bentónica con algas; margas y areniscas (Palmira-Ramírez, 2018); mientras que la Formación Ocozocoautla se caracteriza por sus areniscas de grano fino, arcillosas y sobre estas, descansa un piso conglomerático (Pérez-Martínez, 2011).

Formación Angostura

Esta se describe como calizas, margas y areniscas. Las calizas son de color beige, castaño, gris claro a oscuro, intemperizando a blanco amarillento; son de grano fino. De acuerdo con Quezada-Muñetón (1987), estas rocas contienen gran contenido paleontológico, algunos son miliólidos, alveolínidos, fragmentos de braquiópodos, pelecípodos, ostrácodos, gasterópodos, así como fauna planctónica, rudistas y placas de equinodermos.

Formación Ocozocoautla

Su descripción litológica está compuesta por areniscas de grano fino, arcillosas alternando con capas delgadas de calizas. Omaña, L (2006) la clasifica como arenisca arcillosa cubierta por margas, mientras que PEMEX (1988) la clasifica como sucesión de conglomerados rojizos, areniscas calcáreas y lutitas arenosas; que se intercalan con packstone y graintone (calizas).

Castro-Mora (1975) menciona que esta formación tiene microorganismos bentónicos como orbitóidos, así como cangrejos, corales, bivalvos, ostrácodos y gasterópodos.

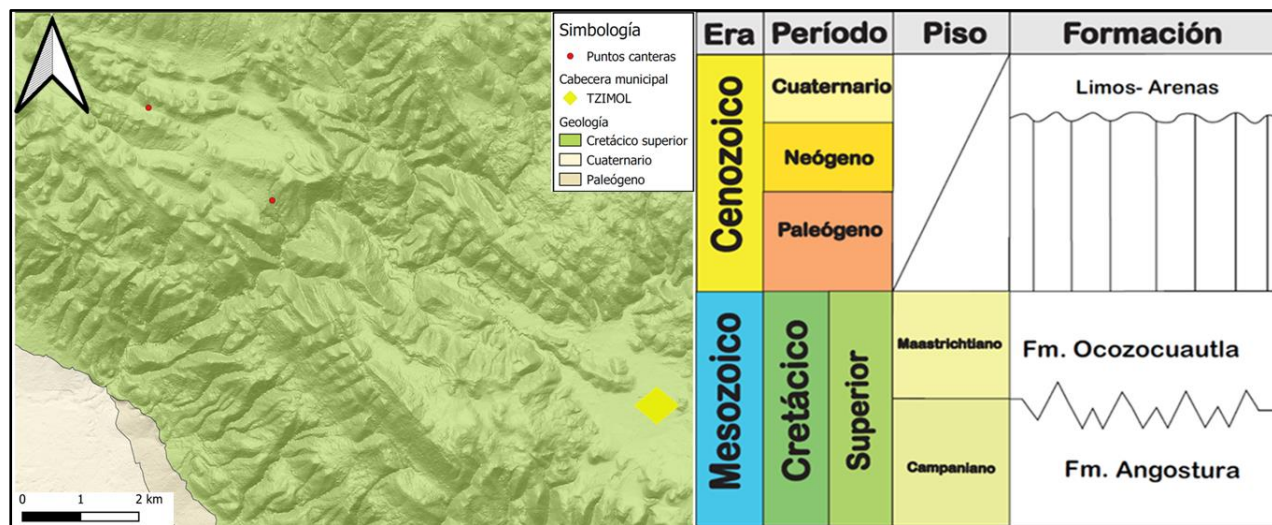


Figura 7. Mapa y columna estratigráfica regional. Tomada y modificada de Gaytán-García, et al. (2001).

2. Análisis de microfacies de la Cantera Tzimol

En esta sección se describirán las características observadas (estructuras sedimentarias, color, estratificación, contenido fosilífero, etc), del perfil estratigráfico estudiado y medido en la Cantera Tzimol.

2. 1. Descripción general del perfil litológico estratigráfico de la Cantera Tzimol

El perfil estratigráfico se tomó de la pared de la Cantera Tzimol, dicho perfil fue medido desde la parte más baja de dicha cantera (base a cima), numerando los estratos de manera ascendente. Este, está conformado por calizas y margas intercaladas de manera cíclica, este mide 3.6 m de espesor; donde se describieron cada uno de los estratos, una estructura macroscópica fácilmente identificable es el “boudinage”, producida por los esfuerzos tensionales descritos en la zona, estos se observan en forma alargada y en la mayoría de los estratos medidos, todos estos también tienen estratificación paralela (Figura 8a).

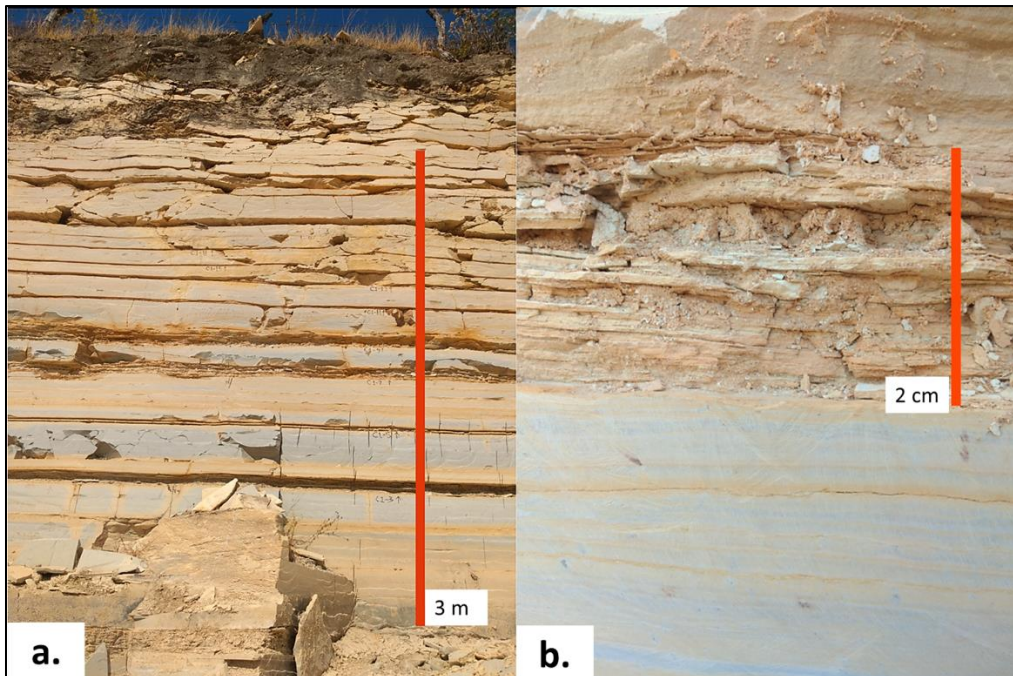


Figura 8. Afloramientos de la Cantera Tzimol; a. Perfil de la Cantera Tzimol (3 metros); b. Estrato del perfil de la cantera Tzimol.

Los estratos estudiados fueron un total de 23 intervalos alternando, cíclicamente entre calizas y margas. Las calizas presentan colores claros (gris azulado a café), con estructuras sedimentarias microscópicas (puesto que únicamente eran visibles en microscopio estereográfico), estas son en su mayoría laminación paralela; en las calizas de color más oscuro se observaron también estratificación ondulada.

En las margas se observaron, cierta laminación paralela (Figura 9), en donde estas varían de colores claros (amarillos a ocre), en estas, se encontraron mayormente ostrácodos y foraminíferos planctónicos que posteriormente fueron descritos y clasificados taxonómicamente.

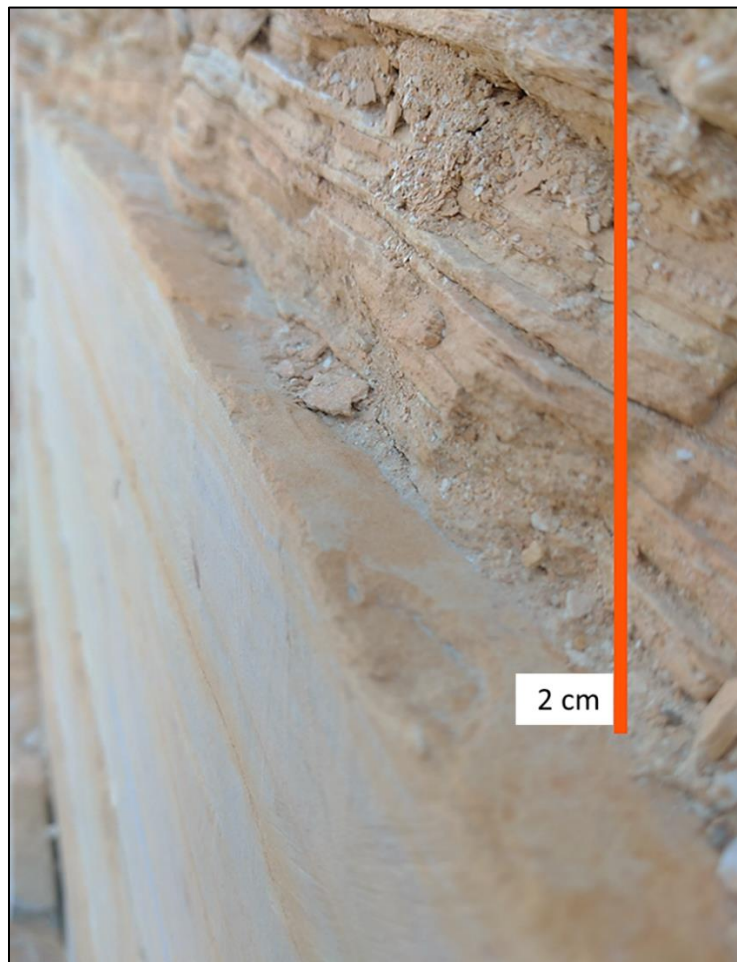


Figura 9. Detalle de los estratos de la Cantera Tzimol, arriba se observan las margas con ligera laminación paralela.

El perfil estratigráfico medido en la Cantera Tzimol (Figura 10); se observa que los fósiles más abundantes son de la familia Miliolidae, así como ostrácodos, foraminíferos planctónicos y bentónicos, espículas de esponja; mientras que las estructuras sedimentarias dominantes es la laminación paralela, así como ondulada y algunos ripples, observándose la primera en prácticamente todo el perfil.

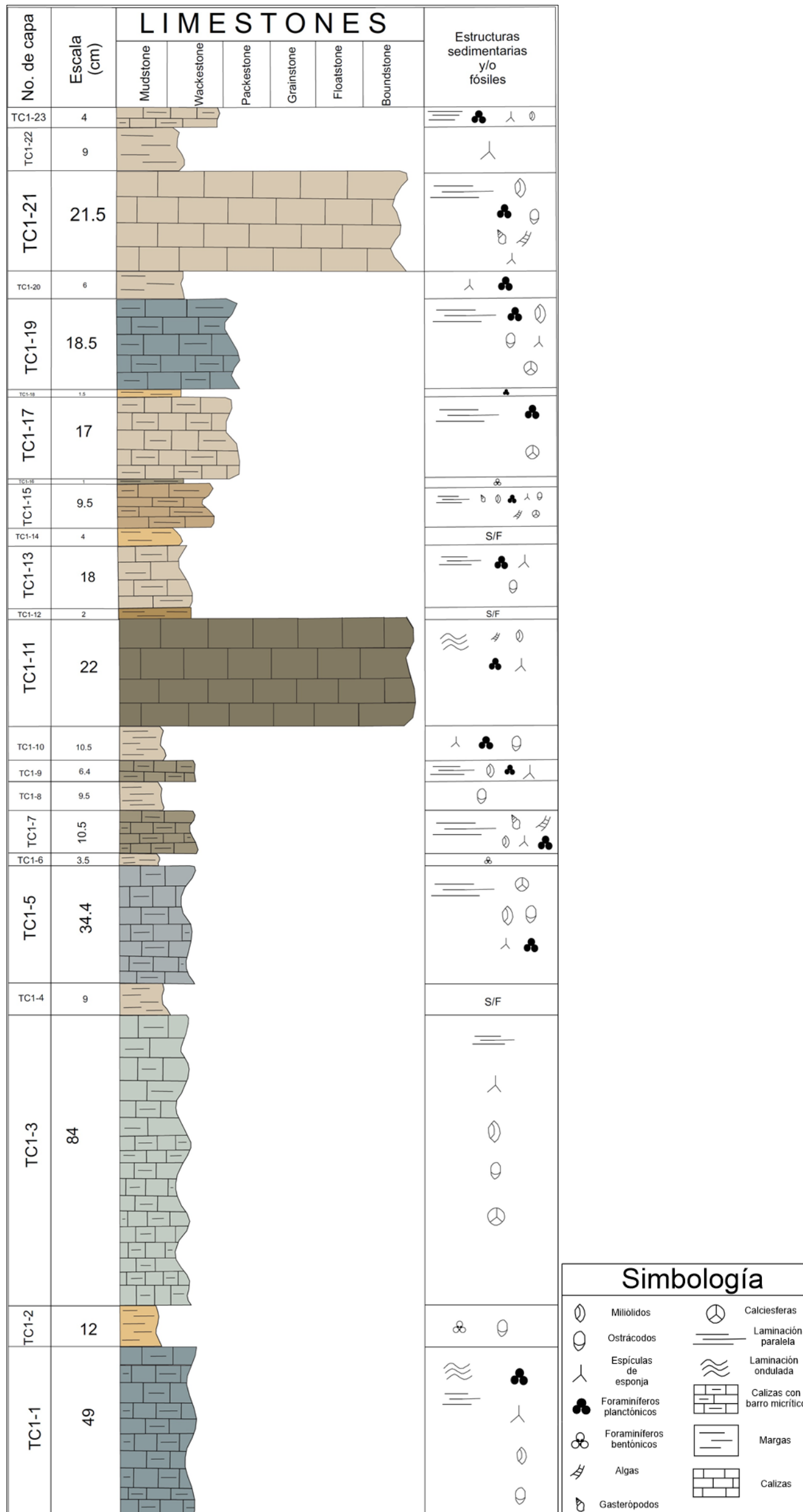


Figura 10. Columna estratigráfica de la Cantera Tzimol; en donde se describen estructuras y microfósiles encontrados; S/F es sin microfósiles.

A continuación, se adjuntan las estructuras sedimentarias encontradas y descritas anteriormente en las muestras de roca en la zona de estudio:

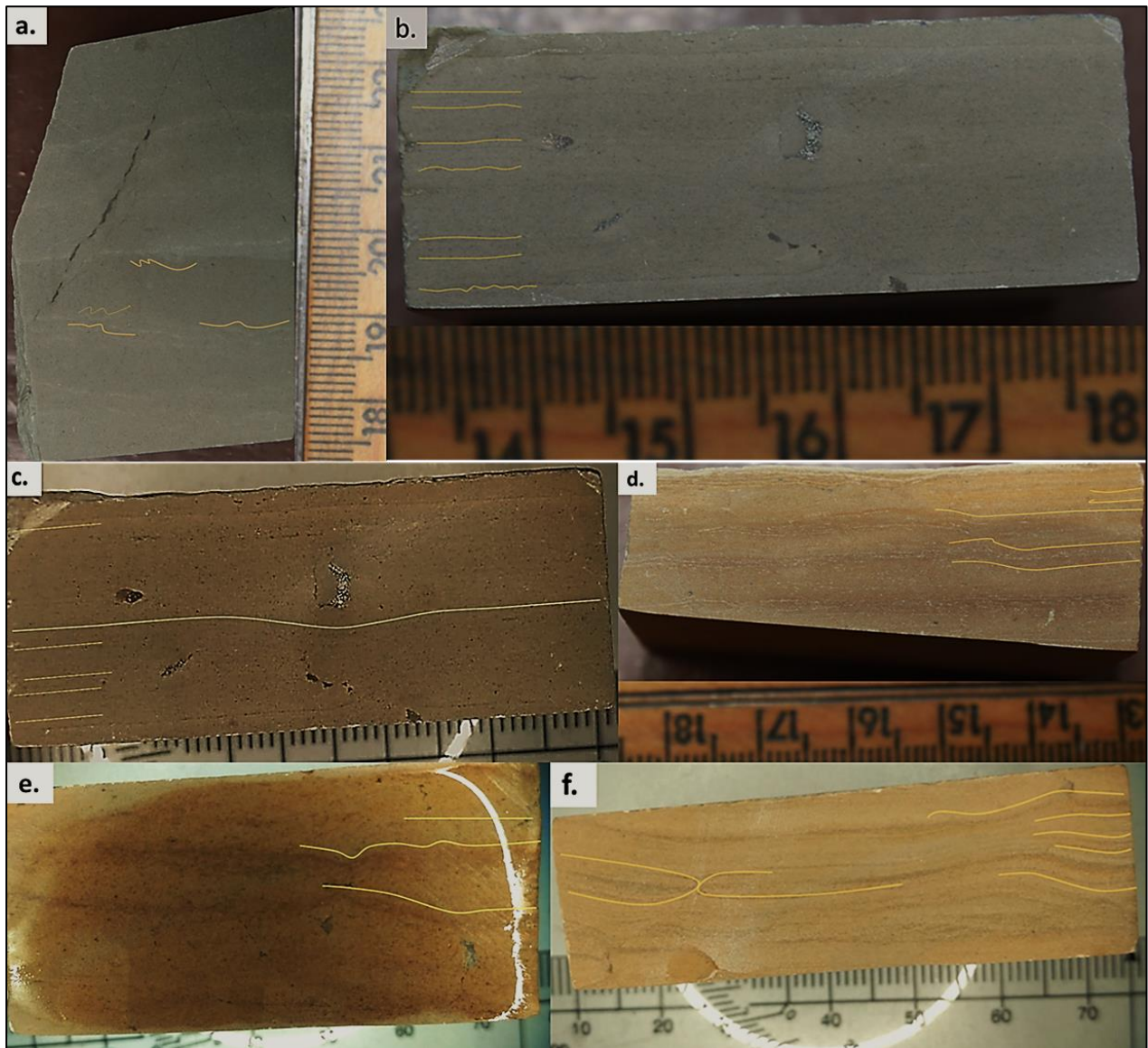


Figura 11. Estructuras sedimentarias encontradas en las rocas de la Cantera Tzimol; a. Laminación paralela y ondulada con pequeños ripples; b, c, d y e. Laminación paralela, y f. Laminación ondulada, donde los estratos oscuros son colonias de bacterias.

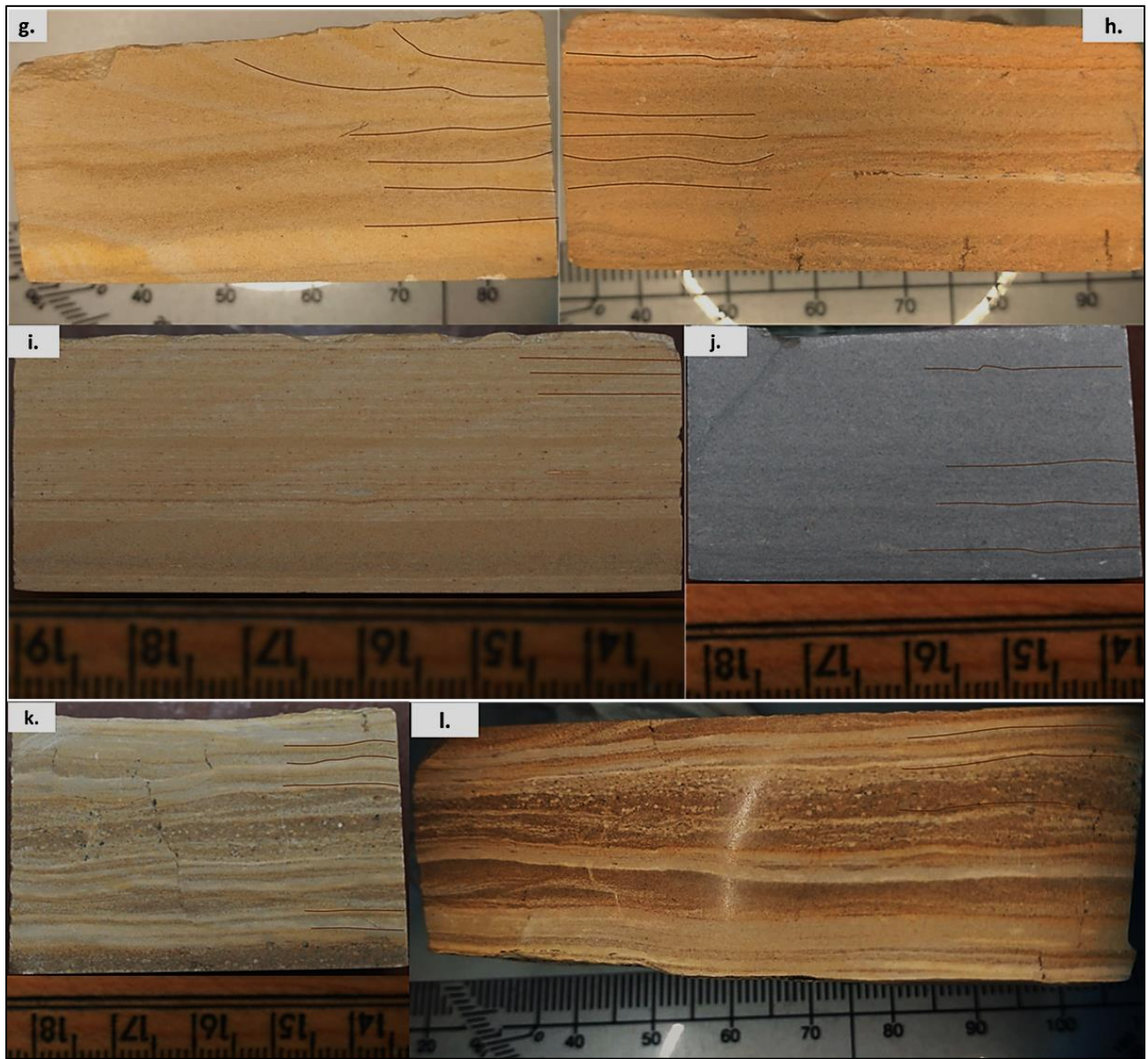


Figura 12. Estructuras sedimentarias encontradas en las rocas de la Cantera Tzimol; g. Laminación paralela con rizaduras; h, i y j. Laminación paralela; k y l. Laminación paralela y cruzada, en los estratos más oscuros, se observan puntos de color claro que son ostrácodos, en corte paralelo a la estratificación, se observa tapizado con gran cantidad de ostrácodos.



Figura 13. Fotografía de la muestra TC1-21 donde las líneas siguen el acomodo de las capas de ostrácodos.

2. 2. Análisis microfacial

Dunham y Folk en 1962, proponen una clasificación para las rocas carbonatadas, en la cual utilizan el porcentaje y tipo de componentes (fragmentos fósiles, granos no esqueléticos, granos agregados), así como el tipo de masa básica (micrita o esparíta) para asignarle un nombre, y con los datos obtenidos en estas clasificaciones, se puede saber la procedencia de las rocas carbonatadas descritas, utilizando lo propuesto por Flügel (1979, 2004) (figura 4), en donde se determina la microfacie (lugar en el que se depositó la roca), a la que corresponde la muestra a estudiar.

2. 2. 1. Masa básica

La masa básica, así como el tamaño de esta, es de gran importancia y útil en el análisis de facies, donde se pueden identificar dos tipos: micrita o esparíta. Para este trabajo se identificó el contenido de matriz micrítica y cementante. La micrita o “calcita microcristalina” fue definido por Folk (1959) como matriz con tamaño muy fino en las rocas carbonatadas y la porción más fina de los componentes calcáreos. Folk (1959) define que el límite del tamaño de micrita en 4 μm , mientras que en la esparíta, el tamaño de cristales es mayor a 10 μm ; se le llama “ortoesparita” si ésta se presenta como cemento carbonatado, con tamaño de cristales $>30 \mu\text{m}$, y si ésta es producto de neomorfismo se llama “pseudoesparita”. De acuerdo con el mismo autor (Folk, 1962), estas dos categorías representan diferentes niveles de energía deposicional, en donde las rocas que contienen matriz micrítica, se depositaron en aguas tranquilas, mientras que las de contenido por bioesparita de entre 4-30 μm , indican que se depositaron en un ambiente de moderada a alta energía. La mezcla de masa básica micrita-esparíta en rocas carbonatadas, representan zonas de turbulencia con alta energía (se elimina parte del lodo calcáreo) (Tomado de Zavala-Arriaga, 2013).

2. 2. 2. Texturas

La descripción de las texturas fue tomada según la clasificación de Dunham (1962) y Embry y Klovan (1972), en donde al tamaño de grano se presentan texturas *mudstone*, *wackestone* (conocida también como calcilutitas), para *grainstone* y *packstone*

(calcarenitas); estas cuatro tienen componentes de 2 mm de tamaño; mientras que las de texturas *floatstone*, *rudstone* (calciruditas) contienen componentes mayores a 2 mm.

2. 2. 3. Análisis de componentes

En las rocas calcáreas; además de la masa básica o matriz, se encuentran también una serie de componentes donde, de acuerdo con su porcentaje, origen, tamaño, forma y arreglo, nos ayudan a determinar el ambiente de depósito, además de clasificar la roca. Estos se dividen en granos de origen esqueléticos (fragmentos fósiles), principalmente de invertebrados, con conchas producidas por secreción calcárea que se encuentran “flotando” dentro de la matriz. Existen también granos de origen no esqueléticos, representados por ooides, peloides, pisoides, granos agregados, intraclastos y extraclastos.

En cuanto a los microfósiles, se encontraron foraminíferos principalmente planctónicos y, algunos bentónicos, donde estos son pertenecientes a las familias Globotruncanidae, Miliolidae, Textulariidae, además se observaron ostrácodos, espinas de erizo y esponja, algunos gasterópodos; calciesferas y pelets.

A continuación, se realiza el análisis de masa básica mediante la descripción petrográfica de las láminas delgadas y se muestran las fotos más representativas de cada muestra, todas fueron tomadas en microscopio marca Leica DMLP y con cámara MoticamPro 252a en escala 10x y 20x; gracias a esto se proporcionó una idea de la energía de las configuraciones deposicionales de las rocas de la Cantera Tzimol.

La descripción y clasificación de los foraminíferos se realizó mediante la metodología propuesta por Cushman (1955) citado en el Manual de Paleontología (UASLP) de Alvarado-Valdez (2010) (anexo).

Muestra TC₁₋₁

Descripción litológica:

Roca constituida por un 30% de componentes menores a 2 mm, estos son foraminíferos bentónicos (principalmente miliólidos), calciesferas, esporádicas espículas de esponja y ostrácodos. A lo largo de esta se pueden observar pequeños cristales de óxidos, todos estos componentes se encuentran embebidos en matriz (70%) de color grisáceo, con algunos parches y vetillas rellenas de minerales evaporíticos (dolomita y anhidrita). (Figura 14).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone con foraminíferos/dismicrita con biógenos de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base en la microfauna asociada presentes, según la clasificación de Flügel, (2010) y Wilson, (1975), el horizonte muestreado se ubica en el tipo SMF-21L, en la zona FZ 8 (plataforma interior restringida); ésta facie corresponde con un grado de luminosidad alto a moderado, y con un índice de energía moderado a bajo, con profundidades que van de un metro a algunas decenas de metros.

Descripción de foraminíferos:

Foraminífero de la familia ¿Alveolinidae? con testa de más de una cámara (16 aproximadamente), en arreglo planispiral, enrollada en varios planos (Figura 14a).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 14 b, c y d).

Descripción de microfotografía:

a. Foraminífero bentónico no identificado mal preservado (fb); **b, c y d** miliólido en corte transversal (mil); **e** bioclasto de subclase Textularia en corte transversal (Text); **f.** se muestran algunas calciesferas y al centro un bioclasto. Todas las microfotografías fueron tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

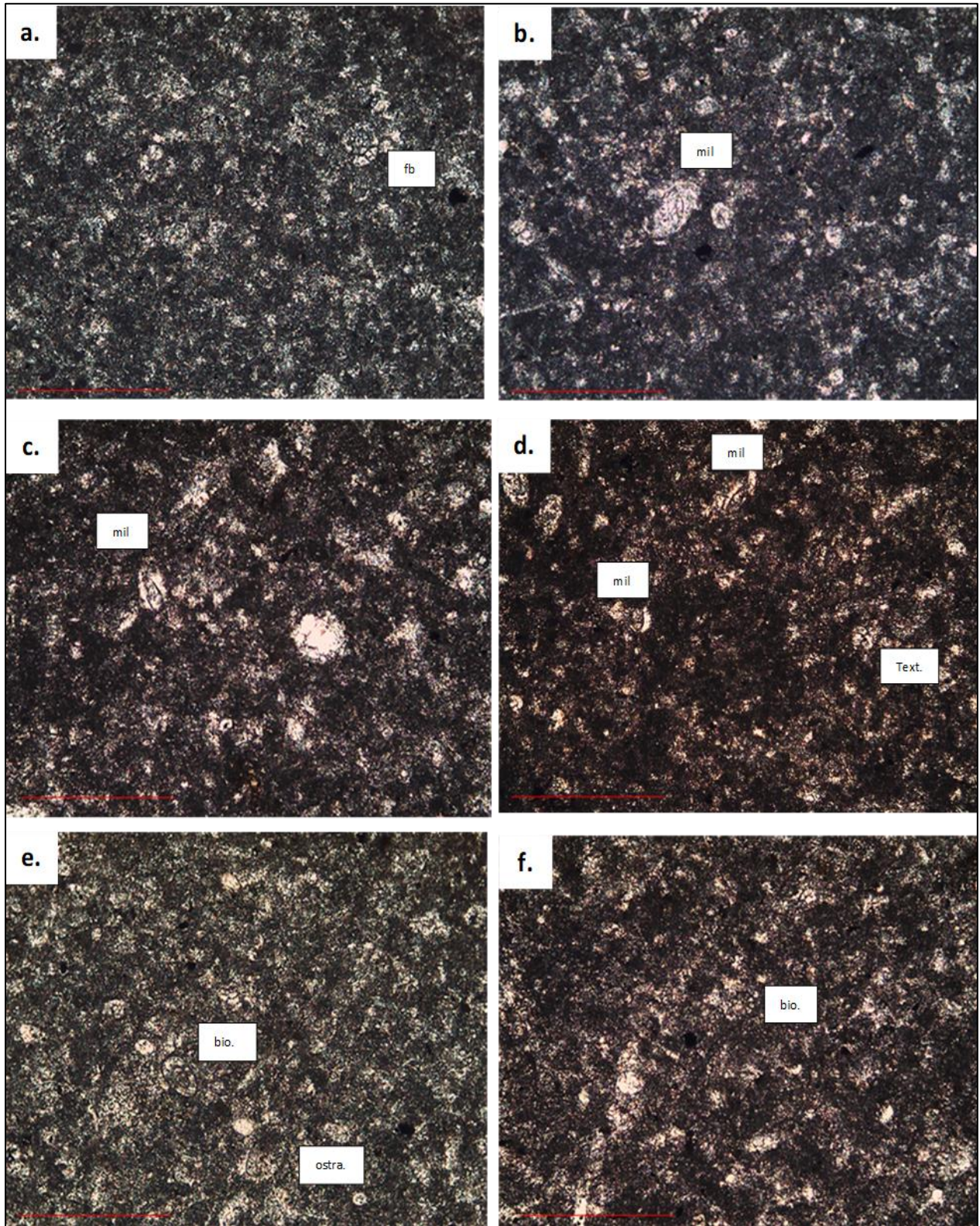


Figura 14. Microfotografía muestra TC₁-1.

Muestra TC₁₋₃

Descripción litológica:

Muestra constituida por un 30% de componentes menores a 2 mm, siendo estos principalmente calciesferas, espículas de esponjas, muy pocos miliólidos y ostrácodos, así como algunos cristales de óxidos. Todos estos se encuentran embebidos en fábrica lodo soportada compuesta por 70% de matriz color café grisáceo. En la parte media de la muestra se puede observar una vetilla rellena de minerales evaporíticos, siendo estos dolomita y calcita (Figura 15 c).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone con calciesfera/dismicrita con calciesferas de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base a los componentes presentes según la clasificación de Flügel (2010) y Wilson, (1975), el horizonte muestreado se ubica en el tipo SMF-8, en la zona FZ-7 (plataforma interior marina abierta), ésta facie corresponde con un alto a moderado grado de luminosidad con un índice de energía bajo.

Descripción foraminíferos:

Foraminíferos de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 15 a y f).

Descripción de microfotografías:

a. Miliólido en corte transversal (mil); **b.** espículas de esponjas (esp); **c.** Minerales en lámina delgada, dolomita, calcita; **d.** Estructura de presión y disolución; **e.** ostrácodo en corte transversal (ostra) y **f.** Miliólido y ostrácodos en corte transversal (mil y ostra respectivamente). Fotografías tomadas con luz natural, excepto c; todas en escala 10x.

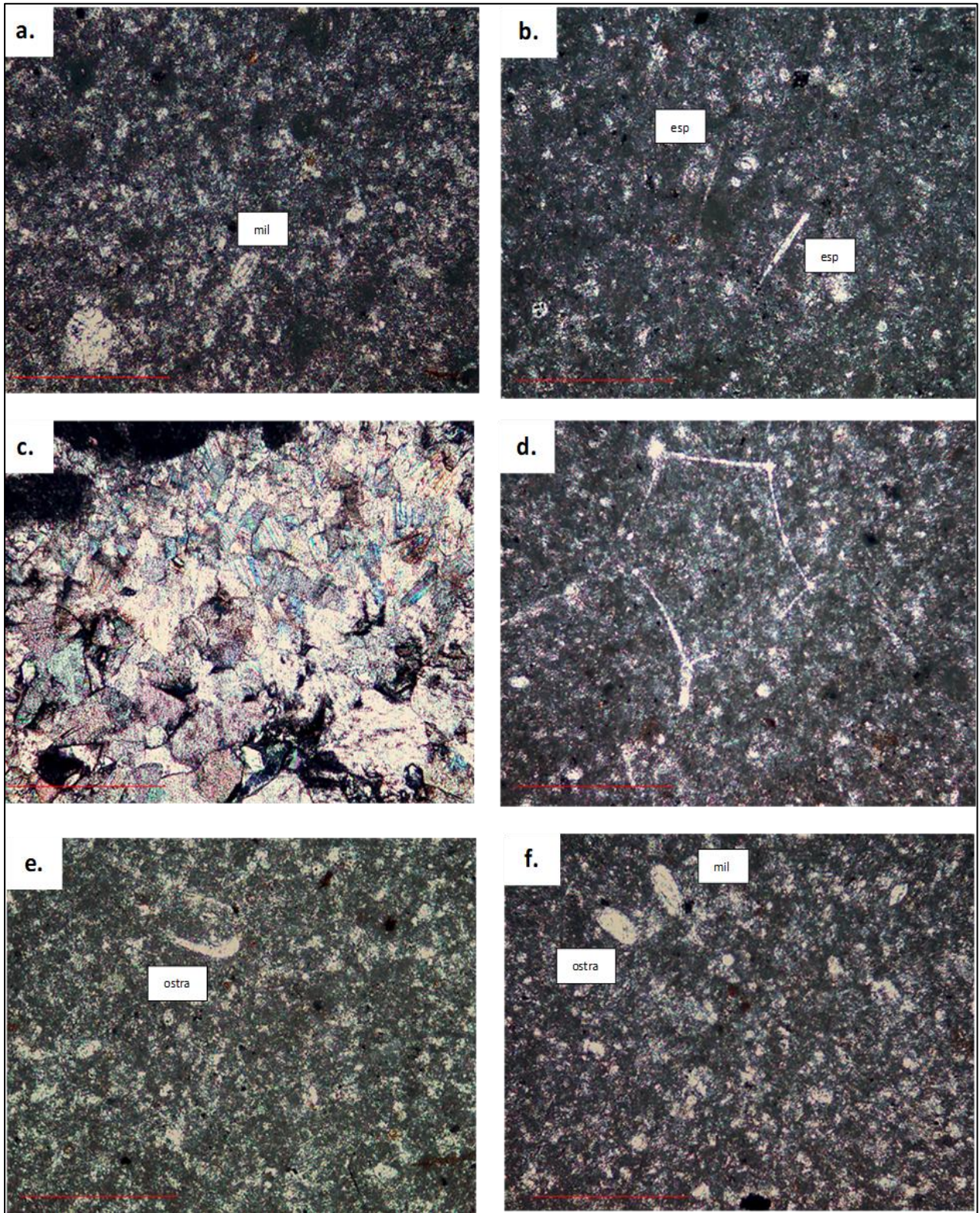


Figura 15. Microfotografía muestra TC₁₋₃

Muestra TC₁-5

Descripción litológica:

Roca compuesta por un 25% de componentes bioclásticos menores a 2 mm; estos se componen principalmente por foraminíferos bentónicos (principalmente miliólidos, 25%), espículas de esponja y calciesferas. En una parte de la lámina se puede observar una espina de erizo de color café rojizo, mayor a 2 mm, en donde se puede ver el soporte de la espina al cuerpo del mismo. También presenta algunos óxidos, pero estos no representan más del 2% de la muestra; todos ellos se encuentran en fábrica lodo soportada compuesta por un 75% de matriz color gris, que contiene pequeñas áreas de dismicrita (Figura 16).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone con bioclastos/dismicrita con calciesferas de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base en la microfauna presente en la muestra y según la clasificación de Flügel, (2010) y Wilson (1975), el horizonte muestreado se ubica en el tipo SMF-8, correspondiente a FZ- 7 (plataforma interior marina abierta); caracterizada por ser una zona de baja energía con un grado de luminosidad alto a moderado.

Descripción foraminíferos:

Foraminífero de la familia Peneroplidae de composición calcárea, con arreglo de cámaras en un solo plano planiespiralmente, con aproximadamente 11 cámaras, estas se observan casi del mismo largo y ancho; 2b, 21a, 22b, 23a, 24b, 25a, 26b (Figura 16 c)

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a; (Figura 16 b, d y f).

Descripción de microfotografías:

a. Ostrácodo en corte transversal (ostra); **b.** Miliólido en corte transversal (mil); **c.** Foraminífero bentónico en corte transversal (Pen); **d.** Foraminífero bentónico sin identificar (fb) y un miliólido

en corte lateral; e. Espina de erizo y f. Foraminíferos bentónicos de la familia Textulariidae (Text) y Miliolidae (mil). Todas las fotografías fueron tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

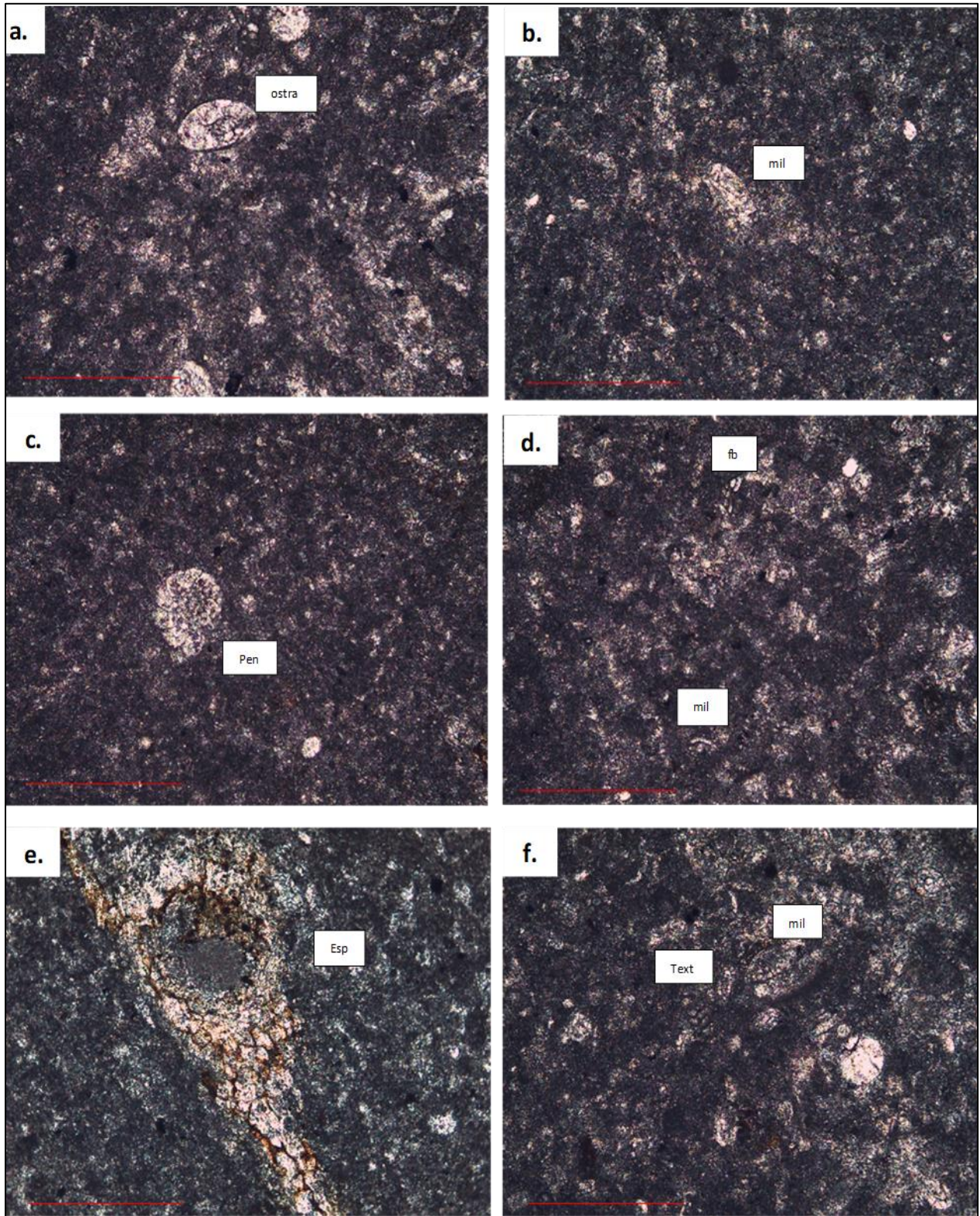


Figura 16. Microfotografía muestra TC₁₋₅

Muestra TC₁₋₇

Descripción litológica:

Roca que contiene alrededor de 30 a 40% de componentes menores a 2 mm, estos son principalmente algunos foraminíferos bentónicos, ostrácodos, miliólidos, espículas de esponjas y algunas algas; estos se encuentran embebidos en una matriz micrítica (60%) de color café oscuro. Se llegan a observar algunos parches de dismicrita, pero no representa más del 1%, y algunos cristales de óxidos (Figura 17).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone/packestone con bioclastos/dismicrita con bioclastos de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base en los microfósiles presentes y según la clasificación de Flügel, (2010) y Wilson (1975), el horizonte muestreado se ubica en el tipo SMF-21, ubicado en la zona FZ-8 (plataforma interior restringida); ésta facie corresponde con un grado de luminosidad moderado a alto, con un índice de energía bajo.

Descripción foraminíferos:

Foraminífero de la familia Rotaliidae de composición calcárea, con más de una cámara de acomodo trocospiral, con aproximadamente 14 cámaras 1b, 2b, 21b, 27b, 29b, 32b, 34b, 36a, 37b, 39b (Figura 17a).

Foraminífero de familia Textulariidae con acomodo biserial, en donde cada una de sus cámaras se observa alargadas, se observa en corte transversal, que van creciendo o haciéndose más grande, los septos se observan ensanchados. 1b, 2a, 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 17b).

Foraminífero de la familia Reophacidae en acomodo uniserial con aproximadamente 8 cámaras que se observan más largas que ancha, los septos o separaciones entre las cámaras se observan gruesas 2a, 3b, 6b, 9a (Figura 17c).

Foraminífero en bentónico sin identificar; acomodo trocospiral, con aproximadamente 11 cámaras, todas se observan más anchas que largas, semicirculares los septos se observan gruesas (Figura 17d).

Foraminífero de la familia Textulariidae en acomodo biserial con aproximadamente 12 cámaras, estas se observan más larga que anchas, los septos exteriores se observan gruesos, mientras que los que unen las cámaras se observan más delgados; 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 17e).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 17 b y f).

Descripción de microfotografías:

a. foraminífero bentónico sin identificar (fb); **b.** Miliólidos (mil) y uno sin identificar (fb); **c.** Foraminífero bentónico sin identificar (fb); **d.** Espícula de esponja (esp), miliólido (mil), y un foraminífero sin identificar (fb); **e.** Foraminífero de la familia Textulariidae (Text) y **f.** Miliólido en corte transversal (mil). Todas las fotografías fueron tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

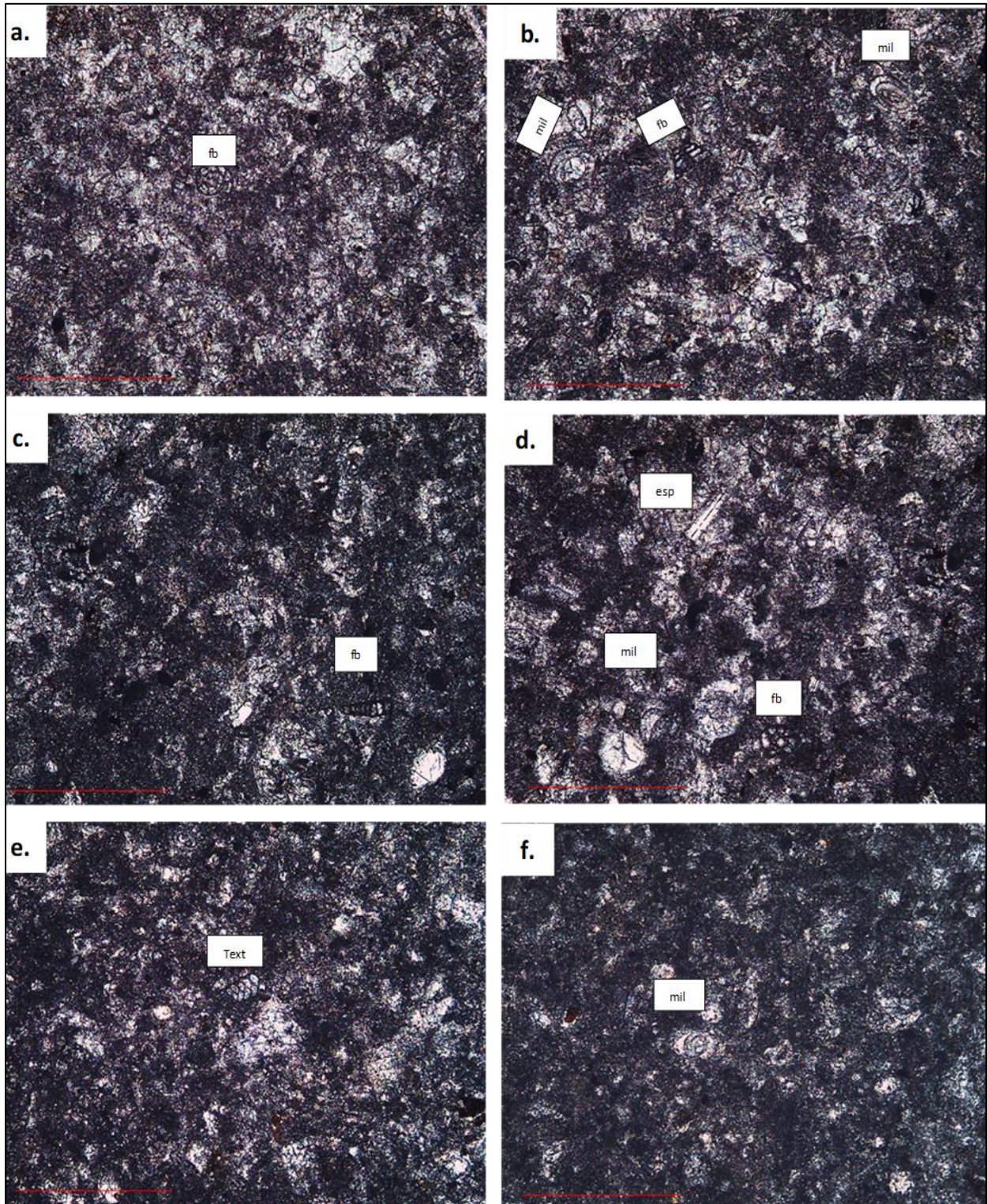


Figura 17. Microfotografía muestra TC₁-7.

Muestra TC₁₋₉

Descripción litológica:

Muestra que contiene entre 25-30% de componentes bioclásticos, todos ellos menores a 2 mm, principalmente son foraminíferos bentónicos (mayormente miliólidos), calciesferas, ooides, espículas de esponja. Se encuentran dentro de matriz micrítica dentro de un 60-65%; esta se observa de color café oscura, con algunas vetillas rellenas de minerales como anhidrita, calcita y dolomita (Figura 18 y 19).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone con bioclastos/biomicrocristal de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

De acuerdo con la clasificación de Wilson (1975) y Flügel (2010), la muestra se ubica en el tipo SMF-9, ubicada en la zona FZ-7 (plataforma interior marina abieta), esta facie presenta un grado de luminosidad que va de moderado a alto y un índice de energía bajo.

Descripción de foraminíferos:

Foraminífero de la familia Peneroplidae en acomodo planiespiral en las últimas cámaras; mientras que las primaras se van acomodando de manera uniserial; contiene aproximadamente 10 cámaras, más largas que anchas; los septos se observan relativamente gruesos 21a, 22b, 23a, 24b, 25a 26b (Figura 18b).

Foraminífero de la familia Textulariidae en acomodo biserial con aproximadamente 16 cámaras, estas se observan más larga que anchas, los septos exteriores se observan gruesos, mientras que los que unen las cámaras se observan más delgados; 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 18 d; figura 19 h, i).

Foraminífero bentónico sin identificar; de acomodo trocospiral con aproximadamente 12, más larga que ancha, donde los septos más gruesos (Figura 18e).

Foraminífero bentónico sin identificar con 7 cámaras de acomodo uniserial que se van ensanchando poco a poco, los septos se observan ligeramente delgados, y las primeras se observan circulares 3b, 6b, 9a (Figura 19 l).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 18 e; figura 19 g, i, j y k).

Descripción microfotografías:

a. Ostrácodo en corte lateral (ostra) y miliólido en corte transversal (mil); **b.** Foraminífero bentónico sin identificar (fb); **c.** Foraminíferos bentónicos sin identificar (fb), ostrácodo en corte lateral (ostra) y miliólido en corte transversal (mil); **d.** Foraminífero de la familia Textulariidae en corte lateral (Text), miliólidos en corte transversal (mil); **e.** Bioclasto (bio), foraminífero bentónico sin identificar (fb) y ostrácodo en corte lateral (ostra); **f.** Pelets; **g.** Bioclastos en corte transversal (bio), miliólido en corte lateral (mil) y ostrácodo en corte ventral (ostra); **h.** Foraminífero bentónico en corte ventral (fb); **i.** Miliólido en corte transversal (mil) y un foraminífero bentónico (fb); **j** y **k** foraminífero bentónico sin identificar (fb) y miliólido en corte transversal (mil); **l.** foraminífero bentónico en corte transversal sin identificar (fb). Todas las fotografías fueron tomadas con luz natural en escala 10x (0.5 mm).

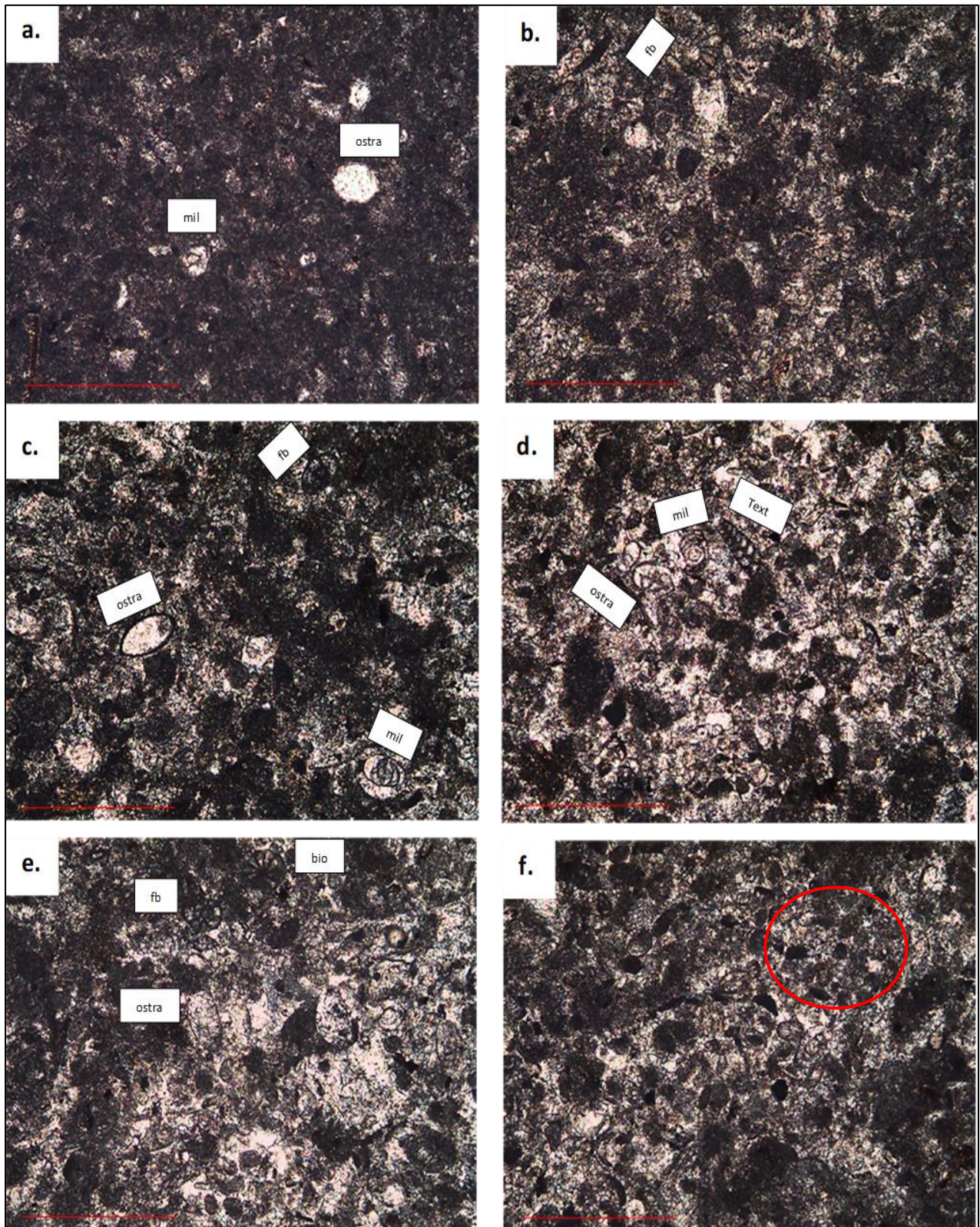


Figura 18. Microfotografía muestra TC₁₋₉.

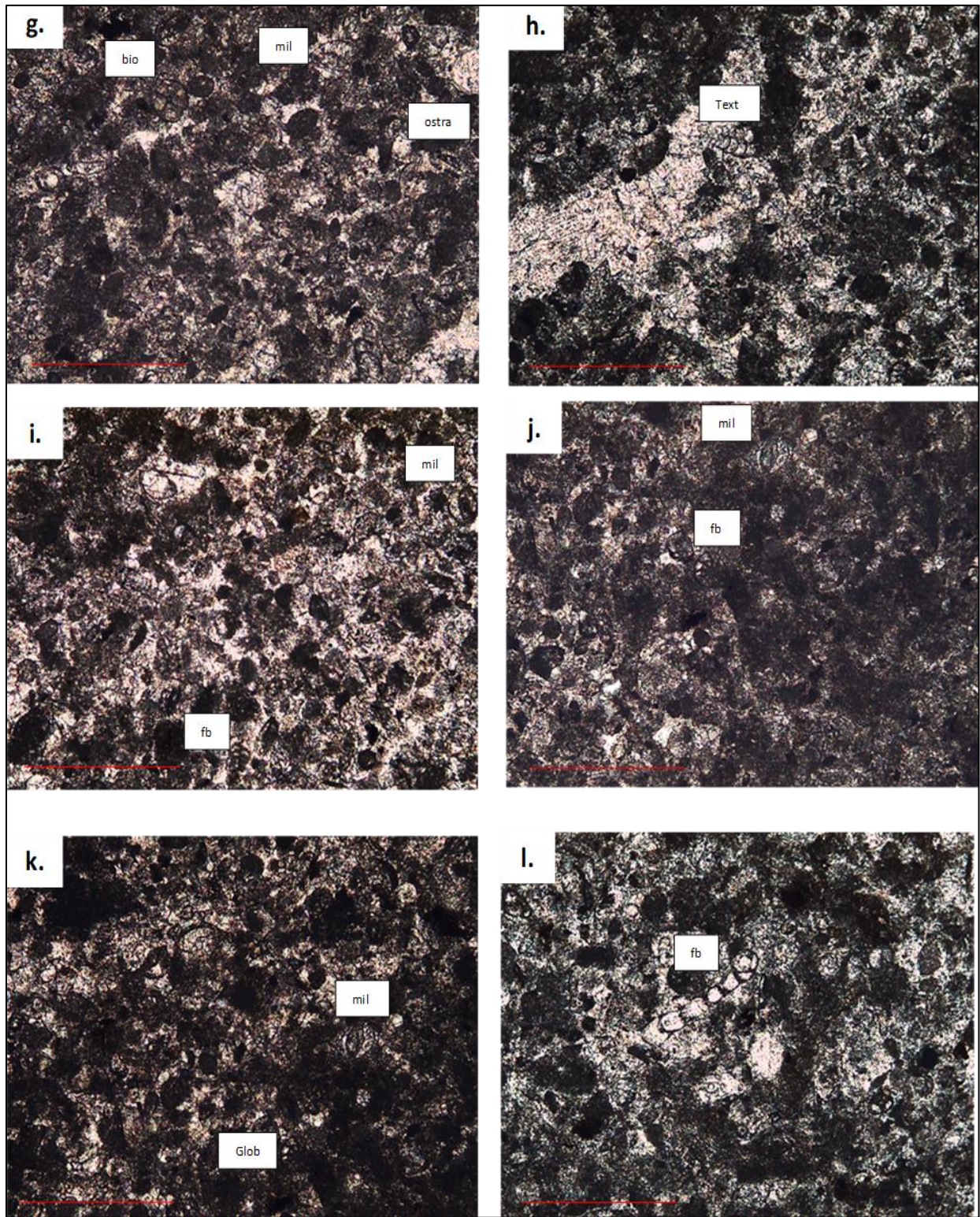


Figura 19. Microfotografía muestra TC₁₋₉

Muestra TC₁-11

Descripción litológica:

Roca constituida por 35-40% de componentes menores a 2 mm; estos son principalmente foraminíferos bentónicos, miliólidos, cianobacterias y algunas espículas de esponja que varían de tamaño. Estos se encuentran en una matriz microesparítica (60 a 65%) donde los cristales tienen un contacto de tipo tangencial. La roca presenta laminación ondulada, y una fábrica lodo soportada (Figura 20 y 21).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone con bioclastos/biomicrita de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base en los protozoarios bentónicos presentes y según la clasificación de Flügel, (2010) y Wilson, (1975), la muestra se ubica en las facies tipo SMF-20, con zona FZ-8 (Plataforma interior laguna restringida). Esta zona de facie se caracteriza por ser una zona somera, fótica con un grado de luminosidad alto, con un índice de energía baja.

Descripción foraminíferos

Foraminífero bentónico de la familia Textulariidae en acomodo biserial con aproximadamente 7 cámaras, estas se observan más larga que anchas, los septos exteriores se observan gruesos, mientras que los que unen las cámaras se observan más delgados; 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 20 a, f y figura 19 i, k, l).

Foraminífero planctónico de la familia Alveolinidae con acomodo planiespiral, donde se observan aproximadamente 10 más anchas que largas, donde sus septos se ven engrosados, 22b, 23a, 24b, 25b (Figura 20 b)

Foraminíferos de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 20 d, c, e, f y figura 21 g, h, i, j, k).

Descripción de microfotografías:

a. Textulariidae en corte ventral (Text); **b.** ostrácodo en corte ventral (ostra), miliólido en corte transversal y otro en corte lateral (mil), y foraminífero bentónico en corte lateral sin identificar (fb); **c.** bioclasto (bio), miliólido en corte transversal (mil) y ostrácodo en corte ventral (ostra); **d.** Bioclasto (bio); **e.** Miliólido en corte transversal (mil) y foraminífero bentónico (fb) sin identificar; **f.** Miliólido en corte transversal (mil), espícula de esponja (esp) y Textulariidae en corte ventral (Text), **g.** Miliolidos en diversos cortes (mil); **h.** Miliólido en corte transversal (mil) y ostrácodo en corte ventral (ostra); **i.** Textulariidae en corte ventral (Text) y miliólido en corte transversal (mil); **j.** ostrácodo en corte ventral (ostra), bioclastos sin identificar (bio) y miliólido en corte transversal (mil); **k.** Textulariidae en corte ventral (Text), miliólido en corte transversal en sus cámaras más superficiales (mil), Globorotaliradae en corte lateral (Glor) y espícula de esponja (esp); **l.** foraminífero bentónico sin identificar (fb). Fotografías tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

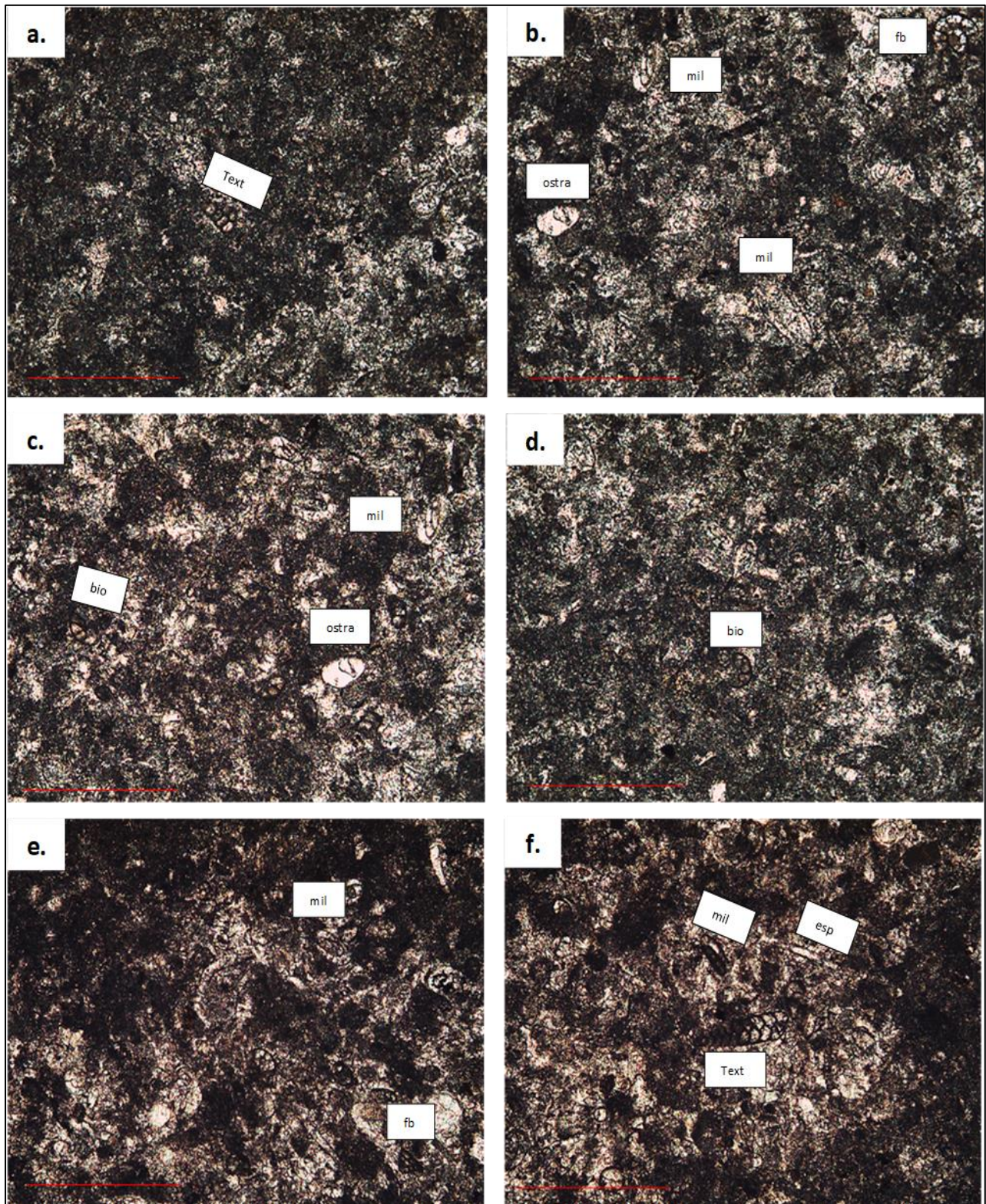


Figura 20. Microfotografía muestra TC₁-11

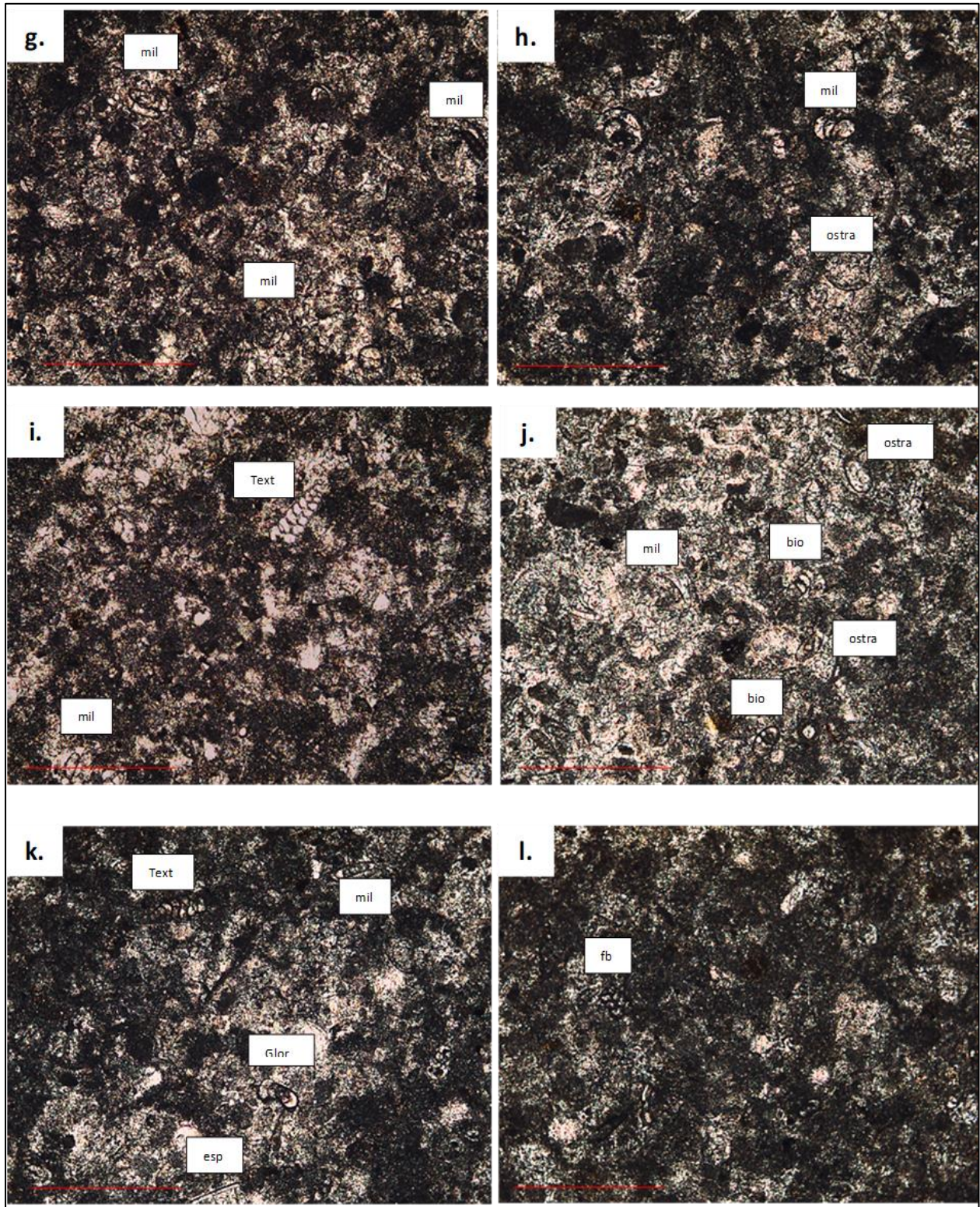


Figura 21. Microfotografía muestra TC₁-11.

Muestra TC₁-13

Descripción litológica:

Roca constituida por 30% de componentes menores a 2 mm; estos son principalmente espículas de esponja, muy pocos ostrácodos, muy pocos foraminíferos bentónicos, calciesferas, algunos cristales de óxidos, estos se encuentran en una matriz de fabrica lodo soportada (Figura 22).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone con espículas de esponja/biomicrita con espículas de esponja de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base en los pocos organismos encontrados y presentes en la muestra, según la clasificación de Flügel (2010) y Wilson (1975), la muestra se ubica en el tipo SMF-8, por lo que se ubica en la FZ-7 (plataforma interior marina abierta). Esta facie se caracteriza por ser una zona somera, con alto grado de luminosidad, con un índice de energía baja.

Descripción foraminíferos:

Foraminífero bentónico de la familia Textulariidae con más de una cámara (6 y 12 respectivamente), en donde las cámaras individuales se observan más largas que anchas, unidas por septos gruesos 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 22 e y f).

Descripción de microfotografías:

a. espícula de esponjas (esp); **b** y **d.** espículas de esponja (esp) y ostrácodo en corte lateral (ostra); **c.** ostrácodo en corte ventral (ostra); **e** y **f.** Foraminífero bentónico de la familia Textulariidae (Text), la primera se encuentra en corte dorsal, mientras que la segunda en corte ventral. Todas las fotografías fueron tomadas con luz natural y en escala 10x.

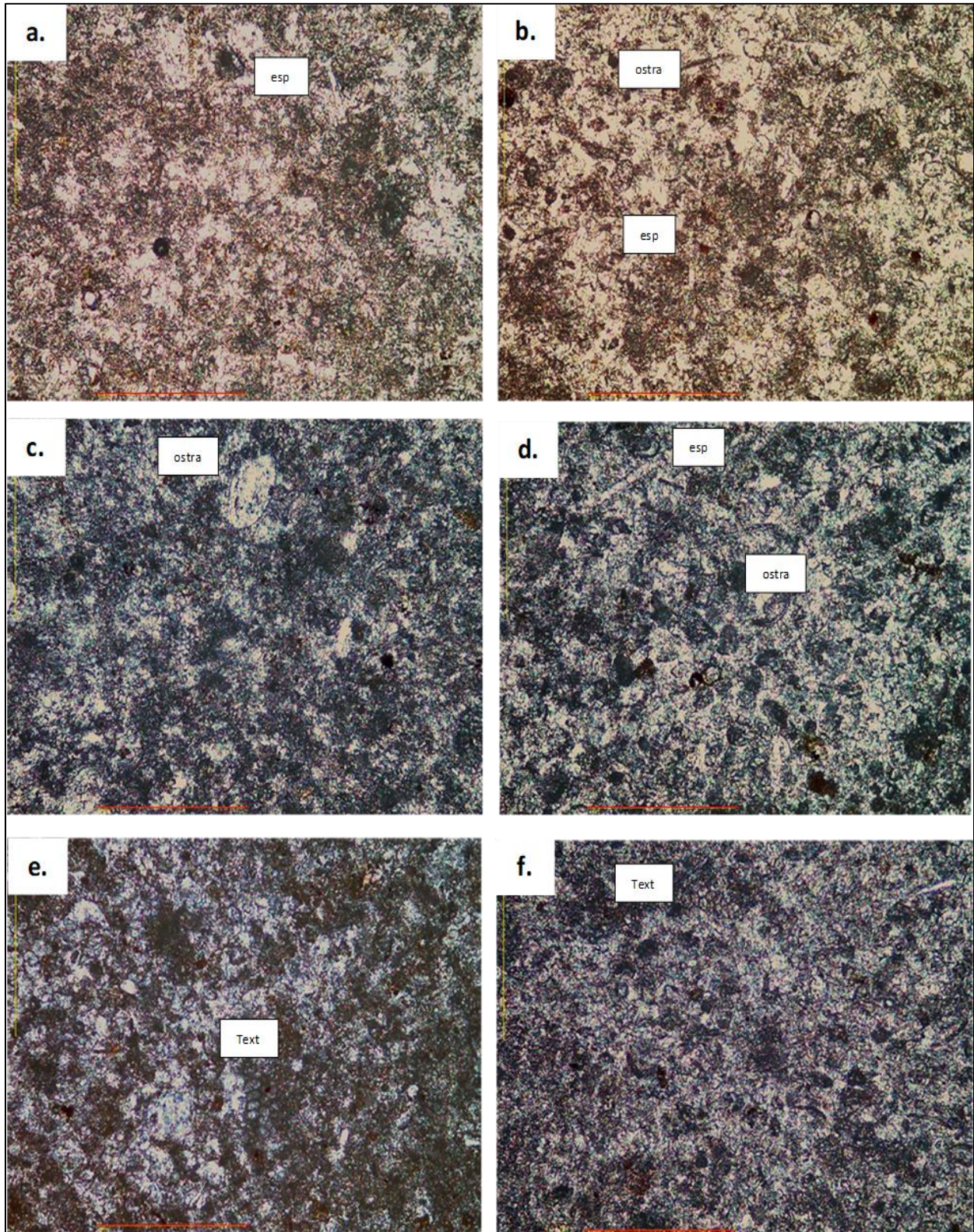


Figura 22. Microfotografía muestra TC₁-13

Muestra TC₁-15

Descripción litológica:

Roca constituida por 40-45% de componentes menores a 2 mm, aunque en una parte de la lámina se puede observar un gasterópodo, pero este no representa más del 3% de los bioclastos. Estos se componen principalmente de microfósiles (foraminíferos bentónicos, miliólidos, ostrácodos, algas, algunas espículas de esponja, calciesferas y algunos ooides. Se pueden observar algunos óxidos distribuidos a lo largo de la lámina, así como delgadas vetillas compuestas de lo mismo; todos ellos se encuentran embebidos en una matriz micritica en 60% de fábrica “mud-supported”; esta es de color café oscuro (Figura 23 y 24).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone/packestone con bioclastos/biomicrita de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Su zona de microfacie es la SMF-18F, por lo que se ubica en la zona FZ-8 (plataforma interior restringida). Esta facie se caracteriza por tener un alto grado de luminosidad con un bajo índice de energía.

Descripción de foraminíferos:

Foraminífero planctónico posiblemente de la familia Hedbergellidae, en corte transversal, donde se pueden observar cámaras infladas, semiredondeadas, con aproximadamente 3 cámaras (Figura 23 a).

Foraminífero bentónico de familia Alveolinidae en corte dorsal, donde las cámaras se observan más anchas que largas, contiene más de 13 cámaras, en acomodo planispiral evoluta; 22b, 23a, 24b, 25b (Figura 24 g).

Foraminífero platónico de la familia Heterohelicidae en corte lateral, donde las cámaras se observan casi del mismo largo que ancho, con aproximadamente 7 cámaras, que van agrandándose conforme se sube; los septos se observan gruesos (Figura 24 h y j).

Foraminíferos planctónicos, de la familia Hedbergellidae donde se observan las cámaras infladas de forma semi esféricas (7 y 4), donde los septos se observan gruesos (Figura 24 j y k).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 23 a y 24 i).

Descripción de microfotografías:

a. Miliólido en corte transversal (mil), Hedbergellidae? en corte transversal (Hedb) y espícula de esponja (esp); **b.** espícula de esponja diaxona en corte transversal (esp); **c** y **d.** acomodo de los componentes bioclásticos; **e.** gasterópodo en corte dorsal (Gast?); **f.** ostrácodos en corte ventral (ostra); **g.** foraminífero bentónico en corte ventral (fb) y ostrácodo en corte ventral (ostra); **h.** Heterohelix en corte dorsal (Het); **i.** Miliolido en corte transversal (mil), ostrácodo en corte ventral (ostra), Hedbergellidae? en probable corte dorsal (Hed?); **j.** Hedbergellidae en corte dorsal y transversal (Hed?); **k.** foraminífero bentonico sin identificar (fb), bioclasto (bio) y ostrácodo en corte ventral (ostra); y **l.** corte trasversal de un gasterópodo. Fotografías tomadas con luz natural y escala 10x (0.5 mm).

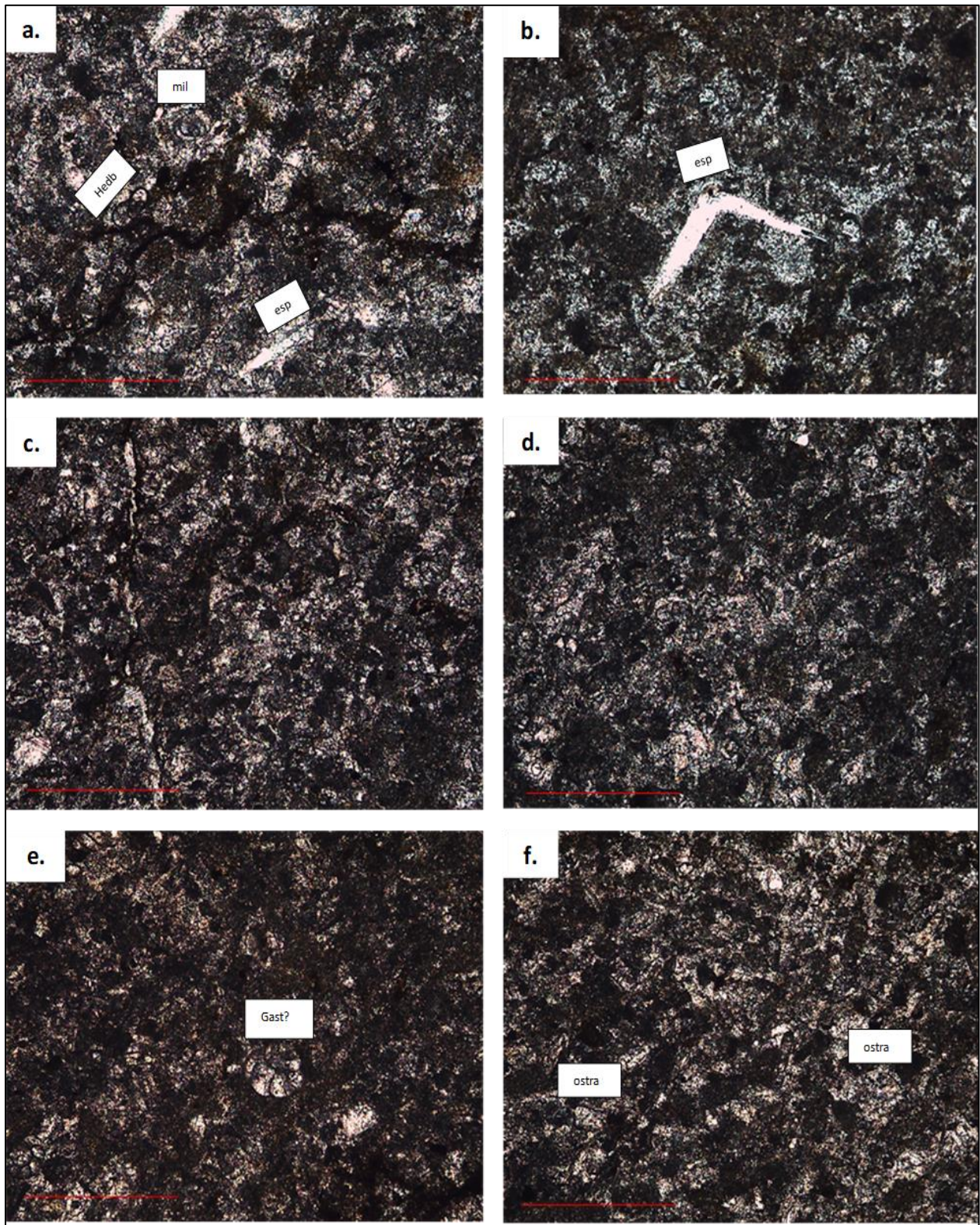


Figura 23. Microfotografía muestra TC₁-15.

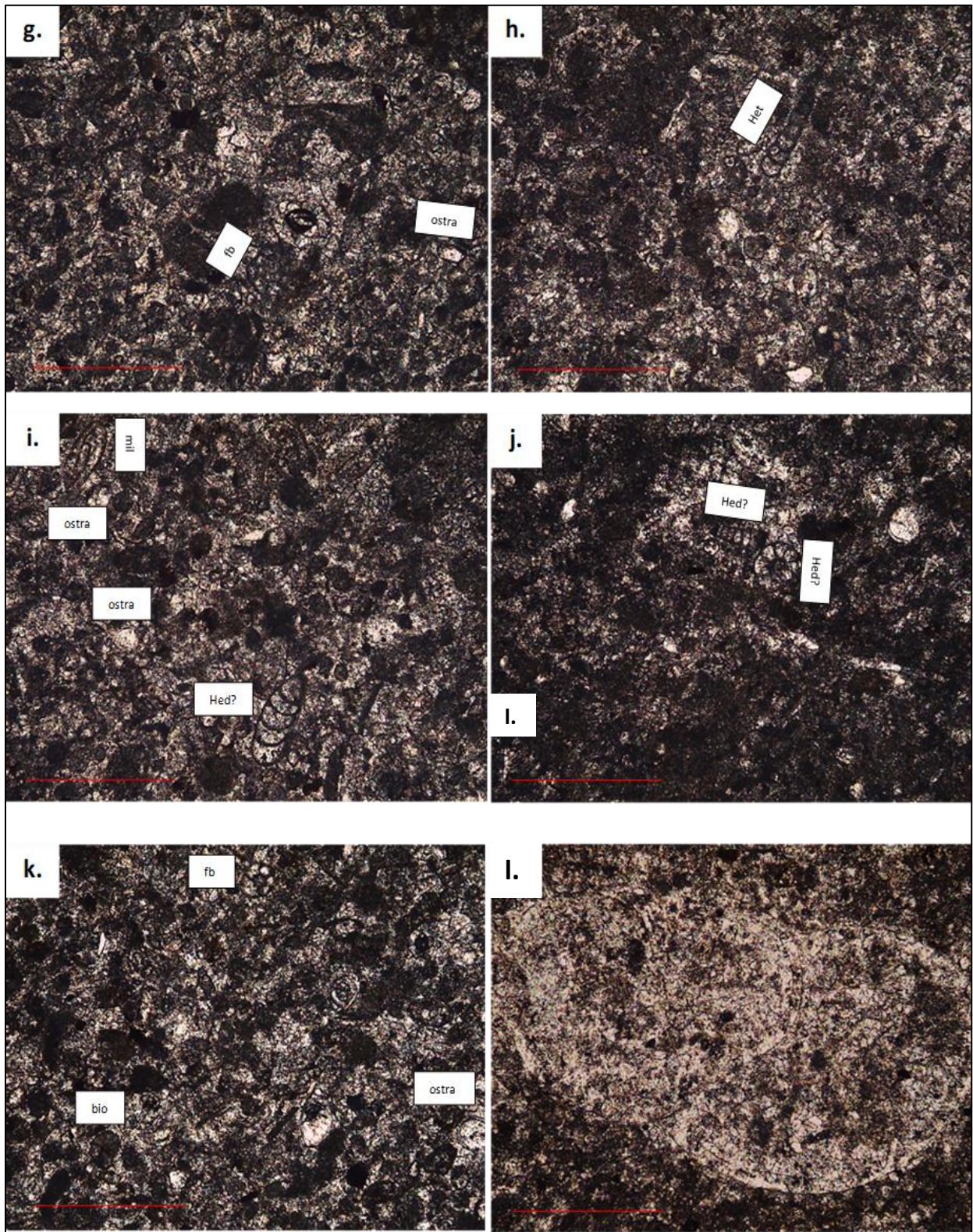


Figura 24. Microfotografía muestra TC₁-15.

Muestra TC₁₋₁₇

Descripción litológica:

Roca constituida por entre el 10-15% de componentes menores a 2 mm, en donde se observan principalmente calciesferas, foraminíferos bentónicos (principalmente de la familia Textularia) y un foraminífero planctónico, así como muy pocas espículas de esponjas; se pueden observar también pequeños puntos de óxidos a lo largo de toda la lámina. Todos se encuentran embebidos en una matriz micrítica en 90% de fábrica lodo soportada de color café oscuro (Figura 25).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un mudstone con calciesferas/micrita con calciesferas de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

La zona de microfacie correspondiente es la SMF-23, que se caracteriza por ser un mudstone homogéneo sin laminación con muy pocos o nulos bioclastos, en donde su facie corresponde a la FZ-8 (plataforma interior). Esta facie se caracteriza por tener un bajo-moderado grado de luminosidad con un bajo índice de energía.

Descripción de foraminíferos:

Foraminífero planctónico de la familia Textulariidae, en corte transversal, con cámaras infladas de forma semicircular, de aproximadamente 9, en acomodo biserial, con septos gruesos rellenos de micrita en el exterior, mientras que los internos no se distinguen muy bien. 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 25 a, c [en corte dorsal]; e [corte lateral] y f).

Descripción de microfotografías:

a, c, e y f. foraminífero bentónico de la familia Textulariidae (Text), donde en la mayoría de las fotografías se observa en corte transversal; **b.** gasterópodo en corte ventral (gast); **d.** estructuras biogénicas. Fotografías tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

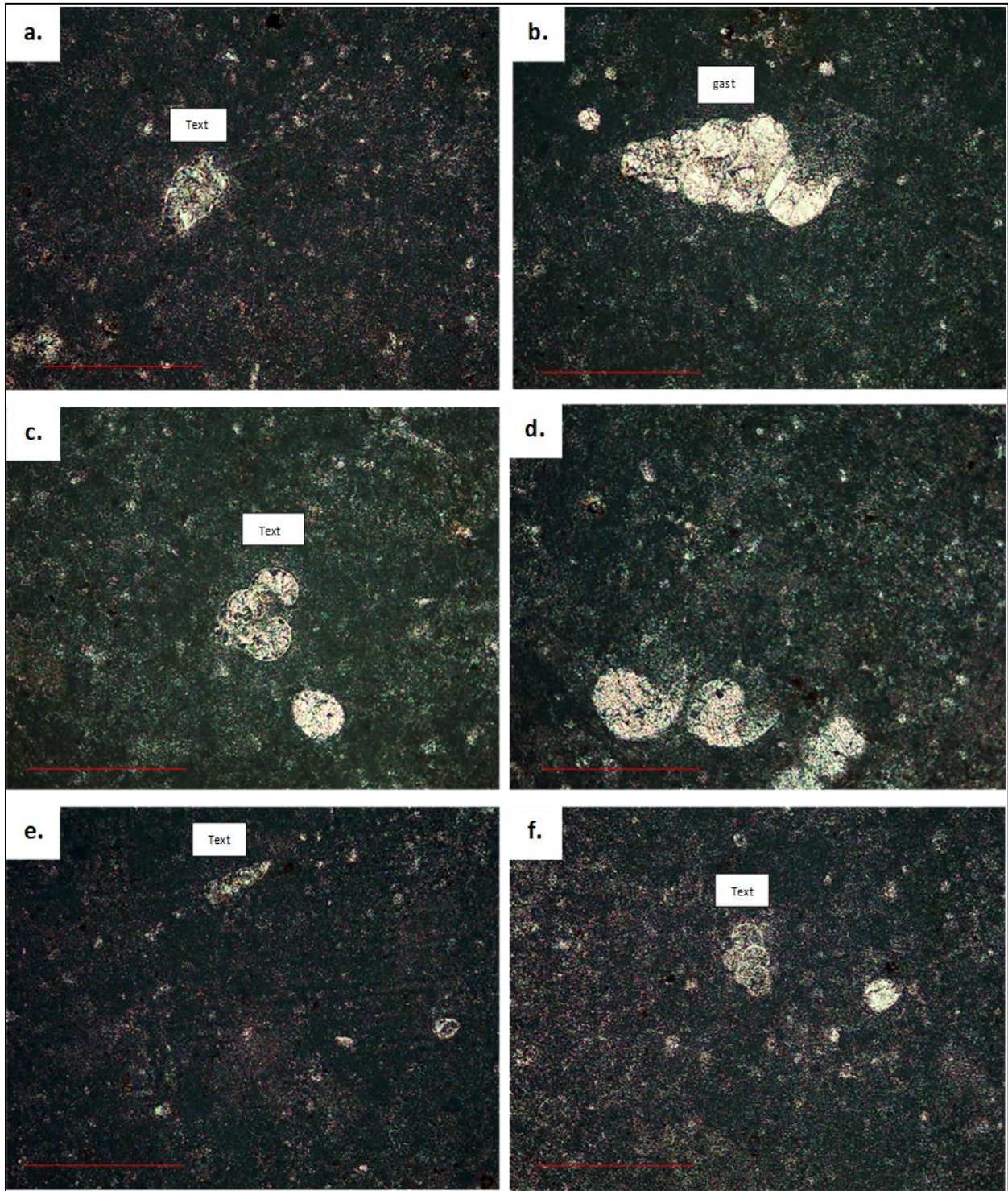


Figura 25. Microfotografía muestra TC₁-17.

Muestra TC₁-19

Descripción litológica:

Roca compuesta por aproximadamente 20-25% menores a 2 mm; estos son principalmente foraminíferos bentónicos (principalmente miliólidos), algunas espículas de esponja, con algunos óxidos (5%), ostrácodos y calciesferas de fabrica mud-supported con más del 80% de matriz color gris (Figura 26 y 27).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un wackestone/packestone con foraminíferos bentónicos/biomicrita de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Por su contenido bioclástico, se puede clasificar en la SMF-18F que se ubica en la FZ-8 (plataforma interior restringida), que se caracteriza por ser una zona de luminosidad moderada a alta y de energía baja.

Descripción foraminíferos:

Foraminífero bentónico, sin identificar de 6 cámaras, un poco más larga que ancha, con septos gruesos, donde se pueden observar las separaciones entre las cámaras (Figura 26 a, d, f).

Foraminífero planctónico de la familia familia Textulariidae, en corte transversal, con cámaras infladas de forma semicircular, de aproximadamente 10, en acomodo biserial, con septos gruesos rellenos de micrita en el exterior, mientras que los internos no se distinguen muy bien. 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 26 b y e, figura 27 j y k).

Foraminífero planctónico sin identificar, en acomodo trocospiral, mal preservado, con cámaras casi del mismo largo y ancho (más de 5) (Figura 27 h).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 26 c y figura 27 g, h, i, k y l).

Descripción de microfotografías:

a, d y f. Foraminífero bentónico (fb) sin identificar; **b.** ostrácodo en corte ventral (ostra) y foraminífero bentónico de la familia Textulariidae (Text); **c.** Miliólido en corte transversal (mil) y **e.** foraminífero bentónico de la familia Textulariidae en corte transversal (Text); **g, h, i, k y l.** Miliólidos en corte transversal (mil); **h.** foraminífero bentónico sin identificar (fb); **i.** espícula de esponja (esp); **j.** foraminífero bentónico probablemente en corte dorsal de una Textulariidae (Text); **k.** Foraminífero bentónico de la familia Textulariidae en corte ventral (Text). Fotografías tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

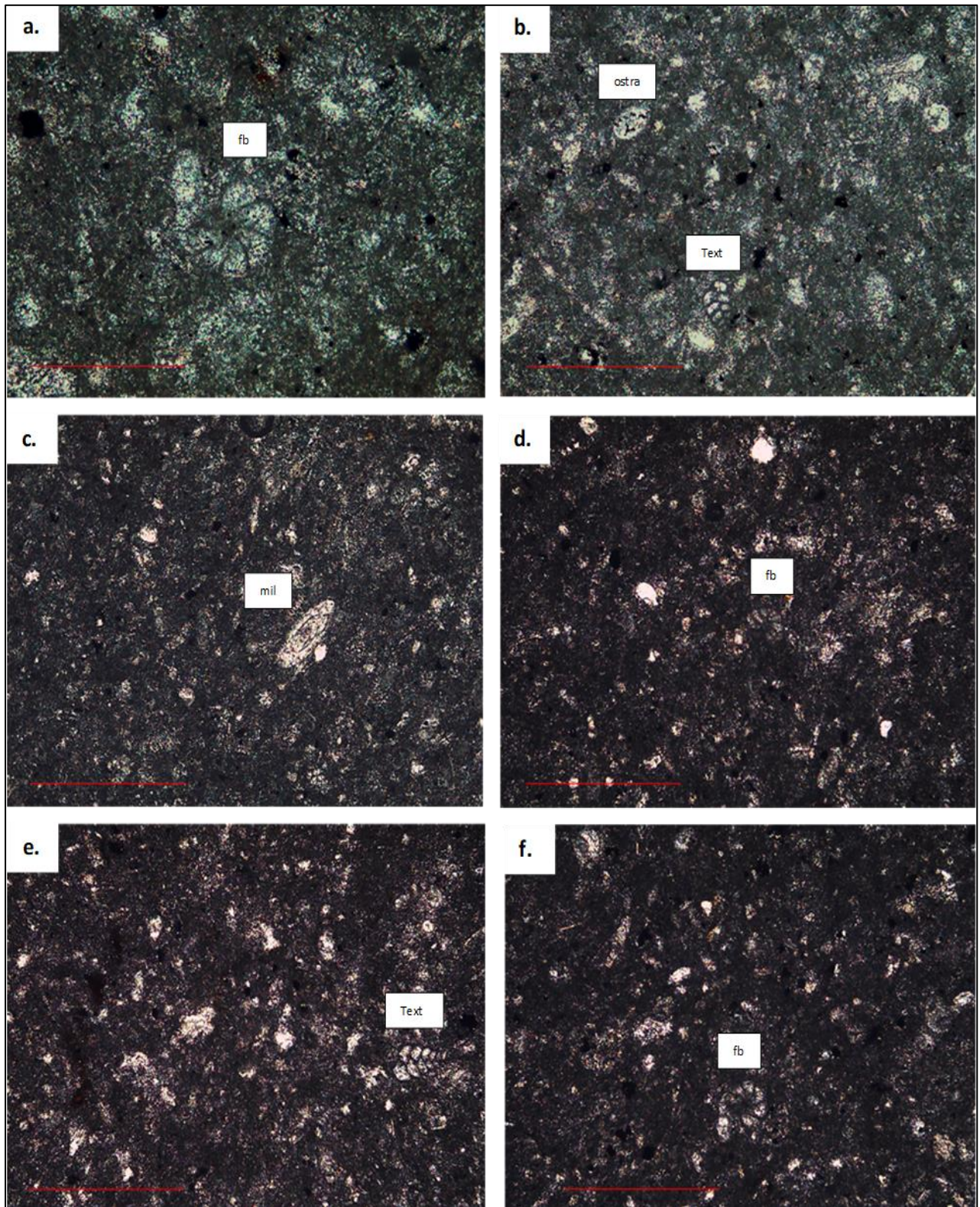


Figura 26. Microfotografía muestra TC₁-19.

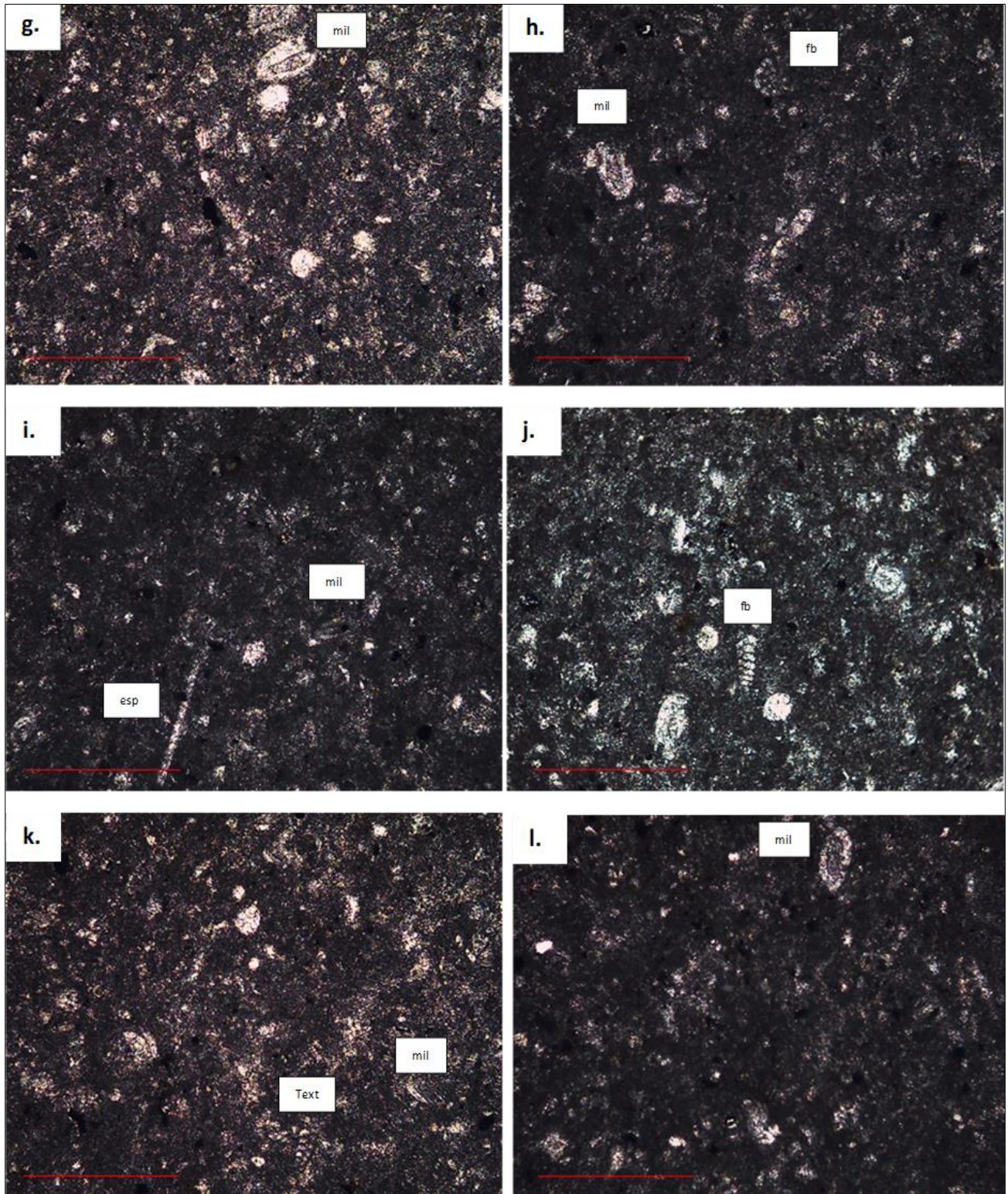


Figura 27. Microfotografía muestra TC₁-19.

Muestra TC₁-21

Descripción litológica:

Roca constituida por 40-45% de componentes, todos menores a 2 mm, con matriz 60% de micritica, de fábrica mud-supported; siendo esta de color oscura. Los componentes son principalmente foraminíferos bentónicos, miliólidos, algunas espículas de esponja y algas; se llegan a observar algunos óxidos a lo largo de toda la lámina y en algunas partes se observa partes de dismicrita (Figuras 28 y 29).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un packestone con bioclastos/biomicrita de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Con base en los microfósiles presentes se puede clasificar como facies tipo SMF-20 con zona FZ-8 (Plataforma interior laguna restringida). Esta zona de facie se caracteriza por ser una zona somera, fótica con un grado de luminosidad alto, con un índice de energía baja.

Descripción de foraminíferos:

Foraminífero planctónico de la familia Textulariidae en corte transversal, con cámaras infladas de forma semicircular, de aproximadamente 16, en acomodo biserial, con septos gruesos rellenos de micrita en el exterior, mientras que los internos no se distinguen muy bien. 3b, 6b, 9b, 10b, 14a (Figura 28 b y f; figura 29 g, h y l).

Foraminífero mal preservado posiblemente de la familia Globotruncaniidae, en corte transversal (Figura 28 e).

Foraminífero bentónico sin identificar, con cámaras del mismo largo y ancho, de forma planispiral envuelta de manera evoluta (Figura 28 f).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 29 k).

Descripción de microfotografías:

a. bioclastos sin identificar (bio) y espícula de esponja (esp); **b.** espícula de esponja (esp) y foraminífero bentónico de la familia Textulariidae en corte ventral (Text); **c.** foraminífero bentónico sin identificar (fb); **d.** ooides (ool); **e.** foraminífero planctónico en corte dorsal, probablemente una Globotruncana (Glot) y **f.** foraminífero bentónico sin identificar (fb) y Textulariidae en corte ventral (Text); **g, h** y **l.** contienen foraminíferos bentónicos de la familia Textulariidae en corte ventral (Text); en la fotografía **g.** se observan ostrácodos (ostra) en corte ventral; **i.** pellets; **j.** foraminífero bentónico en corte ventral (fb); **k.** miliólidos en corte dorsal arriba y en corte transversal abajo (mil). Fotografías tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

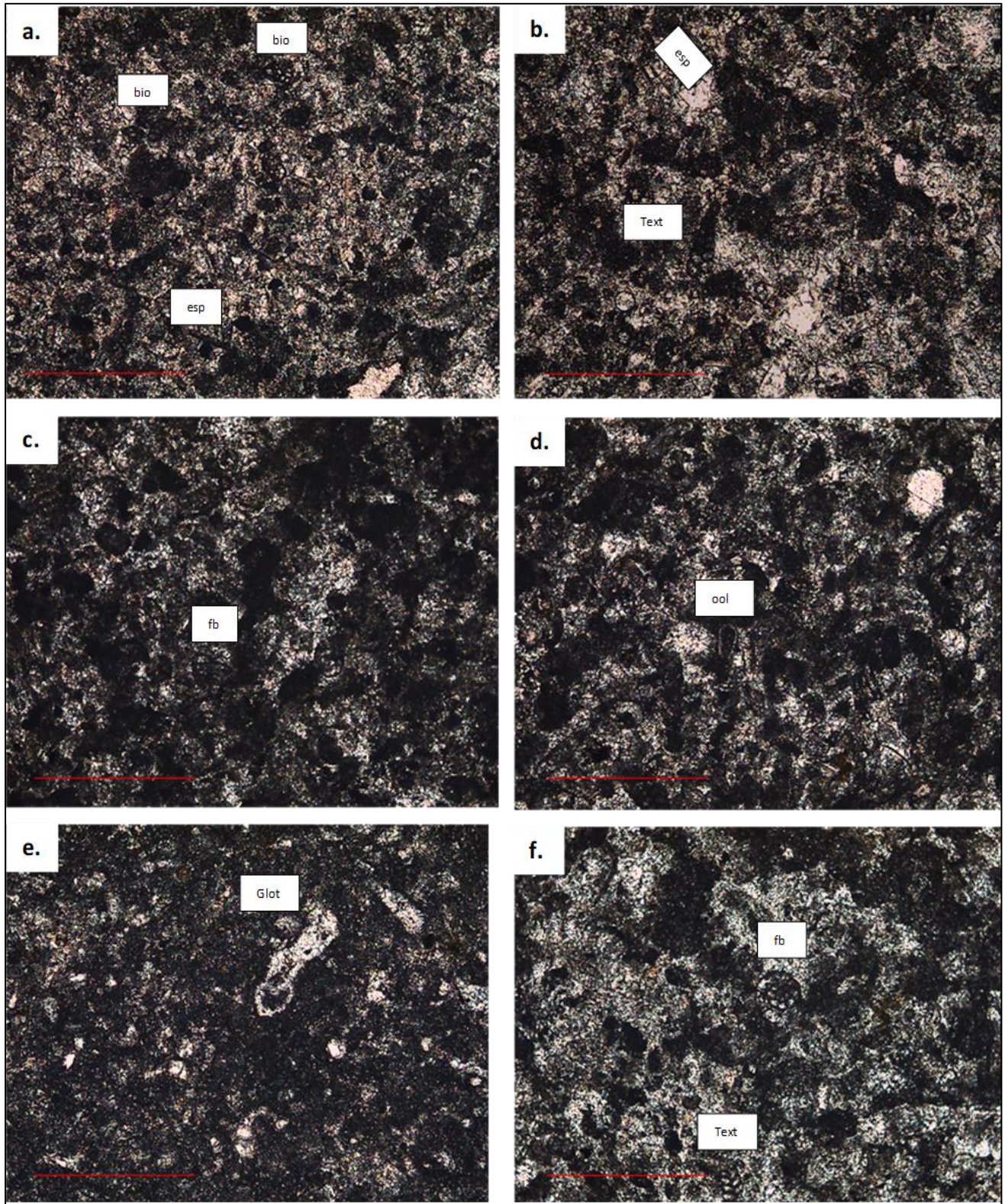


Figura 28. Microfotografía muestra TC₁-21.

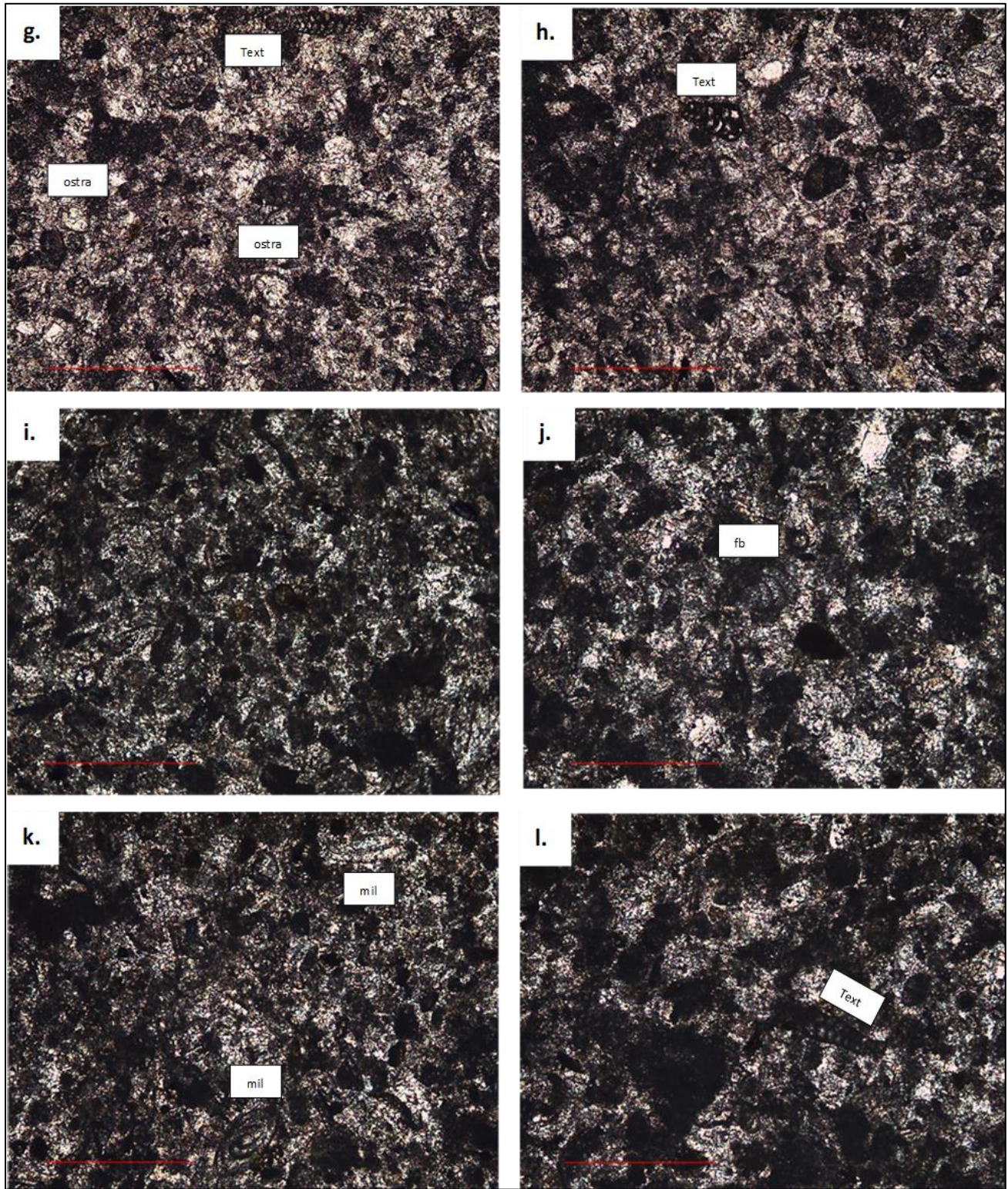


Figura 29. Microfotografía muestra TC₁-21.

Muestra TC₁-23

Descripción litológica:

Roca constituida por un 40% de componentes, estos son principalmente ooides, foraminíferos bentónicos, espículas de esponjas algunas sobrepasando el milímetro entre 1 mm y menores a 1mm, algunos miliólidos y ostrácodos, así como calciesferas, a lo largo de la lámina se pueden observar algunos puntos de óxidos. Se puede clasificar como un packestone con biclastos. Estos se encuentran en una matriz lodo soportada de color café grisáceo (Figura 30 y 31).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un packestone con bioclastos/biomicrocrista de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

Se observan áreas pequeñas de cemento esparítico, donde se observan calcita en su modalidad diente de perro. Aunque la lámina tiene una orientación bandeada, donde lo más claro son probablemente algas que tienen adentro microfósiles y los ooides.

De acuerdo con su contenido orgánico e inorgánico, la muestra se puede clasificar dentro de la SMF-18, dentro de la zona FZ-8 (plataforma interior restringida), que se caracteriza por contener biota como la que se describe anteriormente.

Descripción de foraminíferos:

Foraminífero bentónico de la familia Textularidae con 18 cámaras, en acomodo biserial, más largas que anchas, donde los septos se observan gruesos (Figura 30 b y 31 f, g y l).

Foraminífero bentónico de familia Litulidae con aproximadamente 5 cámaras, en acomodo como abanico, cada una de ellas mucho más largas que anchas 3b, 6b, 9b, 10a, 11a (Figura 31 l).

Foraminífero de la familia Miliolidae con más de una cámara, en acomodo en varios planos, 3b, 6b, 9b, 10b, 14b, 15b, 16b, 17b, 18a (Figura 30 c).

Descripción de microfotografías:

a y **b** son espículas de esponja donde, en **a** se observa una triaxona (esp); **b** y **f**. foraminífero bentónico de la familia Textulariidae (Text); en corte ventral; **c**. miliólido en corte transversal (mil) y ostrácodo en corte ventral (ostra); **d**. espina de erizo (Esp) y **e**. estructura de calcita en su forma tipo mosaico, **g** y **l**. foraminífero bentónico de la familia Textulariidae en corte ventral (Text); en **g** se puede observar un ostrácodo en corte ventral (ostra); **h**, **e**, **i**. Gasterópodo en donde el primero se observa en corte transversal y en el segundo en corte dorsal (Gast); **j**. foraminífero bentónico de la familia Lituolidae (Lit); **k** y **l**. foraminíferos bentónicos de la familia Hedbergellidae (Hedb). Fotografías tomadas con luz natural y en escala 10x (0.5 mm).

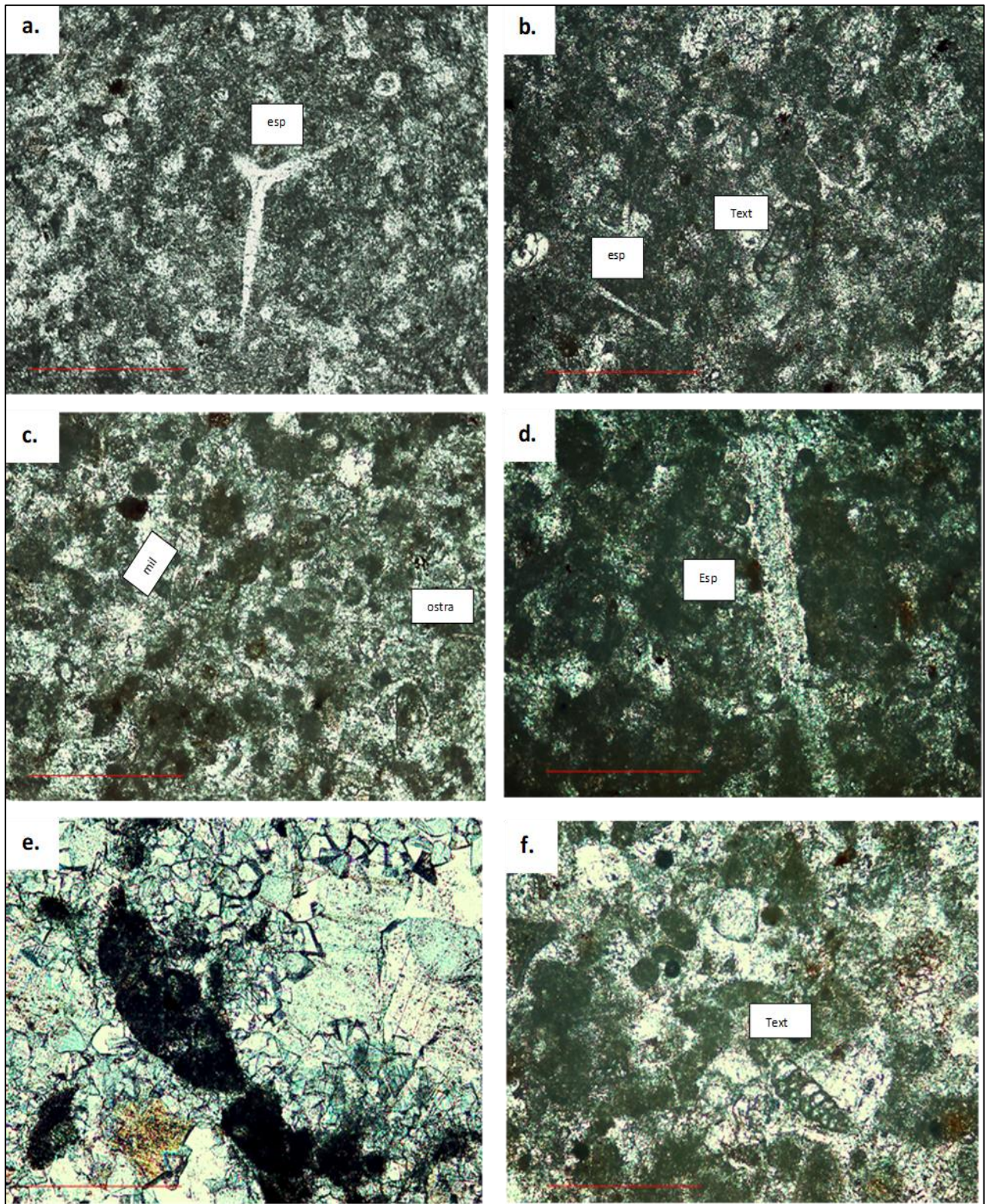


Figura 30. Microfotografía muestra TC₁-23.

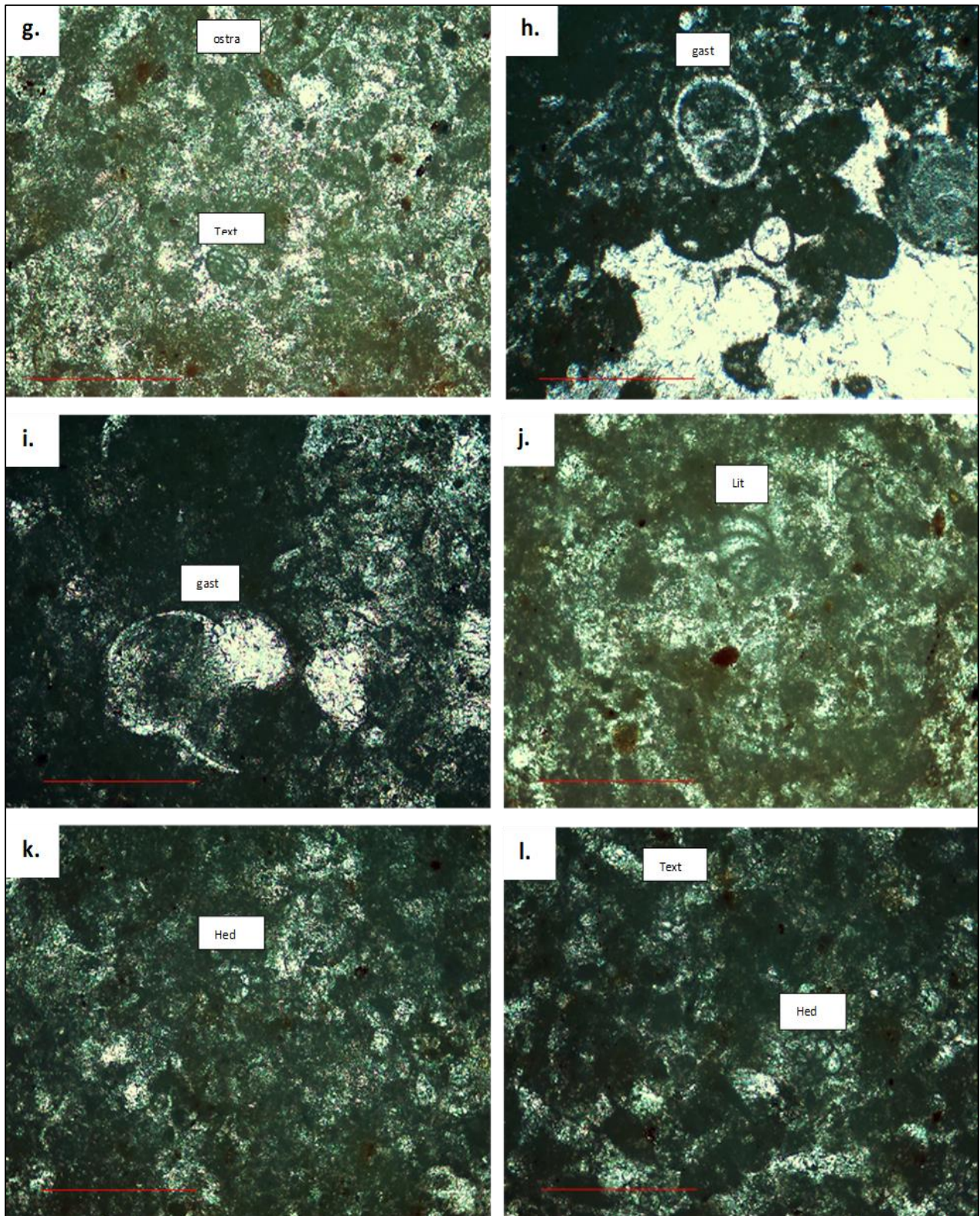


Figura 31. Microfotografía muestra TC₁-23.

Se tomaron tres muestras de un cerro localizado en la parte alta de la cantera estas fueron de la parte baja, media y más alta del mismo (ACT-1, ACT-2 y ACT 3, respectivamente) en donde se observó que las rocas se presentan de forma masiva, es decir son calizas masivas de color claro, por lo que se decidió agrupar las tres muestras en una sola descripción.

ACT-1, 2 y 3

Roca constituida por un 60% de componentes bioclásticos, en donde se pueden observar ooides, oncoides, pisoides, restos de gasterópodos, algunas espículas de esponjas, algunos cortes de ostrácodos, foraminíferos bentónicos. Algunos de ellos varían de 1 mm a menor tamaño. En algunas partes de la lámina se pueden observar cierta alineación. Todos ellos se encuentran embebidos en una matriz micrítica de fábrica mud-supported de color gris claro (Figuras 32 al 37).

El porcentaje de masa básica, así como el tamaño y porcentaje de componentes nos permite clasificarla como un grainstone con bioclastos/biomicrita de acuerdo con Dunham y Folk, 1962, respectivamente.

De acuerdo con su contenido orgánico e inorgánico, la muestra se puede clasificar dentro de la SMF-8, que podría caer en la zona FZ-7 (plataforma interior con abertura al océano).

Descripción foraminíferos:

ACT1.

Foraminífero bentónico de la familia Lituolidae con aproximadamente 13 cámaras, que se observan más anchas que largas, de acomodo planispiral, con septos simples 3b, 6b, 9b, 10a, 11a (Figura 32 b).

Foraminífero planctónico de la familia Globotruncanidae en corte lateral, en enrollamiento trocospiral; se llegan a observar 7 cámaras, donde las últimas dos, se observan pseudorectangulares con punta triangular, los septos se observan simples (Figura 32 d y 33 h).

Foraminífero planctónico de la familia Globorotalidae en corte lateral, con acomodo de cámaras trocospiral, con aproximadamente 4 cámaras, las últimas dos se pueden observar con quillas; estas se observan de forma globulares. los septos se observan gruesos 35b 36^a 37b 39b 40b 41b 42b 43b (Figura 33 h).

ACT-2

Foraminífero bentónico de la familia Globotruncana, con acomodo trocospiral, en corte lateral con cámaras ovaladas, donde se observan que tiene una ligera quilla, tiene 3 cámaras (Figura 34 b y d).

Foraminífero bentónico probablemente de la familia Rotaliidae en corte transversal, de forma lenticular, con 4 cámaras, en donde los septos se observan gruesos (Figura 34 e).

Foraminífero planctónico con 8 cámaras, en acomodo planispiral, donde se observan septos simples y delgados, las cámaras se observan más anchas que largas, probablemente de la familia Hedbergillidae (Figura 34 f y 35 k).

Foraminífero bentónico de la familia Rotaliidae, con aproximadamente 16 cámaras, en acomodo planispiral, que se observan más anchas que largas, los septos se observan gruesos (Figura 35 h).

Foraminífero planctónico de la familia Globorotalidae en corte lateral, con acomodo de cámaras trocospiral, con aproximadamente 4 cámaras, las últimas dos se pueden observar con quillas; estas se observan de forma globulares. los septos se observan gruesos (Figura 35 i).

ACT-3

Foraminífero planctónico, sin identificar con aproximadamente más de 3 cámaras, de acomodo planispiral, cada una de ellas se observan de forma globular (Figura 36 f).

i. foraminífero planctónico con 8 cámaras, en acomodo planiespiral, donde se observan septos simples y delgados, las cámaras se observan más anchas que largas, probablemente de la familia Hedbergillidae (Figura 37 i).

Foraminífero planctónico de la familia Globorotaliidae con 5 cámaras en corte lateral, en acomodo trocospiral, cada una de ellas de forma globular, las últimas 2 cámaras tienen quilla, mientras que los septos se observan simples (Figura 37 k).

Descripción de microfotografías:

ACT1: a. pisoide (pis) y oolito (ool); b. foraminífero bentónico sin identificar (fb); c, e y f, contienen moluscos en corte lateral (mol), mientras que en c y f se observan gasterópodos (gast); en el primero se observa en corte ventral mientras que en el segundo en corte transversal y e. foraminífero planctónico en corte ventral, de la familia Globotruncaniidae (Glot), g. ooides (ool); h. foraminíferos planctónicos uno de la familia Globotruncaniidae (Glot) y uno perteneciente a Globorotaliidae (Glor), así como molusco en corte lateral (mol); i. organismo no determinado y j. molusco en corte lateral (mol), así como ooide. Fotografías tomadas en luz natural y en escala 10x (0.5 mm) (Figura 32 y 33).

ACT2: a. se observan diversas espinas de erizo en corte transversal (Esp); b. foraminífero planctónico en corte ventral probablemente de la familia Globotruncaniidae (Glot); c. ostrácodo en corte ventral (ostra); d. espina de erizo (Esp), probable foraminífero bentónico (fb) y miliolido en corte transversal (mil); e. espina de erizo en corte transversal (Esp) y foraminífero bentónico de la familia Rotaliidae (Rot) y f. foraminífero planctónico de la familia Hedbergellidae (Hedb); g. se observan dos foraminíferos planctónicos, uno sin identificar (fb) y otro de la familia Globotruncaniidae (Glot); h. foraminífero de la familia Rotaliidae (Rot); i. foraminífero planctónico de la familia Globorotaliidae en aumento de 20x (0.2 mm); j. moluscos en corte lateral (mol); k. foraminífero de la familia Hedbergellidae (Hedb) y l. calcita en forma de "diente de perro". Fotografías tomadas bajo luz natural (excepto en l, luz polarizada) en escala 10x (0.5 mm) (excepto h, i, 20x 0.2 mm) (Figura 34 y 35).

ACT3: a. ostrácodo en corte transversal (ostra) y algunos pelets; b. corte lateral de una valva de molusco (mol) y ostrácodo en corte ventral (ostra); c y e. ooides; d. espina de erizo en corte transversal (Esp) y e. foraminífero planctónico en corte lateral de la familia Globorotaliidae (Glot); g. foraminífero bentónico sin identificar (fb); h. una espina de erizo en corte lateral (Esp), ooides, foraminífero planctónico en corte ventral de la familia Hedbergellidae (Hedb), y gasterópodo en corte ventral (gast); i. Hedbergellidae en corte ventral (Hedb); j. ooides; k. foraminífero planctónico en corte lateral de la familia Globorotaliidae (Glot), en aumento de 20x (0.2 mm) y l.

espina de erizo en corte lateral. Fotografías tomadas con luz natural y en escala 10x (**f** y **k** escala 20x 0.2 mm) (Figura 36 y 37).

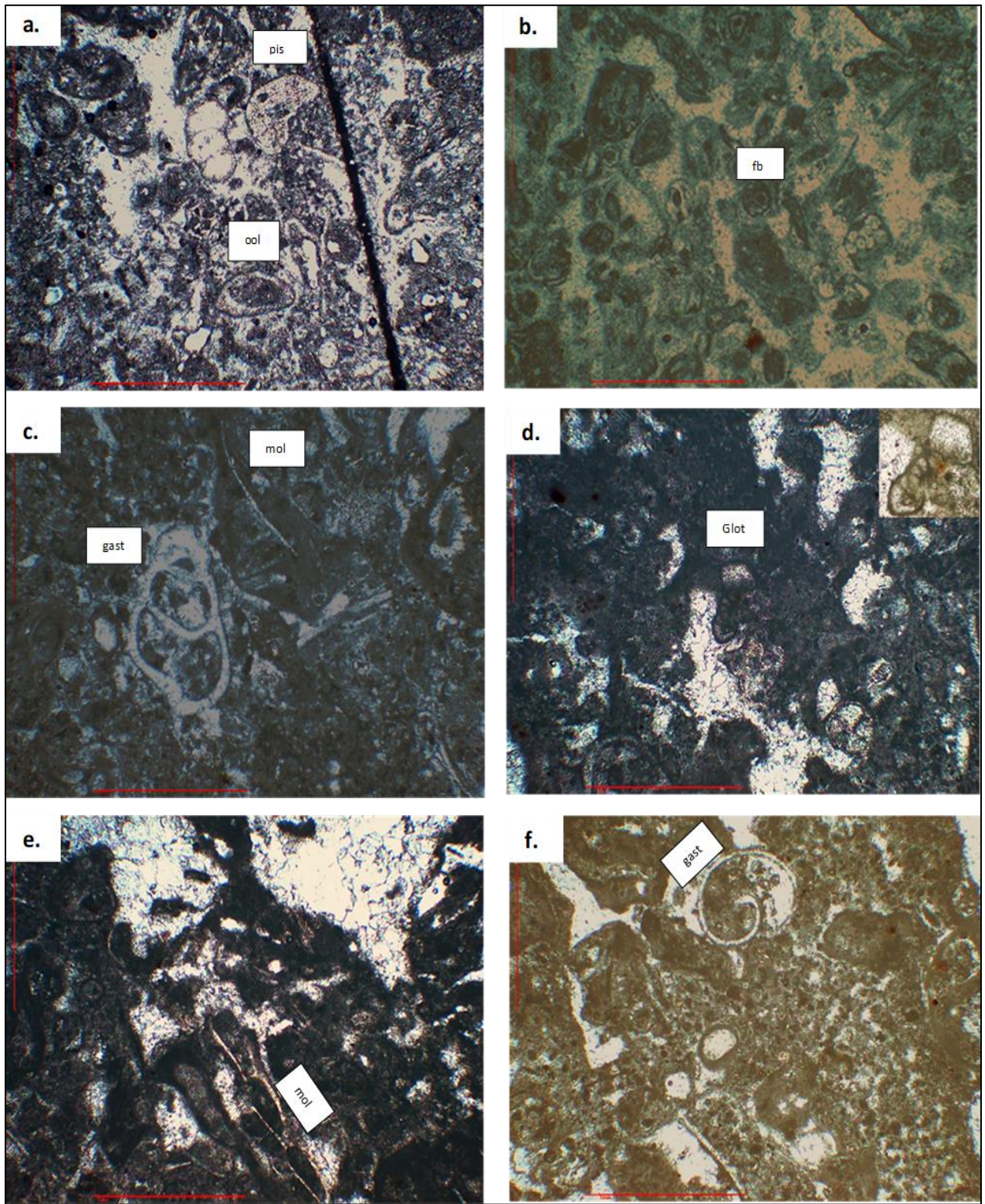


Figura 32. Microfotografía muestra ACT-1

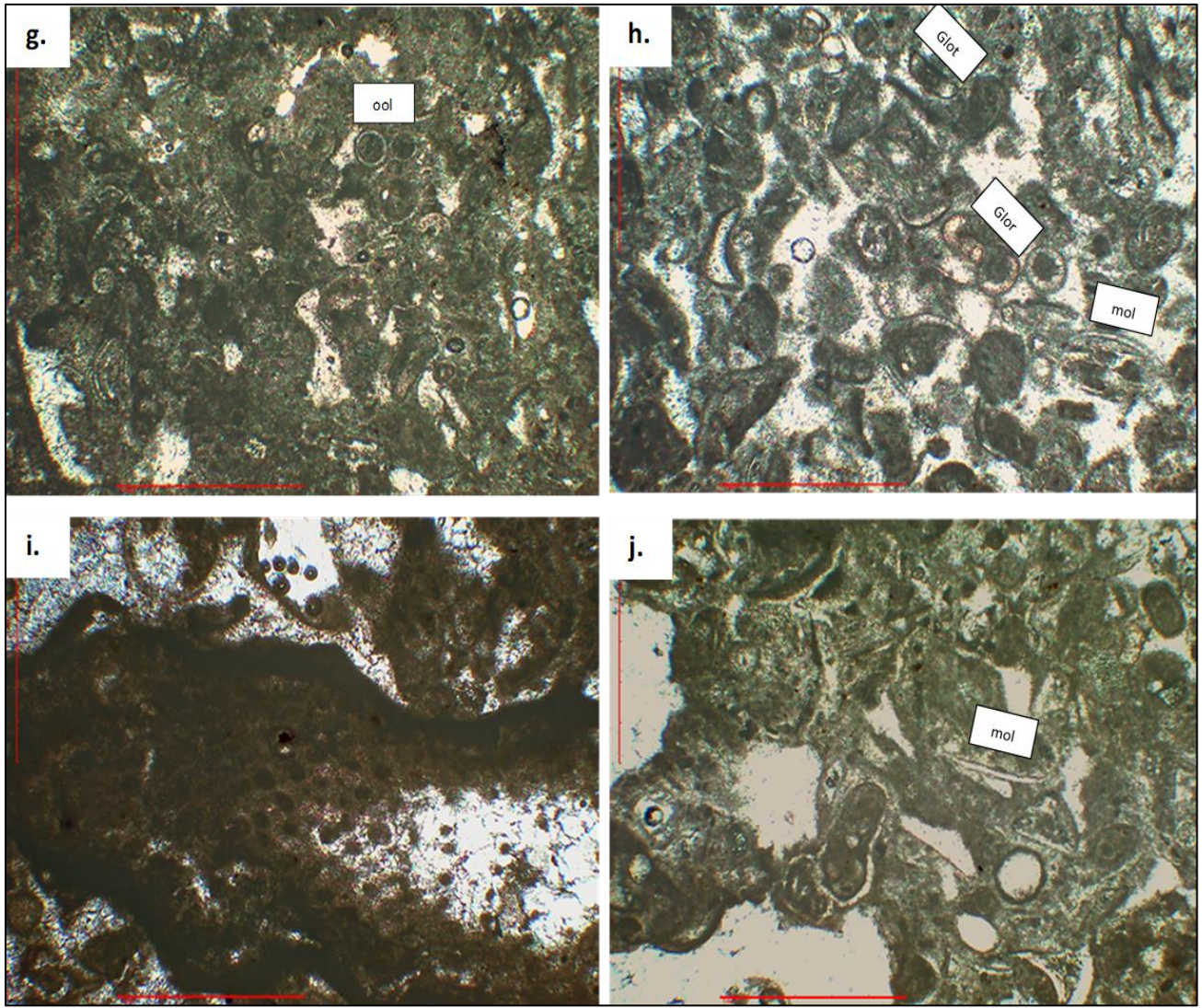


Figura 33. Microfotografía muestra ACT-1.

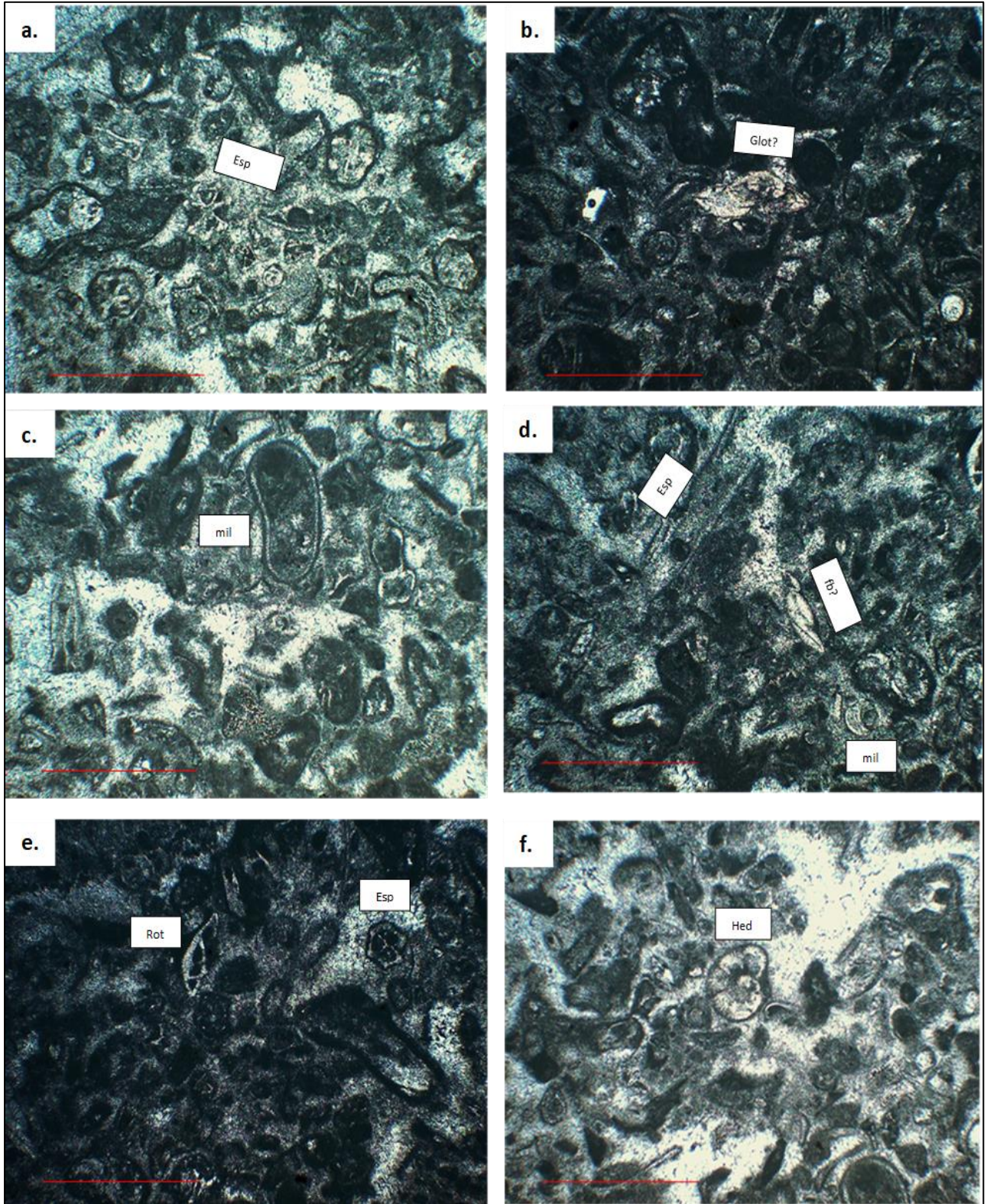


Figura 34. Microfotografía muestra ACT-2.

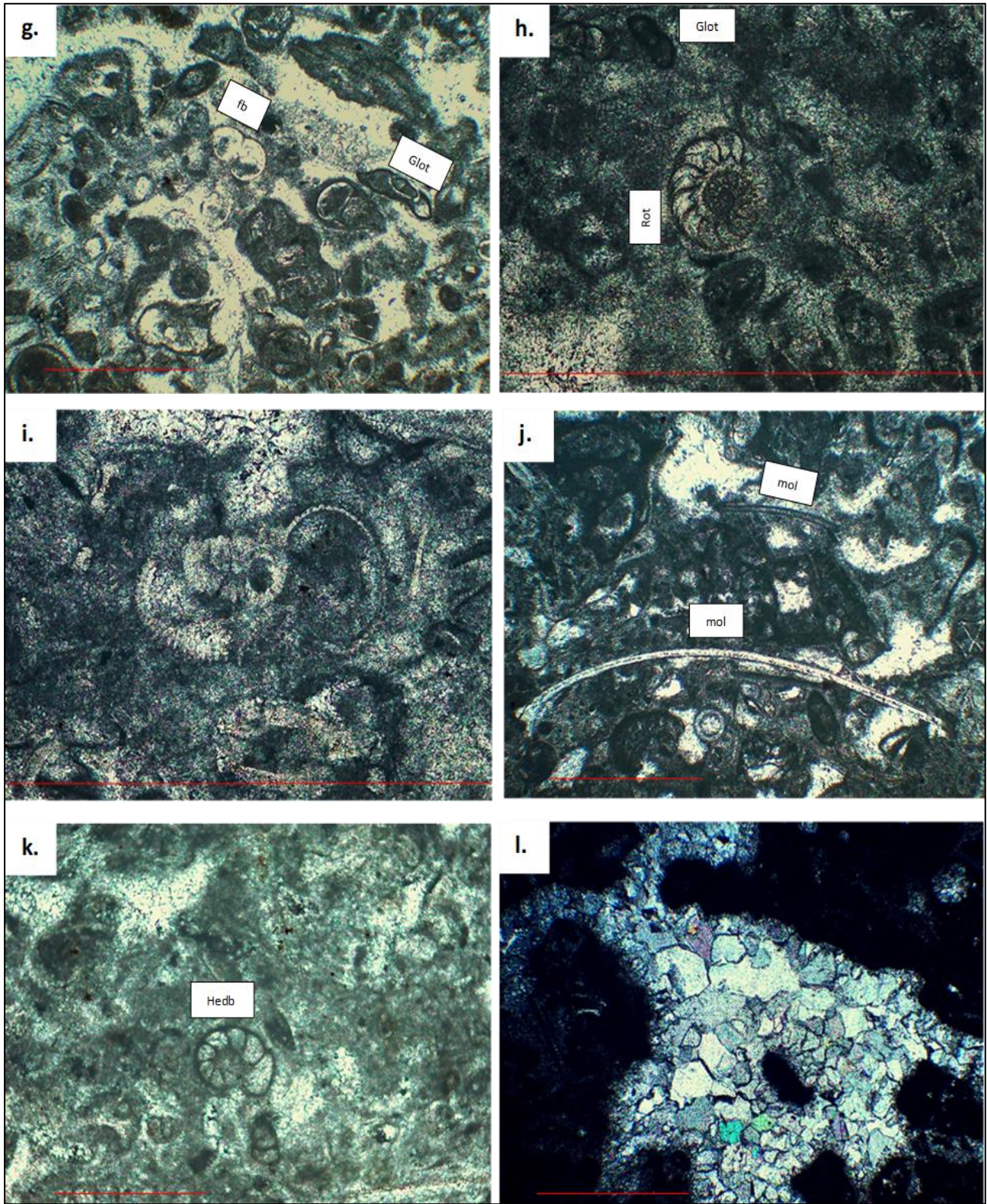


Figura 35. Microfotografía muestra ACT-2.

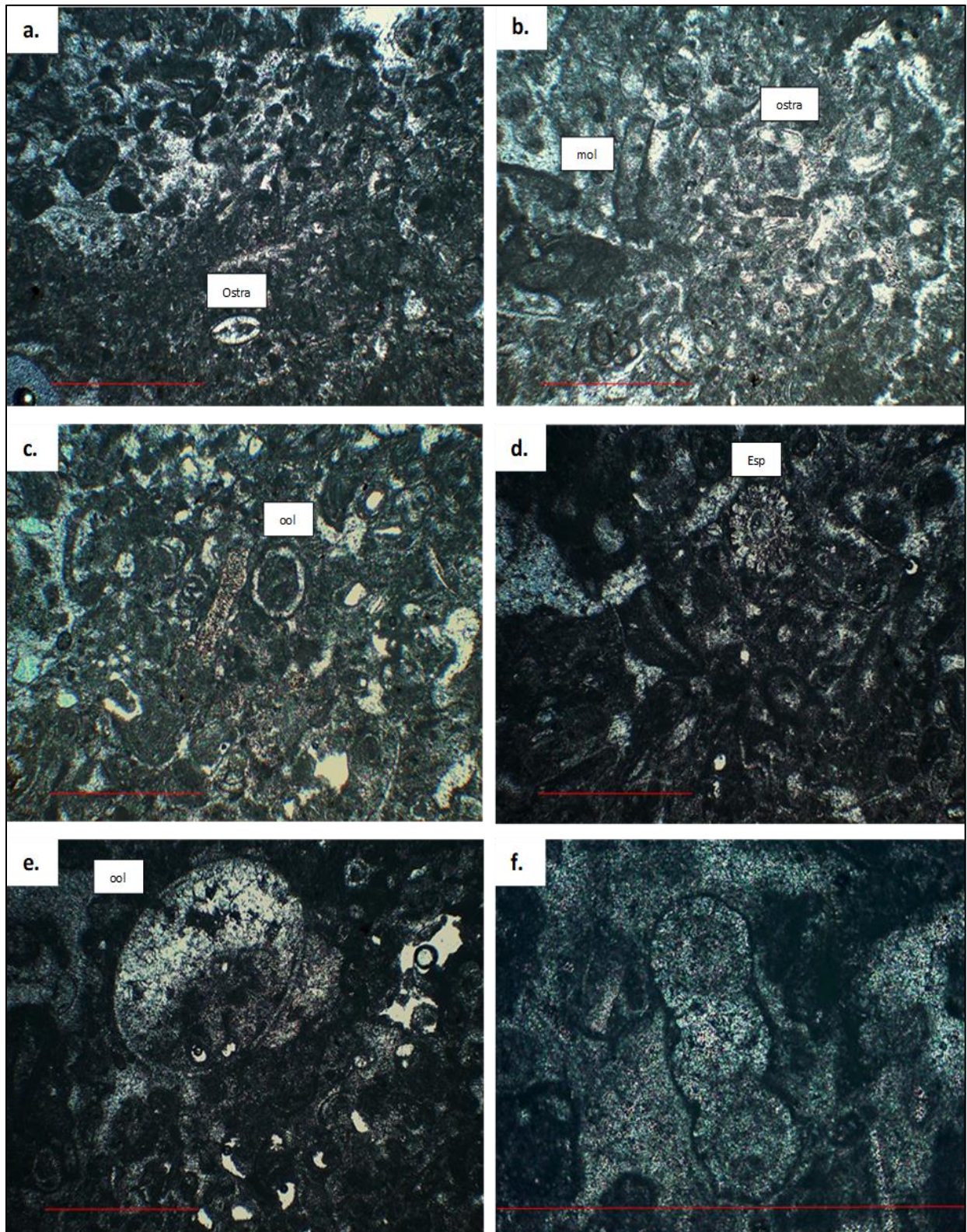


Figura 36. Microfotografía muestra ACT-3

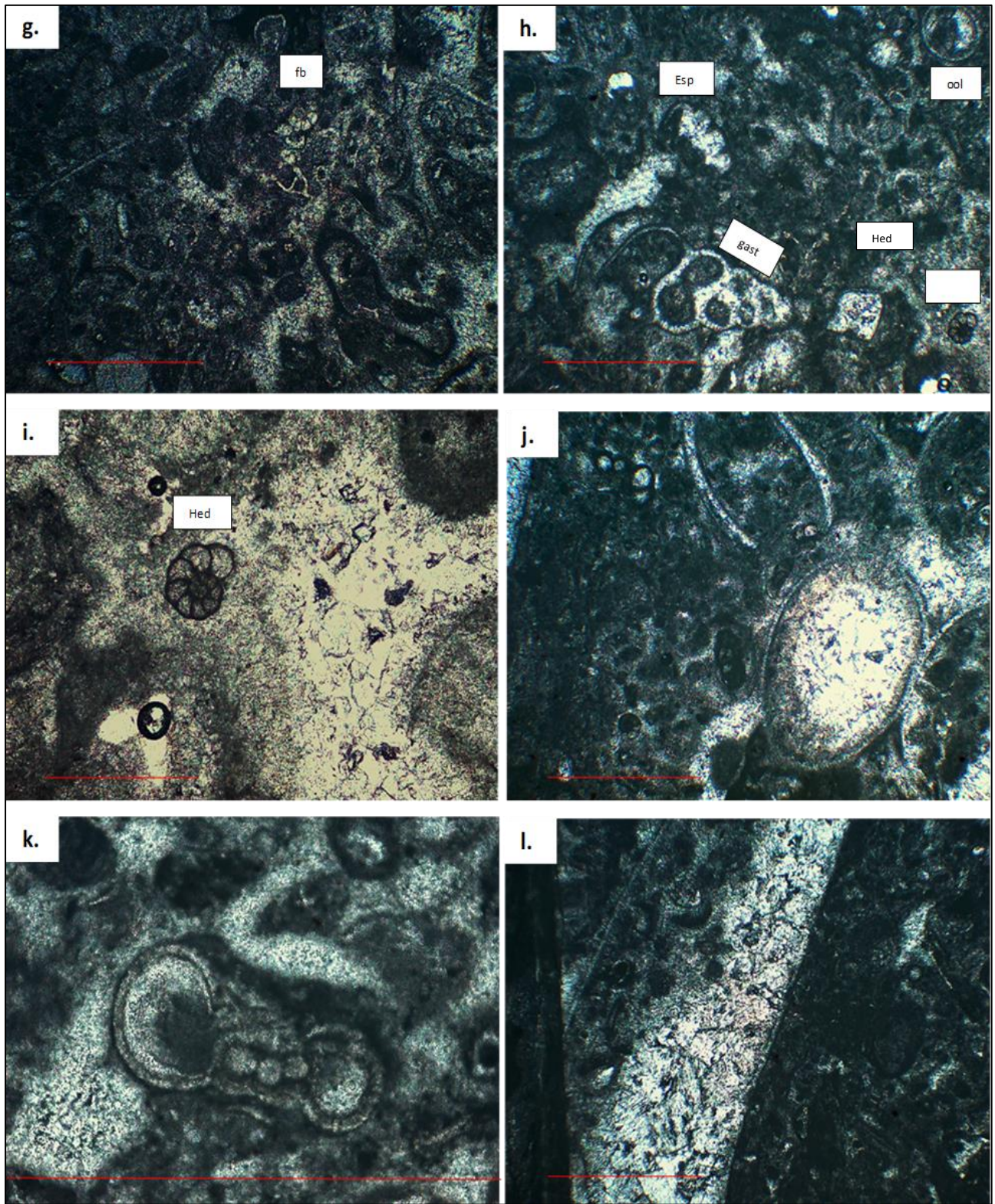


Figura 37. Microfotografía muestra ACT-3

Con las descripciones anteriores, se observa que las muestras son mayormente descritas como de wackestone (9 de las 13 muestras estudiadas), con dos muestras descritas como packestone (TC₁-21 y TC₁-23); aunque el contenido paleontológico es constante. Algo interesante es que en la muestra TC₁17, se observa un cambio de textural diferente a la mayoría descritas en las rocas carbonatadas (Figura 38); esta fue descrita como un mudstone con calciesferas, donde se observaron pocos foraminíferos, siendo estos mayormente de la familia Textulariidae, mal preservados, algunas espículas de esponja y gasterópodos; todos ellos embebidos en una matriz en 90% de fábrica lodo soportada de color café oscuro.

Esto, pudiéndose explicar que, dentro del perfil medido, hubo pocas variaciones en los componentes alquímicos y ortoquímicos, tanto en la cantidad de porcentajes y tamaños, lo cual indica cambios laterales y verticales muy leves que permitieron estos cambios en los cinturones faciales (para información más detallada véase capítulo 4, sección 4.1).

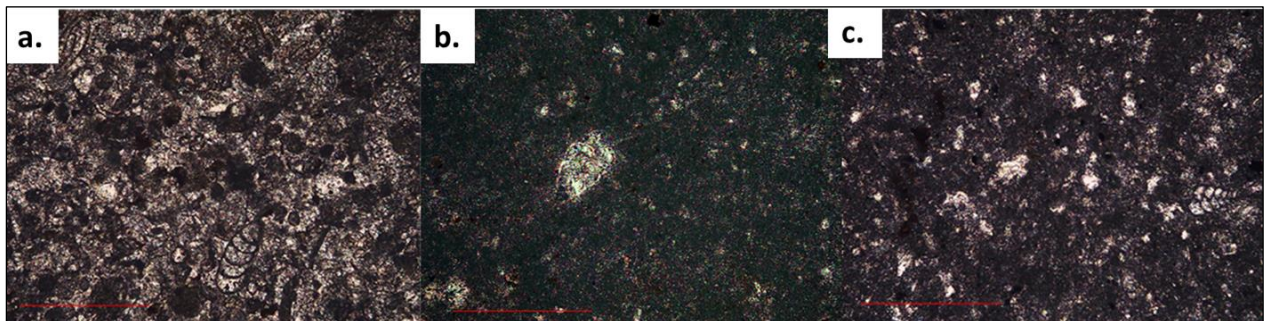


Figura 38. Comparación de facies; siendo la muestra **a.** TC₁-15, **b.** TC₁-17 y **c.** TC₁-19; en este se observa el cambio entre la matriz (de color más clara a oscura), y la cantidad de fósiles, así como la preservación de estos, en la b, el foraminífero se observa mal preservado, mientras que en las demás se observan en buen estado de preservación.

3. Microfósiles de la zona de estudio

3. 1. Determinación taxonómica

La taxonomía es la ciencia que se encarga de la clasificación de organismos de acuerdo con los caracteres diagnósticos de cada grupo mediante nomenclatura binominal de acuerdo con estos mismos caracteres (llegar al género y especie). A continuación, se describirán los caracteres para cada grupo de organismos encontrados mediante el método del levigado (foraminíferos y ostrácodos).

3. 1. 1. Foraminíferos

Los foraminíferos son el grupo de microfósiles más importantes debido a su significancia bioestratigráfica y reconstrucción paleoambiental; en donde las características morfológicas de la testa (concha) permiten clasificarlos taxonómicamente (para más información véase Anexos). Estos son organismos protozoarios provistos de una concha o testa que contiene todos los caracteres morfológicos que se utilizan para clasificarlos; su tamaño oscila entre 0.1 y 1 mm. Se pueden encontrar en un amplio rango de ambientes, desde marino marginal hasta aguas profundas (en el presente). Se tienen registros fósiles desde el Cámbrico hasta el presente (Molina, 2004).

De manera general se dividen en por su forma de vida: bentónicos y planctónicos. Los primeros son el mayor constituyente de aguas carbonatadas poco profundas, ya que viven enterrados o en la superficie de los sedimentos, están unidos a tallos de las plantas, rocas o partículas, por lo que son utilizados para reconstrucción paleoambiental; mientras que los planctónicos, se encuentran flotando y son movidos solo por las corrientes, aunque se pueden migrar verticalmente, estos son utilizados para bioestratigrafía.

PHYLUM Protozoa (Goldfuss, 1821)

CLASE Rhizopoda (Bonet, 1956)

ORDEN Foraminifera (D'Orbigny, 1826)

SUPERFAMILIA: Heterohelicoidea (Loeblich y Tappan, 1987)

FAMILIA: Heterohelicidae (Cushman, 1927)

SUBFAMILIA: Heterohelicinae (Cushman, 1927)

GÉNERO: *Heterohelix* sp (Ehrenberg, 1843)

Descripción: Testa libre de composición calcárea, con organización de la concha cónica, con forma piriforme (forma de pera), multilocular, acomodadas de forma biserial (cámara una al lado de la otra), con 7 cámaras, cada una de estas se observan de forma esférica acomodadas. Este foraminífero tiene ornamentación costillada (Figura 39.i)

Observaciones: capa TC₁₋₂, foraminífero planctónico.

Rango estratigráfico: Albiano-Daniano

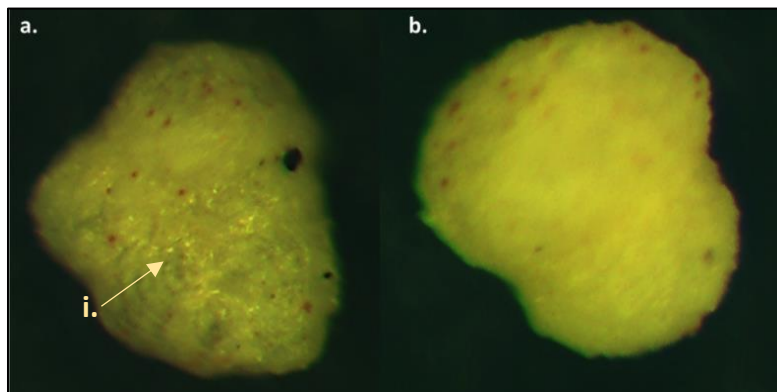


Figura 39. Foraminífero planctónico del género *Heterohelix globulosa*; a. Vista dorsal, donde se pueden observar las costillas, b. Vista superior donde es posible observar las últimas cámaras. Fotografías tomadas con aumento de 10x en microscopio marca Leica modelo MZ12s.

SUPERFAMILIA: Rotaliporoidea (Sigal, 1958)

FAMILIA: Hedbergellidae (Loeblich y Tappan, 1961)

SUBFAMILIA: Hedbergellinae (Loeblich y Tappan, 1961)

GÉNERO: *Hedbergella* sp (Brönnimann & Brown, 1958)

Descripción: Testa libre de composición calcárea, con una organización de concha biumbilicada. La forma general de la concha es hemiesférica. Con concha multilocular trocospiralada, su abertura es ecuatorial arqueada. La testa se observa perforada; con

cámaras globosas, semiperforada, la cámara inicial no se puede observar. Tiene aproximadamente 5 cámaras, sutura simple (Figura 40b), todas ellas globulares; con ornamentación perforada.

Observaciones: capa TC₁₋₆, solo se observaron dos foraminíferos, foraminífero planctónico.

Rango estratigráfico: Hauteroviano-Maastrichtiano

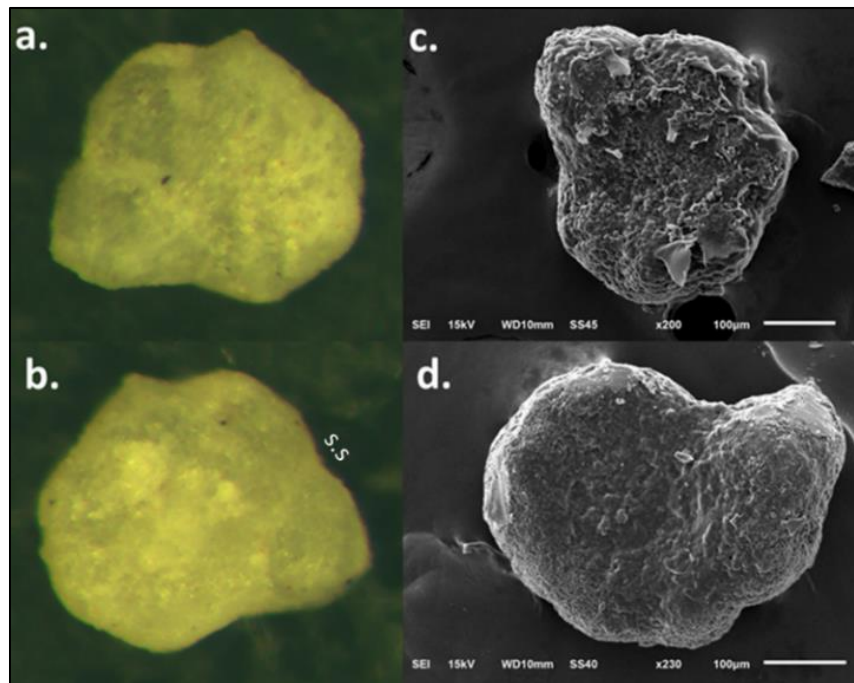


Figura 40. Foraminífero planctónico del género *Hedbergella* sp; a. Vista ventral, donde se pueden observar las cámaras, b. Vista dorsal donde es posible observar la sutura simple. a y b tomadas con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅. Mientras que c y d fueron tomadas con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

SUPERFAMILIA: Rotaliporoidea (Sigal, 1958)

FAMILIA: Globanomalinidae (Loeblich y Tappan, 1961)

SUBFAMILIA: Hedbergellinae (Loeblich y Tappan, 1961)

GÉNERO: *Muricohedbergella monmouthensis* (Huber & Leckie, 2011)

Descripción: Testa libre de composición calcárea, donde la organización de la concha umbilococonvexa. Su forma general es cónica angular; concha multilocular planiespiral evoluta, puesto que la última cámara no envuelve a las demás, con abertura ecuatorial arqueada. La testa es lisa con suturas simples. Tiene aproximadamente 6 cámaras, estas se observan semiglobosas, entre cada cámara su sutura es simple (Figura 41).

Observaciones: capa C₁₋₆, foraminífero planctónico.

Rango estratigráfico: Campaniano- Maastrichtiano

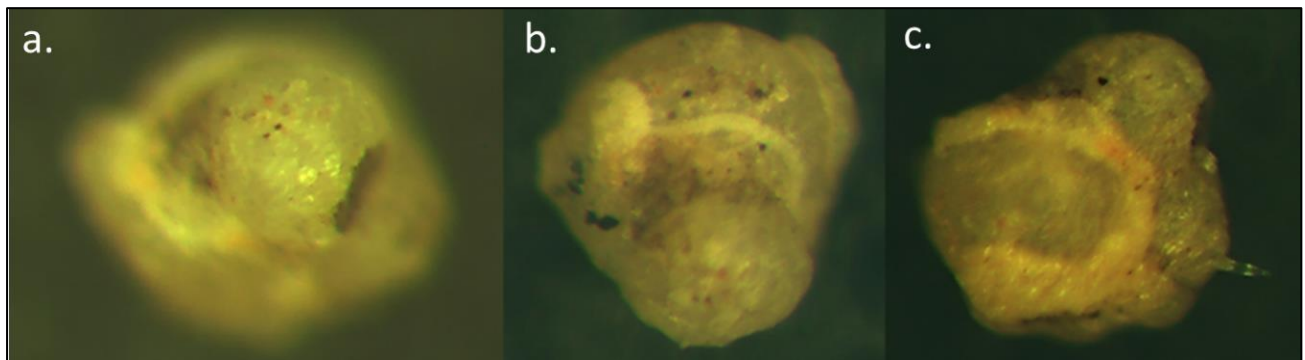


Figura 41. Foraminífero planctónico del género *Muricohedbergella monmouthesis*; a. Vista ventral, donde se pueden observar las cámaras, b. Vista dorsal donde es posible observar la sutura simple, c. Vista lateral, donde se puede observar una ligera espina. Tomadas con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅.

CLASE: Globothalamea (Pawlowski, Holzmann y Tyszka, 2013)

SUBCLASE: Textulariana (Mikhalevich, 1980)

ORDEN: Lituolida (Lankester, 1885)

SUBORDEN: Lituolina (Lankester, 1885)

SUPERFAMILIA: Recurvoidoidea (Aleksay-Miskevich, 1973)

FAMILIA: Ammobacilinidae (Saidova, 1975)

SUBFAMILIA: Ammobaculininae (Saidova, 1981)

GÉNERO: Navarella (Cury & Rat, 1951)

Descripción: Testa libre, de composición calcárea, con una organización de concha lenticular; de forma general ovalada, multilocular seriada, donde sus conchas finales se van ensanchando. La abertura se encuentra rellena de sedimento, por lo que su forma no se observa. La ornamentación general de la concha es semiperforada. Con aproximadamente 7 cámaras, cada una de ellas se observa semiovalada, entre cada cámara hay sutura simple (Figura 42).

Observaciones: foraminífero bentónico de la capa C₁-10.

Rango estratigráfico: Maastrichtiano

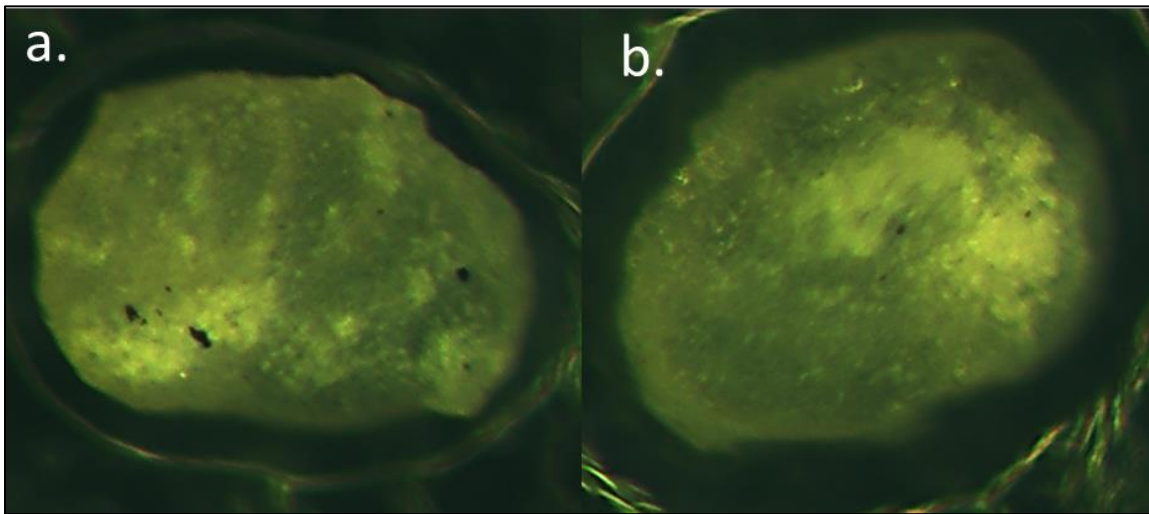


Figura 42. Foraminífero bentónico del género ¿*Navarella*?; a. Vista ventral, donde se pueden observar las cámaras y la sutura simple b. Vista dorsal. Tomadas con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅.

SUBORDEN: Globigerinina (Delage y Hérouard, 1896)

SUPERFAMILIA: Planomalinoidea (Banner, 1982)

FAMILIA: Globigerinelloididae (Longoria, 1974)

SUBFAMILIA: Globigerinelloidinae (Longoria, 1974)

GÉNERO: *Globigerinelloides alvarezii* (Cushman y Ten Dam, 1948)

Descripción: Testa libre de composición calcárea, mal preservado. La organización de la concha biumbilicada de forma general de la concha es hemiesférica. Con concha multilocular planiespiral evoluta puesto que la última cámara no envuelve a las anteriores. Las cámaras se presentan de forma semiesférica, con sutura entre ellas simple. La abertura se encuentra rellena de sedimento, aunque se puede distinguir que es ecuatorial arqueada. Tiene aproximadamente entre 7 y 9 cámaras, su ornamentación no puede distinguirse (Figura 43).

Observaciones: capa TC₁-18, foraminífero planctónico, solo se encontró un foraminífero

Rango estratigráfico: Aptiano-Maastrichtiano

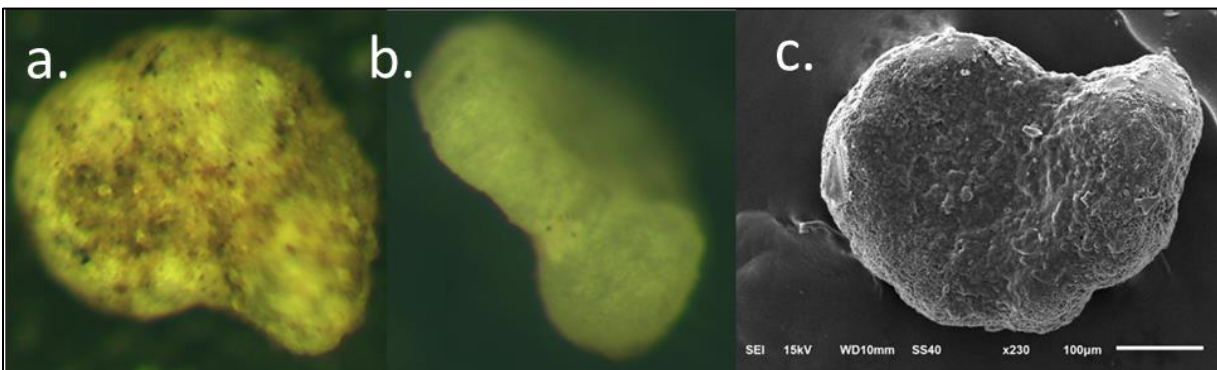


Figura 43. Foraminífero planctónico del género *Globigerinelloides alvarezii*; a. Vista ventral, donde se pueden observar las cámaras, b. Vista de la última cámara y c. Vista en MEB. Tomadas con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅. Mientras que c fueron tomadas con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

Foraminífero indefinido

Descripción: Testa libre de composición aragonacea, mal preservado; con organización de la concha esférica, con forma globular, multilocular, acomodadas de forma trocospiral, con 3 cámaras, cada una de estas se observan de forma esférica acomodadas una al lado de otra. No se puede observar la ornamentación claramente por lo mal preservado, pero la abertura en la última cámara es áreal múltiple (Figura 44).

Observaciones: capa TC₁-20, foraminífero planctónico

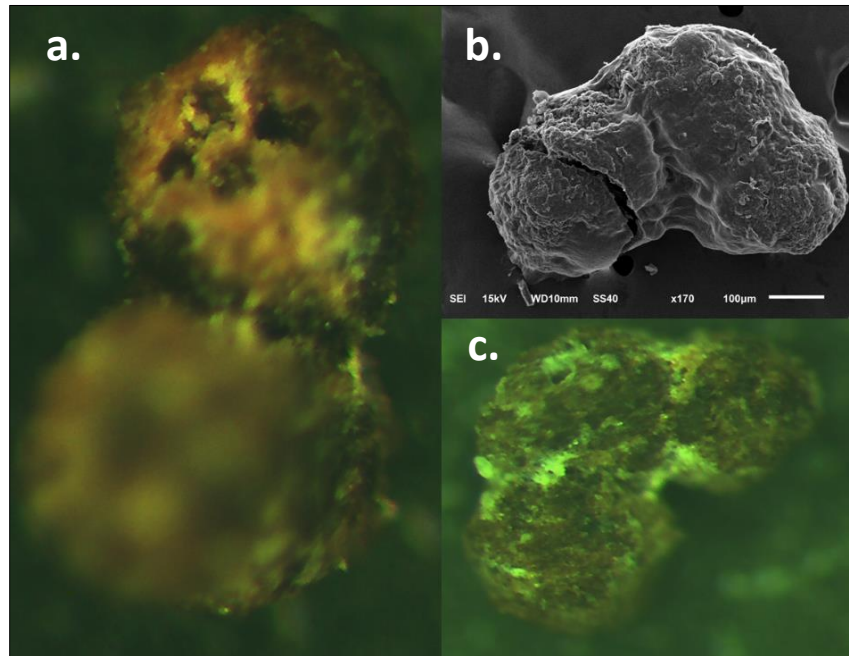


Figura 44. Foraminífero planctónico sin identificar; a. Vista ventral, donde se pueden observar la apertura de la última cámara; b. Vista lateral del foraminífero bajo el MEB modelo JEOL JSM-6610LUV y c. Vista lateral en microscopio estereoscópico, tomada con aumento de marca Leica MZ12₅.

Dentro de los ocho foraminíferos obtenidos mediante el proceso del levigado, solo se pudieron observar caracteres morfológicos en cinco, esto debido a que el estado de preservación no es el óptimo para los tres foraminíferos restantes, por lo que no se pueden observar las características morfológicas necesarias para poderlos agrupar a un género y/o especie.

Estos cinco foraminíferos permiten ubicar la zona de estudio en una edad Cretácica Superior, especialmente por dos foraminíferos que son indicadores de esta edad (*Muricohedbergella sp* y *Navarella sp*) (Figura 45).

Foraminíferos	Cretácico										Paleógeno
	Inferior				Superior						Paleoceno
	Hauteriviano	Barremiense	Aptiano	Albiniano	Cenomaniano	Turoniano	Conaciano	Santoniano	Campaniano	Maastrichtiano	Daniano
<i>Heterohelix globulosa</i>											
<i>Hedbergella sp</i>											
<i>Muricohedbergella monmouthensis</i>											
<i>Navarella sp?</i>											
<i>Globigerinelloides alvarezii</i>											

Figura 45. Foraminíferos identificados en la zona de estudio de acuerdo con el rango estratigráfico en el que existieron.

3. 1. 2. Ostrácodos

Generalidades

Los ostrácodos son invertebrados del Phylum Artrópoda, de gran interés micropaleontológico, sus dimensiones oscilan entre 0.15 y 2 mm; una de las principales aplicaciones es poder realizar reconstrucciones paleoambientales (Rodríguez-Lázaro, 2004). Estos organismos constan de dos valvas mineralizadas, que protegen las partes blandas; esos se encuentran en sedimentos marinos y continentales (lacustres) existen desde el Cámbrico hasta la actualidad; estos han tenido una espectacular radiación ecológica a lo largo de su historia evolutiva; actualmente viven en casi todos los medios acuáticos; medios marinos profundos, someros, salinos, hipersalinos e incluso en humedales de ciertas plantas (Molina, 2004).

La fosilización de las formas planctónicas es rara debido a la poca mineralización de las valvas, por lo que la mayoría de los ostrácodos son bentónicos (Molina, 2004). Las valvas tienen suficientes caracteres morfológicos para ser utilizarlos para estudios sistemáticos (figura 46, para más información, véase anexos), morfología funcional y de ecología por lo que una de las principales aplicaciones es la reconstrucción paleoambiental.

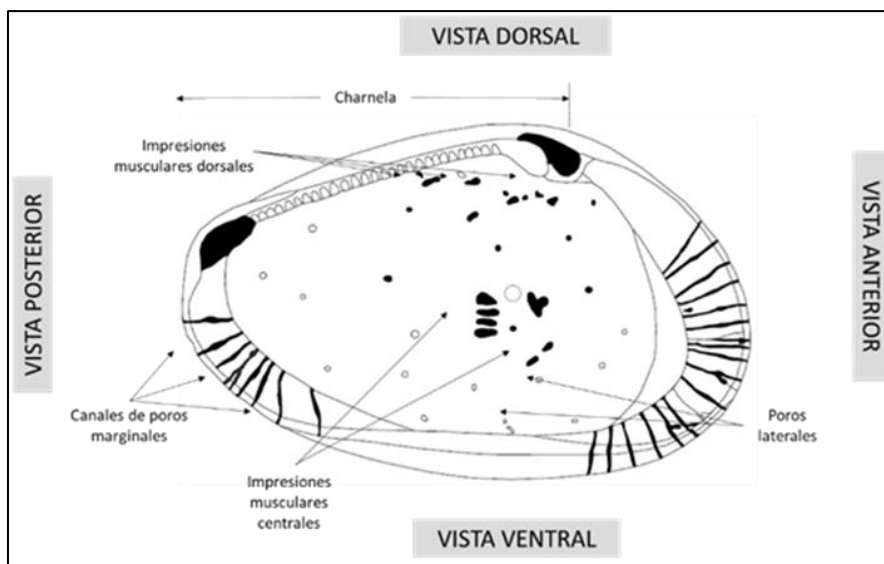


Figura 46. Partes de un ostrácodo. Tomado de Molina, 2004.

En los últimos 30 años, las investigaciones con ostrácodos han tenido gran importancia debido a su uso como indicadores paleobatimétricos así como condiciones limnológicas

A continuación, se describen los ostrácodos encontrados en la zona de estudio

PHYLUM: Arthropoda (Latreille, 1829)

CLASE: Crustacea (Brünnich, 1772)

SUBLASE: Ostracoda (Latreille, 1802)

ORDEN: Podocopida (Müller, 1894)

Descripción: valva derecha forma ovalada, más larga que ancha, esta se encuentra rota, por lo que no se observan más caracteres. Su superficie se encuentra lisa.

Observaciones: capa TC₁₋₂, único ostrácodo encontrado, se encuentra roto en la parte posterior (Figura 47).

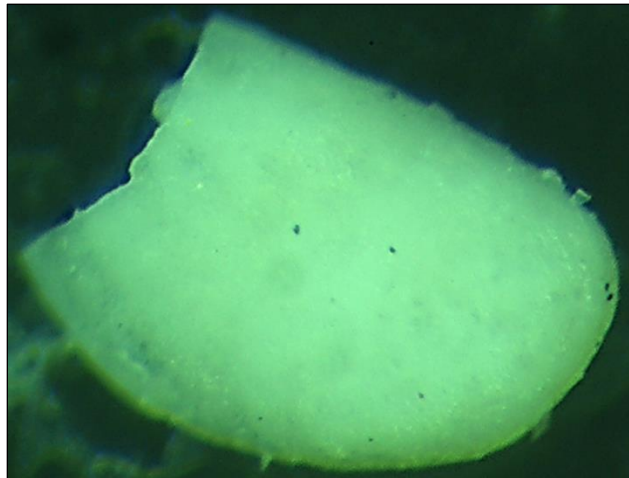


Figura 47. Ostrácodo del orden Pocopida. Fotografía tomada con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅.

SUBORDEN: Platycopa (Sars, 1866)

FAMILIA: Cytherellidae (Sars, 1886)

Descripción: ostrácodo de forma ovalada más largo que ancho (Figura 49b), donde su altura máxima se encuentra en la parte anterior, casi llegando a la parte media de la

concha, la parte anterior tiene forma triangular y su parte posterior es ligeramente puntiaguda (Figura 49c). Su superficie está un poco punteada. Valva derecha ligeramente más convexa y grande que la valva izquierda (Figura 48a). Extremo anterior más redondeado, mientras que el extremo posterior más bajo, que desciende de forma suave. Margen dorsal y margen ventral casi recta, superficie de las valvas casi lisa.

Observaciones: capa TC₁₋₈, único foraminífero encontrado en esta capa (Figura 48)

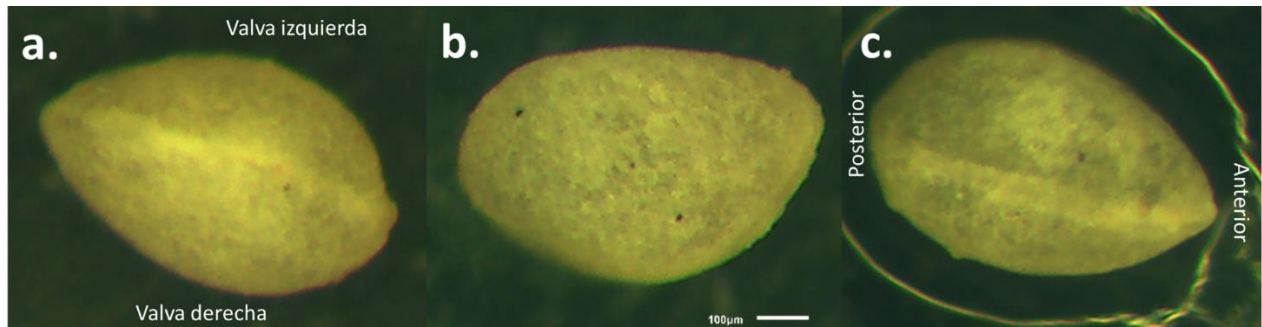


Figura 48. Ostrácodo de la Familia Cytherillidae. Fotografía tomada con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅.

Observaciones: los ostrácodos descritos a continuación, fueron encontrados en la capa TC₁₋₁₀, (Figuras 49 al 54).

SUBORDEN: PLATYCOPA (Sars, 1866)

FAMILIA: CYTHERELLIDAE (Sars, 1866)

Descripción: ostrácodo de forma ovalada (Figura 49), donde su altura máxima se encuentra en la parte anterior, llegando a la parte media de la concha. La parte anterior tiene forma curvada y su parte posterior es ligeramente puntiaguda (Figura 50a). La superficie es ligeramente punteada. Valva derecha ligeramente más cóncava que la valva izquierda (Figura 50b). Extremo anterior más redondeado; el ostrácodo se encuentra rodeado de quilla (Figura 49a). Margen dorsal casi recto, mientras que el margen ventral se observa recto.

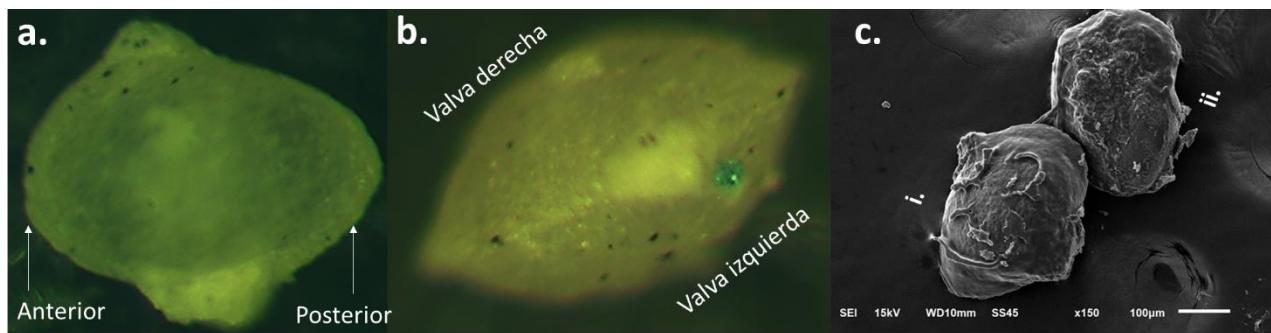


Figura 49. Ostrácodo de la Familia Cytherillidae. a y b. Fotografía tomada con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅. Mientras que c fue tomadas con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

SUBORDEN: PLATYCOPA (Sars, 1866)

FAMILIA: CYTHEROPTERINAE (Hanai, 1957)

Género: *Cytheropteron* sp (Sars, 1866)

Descripción: ostrácodos de forma ovalada más largo que ancho (Figura 50a), su altura máxima se encuentra en la parte media casi a la altura de la charnela. La parte anterior se observa de forma semi-redondeada, mientras que la parte posterior tiene una forma más puntiaguda redondeada (Figura 50a). Este ostrácodo presenta una ligera quilla. Su superficie tiene ornamentación punteada. Las dos valvas se observan del mismo grosor, con margen dorsal es recto.

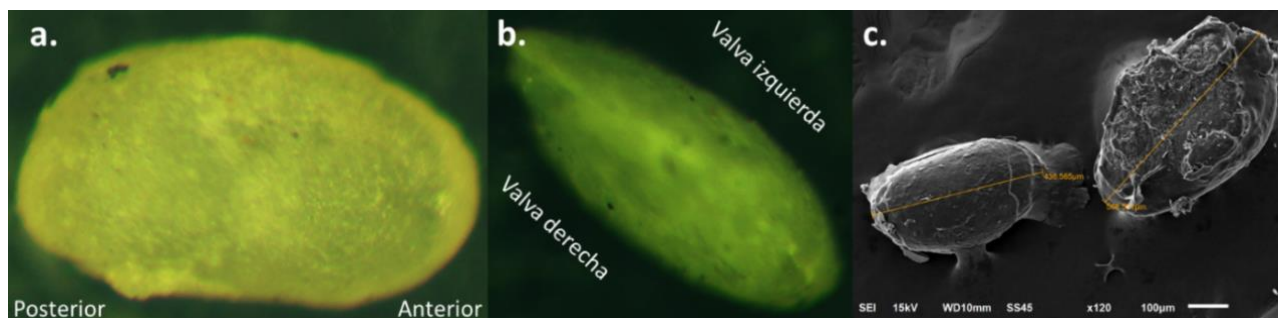


Figura 50. Ostrácodo del género *Cytheropteron* sp. a y b. Fotografía tomada con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅. Mientras que c fue tomadas con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

SUBORDEN: PLATYCOPA (Sars, 1866)

FAMILIA: CYTHERELLIDAE (Sars, 1866)

Género: *Cytherella* (Jones, 1849)

Descripción: ostrácodo de forma ovalada (Figura 51a), más largo que ancho, su altura máxima se encuentra en la parte media. La parte anterior y posterior terminan en forma redondeada (Figura 51b). Su superficie se encuentra ligeramente punteada casi lisa. Ambas valvas se observan casi del mismo ancho (Figura 51c). El margen ventral y dorsal recto.

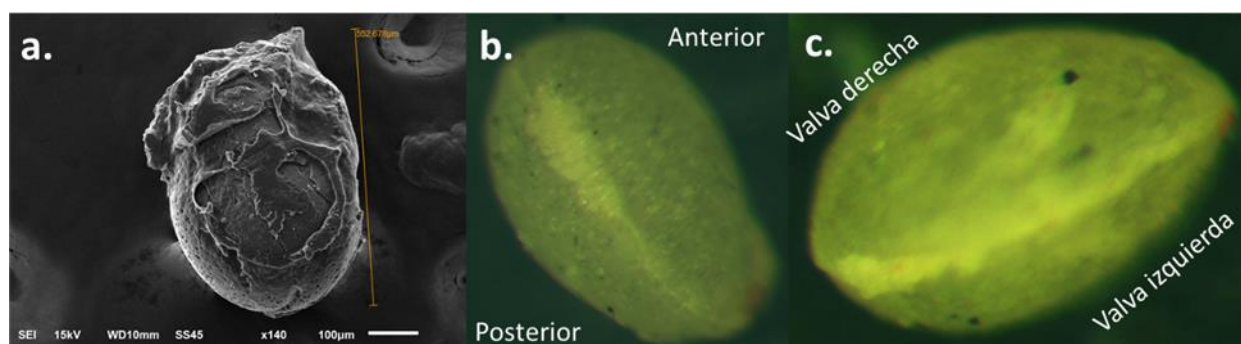


Figura 51. Ostrácodo del género *Cytherella* sp. a. Fotografía tomada con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV, mientras que b y c. tomada con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅. Mientras que c fue tomadas con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

SUBORDEN: PLATYCOPA (Sars, 1866)

FAMILIA: CYTHERELLIDAE (Sars, 1866)

Descripción: ostrácodo de forma ovalada (Figura 53a), más largo que ancho, su altura máxima se encuentra en la parte anterior, casi llegando a la parte media de la concha. La parte anterior y posterior tiene una forma redondeada (Figura 52a). Su superficie se encuentra un poco punteada, casi lisa. La valva derecha es más convexa y grande que la valva izquierda, que se ve más plana (Figura 52b). Margen ventral y dorsal casi recta.

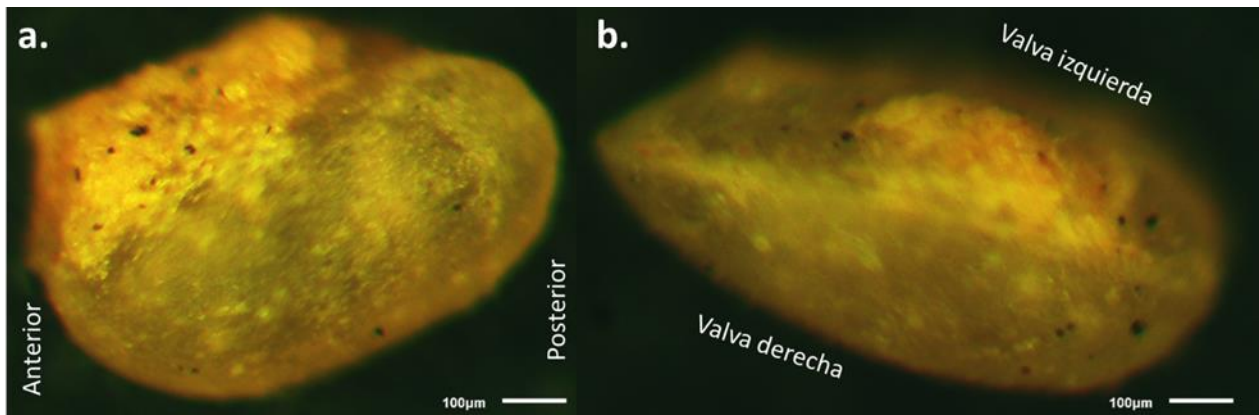


Figura 52. Ostrácodo de la familia Cytherellidae. a. y b. Fotografía tomada con aumento de 10x en microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅.

SUBORDEN: CYTHEROCOPINA (Baird, 1850)

FAMILIA: TRACHYLEBERIDIDAE? (Sylvester-Bradley, 1948)

Descripción: ostrácodo en donde solo se observa una valva, probablemente sea la valva derecha; este se observa de forma semi-rectangular (Figura 53b). La parte anterior se observa semi-recta mientras que la parte posterior tiene terminación triangular (Figura 53b). La superficie de la valva esta ornamentada puesto que se observan tiene algunos bulbos, aunque estos no se distingue puesto que están cubiertos de sedimentos (Figura 54a). El margen ventral es recto, mientras que el margen dorsal es redondeado.

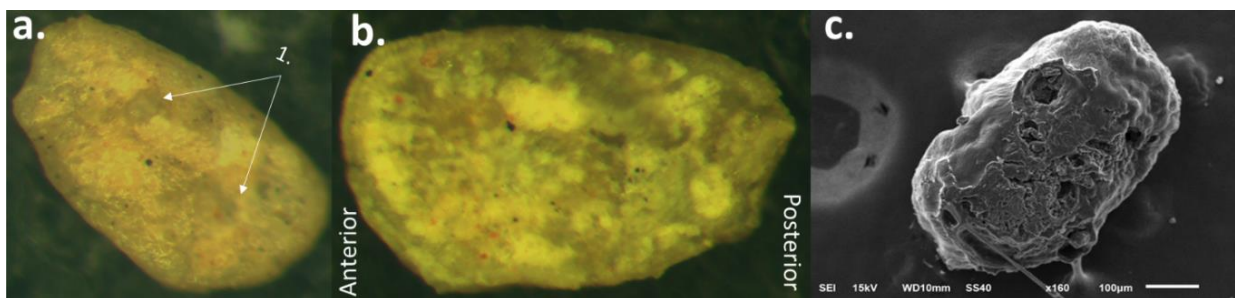


Figura 53. Ostrácodo de la Familia Trachyleberididae. a. y b. Fotografía tomada con microscopio estereoscópico marca Leica MZ12₅, mientras que c fue con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

SUBORDEN: CYTHEROCOPINA (Baird, 1850)

SUPERFAMILIA: CYTHEROIDEA (Baird, 1850)

FAMILIA: LIMNOCYTHERIDAE (Klie, 1938)

SUBFAMILIA: LIMNOCYTHERINAE (Sars, 1925)

Descripción: ostrácodo de forma semi-rectangular con terminaciones redondeadas; la parte posterior termina ligeramente en punta redondeada (Figura 54a). Su superficie tiene algunos bulbos, aunque se encuentran cubiertos con sedimento (Figura 55b). Extremo anterior más redondeado, mientras que el extremo posterior se encuentra más bajo, puesto que desciende de forma suave. Margen dorsal recto, mientras que el margen ventral no es observable.

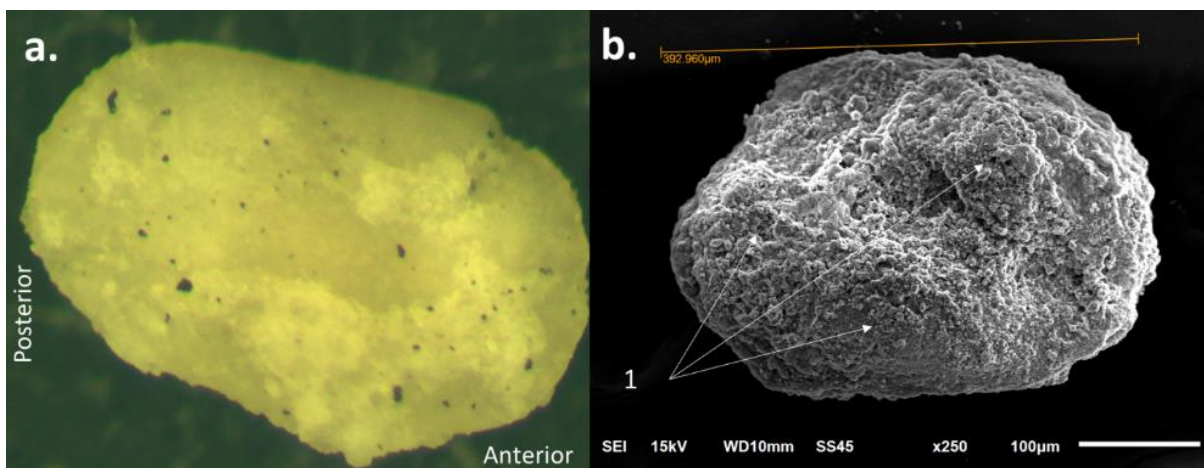


Figura 54. Ostrácodo de la Familia Limnocytheridae. a. Fotografía tomada con microscopio estereoscópico marca Leica MZ12_s, mientras que b fue con MEB del modelo JEOL JSM-6610LUV.

Los ostrácodos que se obtuvieron durante el proceso del levigado fueron un total ocho ejemplares, de estos, solamente en uno se encontró con una sola valva e incompleta. Aunque la mayoría se encontraba cubierta de sedimento, se pudo llegar a identificar la Familia a la que pertenecen estos organismos (Figura 55). La gran mayoría pertenecen a Cytherellidae, que se caracteriza por tener una concha ovalada, superficie ligeramente punteada, extremo anterior redondeado, margen dorsal casi recto.

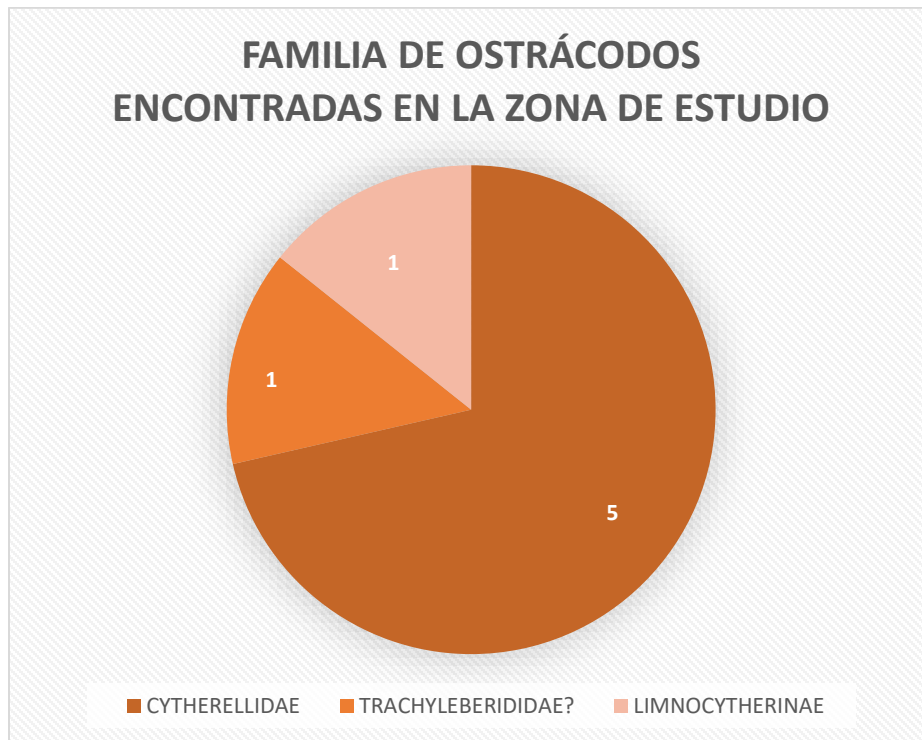


Figura 55. Cantidad de organismos de acuerdo con la familia a la que pertenecen

A pesar de que los ostrácodos actualmente viven en prácticamente todos los ambientes acuáticos, y que durante su historia evolutiva se fueron adaptando a estos distintos entornos; se puede distinguir el ambiente de algunas familias de ostrácodos que vivieron durante el Cretácico.

Los ostrácodos obtenidos durante el trabajo de laboratorio se pueden agrupar de manera general, dentro de tres familias: Cytherellidae, Trachyleberididae y Limnocytherinae; estas se caracterizan por vivir en una zona en donde había aporte de agua salada y esta, a su vez tendía a evaporarse, por lo que la salinidad del ambiente era relativamente alta.

4. Interpretación de microfacies (SMF) de la Cantera Tzimol y su asociación faunística

El concepto de microfacies fue originalmente propuesto por Brown en 1943 y reinterpretado por Cuvillier en 1952 (Flügel, 2010), en donde utilizó por primera vez la petrografía y paleontología observadas en lámina delgada para determinar el ambiente de depósito en el que se formaron las rocas; esto dio lugar a que sea una de las herramientas más útiles en la interpretación y reconstrucción de los ambientes sedimentarios que dieron lugar a las rocas durante la historia geológica.

4. 1. Interpretación de microfacies

Las láminas delgadas obtenidas en campo, dieron como resultado que la mayoría descritas se clasifican como wackestone con bioclastos, aunque también se observaron mudstone y packestone, en donde la mayoría de los bioclastos fueron foraminíferos pertenecientes a la familia Miliolidae, Textulariidae, Alveolinidae, Rotaliidae, y Globotruncanidae, así como ostrácodos, espinas de erizo y esponja, algunos gasterópodos, calciesferas y pelets. Las Tablas 1 y 2 muestran de manera resumida los elementos litológicos, micropaleontológicos y faciales observados en este trabajo:

Tabla 1. Resultados del análisis de facies.

Energía de las aguas	Baja a moderada
Estratificación	< 50 cm
Textura	Mayormente wackestone
Estructuras sedimentarias	Laminación paralela, cruzada y algunos ripples
Color	Cre moso entre claro y oscuro
Fósiles	Abundantes
Partículas orgánicas	Ostrácodos, miliólidos, foraminíferos bentónicos espículas de esponjas, espinas de erizo y gasterópodos

Tabla 2. Descripción general de calizas y margas obtenidas en la Cantera de Tzimol. (*todas las estructuras encontradas son microestructuras puesto que únicamente se pueden observar en microscopio estereoscópico; NA: No Aplica; es decir que no se encontraron ejemplares

No. de estrato	Facies/características distintivas	Escala de afloramiento			Escala microscópica	
		Color	*Estructuras sedimentarias y/o rasgos distintivos	Espesor estrato (cm)	Componentes calcáreos orgánicos	Componentes calcáreos inorgánicos
TC1-1	Wackestone con bioclastos SMF-21L	5B 6/2 (azul pálido)	Laminación paralela	49	Foraminíferos bentónicos (miliólidos), ostrácodos, espículas de esponja	Vetillas rellenas de calcita, óxidos
TC1-2	Microfósiles encontrados únicamente en malla 80	10YR 8/6 (naranja amarillento claro)	Laminación paralela	12	Ostrácodos y foraminíferos planctónicos	NA
TC1-3	Wackestone con calciesferas SMF-8	5G 8/1 (ligeramente gris verdoso)	Laminación paralela	84	Espículas de esponjas, pocos miliólidos, ostrácodos	Óxidos, calciesferas
TC1-4	No hay componentes orgánicos	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela	9	NA	Cristales de calcita de color claro a amarillentos
TC1-5	Wackestone con bioclastos SMF-8	5B 7/1 (gris azulado claro)	Laminación paralela, con horizontes de color crema en la parte media de la muestra	34.4	Espículas de esponja, ostrácodos, foraminíferos bentónicos (miliólidos)	Vetillas rellenas de minerales evaporíticos (dolomita y calcita), calciesferas, algunos óxidos

TC1-6	Sedimentos muy efervescentes	10YR 8/2 (naranja muy claro)	NA	3.5	Foraminíferos planctónicos	NA
TC1-7	Wackestone con bioclastos SMF-21	5Y 6/4 (gris amarillento)	Laminación paralela, en donde se pueden observar pequeños ripples y un horizonte de 3.5 cm más claro	10.5	Espículas de esponja, foraminíferos bentónicos (miliólidos), algas	Parches de dismicrita, algunos óxidos, calciesferas
TC1-8	Sedimentos muy efervescentes	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela	9.5	Solo ostrácodos	Cristales de yeso y calcita
TC1-9	Wackestone con bioclastos SMF-9	5Y 6/4 (amarillo oscuro)	Laminación paralela,	6.4	Foraminíferos bentónicos (miliólidos), espículas de esponja	Calciesferas, vetillas rellenas de minerales como dolomita y calcita
TC1-10	Se observan más ostrácodos que foraminíferos	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela	10.5	Espículas de esponjas, foraminíferos bentónicos y ostrácodos	NA
TC1-11	Wackestone con bioclastos SMF-20	5Y 5/2 (gris oliva claro)	Laminación ondulada	22	Foraminíferos bentónicos (miliólidos), cianobacterias, espículas de esponja	Parches de esparíta
TC1-12	Sin componentes orgánicos	10YR 6/6 (naranja amarillento oscuro)	NA	2	NA	Cristales minerales de calcita

TC1-13	Wackestone con espículas de esponja SMF-8	10YR 8/2	Laminación paralela con horizontes de color crema y otros de color más oscuros	18	Espículas de esponja, ostrácodos, pocos foraminíferos bentónicos	Calciesferas, óxidos
TC1-14	No hay componentes orgánicos	10YR 8/6 (naranja amarillento claro)	NA	4	NA	NA
TC1-15	Wackestone con bioclastos SMF-18F	10YR 7/4 (naranja grisáceo)	Laminación paralela, con horizontes de color crema y grisáceos	9.5	Corte lateral de un gasterópodo, foraminíferos bentónicos (miliólidos), ostrácodos, algas, espículas de esponja	Óxidos, calciesferas, vetillas rellenas
TC1-16	Posibles foraminíferos piritizados	5Y 6/4 (amarillo oscuro)	NA	1	Foraminíferos planctónicos	NA
TC1-17	Mudstone con calciesferas SMF-23	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela	17	Foraminíferos bentónicos, gasterópodos	Calciesferas, óxidos
TC1-18	Foraminífero mal preservado	10YR 8/6 (naranja amarillento claro)	NA	1.5	Solo un foraminífero mal preservado	NA
TC1-19	Wackestone/packestone con bioclastos SMF-18F	5B 6/2 (azul claro)	Laminación paralela con pequeños ripples	18.5	Foraminíferos bentónicos (miliólidos), espículas de esponja, ostrácodos	Calciesferas

TC1-20	Foraminíferos encontrados en malla 80	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela	6	Foraminífero mal preservados y espículas de esponjas	NA
TC1-21	Packestone con bioclastos SMF-18F	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela, en donde se observan horizontes intercalados de color crema y gris	21.5	Foraminíferos bentónicos (miliólidos), ostrácodos, espículas de esponja, algas	Pequeños puntos de óxidos, dismicrita
TC1-22	Pocos componentes orgánicos	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela	9	Espículas de esponjas	NA
TC1-23	Packestone con bioclastos SMF-18	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Laminación paralela, en donde los horizontes más oscuros contienen una gran cantidad de ostrácodos	4	Foraminíferos bentónicos (miliólidos), espículas de esponja, ostrácodos	Calciesferas, óxidos

A continuación, se describen las rocas estudiadas fuera de la Cantera Tzimol, en donde se observa un ambiente de depósito diferente a las rocas de la cantera.

Tabla 3. Descripción de rocas fuera de la Cantera Tzimol

No de capa	Facies	Escala de afloramiento			Escala microscópica	
		Color	*Estructuras sedimentarias y/o rasgos distintivos	Espesor estrato (cm)	Componentes calcáreos orgánicos	Componentes calcáreos inorgánicos
ACT-1, 2 y 3	Grainstone con bioclastos	10YR 8/2 (naranja muy claro)	Roca masiva	NA	Gasterópodos, espículas de esponjas, ostrácodos, foraminíferos bentónicos, corales	Ooides, oncoides, pisoides

De acuerdo con la descripción y características litológicas, así como de su contenido fosilífero observadas en las láminas delgadas, y agrupadas en las tablas anteriores, se pudo determinar que las muestras tomadas en el área de Tzimol se depositaron en una zona de plataforma interior, pasando de restringida a marina abierta.

La gran cantidad de ostrácodos en algunas de las muestras, nos sugiere influencia de agua con variaciones en las salinidades y temperaturas (de agua dulce, salada y condiciones hipersalinas); esto comprobado por la presencia de muestras localizadas en zona braquial (SMF 125M, brakish) (ver Fig. 56, Tabla 2 y 4); el origen de fuente de agua dulce es aún controversial.

Tabla 4. Ambiente de depósito determinado mediante el análisis de facies

Muestra	Ambiente de depósito	
	FZ-8	FZ-7
TC1-1	X	
TC1-3		X
TC1-5		X
TC1-7	X	
TC1-9		X
TC1-11	X	
TC1-13		X
TC1-15	X	
TC1-17	X	
TC1-19	X	
TC1-21	X	
TC1-23	X	
ACT-1, 2, 3		X

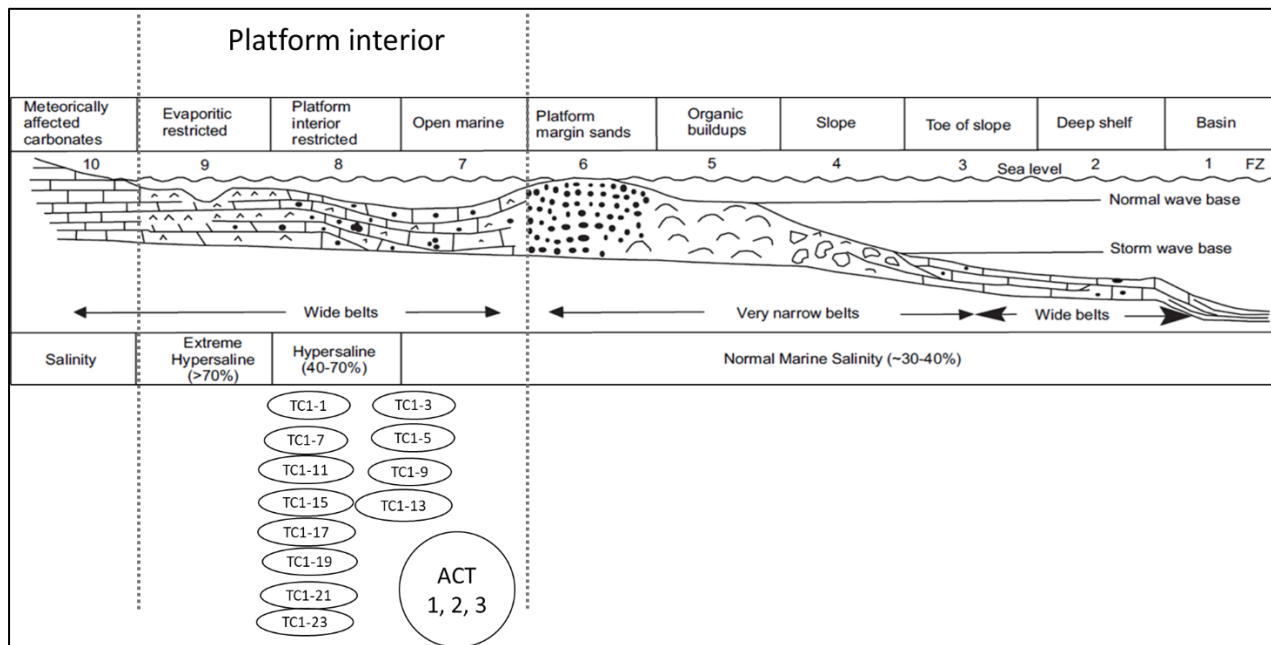


Figura 56. Agrupación de microfacies determinadas en las rocas de la cantera Tzimol.

Este tipo de condiciones pudieron dar lugar a las características formadoras de una localidad *Lagerstätte*; donde se conservaron gran cantidad de peces fósiles, erizos, así como foraminíferos y ostrácodos completos.

Un cambio observado en la cantera vista y estudiada en la parte superior de la Cantera Tzimol (muestras clasificadas como ACT-1, 2, 3; Tabla 3), es que pertenece al ambiente de depósito marina abierta, donde sus muestras se observan más claras y con mayor cantidad de foraminíferos planctónicos y bentónicos en excelente estado de preservación, su matriz es más clara y se determinaron minerales como dolomita.

Un aspecto importante en relación a la paleogeografía del área de estudio y, de acuerdo al análisis microfacial realizado, es la falta de bioclastos o fragmentos de rudistas, principales organismos formadores de arrecifes de los mares cretácicos, en ninguna de las láminas examinadas fue posible reconocer fragmentos de estos, lo que implica que probablemente se trataba de una zona con pobre desarrollo arrecifal, común en zonas de plataformas con borde (*rimmed shelf*) (López-Doncel, 2003; Rodríguez-

Hernández, 2009), por lo que se trata de una zona muy local donde la paleomorfología representaba más a una plataforma tipo rampa (ver Flügel, 2004, fig. 14.30)

4. 2. Reconstrucción paleoambiental

Para hacer una reconstrucción, es necesario hacer una relación entre los microfósiles, (tomando en cuenta sus características y formas de vida), así como el tipo de rocas encontrados en la zona de estudio. Primeramente, los foraminíferos encontrados mediante el proceso de levigado (*Heterohelix globulosa*, *Hedbergella sp*, ¿*Muricohedbergella monmouthensis?*, ¿*Navarella sp?*, *Globigerinelloides alvarezii*); son planctónicos; mientras que *Navarella sp?* es bentónico, por lo que nos puede decir que el medio en el que vivieron fue un ambiente somero, de salinidad normal y aguas tranquilas. Los ostrácodos obtenidos en este trabajo nos indican que estos vivían en un ambiente de mayor salinidad.

De los microfósiles determinados en las láminas delgadas, la mayor parte de estos fueron determinados como foraminíferos de la familia Miliolidae y Textulariidae; estos son de vida bentónica, que vivían en aguas poco profundas, hipersalinas, someras, características distintivas de una laguna somera (plataforma interna protegida); los foraminíferos de la familia Miliolidae viven en aguas poco profundas, hipersalinas, asociados a algas (plataforma interna) (Figura 57).

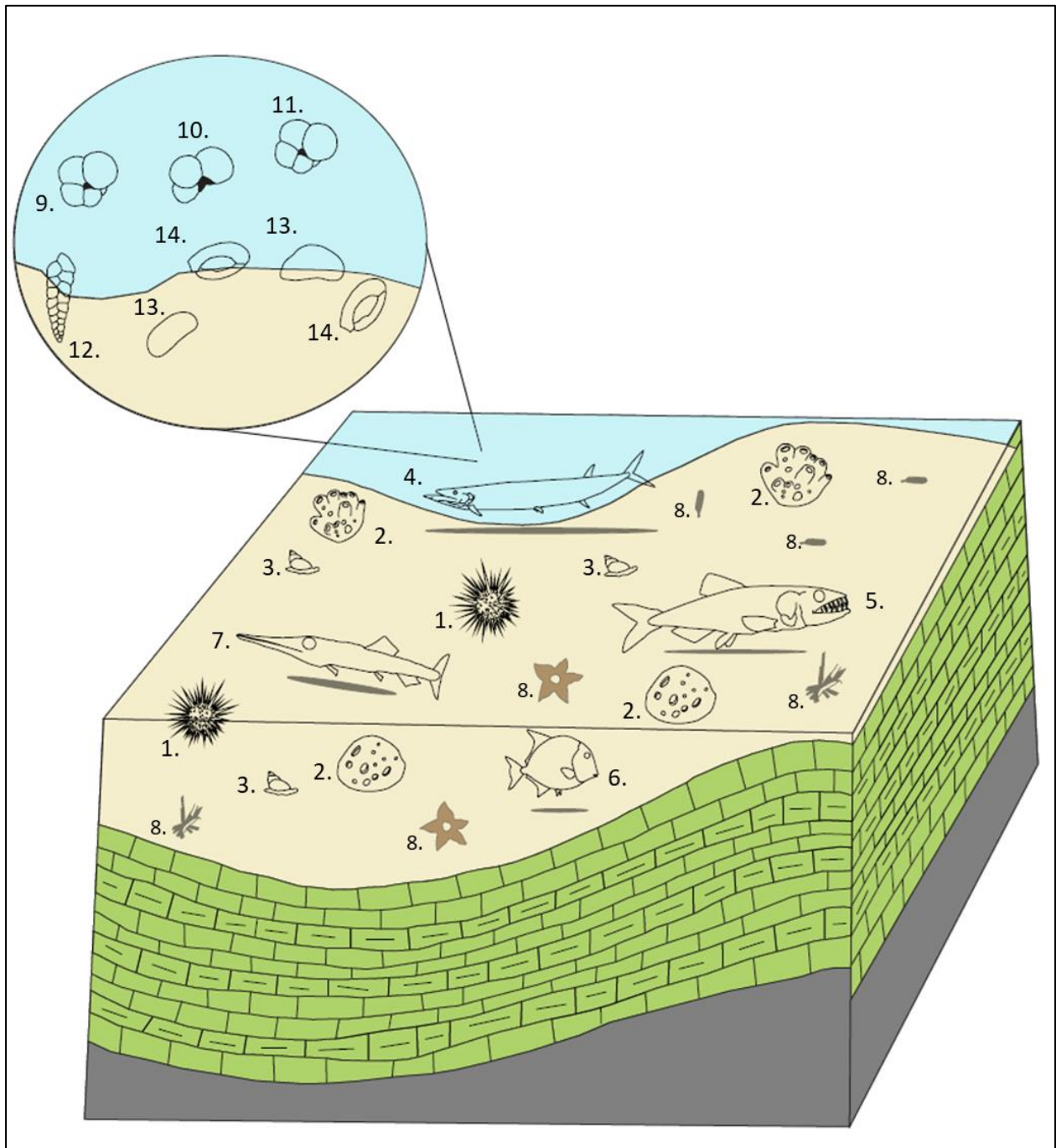


Figura 57. Reconstrucción paleoambiental de la zona de estudio donde algunos de los organismos encontrados son: 1. Erizos, 2. Esponjas, 3. Gasterópodos, 4. *Saurodon*, 5. *Enchodus*, 6. *Nursallia*, 7. *Apuliadercetis*, 8. Restos de plantas no identificadas (flores, hojas, frutos, tallos de palmera) 9. *Hedbergella*, 10 y 11. Globorotaria, 12. *Textularia*, 13. ostrácodos, y 14. Miliólidos.

Conclusiones

Discusiones

De acuerdo con los rasgos estratigráficos, petrográficos y microfaciales del perfil estudiado en la Cantera Tzimol, se recabo que las rocas de esta localidad se depositaron en una plataforma interna, variando de restringida a marina abierta, esto debido a la asociación de microfósiles observados e identificados mediante las láminas delgadas, así como de los extraídos por el método de levigado. Estos foraminíferos fueron los siguientes: *Heterohelix globulosa*, *Hedbergella sp*, *Muricohedbergella monmouthensis*, ¿*Navarella sp?*, y *Globigerinelloides alvarezii*; aunque estos no son fósiles índices para determinar la edad exacta de la localidad, si nos permite comparar los foraminíferos observados en los diferentes artículos de Omaña-Pulido (2006) y Omaña y Alencáster (2019), donde se pudo observar lo siguiente:

Tabla 5. Comparación entre los foraminíferos reportados en la Fm. Angostura, Ocozocoautla y la Cantera Tzimol (en asterisco son fósiles índices, para edad Maastrichtiana)

Foraminíferos	Fm. Angostura	Cantera Tzimol	Fm. Ocozocoautla
<i>*Fleuryana adriática</i>	x		
<i>Muricohedbergella monmouthensis</i>	x	x	
<i>Planoheterohelix globulosa/ Heterohelix globulosa</i>	x	x	x
<i>*Gansserina gansseri</i>	x		x
¿ <i>Navarella sp?</i>		x	
<i>Hedbergella sp</i>		x	
<i>Globigerinelloides alvarezii</i>		x	
<i>*Racemiquembelina fructicosa</i>	x		

Con la tabla anterior se observa que la Cantera Tzimol, tiene más foraminíferos, descritos en Formación Angostura, aunque los que definen la edad tanto de Angostura como de Ocozocoautla (fósiles índices del Maastrichtiano) no fueron encontrados en la zona de estudio.

Algo importante a recalcar es que, las publicaciones mencionadas como antecedentes, estudian regiones próximas al municipio de Tuxtla Gutiérrez, aproximadamente 159 kilómetros de la Cantera Tzimol. Omaña-Pulido (2006) concluye que una sección de caliza cercana a Tuxtla Gutiérrez es de edad Maastrichtiano temprano de la Formación Ocozocoautla, debido a la presencia de un foraminífero planctónico conocido como *Gansserina gansseri*. Años más tarde Omaña y Alencáster (2019) proponen que la localidad El Coyol, dentro del municipio de Tuxtla Gutiérrez, corresponde a la Formación Angostura, en donde aparece el foraminífero planctónico de nombre *Racemiquembelina fructicosa*. Sin embargo, Omaña y Alencáster también reporta la presencia de *Gansserina gansseri* en esta misma formación, por lo que le asignan como edad Maastrichtiano tardío a muy tardío (Figura 58). La complejidad estructural del estado de Chiapas dificulta comprender si los sitios estudiados por Omaña-Pulido y Omaña y Alencáster pertenecen a una misma plataforma o son distintas facies de esta.

Con lo anterior y de acuerdo con el rango estratigráfico de los foraminíferos observados en este trabajo, se determina que la zona de estudio es de edad Cretácica Tardía (los foraminíferos determinados tienen un amplio rango estratigráfico, desde el Hauteriviano hasta el Daniano), aunque *Muricohedbergella monmouthensis* tiene un rango estratigráfico más corto, de edad Campaniana-Maastrichtiana; por lo que no es posible confirmar o refutar la edad propuesta para esta localidad, publicada por Alvarado-Ortega *et.al.*, (2020), donde propone una edad Campaniana para el área de estudio. Esto debido a la ausencia de la fauna correlacionable arriba mencionada; aunque se podrían realizar más estudios ampliando la zona a explorar y las muestras obtenidas (tanto rocas como muestras de margas), para tener más elementos paleontológicos para determinar la edad.

Nuevos aportes

Por otro lado, en ninguno de los artículos usados como antecedentes, se mencionan y/o estudian la presencia de ostrácodos (Figura 59). Teniendo en cuenta que estos son excelentes indicadores paleoambientales, puesto que su presencia nos indica que la salinidad de la zona de estudio se encontraba entre el 5 al 30%, lo que implicaría que el paleoambiente fue una zona de plataforma interna (laguna) a restringida. Esto coincide con lo propuesto por Alvarado-Ortega *et al.* 2020, en el que realiza una asociación de los fósiles encontrados en el área de Tzimol (macrofósiles principalmente) y las características litológicas generales, donde sugiere que fue un ambiente marino poco profundo y de baja energía, parecida a una laguna.

Conclusiones finales

En resumen, en este trabajo se concluye que de acuerdo con los rasgos estratigráficos, petrográficos y microfaciales obtenidos de la secuencia fosilífera de la Cantera Tzimol, se determinó que la zona de estudio fue depositada en una plataforma interna restringida, que pudo dar lugar a las condiciones formadoras de la localidad Lagerstätte.

Con los microfósiles se identificó que la zona pertenece a edad Cretácica Superior, probablemente dentro del Campaniano-Maastrichtiano, esto por los foraminíferos *Muricohedbergella monmouthensis* y *¿Navarella sp?*; y, de acuerdo con las características litológicas, paleontológicas y ambiente de depósito aquí documentadas, permite asociar los depósitos de la Cantera Tzimol a la Formación Angostura.

Referencias bibliográficas

- Alekseychik-Mitskevich, L. S. 1973. *К классификации фораминифер семейства Haplophrarmiidae-Towards the classification of the foraminiferal family Haplophragmiidae*. Proceedings of the Oil Research Geological Institut (VNIGRI). 343: 12-44pp.
- Alvarado-Ortega, J., Espinosa-Arrubarrena, L., Blanco, A., Vega, F.J., Benammi, M., Briggs, D.E., 2007. Exceptional preservation of soft tissues in Cretaceous fishes from the Tlayua Quarry, central Mexico. *Palaios*, 22(6), 682-685.
- Alvarado-Ortega, J., Cantalice, K.M., Martínez-Melo, A., García- Barrera, P., Than-Marchese, B.A., Díaz-Cruz, J.A., Barrientos-Lara, J.I., 2020. Tzimol, a Campanian marine paleontological site of the Angostura Formation near Comitán, Chiapas, southeastern Mexico. *Cretaceous Research*, 107, 104279
- Alvarado-Valdez, G. 2010. Manual de Laboratorio de Paleontología. Área Ciencias de la Tierra; Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 127 pp.
- Arz, J.A., Alegret, L., Arenillas, I., Liesa, C.L., Molina, E., Soria, A.R., 2001. Extinción de foraminíferos en el límite Cretácico/Terciario de Coxquihui (México) y su relación con las evidencias de impacto: *Revista Española de Micropaleontología*, 33(2), 221-236.
- Baird, W. 1850. The Natural History of the British entomostraca. Ray Society, London. 364: 1-36.
- Bolli, H. M.; Loeblich, A. R.; Tappan, H. 1957. Planktonic foraminiferal families Hantkeninidae, Orbulinidae, Globorotaliidae and Globotruncanidae. *Bulletin United States National Museum*. 215: 3-50pp.
- Bonet, F. 1956. Zonificación microfaunística de las calizas cretácicas del este de México. Congreso Geológico Internacional, 20. México, D. F, 31.

- Brönnimann, P.: Brown, J. N. K. 1958. Hedbergella, a new name for a Cretaceous plancktonic foraminiferal genus. *Journal of the Washington Academy of Sciences*. 48(1): 15-17pp.
- Brünnich, M. T. 1772. *Zoologiae fundamenta*. Hafniae et Lipsiae: Grunde I Dyeloeren.
- Buncic, M., Dulic, I., Popov, O., Bogicevic, G., Vranjkovic A., 2017. The Campanian-Maastrichtian foraminiferal biostratigraphy of the basement sediments from the southern Pannonian Basin (Vojvodina, northern Serbia): implications for the continuation of the Eastern Vardar and Sava zones: *Geologica Carpathica*, 68, 130-146.
- Calonge, A., Caus, E., García, J., 2001. Los foraminíferos: Presente y pasado: *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 92; 144-150.
- Cantalice-Kleyton, M., Alvarado-Ortega, J., Martínez-Melo, A., Garcia-Barrera, P., Díaz-Cruz, J.A., Ruiz-Ramoni, D., Barrientos-Lara, J.I., Carranza-Becerra, B., 2019. Paleodiversidad de la cantera Tzimol: un Lagerstätte del Campaniano perteneciente a la Formación Angostura, en las cercanías Ochusjob, Municipio de Tzimol, Chiapas. XVI Congreso Nacional de Paleontología, septiembre 2019, Chihuahua, México.
- Carignano, A.P., Cusminsky, G.C., 2015. New Upper Cretaceous Limnocytheridae (Ostracoda, Crustacea) from Argentina. *Micropaleontology*, 61: 25-36.
- Carranza-Becerra, B., Cantalice-Kleyton, M. 2019. Primer registro de un pez del orden Holocentriformes (Acanthopterygii, Berycida) en la cantera Tzimol, Cretácico Superior de Chiapas. XVI Congreso Nacional de Paleontología, septiembre 2019, Chihuahua, México.
- Castro-Mora, J.; Schlaepfer, C. J.; Martínez-Rodríguez, E. 1975. Estratigrafía y microfacies del Mesozoico de la Sierra Madre del sur de Chiapas. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 27 (1-3), 2-103.
- Ciry, R.; Rat, P. 1951. Un foraminifère nouveau du Crétacé supérieur de la Navarre espagnole. *Bulletin Scientifique de Bourgogne*. 13: 75-86pp.

- Cortéz-Zárate E, Montellano-Ballesteros M, Alvarado-Ortega, J., 2019. A new record of Mosasaurine Mosasaur from the late Cretaceous Southern México. Sixth Triennial Mosasaur and Marine Reptile Meeting. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada. Abstracts, Program, Schedule of Events, p.10.
- Cushman, R. A. 1927. Three new hymenoptereous parasites of the pine tip moth, *Rhyacionia frustrana* (Comstock). *Journal of Agricultural Research* 34: 739-741.
- Cushman, R. A.; Ten Dam, A. 1948. *Globigerinelloides*, a new genus of the Globigerinidae. *Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research*. 24(2): 42-43pp.
- Cushman, R. A. 1955. *Foraminifera, their classification and economic use*. Cambridge University Press. Cambridge, Massachusetts, 1-605.
- Delage, Y. y Hérouard, E. 1896. *Traité de Zoologie Concrète*. Tome 1. La cellule et les protozoaires. Paris, C. Reinwald. 584.
- D'Orbigny, A. 1826. *Tableau methodique de la classe des Cephalopodes*. *Annales des Sciences Naturelles* 7, 245-314.
- Dunham, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures, en Ham, W. E. (ed). *Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists, memoir 1*: 108-121.
- Dunic, M.; Dulic, I.; Popov, O.; Bogicevic, G.; Vranjkovic, A. 2017. The Campanian-Maastrichtian foraminiferal biostratigraphy of the basement sediments from the southern Pannonian Basin (Vojvodina, northern Serbia): implications for the continuation of the eastern Vardar and Sava zones. *Geologica Carpathica*, April 2017, 68, 2, 130-146.
- Ehrenberg, C. G. 1843. *Verbreitung un Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd-un Nord-Amerika*. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*. 1841: 291-445.

- Embry, A. F y Klovan, J. E. 1972. Absolute Water Depth limit of the Late Devonian Paleocological zones. *Geol. Rundschau*. 61: 672-686 p.
- Folk, R. L. 1959. Practical petrographic classification of limestone. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43 (1), 1-38.
- Folk, R. L. 1962. Spectral subdivision of limestone types, en Ham, W. E. (ed). *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists; memoir 1, 62-84 p.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, interpretation an application*. Editorial Springer. 684-687, 704 p. ISBN 978-3-642-03795-5.
- Gaytán-García, J., García-Díaz, J. L., Salinas-Prieto, J.C., Rivera-Olguín, E., 2001. Carta Geológica-Minera La Trinitaria E15-D83, Servicio Geológico Mexicano, Secretaría de Economía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1 mapa escala 1:50,000.
- Goldfuss, G. A. 1821. Ein Wort über die Bedeutung naturwissenschaftlicher Institute und über ihren Einfluss auf humane Bildung. *Biblioteca Británica*.
- Görög, A., Szinger, B., Tóth, E., Viszok, J., 2020. Methodology of the micro-computer tomography on foraminífera. *Palaeontologia Electronica*, 15(1), 15a.
- Hanai, T. 1957. Estudios sobre Ostracoda en Japón. 3-subfamilia Cytherurinae GW Müller (emend. Go Sars) y Cytheropterinae, nueva subfamilia. *Revista de la Facultad de Ciencias, Universidad de Tokio*, sección 2 (11): 11-36.
- Hewaidy, A.G.A., Sherif, F., Sherif, F., Medhat, M.M., Ibraahim-S., El A., 2019. Planktonic foraminiferal and paleoenvironments of the Upper Campanian-Maastrichtian succession in Wadi Qena, Egyp: *Egyptian Journal of Petroleum*, 28, 47-59.
- Howey, H.V., Laurencich, L., 1958. *Introduction to the Study of Cretaceous Ostracoda*; Lousiana State University Press.
- Huber, B., Leckie, R. M. 2011. Planktic foraminiferal species turnover across deep-sea Aptian/Albian boundary sections. *Journal of foraminiferal research*. 41: 53-95pp.

- Jones, T. R. 1849. Monograph of the Entomostraca of the Cretaceous formation of England. Paleontographical Soc., vol. III, 40, London, pp 40.
- Klie, W. 1938. Ostracoda, Muschelkrebse. In: Dahl, F (ed). *Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile nach ihren Meermalen und nach ihrer Lebensweise*, 1-230.
- Lankester, E. R. 1885. Protozoa. In: Anon (ed): Encyclopaedia Britannica, 9th ed. 19: 830-866.
- Latreille, P. A. 1802. Histoire Naturelle, Générale et particulière des Crutacés et des Insectes 3. XII, 1-468.
- Latreille, P. A. 1829. Le règne animal distribué d'après son organization, pour server de base a l'histoire naturelle des animaux et d'introduction a l'anatomie compare. Nouvelle Édition , Revue et Augmentée. Tome IV: Crustecés, arachnids et partie des insects. Déterville, Paris, 584.
- Loeblich, A. R y Tappan, H. 1984. Suprageneric classification of the foraminiferida (Protozoa). *Micropaleontology*. 30(1): 1-70pp.
- Loeblich, A. R y Tappan, H. 1987. Foraminiferal genera and their classification. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 970pp.
- Longoria, J. F. 1974. Stratigraphic, morphologic and taxonomic studies of Aptian planktonic foraminifera. *Revista Española de Micropaleontología*, numero extraordinario 5-107.
- López-Doncel, R. 2003. La Formación Tamabra del Cretácico Medio en la Porción Central del Margen Occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 20, núm 1, p. 1-19.
- López-Doncel, R. 2004, Manual para la clasificación de rocas carbonatadas, Instituto de Geología; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Folleto Técnico no. 127, 33 p.
- Lübimova, P.S., Sánchez-Arango, J.R., 1974. Los ostrácodos del Cretácico Superior y del Terciario de Cuba. La Habana, Cuba. Organismos.

- Maestas, Y., MacLeod, K.G., Douglas, R., Self-Trail, J., Ward, D.P., 2003. Late Cretaceous foraminífera. Paleoenvironments and paleoceanography of the Rosario Formation, San Antonio del Mar, Baja California, Mexico: *Journal of Foraminiferal Research*, 33, 179-191.
- Michaud, F., Fourcade, E., 1989. Stratigraphie et paléogéographie du Jurassique et du Crétacé du Chiapas (Sud-Est du Mexique). *Bulletin de la Société Française de Géologie*; pp. 639-650.
- Mikhalevich, V. I. 1980. Sistematika i evolyutsiya foraminifera v svete novykh dannykh po ikh tsitologii i ul'trastrukture [Systematics and evolution of foraminifera in the light of the new data on their cytology and ultrastructure]. *Trudy Zoologicheskogo Instituta; Akademiya Nauk SSSR* 94: 42-61pp.
- Molina, E., 2004, *Micropaleontología: España*, Editorial Prensas Universitarias Zaragoza, 13-29 p. ISBN 84-7733-744-6
- Müller, G. W. 1894. Ostracaden 21, monographie fauna und flora des Golfes von Neapel. *Zoologische Station zu Neapel*, vol. 21: 403.
- Omaña, L., 2006. Late Cretaceous (Maastrichtian) foraminiferal assemblage from the inoceramid beds, Ocozocoautla Formation, central Chiapas, SE Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23, 125-132. ISSN en línea 2007-2902
- Omaña, L., 2011. Bioestratigrafía, paleoecología y paleobiogeografía del Cretácico Superior con base en foraminíferos de la parte Occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, México. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Tesis doctoral, 198 p.
- Omaña, L., Alencáster, G., 2019. Late-latest Maastrichtian foraminiferal assemblage from the Angostura Platform, Chiapas, SE Mexico: Biostratigraphic, paleoenvironmental and paleobiogeographic significance: *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 203-213.

- Ornelas-Sánchez, M., Aguilera-Franco, N., Franco-Navarrete, S., Granados-Martínez, M. 2002-2005. Estratigrafía y evolución de facies del Cretácico Superior en el Sureste de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Palma-Ramírez, A., López- Palomino I., 2018. Formación Angostura, Léxico Estratigráfico, Servicio Geológico Mexicano.
- Pawlowski J.;Holzmann, M.; Tyszka, J. 2013. New supraordinal classification of foraminifera: Molecules meet morphology. Marine Micropaleontology. 100: 1-10pp.
- Pérez-Martínez, M.B., López-Palomino, I. 2011. Formación Ocozocuatla, Léxico Estratigráfico, Servicio Geológico Mexicano.
- Pérez-Roldán, G., Campos-Martínez, M. S. 2016. La industria ósea de Mixquic vista a través del microscopio electrónico de barrido. Estudios de Antropología Biológica, 79-92.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). 1988. Estratigrafía de la República Mexicana Mesozoico, Coordinación Ejecutiva de Exploración, 228 p.
- Piovesan, E.K., Cabral, M.C., Colin, J.P., Fauth, G., Trecastro, B.C., 2014. Ostracodes from de Upper Cretaceous deposits of the Potiguar Basin, northeastern Brazil: taxonomy, paleoecology and paleobiogeography, Part 2: Santonian-Campanian. Carnets de Géologie [Notebooks on Geology], Brest, vol. 14, no. 15, p 315-351.
- Pons, J.M., Vicens, E., Martínez, R., García-Barrera, P., Nieto, I.E., Oviedo, A., Avendano-Gil, M.J., 2016. The Campanian-Maastrichtian rudist bivalves succession in the Chiapas Central Depression, Mexico. Cretaceous Research 60, 210–220.
- Quezada Muñetón, J.M., 1987. El Cretácico medio-Superior y el límite Cretácico Superior-Terciario Inferior en la Sierra de Chiapas. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros 39, 19-25.
- Rosales-Domínguez, M.C., 1998. Biohorizontes cronoestratigráficos en las facies carbonatadas de la Plataforma del Cretácico Medio-Superior de Chiapas, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15, 73-77.

- Rodríguez-Hernández, E., López-Doncel, R., Barboza-Gudiño, J. R., Cruz-Márquez, J. 2009. Análisis sedimentológico-facial de clastos formadores de brechas calcáreas cretácicas de una zona transicional Plataforma-cuenca en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26, núm 3, p. 674-695.
- Rodríguez-Lázaro, J. 2004. Building Bridges with Ostracods. Fifth European Ostracodologists Meeting, 2003, Cuenca (Spain). *Revista Española de Micropaleontología*.36(1), 1-214.
- Rodríguez-López, A.J., 2016. Evaluación de las características morfológicas de los foraminíferos de la Formación Tuxpan, localidad Barra de Cazones, Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Tesis de licenciatura, 72 p.
- Saidova, K. M. 1975. Bentosiyе foraminifery Tkhogo Okeana-Benthonic foraminifera of the Pacific Ocean. Shirshov Institute of Oceanology, Academy of Sciences of the USSR.
- Sars, G. O. 1866. Oversigt af Norges marine Ostracoder. *Forhandlinger I Videnskabs-Selskabet I Christiania* (1):1-130.
- Sars, G. O. 1886. Nye bigrad til kundskaben om Middelhavets invertebratfauna. III Middelhavets saxisopoder (Isopoda chelifera). *Archiv para Mathematik og Naturvidenskab* 11: 263-368.
- Sars, G. O. 1925. An account of the Crustacea of Norway with short descriptions and figures of all species-Crustacea of Norway: Cypridinidae, Conchoeciidae, Polycopidae. 9th ed. Bergen. 1-277.
- Sigal, J. 1958. Notes micropaléontologiques nord-africaines; *Biticinella breggiensis* (Gandolfi) nouveau morphogénre. *Société Géologique de France, C. R. des séances*. 35-37pp.
- Seilacher, A., Reif, W.-E., Westphal, F., 1985. Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten: *Philosophical Transactions of the Royal Society, London. ser. B*, 311, 5–23.

Selden, P., Nudds, J., 2004. Evolution of Fossil Ecosystems. Mason Publ. Ltd., London, UK, 160.

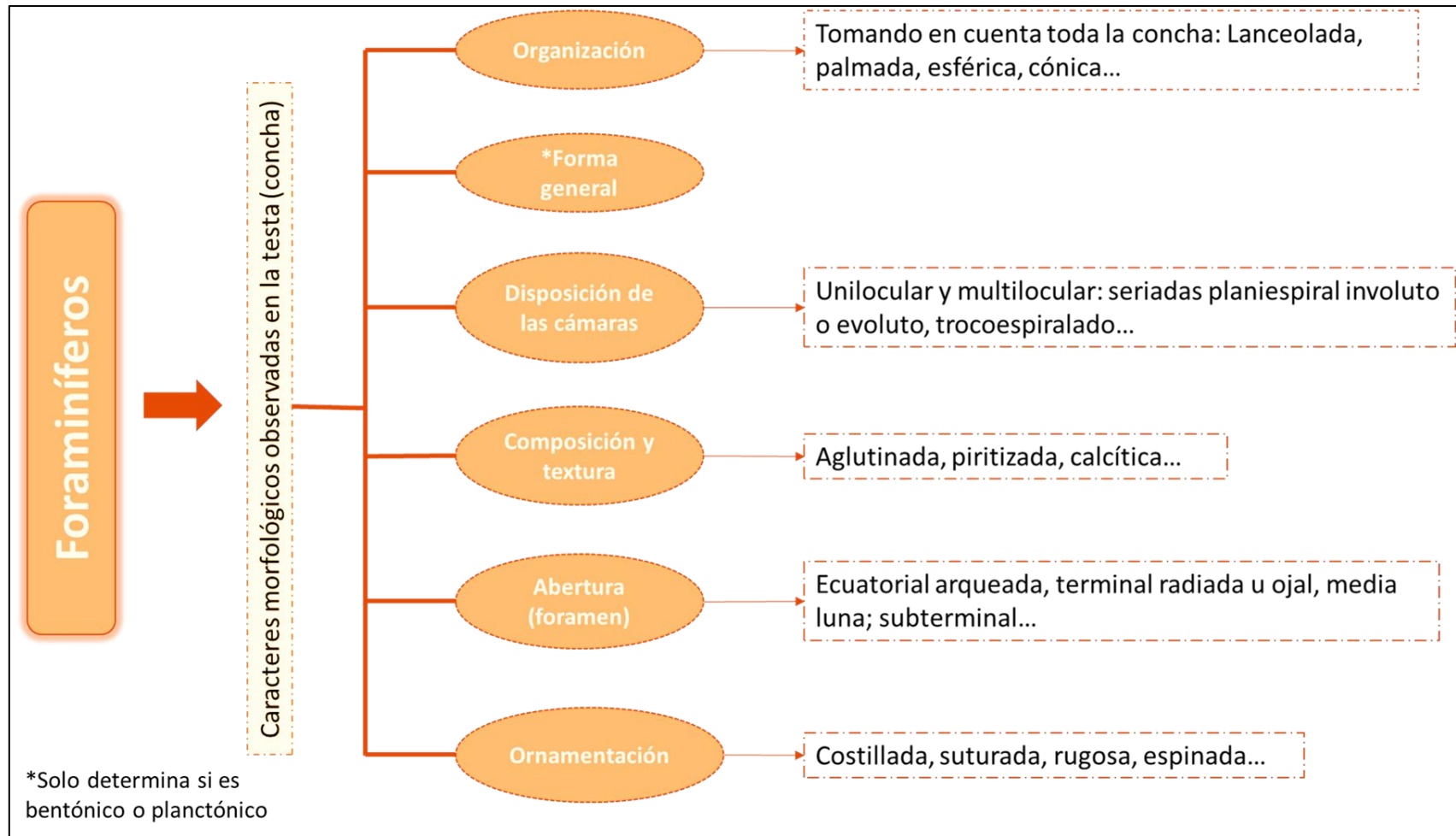
Sylvester-Bradley, P. C. 1948. The ostracode genus *Cythereis*. *Jour. Pal.*; vol 22, 6: 792-797; 122-1948.

Tshakreen, S.O., Gasinski, A.M., Machaniec, E., Macznik, A., 2017. Campanian-Maastrichtian foraminiferal Stratigraphy and palaeoenvironment of the lower tar member in the Wadi tar section, western Sirte basin (Libya): *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 87, 349-362.

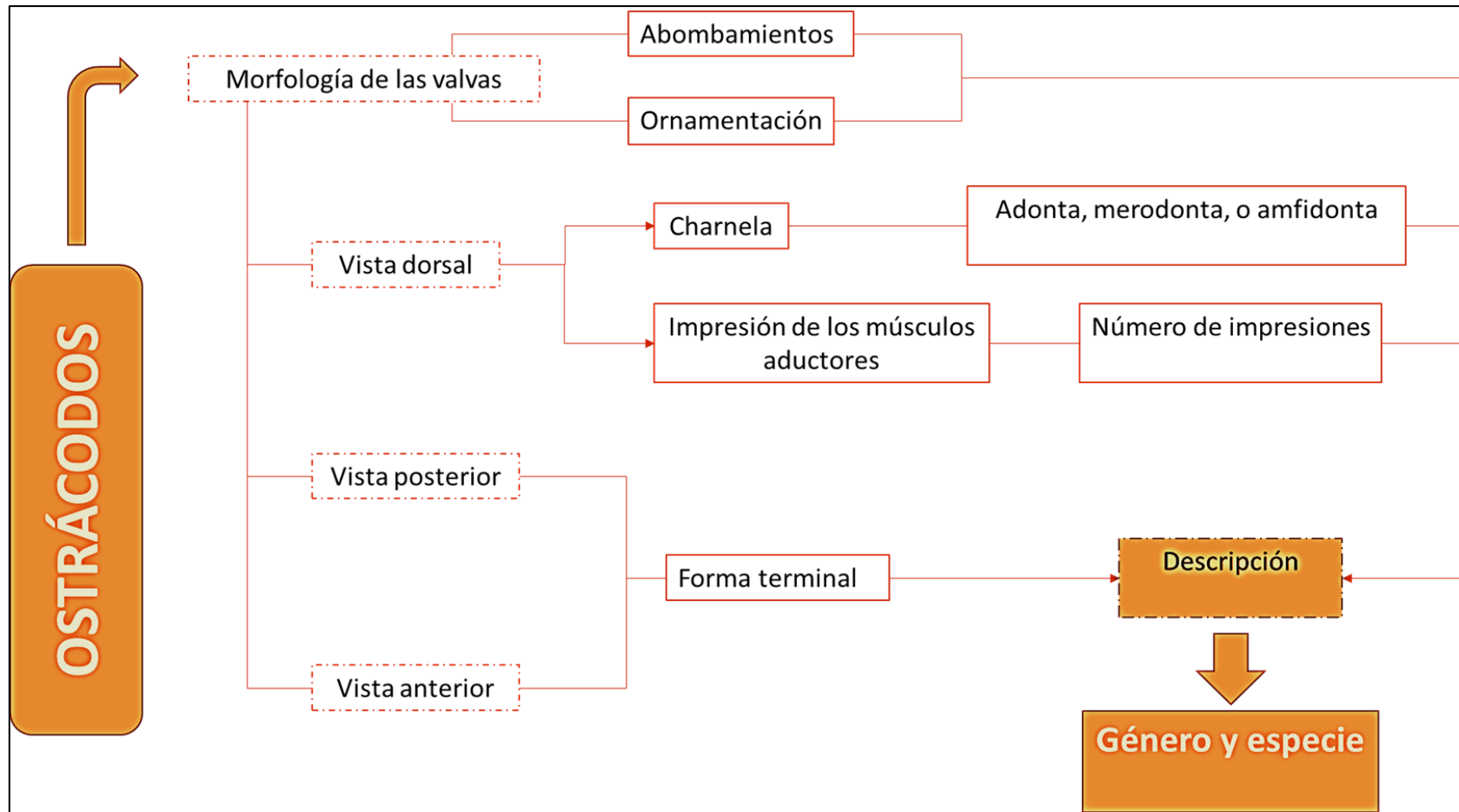
Wilson, J. L. 1975. Carbonate facies in Geologic History. Berlin, Springer, 471 pp.

Zavala-Arriaga, M. M. 2013. Análisis microfacial de una secuencia margosa-calcárea de una zona de transición plataforma-cuenca del Cretácico Tardío en la porción central de San Luis Potosí, México. [Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí].

ANEXOS



Anexo 1. Características morfológicas de los foraminíferos utilizadas en su descripción y clasificación.



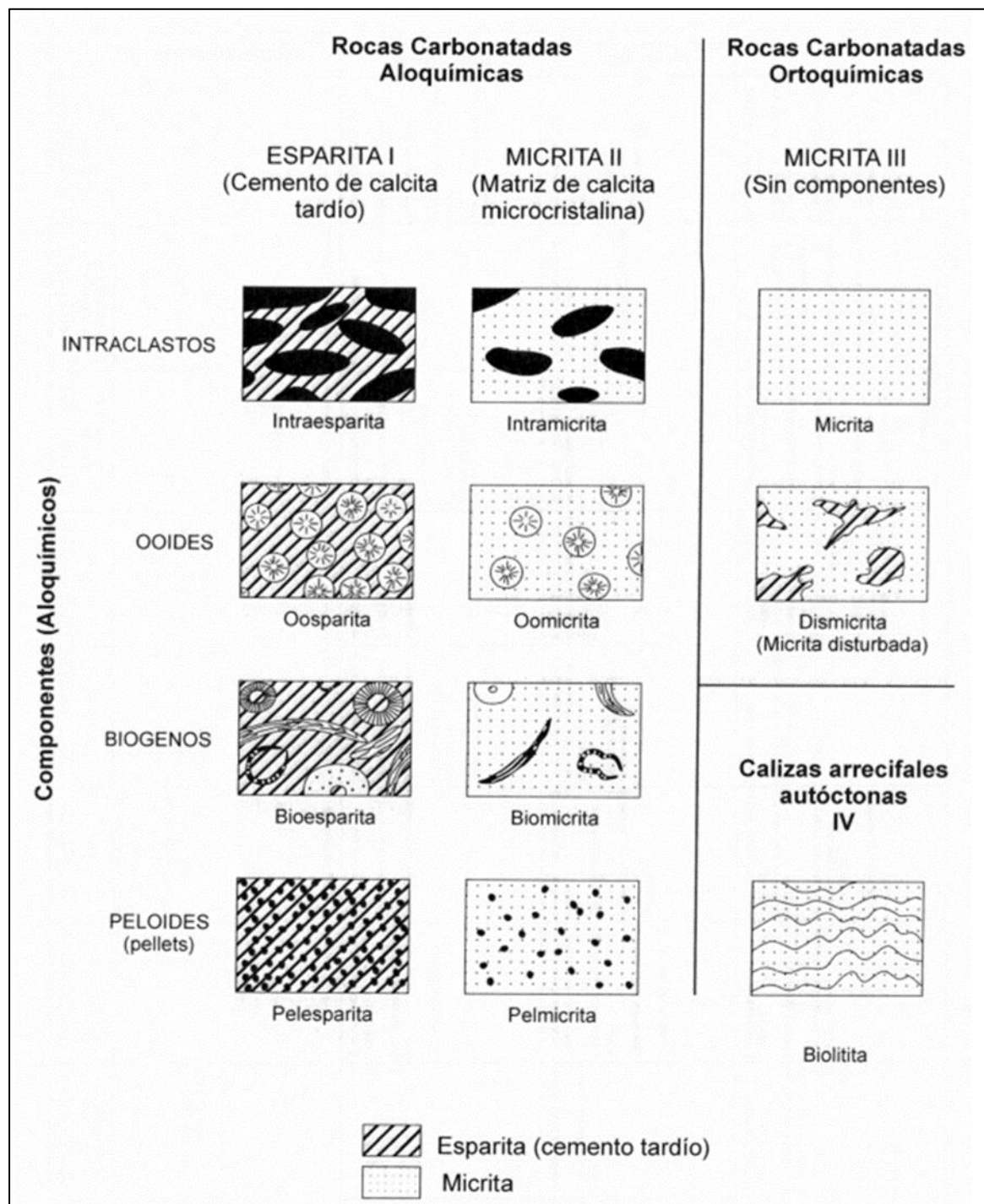
Anexo 2. Características morfológicas de los ostrácodos utilizados en su descripción y clasificación.

CLAVE PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS FAMILIAS DEL ORDEN FORAMINÍFERA SEGÚN CUSHMAN.					
1. a. Animal desnudo o provisto de testa quitinosa b. Animal provisto de testa dura no exclusivamente quitinosa...	Allogromiidae 2.	10. a. Las cámaras arrolladas planispiralmente, cuando menos en la parte inicial, nunca biserial, el eje corto o largo... b. Testa biserial, cuando menos en parte, triserial, multiserial, trocoide, o bien formando una espiral en varios planos...	11 14	20. a. Testa cónica, de gran tamaño, abertura en hilera... b. Testa típicamente trocoide, no cónica, abertura ventral...	Orbitolinidae Trochamminidae.
2. a. Testa total o parcialmente formada por material silíceo, granos de arena, espículas de esponjas o testas de otros foraminíferos... Aglutinada b. Testa formada por material calcáreo...	3 21	11. a. Eje del enrollamiento corto, algunas veces desenrollándose... b. Eje de enrollamiento usualmente largo...	Lituolidae 12	21. a. Testa calcárea imperforada cuando menos en parte... b. Testa calcárea perforada...	22 27
3. a. Con una sola cámara... b. Con más de una cámara...	4 6	12. a. Interior laberíntico... b. Interior no laberíntico...	Loftusidae 13	22. a. Testa con las cámaras enrolladas en varios planos... (parte) b. Testa con las cámaras en un solo plano...	Milolidae 23
4. a. Con la única cámara no tubular, ramificada, abertura en los extremos de las ramificaciones... b. Con la única cámara, tubular o no, abertura única o en los extremos...	Astrorhizidae 5	13. a. Con túnel y clomata, sin abertura definida... b. Si túnel ni clomata, con paracromata, con abertura múltiple formada por una hilera de forámenes colocados en la base de la última cámara...	Fusulinidae Neoschwagerinidae	23. a. Testa planispiral o trocoide... b. Testa con las cámaras concéntricas...	24 Eramosphaeridae
5. a. Con la cámara tubular abierta en los extremos, en ocasiones ramificada... b. Con la cámara no ramificada, normalmente con una sola abertura, en ocasiones presentando cámaras débilmente unidas...	Rhizamminidae 7	14. a. Testa biserial, por lo menos en el joven de las formas microséricas... b. Testa no biserial...	Textulariidae 15	24. a. Testa trocoide... b. Testa planispiral...	Fischeriidae 25
6. a. Con dos cámaras... b. Con más de dos cámaras...	Saccamminidae 7 9	15. a. Testa triserial, triangular en sección, por lo menos en la parte inicial, abertura simple... b. Testa triserial o no, la parte inicial no triangular en sección...	Verneulinidae 16	25. a. Eje de enrollamiento corto... b. Eje de enrollamiento largo...	26 Aveolinidae
7. a. Primera cámara globular y una segunda a veces no diferenciada, tubular, recta, simple o ramificada... b. Primera cámara globular y segunda cámara tubular enrollada...	Hyperamminidae 8	16. a. Testa típicamente multiserial, abertura con un diente... b. Testa laberíntica, trocoide o enrollada en varios planos...	Valvulinidae 17	26. a. Eje muy corto, cámaras simples... b. Frecuentemente con camarillas accesorias en ocasiones desarrollándose y haciéndose discoidal...	Ophtalmidiidae Peneroplidae.
8. a. Testa finalmente arenácea, con abundante cemento calcáreo, segunda cámara indivisa, abertura simple... b. Testa cuando menos en parte silicea, con la segunda cámara parcialmente dividida, abertura con un rudimente diente...	Ammoscididae Silicidae	17. a. Interior laberíntico... b. Interior no laberíntico...	Neusinidae 18	27. a. Testa vitrea, abertura generalmente radiada... b. Testa no vitrea, abertura no radiada...	28 29
9. a. Con una cámara formando una serie rectilínea uniserial... b. Con cámaras no en serie rectilínea uniserial...	Reophacidae 10	18. a. Testa enrollada en varios planos... (parte) b. Testa trocoide...	Milolidae 19	28. a. No trocoide ni biserial; pero sí planispiral rectilínea o uniserial... b. Testa biserial o en espiral alargada (trocoide)	Lagernidae Polymorphinidae
31. a. Septos simples, sin sistemas de canales, en ocasiones trocoide, con proceso retral... b. Septos dobles, con sistema de canales en las formas superiores...	Nonionidae Cameriidae	19. a. Testa libre... b. Testa adherida...	Milolidae 20 Placopsilidae	29. a. Cámara planispiral por lo menos en el joven, nunca biserial... b. Cámaras no planispirales...	30 32
32. a. Abertura típicamente con un tubo interno alargado... b. Abertura sin tubo interno...	33 34	41. a. Últimas cámaras en series anulares o globosas, aberturas múltiples... b. Últimas cámaras involutas o no, nunca en series anulares o globosas...	Cymbaloporidae 42	30. a. Cámaras Ecuatoriales rectangulares o hexagonales, sin canal espiral... b. Cámaras ecuatoriales en forma de diamante o romboidales con canal espiral...	Discocyclinidae Miogypsinae.
33. a. Abertura generalmente curva o cribada, no angosta... b. Abertura angosta, con una porción sobresaliente...	Bulminidae Ellipsoidinidae	42. a. Abertura subcircular o circular últimas cámaras involutas... b. Abertura ni subcircular ni circular últimamente cámaras involutas o no...	Chilostomellidae 43		
34. a. Testa con las cámaras infladas, en pares opuestos... b. Testa con las cámaras no infladas, ni en pares opuestos...	Pegidiidae 35	43. a. Periferia desprovista de quillas, formas generalmente globulosas con la última cámara completamente involuta... b. Periferia con una o varias quillas, última cámara en ocasiones desenvueltas y comprimidas...	Globigerinidae Globorotalidae		
35. a. Testa biserial por lo menos en los primeros estadios de las formas microséricas de muchos géneros... b. Testa trocoide, por lo menos en el estado joven de las formas microséricas, casi siempre tocamente perforadas cuando es lenticular con cámaras ecuatoriales y laterales...	Heterobulicidae 36	44. a. Testa trocoide por lo menos en el joven, sin crecimiento hacia arriba, ni cámaras ecuatoriales y laterales; abertura periférica haciéndose dorsal... b. Testa con crecimiento hacia arriba o con cámaras ecuatoriales y laterales...	45 46		
36. a. Trocoide siempre, abertura ventral... b. No siempre trocoide, abertura no ventral...	37 44	45. a. Con las cámaras sin formar series anulares, lado dorsal generalmente deprimido... b. Con las cámaras formando series anulares...	Anomalinidae Planorbulinidae		
37. a. Testa en ocasiones con cámaras suplementarias en el lado ventral... b. Testa sin cámaras suplementarias en el lado ventral...	38 39	46. a. Testa con crecimiento posterior hacia arriba, sin cámaras ecuatoriales ni laterales... b. Testas en crecimiento posterior hacia arriba, con cámaras ecuatoriales y laterales...	47 49		
38. a. Cámaras suplementarias alternantes... b. Cámaras suplementarias; cuando las hay, no alternantes...	Amphisteginidae Rotalidae	47. a. Testa libre, cuando menos en el adulto... b. Testa adherida...	Vicirellidae 48		
39. a. Con material suplementario y grandes espinas independientes de las cámaras... b. Sin material suplementario y grandes espinas independientes de las cámaras...	Calcarinidae 40	48. a. Abertura con cuello y labio... b. Aberturas múltiples, grandes, sin cuello y labio, con una lámina perforada que las cubre...	Rapertidae Homotremidae		
40. a. Últimas cámaras casi siempre biserial, abertura		49. a. Sin sistema de canales... b. Con sistema de canales...	Orbitoididae 50		

Anexo 3. Clasificación para familias de foraminíferos de acuerdo con Cushman. Tomado de Manual de Laboratorio de Paleontología de la UASLP.

(Calizas alóctonas) Componentes primarios sin relación organogénica durante la sedimentación						(Calizas autóctonas) Componentes primarios con relación organogénica durante la sedimentación		
Menos del 10% de componentes >2 mm				Más del 10% de componentes >2 mm		Relacionados con organismos		
Con micrita (<0.03 mm)		Sin micrita		Mud-supported	Grain-supported			
Mud-supported		Grain-supported				Boundstones		
Menos del 10% de componentes (>0.03 mm <2 mm)	Más del 10% de componentes					Grain-supported		Boundstones
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone			Bafflestone

Anexo 4. Clasificación de carbonatos según DUNHAM (1962) modificado por EMBRY & KLOVAN (1972). Traducción de López Doncel.



Anexo 5. Clasificación de las rocas carbonatadas según FOLK (1959, 1962). Traducido por López-Doncel.