



---

---

**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**División de Desarrollo Sustentable**

**Análisis estratigráfico de afloramientos cuaternarios  
de Isla Cozumel, Quintana Roo, México**

**TESIS**  
**Que para obtener el grado de**  
**LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS**  
**NATURALES**

**Presenta**  
**Lourdes Elizabeth Rodríguez Burgos**

**Director de Tesis**  
**Dr. Luis Manuel Mejía Ortíz**

**Cozumel, Q. Roo, octubre de 2018**



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE  
CIENCIAS Y HUMANIDADES

Chetumal, Quintana Roo, 10 julio 2018  
UQROO/DDS/DCH046/18

**“2018, Año por una Educación Inclusiva”**

Consejo Divisional  
División de Desarrollo Sustentable  
Unidad Cozumel  
Presente

Con fundamento en el artículo 100A, 101-110 del Reglamento de Estudios Técnico y de Licenciatura de la Universidad de Quintana Roo, los miembros del sínodo del trabajo de tesis denominado “Análisis estratigráfico de afloramientos cuaternarios de Isla Cozumel, Quintana Roo, México” elaborado por la alumna Lourdes Elizabeth Rodríguez Burgos con matrícula 13-15359 de la Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales, le notificamos que otorgamos nuestra aprobación del documento de tesis presentada, como requisito parcial para dar continuidad a los procesos que le permitirán obtener el título de Licenciado en Manejo de Recursos Naturales

Con un cordial saludo

**Atentamente**

**“Fructificar la razón: trascender nuestra cultura”**

  
Dr. Luis M. Mejía Ortiz  
Director



  
Dr. Rafael López Martínez  
Supervisor

  
Dr. César Frausto Martínez  
Supervisor



Av. Andrés Quintana Roo s/n, con 110 Sur, Frente a la Colonia San Gervasio, Código Postal 77600, Cozumel, Quintana Roo, México. Teléfono  
+(987)87.29000 [www.uqroo.mx](http://www.uqroo.mx)

Versión: enero 15, 2018

Documento impreso o electrónico que no se consulte directamente en el portal SIGC (<http://sigc.uqroo.mx/>) se considera  
COPIA NO CONTROLADA

Código: REC-001/FO-001

## **DEDICATORIAS**

A mis padres, Lourdes y Juan, por ser siempre mi motivo de superación y por enseñarme que la mejor herencia que me pueden dejar es mi preparación académica.

A mi hermano Juan Carlos, por ser mi inspiración y enseñarme que ninguna meta es imposible de realizar si trabajas duro para ello.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Juan Rodríguez Garrido y Lourdes Burgos Maldonado, por siempre haber estado conmigo, en especial a mi madre, porque sin ella este logro no hubiese sido posible.

A mis hermanos, Blanca, Betty y Juan Carlos y a mis sobrinos, porque siempre me han impulsado a superarme, no rendirme y ser mi motivo de superación.

A mis amigos, Luis, Enoé y Yesica, por su amistad, confianza y su cariño como amigos y como compañeros, por hacer más placentero mi paso por la universidad y, sobre todo, porque cuando caía en estrés y desesperación, ellos me alentaban a no rendirme y echarle más ganas.

Por supuesto, a mis amigos del Instituto de Geología de la UNAM, Chava, Sara, Hugo, Jaime, Orlando, Daisy, por ayudarme con el muestreo y laminación de éstas y por hacer de mi estancia en CDMX la mejor de todas, en especial a Chava y Jaime que me enseñaron el uso del equipo y por las clases exprés de microfacies. Asimismo, a Nicté por ser la mejor compañera de laboratorio y por ayudarme si me surgía alguna duda.

A la Dra. Blanca Buitrón Sánchez por, sin ser parte de mis asesores, estar dispuesta a ayudarme para la identificación de mis fósiles y por regalarme aquellos libros que me sirvieron de mucho para el mismo fin.

Al Dr. Oscar Frausto Martínez por aceptar ser mi asesor, por asesorarme cada que lo requería y por contribuir a mi formación académica como uno de los mejores profesores de la carrera de Manejo de Recursos Naturales.

Al Dr. Rafael López Martínez por aceptar ser mi asesor sin ser parte de la Universidad de Quintana Roo y claro, porque sin él y todo su apoyo y enseñanzas, no hubiese podido concluir la tesis; asimismo, por aceptarme como alumna para realizar una estancia con él.

A mi director, el Dr. Luis Mejía Ortíz, por confiar en mí, por sus enseñanzas, tanto como mi profesor en la universidad y como mi director, y porque fue quien me impulsó para realizar este proyecto y me aceptó como una más de sus hijas académicas. Por todas sus correcciones, su paciencia y su entrega para sacar adelante este trabajo.

Al Instituto de Geología de la UNAM por permitirme usar sus instalaciones y laboratorios para trabajar.

A la Universidad de Quintana Roo por brindarme los recursos para mis estancias, por permitirme el uso de sus laboratorios y por todo durante estos 5 años de carrera universitaria.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
ANTECEDENTES .....	23
JUSTIFICACIÓN .....	26
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
OBJETIVOS .....	28
OBJETIVO GENERAL .....	28
OBJETIVOS PARTICULARES .....	28
ÁREA DE ESTUDIO .....	29
MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
RESULTADOS .....	34
Secciones estratigráficas .....	34
Sistemática paleontológica de moluscos .....	38
Descripción de láminas delgadas .....	49
Ambientes de depósito .....	56
DISCUSIÓN .....	58
CONCLUSIÓN .....	60
LITERATURA CITADA .....	62

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue realizar una reconstrucción paleoambiental de la isla a partir de afloramientos cuaternarios, para conocer los ambientes de depósito que presentó la isla de Cozumel y corroborar las fluctuaciones eustáticas del nivel del mar, mediante el estudio de secciones estratigráficas de dos afloramientos (cantera de la carretera transversal (CTN) y eolianita de CAPA (CAPA)), una sistemática paleontológica de los moluscos fósiles encontrados y la descripción e interpretación de láminas delgadas de las muestras; las interpretaciones se realizaron siguiendo los lineamientos de caracterización estándar establecidos por Flügel y se clasificaron en el cinturón de facies de Wilson. Se encontraron gasterópodos de los géneros: *Olivella*, c.f. *Bullata*, *Conus*, *Cancellaria*, *Volvarina*, *Bulla* y *Pleurofusina*, *Bulla* fue el género más representativo; en contraste, *Olivella*, *Bullata* c.f., *Conus* y *Volvarina* fueron los menos representativos. Para bivalvos, se encontraron 3 géneros: *Chione*, *Corbula* y c.f. *Gastrochaena*; *Chione* fue el género más abundante y se encontraron solo dos especímenes de c.f. *Gastrochaena*. Referente a las láminas delgadas de CTN, se encontró lo siguiente: Rudstone de pelecípodos con pellets, Packstone de gasterópodos con foraminíferos bentónicos, Bindstone de peloides con crecimiento microbiano y Bindstone de peloides con intraclastos micríticos. En las láminas de CAPA se encontraron, en ambas facies, Grainstone de ooides. Debido al contenido de las láminas, se determinó que los ambientes inician en un margen de plataforma de banco de arena y terminan en una plataforma interna evaporítica; confirmando la presencia de un evento de regresión marina y uno de transgresión marina. Por otra parte, con ayuda de los fósiles, se estima que el afloramiento CTN comenzó su depósito entre el Mioceno y Pleistoceno, aproximadamente hace 23.03 millones de años.

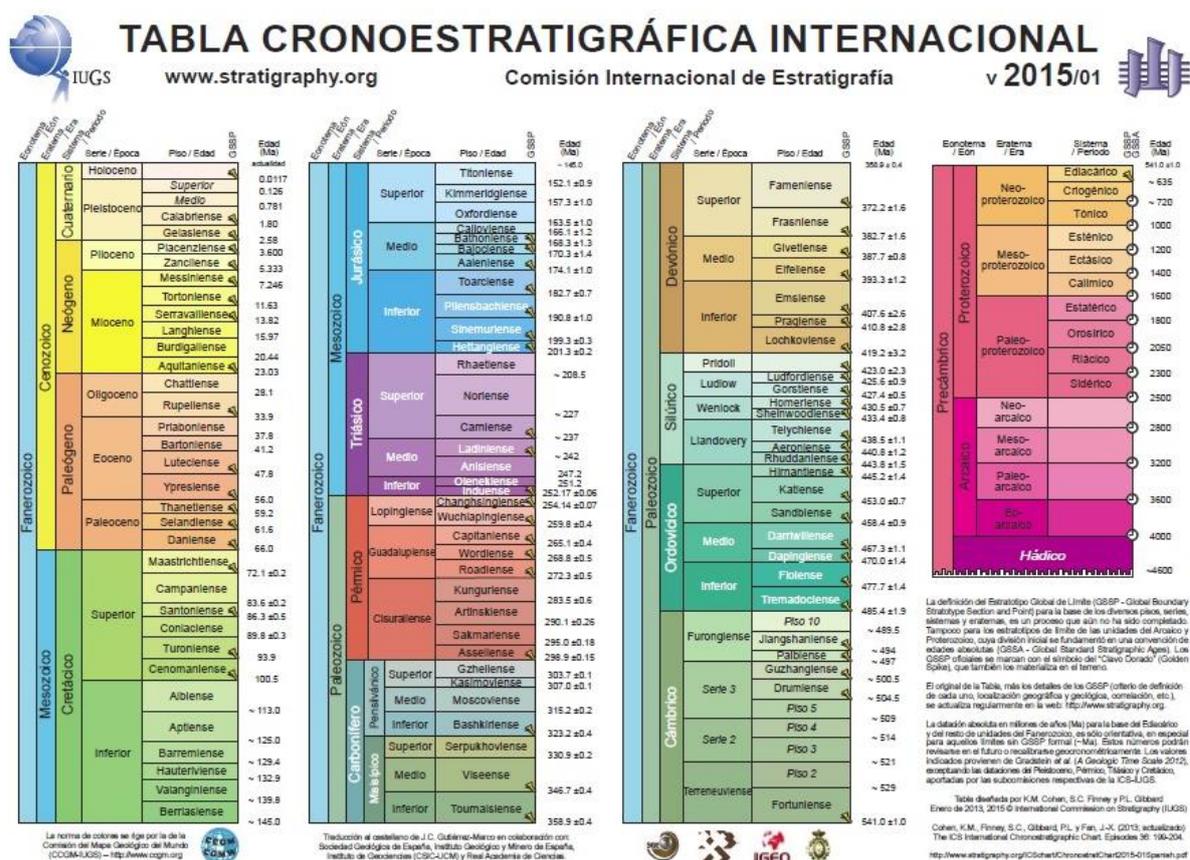
**Palabras clave:** afloramientos, eustático, microfacies, paleoambientes, plataforma

## INTRODUCCIÓN

La geología es la ciencia que explica la forma exterior e interior de la Tierra; de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación (Castaño-Fernández, 1987). Estudia sus materiales, estructuras, procesos que actúan en su interior y sobre la superficie, minerales y rocas, fósiles, terremotos y volcanes, montañas y océanos, suelos, paisaje, erosión y depósito. La geología también se ocupa del origen de la Tierra y de los cambios que ha presentado a lo largo de toda su historia (Moreno *et al.*, 2008). Se divide en dos grandes áreas: geología física y geología histórica. La geología física estudia los materiales de la Tierra, como los minerales y las rocas, así como los procesos que se producen dentro de la Tierra y en su superficie; por otra parte, la geología histórica examina el origen y la evolución de la Tierra, sus continentes, océanos, atmósfera y la vida (Monroe *et al.*, 2008).

La historia de la Tierra se puede observar en las múltiples formas de los estratos rocosos de la corteza terrestre. Estas rocas llegan a albergar en su estructura física vestigios de vida en forma de fósiles. La evolución de la Tierra se distingue por períodos, caracterizado cada uno por condiciones similares tanto de vida como de estructura fisicoquímica general del planeta. El estudio de las rocas que predominaron en cada era de la Tierra y de los fósiles encontrados en ellas, es la base del cálculo del tiempo geológico (Aguilar-Rodríguez, 2004). Con ayuda de estos registros fósiles, así como de columnas estratigráficas, dataciones, etc., los geólogos construyeron una escala de tiempo que contempla toda la historia de la Tierra (Campos-Bedolla *et al.*, 2003). Esta escala es una referencia que permite ubicar en el tiempo los procesos geológicos, establecer su duración y correlacionar su ocurrencia con la de otros (Ferrusquía-Villafranca, 2013). La división de la escala está dada por una segmentación y subdivisión de forma jerárquica, de mayor a menor: eones, eras, períodos y épocas. Los eones representan las mayores extensiones de tiempo, equivalen a 1000 millones de años. Se distinguen los eones: Arcaico, Proterozoico y Fanerozoico, existiendo un cuarto eón, el Hádico, que es el primero de los eones; sin embargo, es considerado un concepto informal. La era es un amplio período de tiempo geológico, que varía desde decenas hasta centenares de millones de años; las eras están limitadas por profundos cambios de las formas de vida en el ámbito global. Por otra parte, los períodos son la unidad básica de la escala de tiempo geológico, siendo una subdivisión de una era y se caracterizan por cambios menos profundos, en comparación con las eras. Por último, la época es una subdivisión de un período (Rojas-Vilches, 2008).

Los 4, 600 millones de años que constituyen la historia de la Tierra, se dividen en cuatro grandes eras: Precámbrico, Paleozoica (vida antigua), Mesozoica (vida intermedia) y Cenozoica (vida reciente). Estas divisiones se basan en el tipo de organismos que habitaron la Tierra en cada una de esas eras, en la variación y en la posición de los continentes, en la actividad tectónica, entre otros factores (Campos-Bedolla *et al.*, 2003) (véase figura 1).



**Figura 1. Tabla cronoestratigráfica internacional.** Las unidades están dadas en millones de años. Imagen recuperada de la International Commission on Stratigraphy, creada por Cohen *et al.* (2015).

El último período es el Cuaternario y se divide en dos épocas: Pleistoceno y Holoceno, ésta última es la época actual (Aguilar-Rodríguez, 2004) y es en este período donde aparece la especie humana (Liñán *et al.*, 2008).

La geología de la Isla de Cozumel es similar a la encontrada en toda la Península de Yucatán; los estudios que se han realizado coinciden en señalar una sedimentación de los fondos marinos a partir de la era Terciaria, sobre un basamento de rocas de la era Secundaria, la que ha originado una gigantesca plataforma que empezó a ascender a pausas y retrocesos hasta fines de la era Cenozoica, continuando hasta nuestros días

en la parte norte. Esta losa se constituye de calizas granulosas, deleznable, color blanquecino llamada plataforma carbonatada. La roca más abundante en la entidad es la sedimentaria, tanto del Terciario como del Cuaternario (Carrillo-Fajardo, 2011). La Isla de Cozumel tiene características geológicas, litológicas y estructurales que han originado la presencia de un acuífero subterráneo, de gran permeabilidad, que se encuentra en contacto con el agua de mar y flotando sobre ésta por su menor densidad (Lesser-Jones *et al.*, 1978). La investigación geofísica en el Caribe occidental muestra la presencia de varias crestas en *echelon* y barrancos intermedios de la costa este de Belice y la Península de Yucatán. Cozumel se encuentra en el extremo sur de la cresta más hacia la tierra que se extiende hacia el norte hasta el sumergido Banco Arrowsmith. Ciertos estudios indican que la topografía submarina del margen continental del este de Yucatán y Belice es el resultado de la falla. Butterlin y Bonet (1966) y Ramos (1975, 1976) clasificaron las rocas de la Isla de Cozumel y la porción oriental de la Península de Yucatán como la Formación Carrillo Puerto de la Edad Mio-Plioceno. Boyd *et al* (1963) describen el sustrato como microatolones de algas coralinas en el noreste de la costa de la Isla de Cozumel (Spaw, 1978).

La Formación Carrillo Puerto está constituida por coquinas que cubren calizas macizas blancas o amarillentas con moluscos y archaias. Estas rocas dan lugar a una topografía kárstica y están cubiertas de suelos rojo, *lateríticos* gruesos. Afloran al oeste y al sur de Carrillo Puerto. Su edad no está bien determinada; sin embargo, se afirma que esta formación es más reciente que la Formación Bacalar, creando una confusión a consecuencia que los moluscos parecen indicar un fechamiento del Mioceno (Butterlin, 1958). Las unidades estratigráficas calcáreas de origen marino cuyos afloramientos pueden ser observados en la amplitud de la Isla de Cozumel, fueron divididas en tres unidades correlacionables con la Formación Carrillo Puerto, que se encuentra en la porción oriental de la Península de Yucatán. La jerarquía litoestratigráfica de esta formación fue elevada a la categoría de Grupo y sus diferentes unidades definidas como las Formaciones Chankanaab, Abrigo y Mirador. Asimismo, se identificó, subyaciendo a estas formaciones, otro horizonte de calizas y dolomitas, el cual se describe y denominada Formación Cozumel; éstas cuatro formaciones pertenecen al Terciario. La Formación Cozumel consiste en una serie de calizas y dolomitas. Las dolomitas presentan color verde oscuro, muy compacto, con estratificación delgada. Por su posición estratigráfica, la Formación tiene una edad correspondiente al Oligoceno. La Formación Chankanaab es un paquete de calizas muy consolidadas que se encuentran aflorando en el embarcadero Caleta a la altura del kilómetro 6 de la carretera costera. Los sedimentos están representados por una lodolita arenosa de color crema y en parte

gris. En el afloramiento de la Caleta, la roca se presenta como un sedimento lodoso consolidado de color crema, con fósiles de *Strombus sp.*, hasta de 20 cm. El espesor total de la formación es de 20 m, aproximadamente. Su edad corresponde al Plioceno. La Formación Abrigo es un horizonte de rocas carbonatadas, deleznales, que afloran en el embarcadero Puerto de Abrigo Norte, situada a unos 2.5 km al norte del pueblo San Miguel Cozumel. La formación fue dividida en tres miembros:

- Miembro inferior: consiste en un sedimento compactado arenoso de calcarenita con granos redondeados de color crema, que intemperiza a gris oscuro con aspecto nodular, muy consolidadas y sin estratificación. Tiene un espesor superior a los 2 m.
- Miembro medio: es una calcarenita con granos muy redondeados, con matriz de calcita fina de color crema, que intemperiza a gris oscuro. Presenta poca consolidación y estratificación cruzada. Su espesor alcanza de 70 a 80 cm. Aparece local y regionalmente con interrupciones y adelgazamientos laterales lenticulares.
- Miembro superior: corresponde a una arenisca calcárea de color crema, que intemperiza a gris oscuro. Es la más consolidada de los tres miembros y presenta estratificación definida. Su espesor total es de 8 a 9 m, de los cuales más o menos 6 m corresponde al Miembro Inferior, 0.8 al Miembro Medio y 2 m al Miembro Superior. Presenta una edad correspondiente al Plioceno (Lesser-Jones *et al.*, 1978).

La Formación Mirador representa un conjunto de rocas calizas muy consolidadas y compactas, que afloran desde el kilómetro 12.7 de la carretera transversal hasta la costa oriental. Se dividió en dos miembros:

- Miembro Inferior: es un cuerpo de calizas y areniscas compactadas de color crema, que intemperiza a café y gris oscuro. Se le observa cierta estratificación y se caracteriza por estar tan consolidada que al golpearla con martillo suena como campana.
- Miembro Superior: está constituido por sedimentos calcáreos compactos pero suaves, que se presentan de colores crema y café claro e intemperizan a color café y gris oscuro. Tiene estratificación gruesa y también produce un sonido metálico como campana al ser golpeado con un martillo. Su espesor es de 10 m, de los cuales 3 m corresponden al Miembro Inferior y el resto al Superior. La edad corresponde al Plioceno (Lesser-Jones *et al.*, 1978).

Asimismo, en la isla de Cozumel se registra una gran mezcla de ambientes de edad cuaternaria de tipo eólico, litoral, lacustre y palustre, mezcla que genera valores

altos de diversidad geológica (Fragoso-Servón *et al.*, 2014). Los sedimentos pertenecientes al Cuaternario se encuentran representados principalmente por médanos de arena y depósitos de pantano. Los médanos son típicos de acumulaciones de playa costera, formados por las acciones combinadas del viento y oleaje y están constituidas por calcarenitas sueltas de granos medios y finos y formados por fragmentos de conchas y otros organismos e intraclastos o pedacerías redondeadas de arenas y gravillas calcáreas de color blanco. La formación se observa en forma de fajas alargadas, principalmente en la costa oriente. Estos sedimentos llegan a tener hasta unos 5 m de altura y una anchura hasta de 400 m. Asimismo, los sedimentos de pantano se encuentran en zonas inundadas de aguas salobres, donde crece abundante vegetación del tipo mangle. La mayoría de estos sedimentos, de reducido espesor, son limos y material derivados de la vegetación (Lesser-Jones *et al.*, 1978). Por otra parte, en la Isla de Cozumel se puede apreciar un depósito de corteza maduro, bien endurecido, de carbonato de calcio secundario denominado caliche. Estas cortezas suelen contener laminaciones oscuras y pueden presentarse como una corteza laminada o como una corteza laminada recubierta por nódulos o clastos angulares, presumiblemente del mismo material (Spaw, 1978).

Los estudios geológicos han ayudado a comprender cómo la formación de los primeros continentes y su modificación conlleva a una variación geográfica a lo largo del tiempo geológico (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012), así como también conocer el ambiente que reinaba en cada región o zona del planeta (Moreno *et al.*, 2008); por esta razón, los estudios paleoambientales o paleoclimáticos son de gran importancia geológica debido a los aportes científicos que estos generan; éstos pueden realizarse por medio de diferentes enfoques y líneas de investigación como son la petrología sedimentaria, análisis de tallas, morfología funcional, índices de hábitat, geoquímica inorgánica, entre otros (Gayosso-Morales, 2007). El estudio de los estratos de las formaciones geológicas es un buen indicador paleoambiental, debido a que en ellos se encuentran organismos fósiles, de gran ayuda para estudiar la geología de un lugar.

El estudio de los estratos se realiza mediante la estratigrafía y ésta se define como el estudio de las sucesiones de roca y la correlación de eventos y procesos geológicos en tiempo y espacio. Si el estrato mide menos de un centímetro de ancho, se le conoce como lámina. Para realizar un buen estudio estratigráfico, se requiere inferir cómo se formaron los estratos y, para ello, resulta de gran importancia conocer los procesos físicos, químicos y biológicos que dieron origen a la variedad de sedimentos (erosión, disolución química, fragmentación, etc.), así como los procesos externos que,

a su vez, pudieron dar origen a esos sedimentos; asimismo, se debe describir e identificar las rocas; esta descripción debe incluir: composición, textura, relaciones de edad, color, fauna fósil, posición geográfica y distribución. Posterior a ello, es necesario reconocer los complejos ambientales en los cuales se formaron los materiales rocosos (Guerrero-Arenas y Bravo-Cuevas, 2011).

Es muy común encontrar restos fósiles marinos en sedimentos terrestres debido a que el territorio mexicano estuvo invadido por el mar durante millones de años, dejando al retirarse una extensa distribución de rocas sedimentarias detríticas y carbonatadas, así como diversos y abundantes fósiles marinos (Ortiz, 2012; Buitrón-Sánchez, 2013). La paleontología tiene como objeto fundamental proporcionar el conocimiento sobre la flora y fauna fósil del planeta (Ortiz, 2012). Un fósil es el resto de un organismo que quedó atrapado en el sedimento y que, por procesos de sustitución de minerales por miles de años, se transformó en piedra con la forma de los organismos que les precedió (Gayosso-Morales, 2007). La mayoría de los fósiles son restos de las partes duras que protegían en vida al organismo (Buitrón-Sánchez, 2013) y se encuentran en las rocas sedimentarias de la corteza terrestre (Urbano-Lemus, 2013). Los fósiles proporcionan indicios concernientes a la geografía y la ecología del pasado y muestran las modificaciones que presentaron los mares y los continentes; así como también proporcionan datos sobre los climas del pasado y la biodiversidad (Rhodes *et al.*, 1970; Buitrón-Sánchez, 2013). Debido a que los fósiles permiten reconstruir la vida del pasado (Rhodes *et al.*, 1970), son una herramienta esencial para los estudios paleoambientales.

Otra manera de reconstruir ambientes del pasado es por medio de la interpretación de láminas delgadas de roca, llamadas también microfacies, que son el conjunto de las características litológicas y paleontológicas que pueden observarse, describirse y clasificarse en una lámina delgada bajo el microscopio petrográfico (Santana-Salas, 2012). A su vez, el análisis e interpretación de microfacies resulta ser una herramienta de gran utilidad para obtener información importante sobre paleoambientes de sedimentación, porcentaje de especies, cronoestratigrafía, componentes de las rocas, entre otros y, de esta manera, realizar reconstrucciones de las condiciones ambientales que prevalecieron. Asimismo, permiten desarrollar modelos de depósito con los cuales es posible conocer como varían las facies a nivel local, regional y hasta global (Wilson, 1975). Para describir correctamente las láminas delgadas, se requieren ciertos criterios: si posee matriz o cemento, tipo y abundancia de componentes inorgánicos y orgánicos, tipo de clasificación textural. La mayoría de

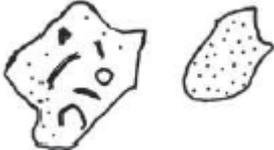
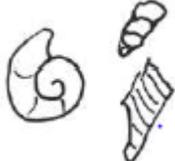
las rocas sedimentarias están formadas en gran parte de fragmentos transportados llamados clastos que son fragmentos de roca o granos agregados de nuevos minerales, como arcilla o fragmentos de conchas, mismos que son transportados por el agua y por la acción del viento. En el transporte ocurre que, debido a la erosión, los clastos tienden a reducir su tamaño y angulosidad y tienden a clasificarse según su tamaño. Las rocas sedimentarias se pueden clasificar de acuerdo con sus constituyentes en tres grupos:

1. Constituyentes terrígenos. Las rocas terrígenas se clasifican según su tamaño: rudistas (tamaño medio de grano  $> 2$  mm), arenitas ( $1/16$ - $2$  mm) y las lutitas (tamaño medio de grano  $< 1/16$  mm). Son el sedimento más abundante debido a que son rocas blandas y no forman grandes acantilados u otros afloramientos.
2. Constituyentes aloquímicos. Son principalmente fósiles y fragmentos de conchas (bioclastos). Asimismo, contienen granos agregados como ooides, peloides, intraclastos micríticos (véase tabla 1).
3. Constituyentes ortoquímicos. Son granos agregados finos de calcita denominados micrita y los de grano grueso son cemento esparítico. Una posible razón a la ausencia de micrita en las calizas esparíticas aloquímicas podría ser que el lodo calcítico haya desaparecido debido a la acción de una corriente fuerte (Gass *et al.*, 1980).

**Tabla 1.** Los granos de carbonatos se pueden separar en granos esqueletales y no esqueletales. Los esqueletales son fragmentos o fósiles completos, mientras que los no esqueletales incluyen peloides, varios granos recubiertos, granos agregados y clastos. Las principales categorías de tipos de grano comúnmente usado para describir rocas carbonatadas son (Flügel, 2010):

Peloides			Pequeño grano micrítico, comúnmente sin estructura interna. Su forma es subredondeado, esférico, ovoide o irregular. Su tamaño oscila entre $<0.02$ y $1$ mm, comúnmente de $0.10$ a $0.50$ mm.
Granos recubiertos	Cortoides		Grano no esquelético redondeado cubierto por una envoltura fina de micrita. El límite entre el grano central y la envoltura es indistinto.

			Su tamaño oscila entre < 1 mm a unos pocos centímetros.
	Oncoides		Granos largos y pequeños que consisten en un núcleo más o menos distinto (por ejemplo, un fósil), y una corteza gruesa de forma irregular, no concéntrica, parcialmente superpuesta de láminas micríticas. No tiende a aumentar su forma esférica durante el crecimiento. Tamaño de < 1 mm a unos pocos centímetros.
	Ooides		Granos esféricos u ovoides, formados por láminas lisas y regulares, como revestimientos concéntricos sucesivos alrededor de un núcleo. Las láminas pueden exhibir fábricas radiales y tangenciales. Su tamaño es entre 0.20 y alrededor de 2 mm, comúnmente entre 0.5 y 1 mm.
	Pisoides		Grandes granos subesféricos y de forma irregular, que consisten principalmente de núcleos no biogénicos y una corteza gruesa visiblemente, a menudo láminas densamente espaciadas que exhiben microfábricas tangenciales y radiales. Los pisoides ocurren como granos aislados o se incorporan en las cortezas. Su tamaño es generalmente > 2 mm hasta > 1 cm.

Granos agregados		<p>Granos compuestos que consisten en dos o más partículas originalmente separadas (por ejemplo, ooides y granos esqueléticos) que se han unido y cementado juntos, formando bultos redondeados. Espacios intergranulares llenos de micrita. Su contorno es lobular, irregular o redondeado. Tamaño de 0.5 a más de 2 mm.</p>
Clastos		<p>Clastos de cal durante la sedimentación o después del mismo, sedimento de carbonato reelaborado consolidado o material ya litificado. Su forma y tamaño es altamente variable, de angular a redonda. Su tamaño oscila entre &lt; 0.2 mm y varios decímetros. Los clastos muy pequeños pueden confundirse con peloides.</p>
Granos esqueletales		<p>Esqueletos fragmentados o completos de organismos biológicos. Su tamaño va de 0.05 mm a varios centímetros.</p>

Los peloides generalmente se consideran típicos de ambientes marinos restringidos, de baja energía y poco profundos. La diferenciación genética de los peloides, ofrecen información importante del entorno de depósito, condiciones paleoambientales y características diagenéticas (Tucker y Wright, 1990; Flügel, 2010). Según Flügel (2010), describe 9 tipos de origen de peloides carbonatados:

**Tabla 2. Tipos de peloides y su origen.**

Tipos	Origen	
Pellets fecales	Origen biótico	Excrementos orgánicos litificados
Peloides algales		Productos abrasivos de algas
Peloides bioerosionales		Granos resultantes de la fuerte actividad de organismos perforadores y raspadores
Peloides de lodo (peloides líticos)	Retrabajo de lodo y grano	Reprocesamiento durante la sedimentación y postsedimentación de lodo carbonatado y micrita
Peloides molde		Moldes micríticos internos de conchas de bivalvos
Peloides bahamíticos	Alteración de granos	Ooides y granos esqueléticos redondeados cuyas microestructuras se han ido perdiendo a través de la micritización
Pelletoides		Ooides y granos esqueléticos, microestructuras destruidas por recristalización
Peloides microbiales	Formación <i>in-situ</i>	Precipitación bioquímica provocada por microbios y sustancias orgánicas
Peloides precipitados		Precipitación química de cementos de carbonato con o sin controles orgánicos

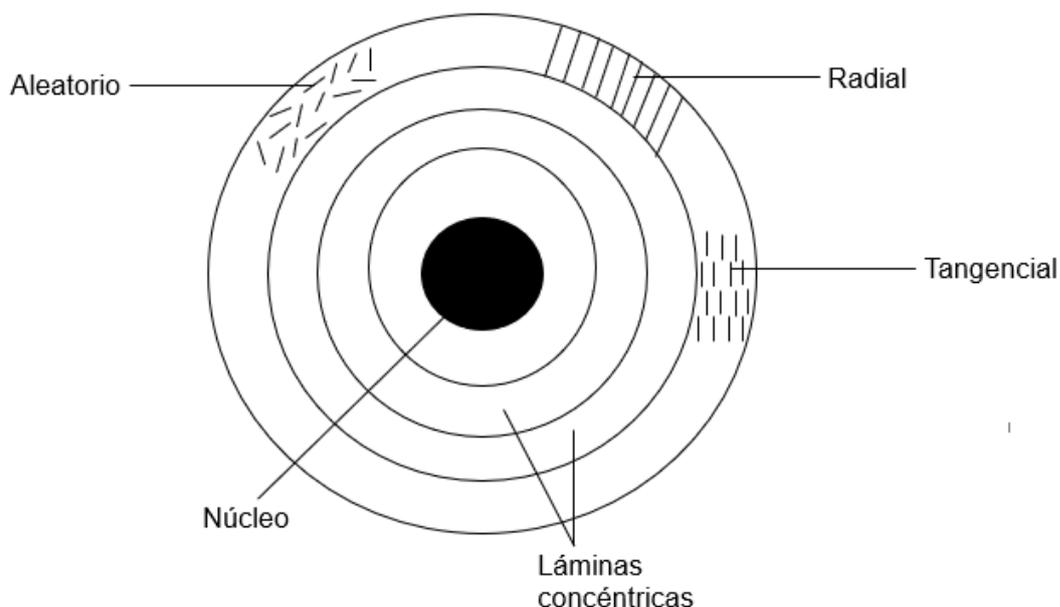
El origen de los cortoides depende tanto de los organismos fotosintéticos como los no fotosintéticos. Las envolturas de micrita se originan por procesos destructivos y constructivos que tiene lugar en la superficie del agua de sedimento o cerca de ella. Los modos comunes son: (1) micritización destructiva relacionada por organismos microperforadores, (2) construcción de envolturas de micrita relacionados a organismos epilíticos y por (3) resolución parcial y recristalización. Los granos revestidos, a menudo, se consideran indicadores de ambientes de aguas cálidas marinas superficiales (Flügel, 2010).

Los oncoides pueden ser clasificados según los tipos de estructura biogénica que contengan; los formados por revestimientos de algas rojas se denominan rodolitos (rodoides). El nombre correcto de una roca formada de oncoides debe llamarse oncolito (Tucker *et al.*, 1990).

Las microfábricas de los ooides son de gran importancia al asignarles una microfacie estándar (SMF) y su ambiente de depósito en el cinturón fácil (FZ), debido a

que la SMF-15 se divide según el tipo de microfábrica que contengan los ooides vistos en las láminas (Santana-Salas, 2012). En los ooides marinos recientes, se dan tres microfábricas principales: tangencial, radial y aleatorio. Las microfábricas tangenciales son la microfábrica principal que poseen los ooides de las Bahamas y consisten en granos de aragonito en forma de varas sin terminaciones cristalinas cuyos ejes se alinean paralelos a las láminas del oide. Su longitud es de 1  $\mu\text{m}$  (máximo 3  $\mu\text{m}$ ) y su diámetro oscila entre 0.1 a 0.3  $\mu\text{m}$  (Tucker *et al.*, 1990). Ambiente: Mares muy poco profundos y cálidos de baja latitud; común en entornos de alta energía; lacustre-hipersalino; terrestre (Flügel, 2010). Los radiales consisten en cristales fibrosos de aragonito o rica en magnesio. Este tipo de microfábrica es menos común en emplazamientos marinos, en comparación con las tangenciales. Los cristales individuales de los ooides radiales pueden colocarse en gruesos revestimientos radiales o pueden tener una estructura radial bandeada más fina (Tucker *et al.*, 1990). Ambiente: marino poco profundo, común en entornos de baja energía hipersalinos; lacustre-hipersalino; marino-hipersalino, no marino (Flügel, 2010). Los ooides con microfábrica al azar se pueden dar de dos formas: mediante la disposición al azar de los constituyentes como varas de aragonito o porque los únicos cristales presentes son granos equidimensionales. La intensa micritización por microorganismos puede provocar este tipo de estructura (Tucker *et al.*, 1990). Ambiente: marino poco profundo (Flügel, 2010).

#### Ooides marinos recientes



**Figura 2. Tipos de microestructuras en ooides modernos.** Modificado de Tucker *et al.* (1990).

Los pisoides más modernos se forman en entornos marinos, marinos transitorios y en aguas poco profundas. Se originan mediante tres formas: precipitación química a partir de agua agitada saturada de carbonato, las láminas concéntricas que se originan de la precipitación química son erosionadas por los contactos con otros granos; precipitación química y bioquímica en ambientes de baja energía y por crecimiento concrecionario+ en capas pedogénicas áridas y semiáridas (Flügel, 2010).

Los clastos se dividen en dos categorías:

- Intraclastos: fragmento de carbonato de sedimento litificado o parcialmente litificado, derivado de la erosión del sedimento penecontemporáneo cercano desde el interior de la cuenca y redepositado dentro de la misma área.
- Extraclastos: fragmento de roca carbonatada derivado de la erosión de una piedra caliza expuesta en un suelo fuera de la cuenca deposicional en la que se encuentra (Flügel, 2010); es decir, no están representadas en el área deposicional inmediata (Tucker *et al.*, 1990). Los extraclastos que se producen en las calizas se originan del drenaje de los sistemas fluviales en las regiones cercanas a la costa, las caídas de rocas en las costas, la deposición de material erosivo por los desechos y los flujos de turbidez, pero también por el transporte eólico. Otra forma menos común es el transporte como piedras estomacales de reptiles (Flügel, 2010).

Dentro de las clasificaciones basadas en la textura deposicional destacan las clasificaciones de Folk (1959, 1962) y Dunham (1962). La clasificación de Folk de 1959 hace la distinción básica entre calizas orgánicamente unidos durante el depósito (autóctono) y no unidos orgánicamente (alóctono). Para los tipos de rocas carbonatadas alóctonas, usó el tipo y tamaño de partículas como las bases para su clasificación. El parámetro importante que Folk no tiene en cuenta es la relación de grano a matriz; es decir, si es grano soportado o lodo soportada. Otra deficiencia de la clasificación de Folk es que todas las calizas autóctonas son descritas por un término: biolitita. La clasificación de Dunham también distingue entre calizas autóctonas y alóctonas. Para todas las calizas alóctonas, la clasificación se basa en la relación de grano a matriz. La única distinción de tamaño hecho es entre lodo (< 0.03mm) y granos (> 0.03mm). Esta clasificación es más flexible que la de Folk porque los tipos de partículas se usan como modificadores. Un defecto en la clasificación de Dunham fue que hizo la misma simplificación excesiva que Folk y agrupó todas las calizas autóctonas en un solo término: Boundstone (véase figura 3) (Embry y Klovan, 1971).

Debido a la simplificación de las calizas autóctonas, Embry y Klovan (1971) propusieron una modificación para lograr diferenciar las calizas autóctonas en categorías significativas, ampliando la clasificación de Dunham. En esta clasificación, el grupo alóctono se clasifica según el tamaño de partícula y la relación de grano a matriz. Una tercera división de tamaño, componente  $> 2$  mm, ha sido adoptado, y las divisiones de tamaño utilizadas son lodo ( $< 0.03$  mm), granos ( $> 0.03$  mm -  $< 2$  mm) y  $>$  componente de 2 mm. La combinación de los parámetros, tamaño de partícula y la relación de grano a matriz da como resultado seis tipos de rocas: Mudstone, Wackestone, Packstone, Grainstone, Floatstone y Rudstone. Mudstone, Wackestone, Packstone y Grainstone se usan exactamente en el mismo sentido como fue originalmente definido por Dunham (1962). Floatstone y Rudstone son términos nuevos y describen rocas que más del 10 % de sus componentes son  $> 2$  mm. Estos tipos de rocas son los 'conglomerados de carbonato'. Hay una necesidad obvia de reconocer estos dos tipos de rocas porque las partículas mayores a 2 mm suelen ser los componentes más importantes para describir e interpretar rocas de acumulaciones orgánicas. La diferencia entre los dos tipos de roca es que en un Rudstone las partículas  $> 2$  mm forman el marco de apoyo (grano soportada) mientras que en un Floatstone 'flotan' en el matriz de grano más fino que forma el marco; es decir, es lodo soportada. El grupo de las autóctonas se dividieron en tres grupos, según la forma como los organismos se unen al sedimento, 1. construir un marco rígido, 2. Incrustado y vinculante, 3. Desconcertante, llamados: Framestone, Bindstone and Bafflestone. Estos tipos de roca implican la interpretación paleoecológica en lo que respecta al papel de los fósiles en la roca. Los Framestone contienen fósiles masivos *in situ* que construyen una estructura de marco rígida tridimensional durante la deposición. Los fósiles *in situ* forman el marco de soporte de la roca, con matriz ocurriendo en los intersticios entre los fósiles. Los Bindstone contienen fósiles *in situ*, tabulares o lamelares incrustados y sedimento unido durante la deposición. La matriz forma el marco de soporte de la roca y los fósiles puede formar tan poco como el 15 por ciento de los componentes de la roca. Los Bafflestones son los menos comunes. Contienen fósiles en forma de tallo *in situ* que, durante la deposición, atrapan sedimento actuando como deflectores (es decir, reduciendo la tasa de flujo de agua, causando deposición). Los ingredientes para el reconocimiento de un Bafflestone son la presencia de un gran número de fósiles *in situ* en forma de tallo. El término Boundstone de Dunham se conserva para calizas autóctonas en las que no se puede reconocer el modo específico de unión orgánica (véase figura 3).

<b>Dunham (1962)</b>					
Groundmass: Fine carbonate matrix			+ spar	sparry cement	
			Bioconstruction		
<b>Matrix-supported</b>		<b>Grain-supported</b>			
Grains: < 10%	> 10%				
MUDSTONE	WACKSTONE	PACKSTONE		GRAINSTONE	BOUNDSTONE
<b>Folk (1959, 1962)</b>					
Allochems:					
< 1%	1-10%	10-50%	> 50%		
fossiliferous MICRITE	sparse BIOMICRITE	packed	poorly washed BIOSPARITE		BIOLITHITE
<b>Terrigenous</b>					
<b>Matrix-supported</b>			<b>Grain-supported</b>		
Sand: < 10%	10-25%	> 25%			
sandy MUDSTONE	WACKE	SUBWACKE SANDSTONE		ARENITE	

Figura 3. Clasificación de Dunham (1962) y Folk (1959,1962). Imagen recuperada de Flügel (2010).

<b>Textura deposicional reconocible</b>					
Calizas alóctonas. Componentes originalmente no unidos durante la sedimentación				Calizas autóctonas. Componentes originalmente unidos durante el depósito	Textura deposicional no reconocible
Contiene lodo carbonatado (arcilla/limo fino)		Grano soportado	Carece de lodo y es grano soportado		
Lodo soportado					
< 10 % de grano	> 10 % de grano				
<b>Mudstone</b>	<b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>	<b>Grainstone</b>	<b>Boundstone</b>	<b>Crystalline</b>
	<b>Floatstone</b> Granos grandes	<b>Rudstone</b> Granos grandes		<b>Framestone</b>	1m
				<b>Bindstone</b>	100 mm
				<b>Bafflestone</b>	100 mm

Figura 4. Clasificación de Dunham (1962) con modificación de Embry y Klovan (1971).

Las fábricas son el modo en que se disponen los granos sedimentarios en el espacio; incluyen criterios estructurales y texturales y pueden ser estudiadas en campo, muestra en mano o en láminas delgadas. La mayoría de las fábricas reflejan controles deposicionales o procesos diagenéticos tempranos. Flügel (2010) define las siguientes:

- Fábricas geopetales: indica la relación entre el techo y el piso en el momento en que la roca era formada; es decir, la polaridad del depósito. Al identificar una fábrica geopetal, será posible comprender la historia deposicional y postdeposicional de las rocas carbonatadas.
- Biofábricas y orientación de los granos: Este tipo de fábrica se caracteriza por patrones específicos definidos por orientación, empaque y clasificación de granos esqueléticos. Reflejan la historia hidrodinámica y sedimentológica de los granos esqueléticos.
- Fábricas laminadas: son causadas por cambios deposicionales, biológicos y diagenéticos. Los factores deposicionales incluyen principalmente cambios en las tasas de sedimentación y en la composición del sedimento, y alternancias de fases de sedimentación y no sedimentación. Los controles biológicos son predominantemente un resultado de la interacción de microbios y esteras microbianas con su entorno físico y químico y su influencia sobre la unión y captura del sedimento. Los procesos diagenéticos que conducen a las estructuras del lecho son la disolución y la cementación dentro del sedimento. La importancia de las láminas de deposición, producidas por las variaciones en el aporte de sedimentos y la producción primaria, son características de los sedimentos hemipelágicos y ocurren en ambientes de aguas poco profundas y profundas. El sedimento se suministra estacionalmente y/o esporádicamente. La preservación y composición de las laminaciones de rocas de carbonato de grano fino son excelentes indicadores de las condiciones paleoclimáticas, del fondo oceánico y de las limitaciones ecológicas de los organismos bentónicos. El análisis de secciones delgadas es un método común para identificar y cuantificar láminas sedimentarias en el contexto de estudios paleoclimáticos de sedimentos tanto marinos como lacustres.
- Fábricas bioturbadas. Es el resultado de la actividad (alimentación, hábitat o tránsito) producida por organismos en o sobre el sedimento y causa cambios en el arreglo textural original del sedimento. Se reconocen tres tipos de bioturbación, (1) producida por la perforación del sedimento realizada por los organismos para adherirse a una superficie, (2) galerías realizadas por organismos en el interior del sedimento para escapar o transitar en busca de alimento y (3) icnofósiles, que son huellas de organismos (pisadas o partes de

su anatomía) en la superficie del sedimento. La madriguera y la bioturbación crean inhomogeneidades en la permeabilidad y porosidad del sedimento, controlan las rutas de migración de fluidos y gases, y aceleran los ciclos elementales (por ejemplo, de carbono, azufre, ciclo del nitrógeno).

- Fábricas nodulares. Se caracteriza por nódulos de centímetros y decímetros que flotan dentro de una matriz, generalmente micrita. Son depósitos originados por la formación de concreciones. Se forman por procesos diagenéticos, sedimentarios y tectónicos.
- Fábricas fenestrales. Ventanas abiertas en rocas carbonatadas llenas de calcita y/o sedimento interno. Los huecos son componentes conspicuos de calizas y formas fábricas características. Existen dos tipos principales de estructuras: Estromatactis y Birdeyes (consulte tabla 3).

**Tabla 3. Características que diferencian la fábrica fenestral Estromatactis y Birdeyes.**

<b>Fábrica fenestrada</b>	<b>Estromatactis</b>	<b>Birdeyes</b>
<b>Forma</b>	Base plana a ondulada y techo dentado	Circular, oval o irregular
<b>Relleno</b>	Micrita en la base y esparita en el techo	Esparita o minerales evaporíticos
<b>Orientación</b>	Subhorizontales e irregulares	Irregular o paralela a la estratificación
<b>Geometría</b>	Estructura de cavidades interconectadas o individuales	Poros individuales
<b>Tamaño</b>	Varios milímetros a decenas de centímetros	Pocos milímetros
<b>Origen más aceptado</b>	Descomposición de tejidos de esponjas, microbial, abiótico	Humectación y desecación del sedimento
<b>Ambiente</b>	Comunes en la zona submareal profunda, logrando también formarse en la zona intermareal	Supramareal, intermareal y submareal superior

## ANTECEDENTES

Se pueden destacar varios trabajos que incluyen el estudio estratigráfico de diversas formaciones geológicas, tanto de la República Mexicana como en el extranjero.

Se documenta la presencia de dunas fósiles en las islas Murciélagos, ubicada al sur de la Península de Santa Elena, en el Noroeste de Costa Rica. Este hallazgo fue documentado por Denyer *et al* en el 2005. Además del informe de las dunas encontradas, presentaron información sobre su morfología, composición, flora, posible origen y edad y, asimismo, analizaron las implicaciones que se derivan de las mismas. En cuanto a su estructura interna, las dunas presentan como rasgo sobresaliente estratificación cruzada decimétrica planar, con ángulos que alcanzan hasta 50°. Se tomaron 50 datos de las estratificaciones cruzadas en las diferentes dunas, donde se observan dos máximos estadísticos muy claros, 330/24° y 249/16°. Los sedimentos de todas las dunas presentan tamaños de grano que oscilan entre -1 y 4,27  $\phi$ .

Riquelme y Blázquez realizaron una caracterización de las eolianitas cuaternarias entre Cap Blanc y el Penyal D'ifac (Litoral Valenciano)" en el año 2001, con el fin de obtener datos que permitieran establecer, en un futuro, la correlación de los abundantes y distintos yacimientos eolianíticos valencianos. Los materiales estudiados fueron de cuatro perfiles, en cuyas muestras se utilizaron diversas metodologías, incluyendo: análisis de la estructura sedimentaria interna, granulometría, interpretación de láminas delgadas, análisis morfoscópico de la fracción arena, micropaleontología y determinación del contenido en carbono. Entre los resultados mencionan que las acumulaciones eólicas difieren notoriamente en sus aspectos sedimentológicos y micropaleontológicos; identificándose dos tipos de sedimentos: el más antiguo, formado por oolitos (92%), contrastando con elementos detríticos terrígenos que se mezclan con bioclastos. Estas diferencias indicaron condiciones ambientales y geodinámicas distintas, debido a procesos tafonómicos. En las láminas delgadas, los oolitos se distinguieron por estructuras concéntricas laminadas y constituidos por núcleos de calcita de distintas morfologías (esféricas y ovoides); mientras que los depósitos biocalcareníicos estaban formados por granos calcáreos de calcita, limolita, sílice, bioclastos, entre otros. En el análisis micropaleontológico, la unidad basal de oolitos presentó muy bajo contenido, en contraste con la unidad biocalcareníica donde se encontraron frecuentes foraminíferos.

Fornós *et. al.* (2007) realizaron una reconstrucción de la evolución geomorfológica de un tipo de duna muy característica y compleja en su relación con un acantilado presente en la isla de Mallorca. Para ello, se analizaron láminas delgadas y se tomaron microfotografías de los sedimentos eólicos, así como fotografías con microscopio electrónico que mostraron una buena clasificación de los sedimentos y un bajo grado de cementación. Esto mostró que los contactos entre los depósitos coluviales y eólicos son netos y relativamente planos, indicando un inicio relativamente repentino de la actividad eólica. Asimismo, las muestras fueron datadas mediante técnicas de radiocarbono; indicando que la duna inferior da una edad de 28.980 años BP. Esta datación implicaría que el depósito dunar correspondería al último estadio glacial correspondiendo a un nivel de mar bajo (MIS 3), unos 50 m inferior al actual. Por último, se identificaron icnitas y pistas de vertebrados en estas dunas, y se encontró que la mayor parte de las eolianitas pleistocenas tuvieron como característica diferencial rastros de *Myotragus balearicus*.

Gutiérrez-Ayala *et. al.* (2012) realizaron una reconstrucción paleoambiental del Holoceno tardío de la reserva Los Petenes, Península de Yucatán, México, para identificar los cambios en la dinámica hidrológica, ecológica, costera y climática ocurridos durante el Holoceno tardío, a partir del análisis de polen, carbón orgánico total (COT) y carbonatos. Se extrajeron núcleos de sedimento semicilíndricos de 50 cm de largo sin comprimir. La cronología se estableció por medio de la datación radiocarbono AMS de tres muestras (sedimento y material orgánico). La extracción de polen se realizó mediante técnicas de extracción estándar y se llevó a cabo un conteo mínimo de 300 granos de polen de 51 muestras para cada profundidad bajo microscopía óptica con el objetivo de 400X y 1000X. La identificación se realizó con ayuda de las claves desarrolladas por Palacios-Chávez *et al.* (1991), Sánchez-Dzib *et al.* (2009) y la colección palinológica del herbario de ECOSUR. Entre los resultados destacan los siguientes: el sedimento a lo largo de la columna es predominantemente de origen orgánico tipo *peat* (turba) y se identificaron 50 taxas de polen distribuidos en 37 familias. Los cambios en la vegetación durante el Holoceno medio y tardío muestran una respuesta a la dinámica hidrológica de la zona, lo que podría estar asociada con la influencia de incursiones marinas en la región, relacionadas a cambios en el Golfo de México

Spaw (1978) realizó un estudio para delimitar las facies presentes en Cozumel, a través de reconocimiento en campo y después por datos mineralógicos y petrológicos. Se comparó la estratigrafía de la isla con la del este de Yucatán y se compararon ambas secuencias estratigráficas con el historial de fluctuaciones eustáticas del nivel del mar del Pleistoceno tardío para reconstruir la secuencia deposicional de eventos para la isla y segregar cualquier componente tectónico que pueda haber estado activado. Reportó la presencia de, al menos, dos periodos de hundimiento con deposición asociada de aguas someras y dos periodos intermedios de emergencia asociada con diagénesis vadosa subárea durante el Pleistoceno Tardío, encontrándose también roca de playa del Holoceno. Menciona que la deposición de arena y carbonato de moluscos de arrecifes de coral y aguas someras ocurrió durante el nivel del mar, posiblemente asociado con la edad interglaciar Yarmouth. El nivel del mar bajó durante la edad glacial Illinoian. El nivel del mar se levantó durante el interglaciar Sangamon a un máximo de alrededor 8 metros encima del nivel actual, alrededor de los  $121,000 \pm 6,000$  años, convirtiéndose nuevamente el banco sumergido de Cozumel en una fábrica de carbonato con arrecifes periféricos. El nivel del mar cayó en respuesta a la Glaciación de Wisconsin, haciendo una pausa a un nivel varios metros debajo del nivel del mar presente, formándose grandes dunas en el borde oriental de la isla subaerialmente expuesta en la parte superior del arrecife que se había formado durante el interglaciar Sangamon. El nivel del mar continuó cayendo hasta que alcanzó una caída máxima de más de -100 m entre 15,000 y 20,000 años. Durante este período de retirada del nivel del mar y a su máxima baja posición, la isla estuvo expuesta a una diagénesis subaérea y el caliche se desarrolló. El nivel del mar comenzó su elevación final y la deposición de sedimentos del Holoceno en la estrecha plataforma continental que rodea la isla y la erosión de las eolianitas y roca de arrecife comenzó.

## JUSTIFICACIÓN

La interpretación de los afloramientos es una herramienta útil para conocer los paleoambientes, permitiendo conocer la historia del planeta, los cambios que ha presentado por los movimientos de las placas, entre otras cosas. Entender el pasado ayuda a predecir el futuro. Esto se debe a que el conocimiento de los paleoambientes posibilita la comprensión de las razones y los ritmos de los cambios climáticos. A su vez, los paleoambientes proporcionan datos sobre la biodiversidad y cómo algunos linajes y especies han desaparecido; para ello, los fósiles son los responsables de proporcionar estos conocimientos, siendo de gran contribución para establecer edades relativas. La importancia de los componentes fósiles en las rocas radica en que sus esqueletos son un reflejo de la distribución temporal y espacial de organismos. Por otra parte, los grupos microfaunísticos presentes en las muestras, en conjunto, reflejan el ambiente y las condiciones que prevalecieron en el área de estudio, indicando si esos grupos pueden o no ser susceptibles a variaciones de ciertos factores que van a controlar el ambiente que es óptimo para su existencia (Santana-Salas, 2012).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente trabajo atiende la necesidad de aportar información que ayude al mayor entendimiento de los eventos deposicionales ocurridos en la Isla de Cozumel, logrando contribuir con resultados más detallado de los ambientes que se han presentado en la misma. Los cambios climáticos siempre han estado presentes desde el primer momento en que se originó la vida en la Tierra; a lo largo de la historia, ésta ha presenciado diferentes tipos de climas, tanto de glaciaciones como de ambientes con temperaturas elevadas. Hay que considerar que ésta no es un sistema estático; al contrario, siempre está en constante cambio y no se puede detener esta dinámica natural cambiante. No obstante, estos cambios ambientales han dado lugar a los diferentes tipos de vida que ha tenido la Tierra y, por consiguiente, debido al cambio del entorno, también ha cambiado la flora y fauna.

Según Spaw (1978), la Isla de Cozumel estuvo expuesta a cambios en los niveles del mar por medio de procesos de regresión y transgresión marina. Él menciona, al menos 4 eventos, dos de regresión y dos de transgresión. Asimismo, señala que las facies que estimó van de ambientes de depósito coralinos hasta caliche.

Por lo tanto, la pregunta de investigación es: ¿Cuáles son los ambientes de depósito que presentó la isla de Cozumel y que permiten corroborar las fluctuaciones eustáticas del nivel del mar?

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar una reconstrucción paleoambiental de la isla a partir de dos depósitos cuaternarios.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

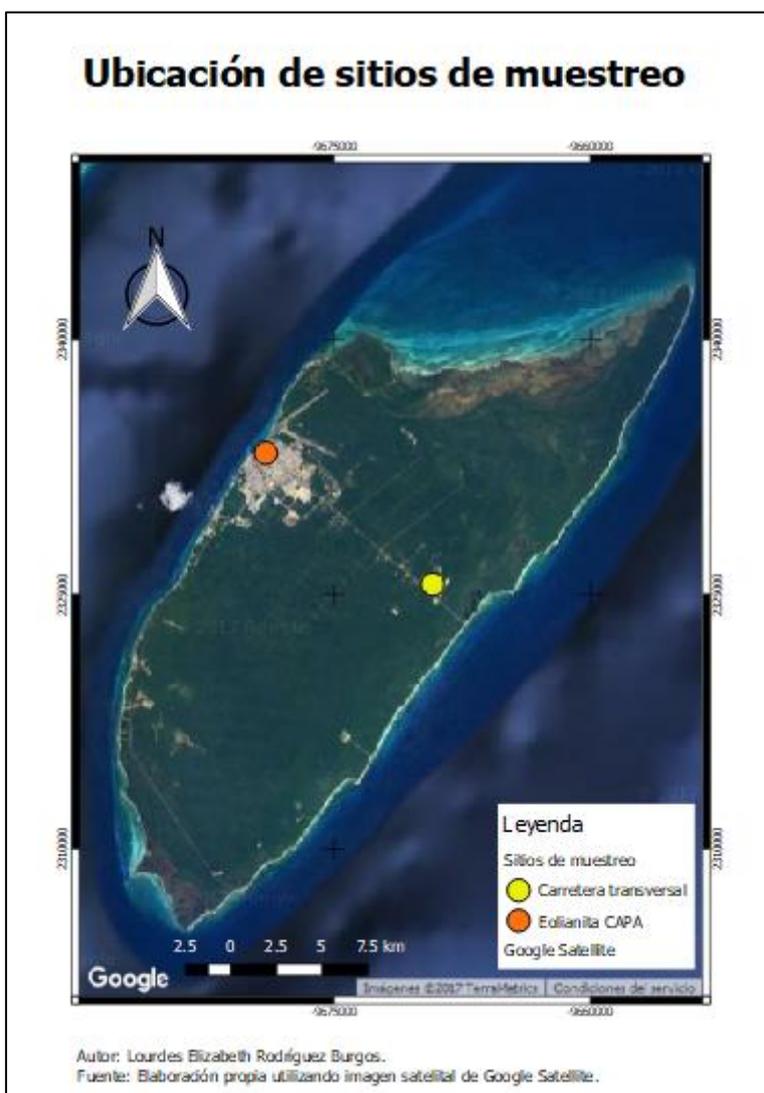
Realizar el estudio de secciones estratigráficas de los sitios de muestreo.

Establecer una sistemática paleontológica de los fósiles encontrados.

Analizar las microfacies, mediante la descripción de láminas delgadas del afloramiento.

### ÁREA DE ESTUDIO

La Isla de Cozumel forma parte del Estado de Quintana Roo. Se localiza en el Mar Caribe, hacia el extremo este de la Península de Yucatán, a cuya costa hay una distancia de alrededor de 20 km. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 20°15' y 20°35' de Latitud Norte y los meridianos 86°45' de Longitud Oeste (Lesser-Jones *et al.*, 1978). Sus dimensiones mayores son 45 kilómetros de largo por 17 kilómetros de ancho, con una superficie de 864 km<sup>2</sup> (Alba, 2013). Tiene un clima subtropical con precipitaciones estacionales moderadas, humedad alta y temperaturas cálidas casi constantes. Las direcciones del viento son del Noreste al Este en invierno y de Sureste a Este en verano (Spaw, 1978).



**Mapa 1. Mapa de sitios de muestreo.** El mapa muestra los dos puntos donde se realizó el levantamiento de muestras. El círculo amarillo indica la cantera de la carretera transversal (CTN), mientras que el círculo naranja es la eolianita de CAPA.

La cantera se localiza cerca de la carretera transversal. Se ubica en las coordenadas 16 Q 0514587 x, 2260524 y. El perfil que se levantó se encuentra en la pared sur de la misma. Posee una cueva de franco de margen y una altura de aproximadamente 3.5 m. Presenta dos paquetes de roca, una debajo de caliza rojizo-crema con fósiles y estructuras paleokársticas y el paquete superior es arenoso con estratificación cruzada que termina en una roca parecida al caliche.

El segundo sitio de estudio es un depósito eólico ubicado en la zona occidental de la isla, en la colonia Centro de la mancha urbana, donde se encuentran las oficinas de CAPA, ubicado en las coordenadas 16 Q 0505452 x, 2267715 y. El perfil que se levantó se encuentra en la pared de la calle 1° entre 10 y 15 avenida. Presenta una estratificación cruzada y se pueden encontrar fósiles de moluscos (véase mapa 1).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se dividió en dos partes: el trabajo *in situ* y el trabajo en laboratorio. En campo, se realizaron visitas a los sitios seleccionados de muestreo: la cantera transversal y el afloramiento "CAPA". Para la cantera cercana a la carretera transversal ("CTN") se tomaron cuatro muestras y en el afloramiento denominado "CAPA", dos. Para tomar la muestra, se utilizó un mazo y un cincel, depositando las mismas en bolsas de plástico con su etiqueta correspondiente, indicando el acrónimo de la pared a la que pertenecía y el número de estrato, siendo el número 1 el más joven. A su vez, se colectaron fósiles de bivalvos y gasterópodos del estrato más viejo y se etiquetaron. En la libreta de campo se anotó a qué altura de la pared se encontraban las muestras que fueron tomadas, las coordenadas del lugar y una descripción del afloramiento.

Posterior a la toma de muestras, se capturaron fotos de los afloramientos con la cámara Nikon D5100. Las fotos se tomaron a lo largo del afloramiento en dirección de este a oeste de la pared. Éstas se emplearon para formar un fotomosaico, utilizando el software Adobe Photoshop.

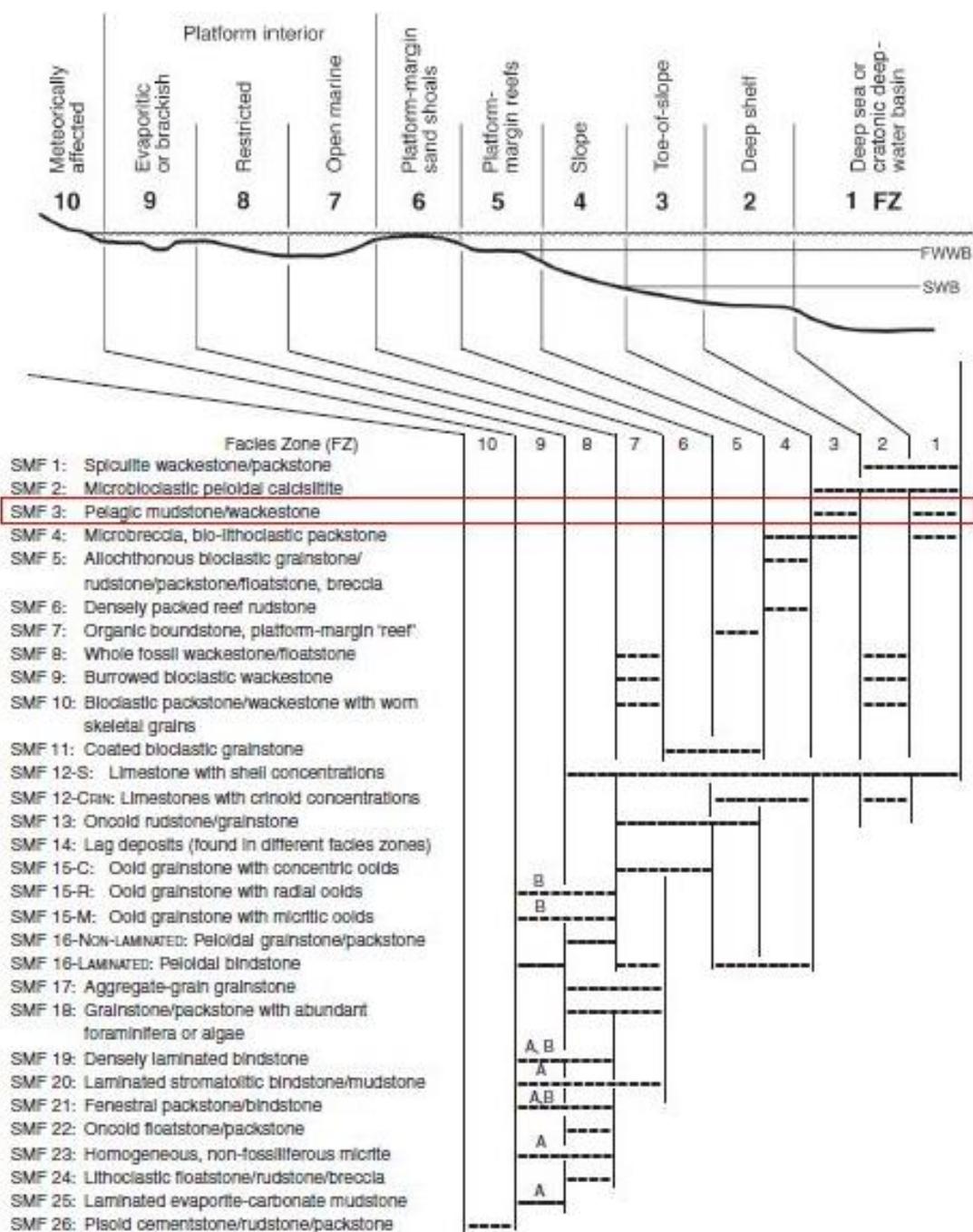
En laboratorio, las muestras se cortaron en láminas delgadas. Las muestras se cortaron con la cortadora de diamante de disco continuo. Se saturó la parte superior de la muestra con una resina comercial llamada "kola-loca" y se pulió con la pulidora MetaServ modelo 2000 marca Buehler con una lija de tamaño 80; cuando la muestra obtuvo una cobertura homogénea, se pulió de manera manual con lijas de los siguientes tamaños: 120, 400 y 600. Para montar la muestra, se colocó otra resina en la muestra pulida y se colocó sobre un portaobjetos grande y se dejó secar, evitando la formación de burbujas. Por último, la muestra fue colocada en una desbastadora PetroThin marca Buehler para realizar otro corte de éste, se pulió a mano con carburo de silicio y se marcó la clave de la muestra.

Para la observación de muestras, se utilizó el microscopio petrográfico marca Leica modelo DMLSP con objetivos 4x y 10x, las fotos fueron tomadas con la cámara Media Cybernetics Evolution MP y éstas fueron proyectadas en la computadora con el software QCapture.

Para la descripción de las microfacies, se siguieron los lineamientos descritos por Flügel (2010) en cuestión de tipo de fábrica y contenido biológico y no biológico. La

textura se describió mediante la clasificación de Dunham (1962) con modificación de Embry y Klovan (1971). Para estimar el porcentaje de contenido aloquímico y ortoquímico de las muestras, se utilizaron los diagramas de Baccelle y Bosellini (1965). Mediante la observación, el porcentaje de contenido aloquímico se dividió entre el material biológico y granos no biológicos encontrados en las láminas y se les asignó un nombre conforme su contenido y su tipo de textura. Por otra parte, con lo observado en las láminas y en el campo, se realizaron columnas estratigráficas con el software SedLog 3.1.

La interpretación se llevó a cabo conforme al nombre asignado después de la descripción de las láminas. Ésta se realizó mediante los Tipos de Microfacies Estándar (SMF) descritas por Flügel (2010), mismas que fueron de utilidad para asignar a cada lámina su Zona de Facies (FZ) del modelo de plataforma bordeada de carbonatos de Wilson (1975) (consulte figura 5).



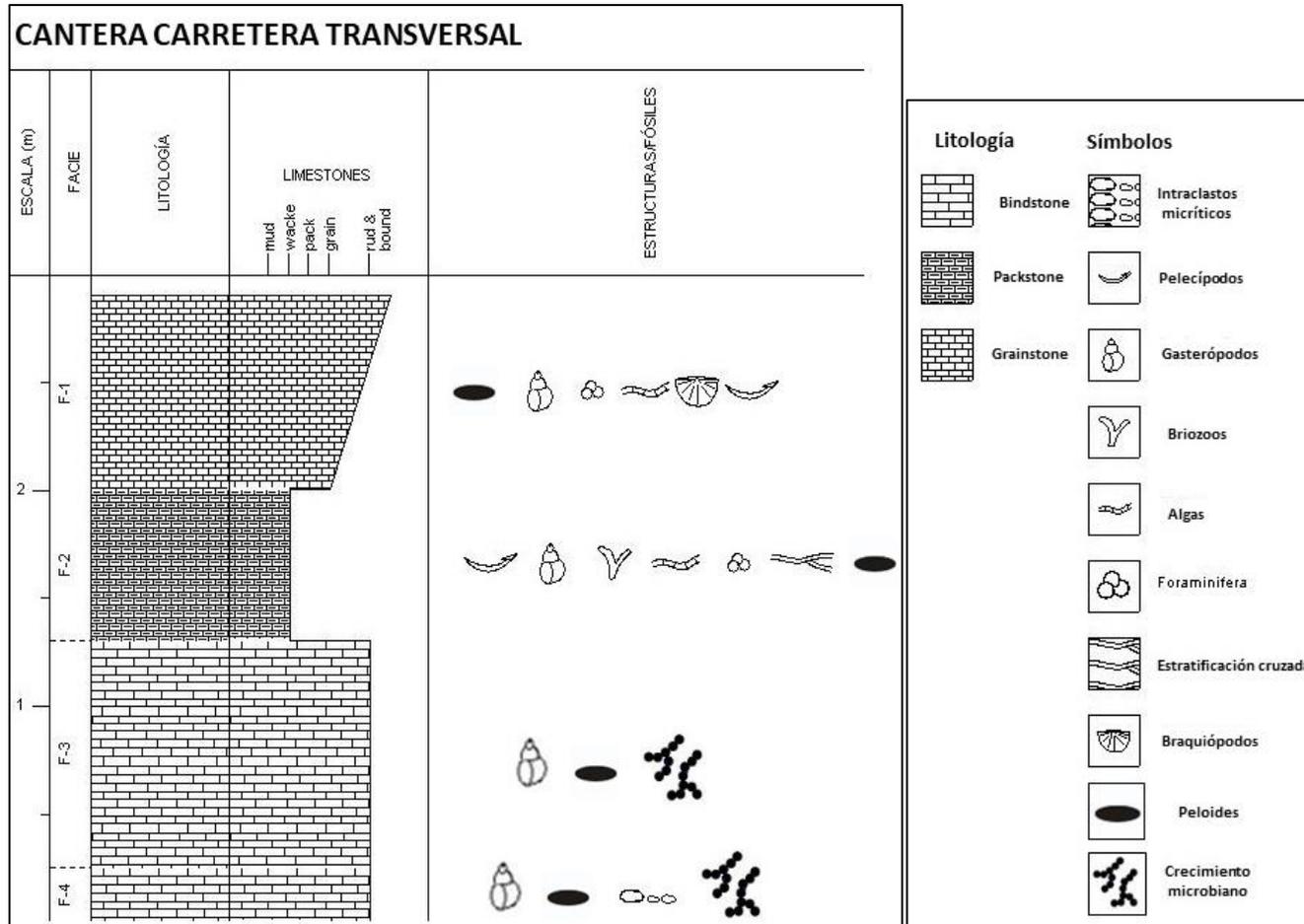
**Figura 5. Tipos de Microfacies Estándar (SMF) ubicadas en el modelo de Wilson de Cinturón Facial (FZ). Imagen recuperada de Flügel (2010).**

Los fósiles se identificaron a nivel género, auxiliándose de bibliografía especializada. Asimismo, con ayuda de un vernier, se midieron las dimensiones de los bivalvos (longitud, altura y diámetro mayor) y de los gasterópodos (altura y diámetro mayor) en milímetros, realizando un dibujo del organismo e indicando el número y clave del ejemplar y se tomaron fotos con la cámara Nikon D5100.



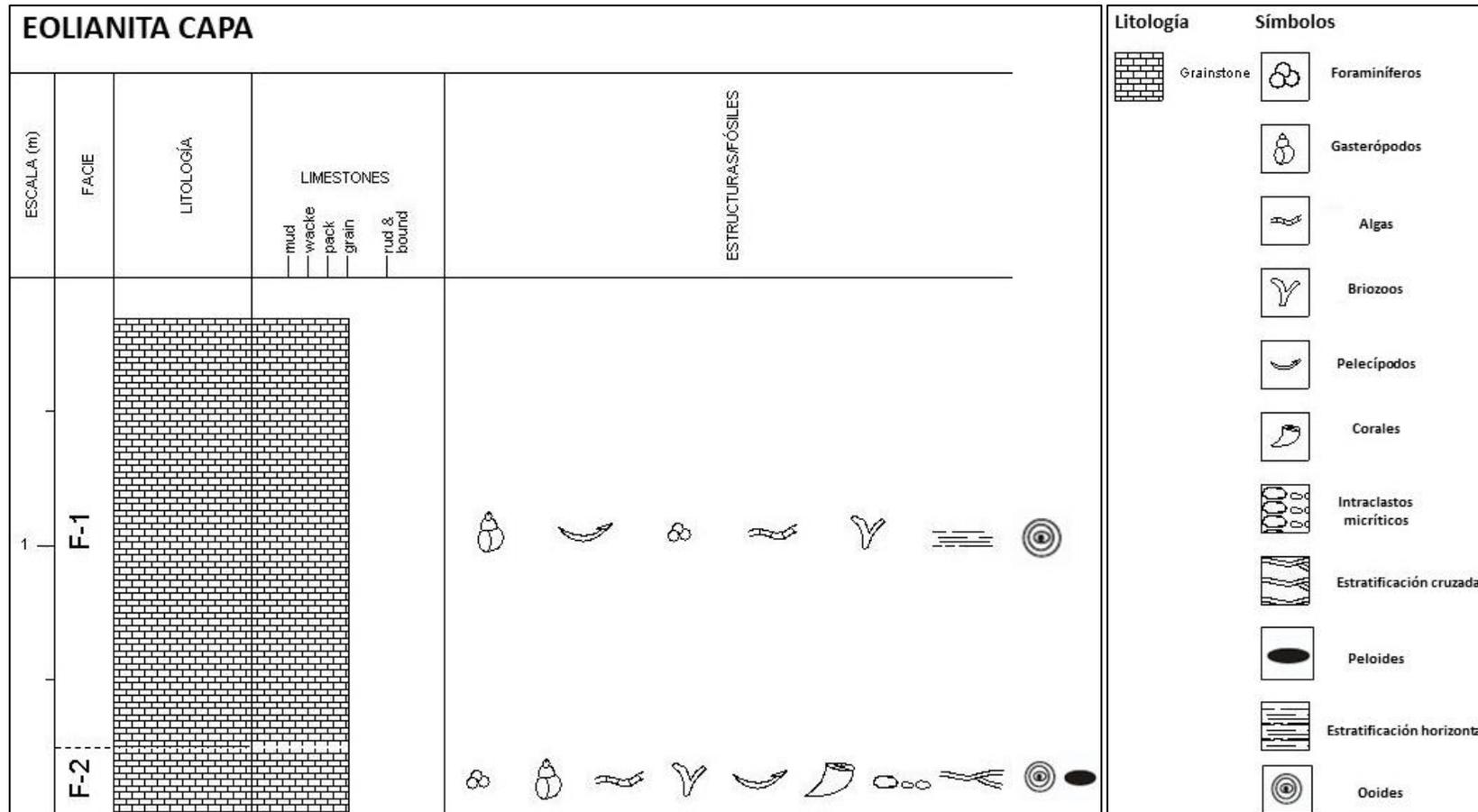


**Figura 7. Sección estratigráfica del afloramiento CAPA.** Depósito eólico ubicada en la zona occidental de la Isla de Cozumel, situada en la mancha urbana. Presenta dos paquetes. El paquete de abajo (CAPA 2) se caracteriza por una evidente estratificación cruzada (EC), indicio de una gran energía en el ambiente; es un material fácilmente degradable; asimismo, en este estrato se pueden apreciar moluscos fósiles. En contraste, la parte superior (CAPA 1) es un paquete más consolidado de color crema con manchones oscuros y posee, en algunas partes, estratificación horizontal (EH).



**Figura 8. Columna estratigráfica del afloramiento Cantera de la Carretera Transversal (CNT).** Se dividieron en cuatro facies, recordando que la 1 es la facie más joven. La facie 1 es un Grainstone que, por el tamaño de sus granos, alcanza la categoría de Rudstone. En esta facie se encontró peloides tipo pellets, gasterópodos, algas verdes y rojas, pelecípodos, foraminíferos bentónicos y un fragmento de un braquiópodo. En la facie 2, la textura se clasificó como Packstone, debido a que es grano soportada, pero contiene lodo. Su contenido aloquímico es similar a la facie 2, diferenciándose en que éste

cuenta con la presencia de briozoos, pero no de braquiópodos y, en partes, se logra apreciar estratificación cruzada. Las facies 3 y 4 son similares; ambos poseen textura tipo Bindstone porque los componentes estaban unidos durante el depósito; asimismo, se denota la presencia de crecimiento microbiano, peloides y, para la facie 4, se agrega la presencia de intraclastos micríticos y moluscos fósiles macroscópicos.



**Figura 9. Columna estratigráfica de CAPA.** Se dividieron en dos facies. Ambas son muy similares, debido a que poseen una textura Grainstone y su contenido aloquímico es similar. Se encontraron gasterópodos, pelecípodos, algas verdes y rojas, foraminíferos bentónicos, briozos, ooides y, para la facie 2, también se encontraron peloides, intraclastos micríticos y fragmentos de coral. La facie 2 presenta una estratificación cruzada, característico de un ambiente de alta energía y gran oleaje. En la facie 1 se logra apreciar, en algunas partes, estratificación horizontal.

## Sistemática paleontológica de moluscos

En esta sección se describen los moluscos fósiles encontrados en el estrato 4 del afloramiento CTN. La descripción consiste en indicar el número del ejemplar, la taxonomía de éste hasta nivel género y se mencionan las dimensiones en milímetros. Asimismo, se describen las características de los especímenes, la localidad donde se colectó y su edad estimada. Por último, se anexan fotos.

### 1. *Olivella*

Ejemplar n° LCB-1

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Orden: Neogastropoda

Familia: Olividae

Género: *Olivella* (Swainson, 1831)

Dimensiones (mm)

Altura: 9

Diámetro mayor: 4

Descripción: Concha de tamaño medio, subcilíndrica, ovoide, gruesa, superficie pulida. La espira es baja de tres a cuatro vueltas incluyendo el núcleo. La vuelta del cuerpo es grande, lisa, de tres vueltas (fig. 11 y 13). Los lados de la vuelta de la espira son planos. La abertura llega a la mitad del cuerpo y es estrecha (fig.12). El labio interno posee pliegues oblicuos (fig 10). Edad estimada: Plioceno-Pleistoceno (Perrilliat, 1968).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 10-13.** Gasterópodo del Género *Olivella* (Swainson, 1831) (9 x 4 mm).

**2. c.f. *Bullata***

Ejemplar n° LCB-2

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Orden: Neogastropoda

Familia: Marginellidae

Género: c.f. *Bullata* (Jousseaume, 1875)

Dimensiones (mm)

Altura: 35

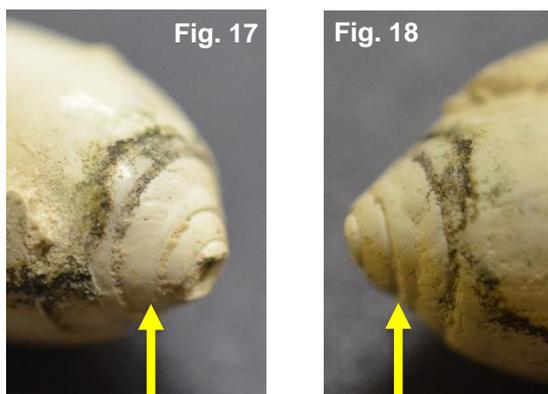
Diámetro mayor: 16

Descripción: La concha es pequeña, sólida y ancha. La espira es muy pequeña, formada de tres vueltas (fig. 17 y 18). La superficie de la concha es lisa y pulida (fig. 15). La vuelta del cuerpo es de perfil convexo. La abertura es tan larga como la concha con sus lados paralelos (fig. 14). El labio externo es grueso y ancho. La columela tiene cuatro pliegues fuertes y anchos (fig. 16). El núcleo del único ejemplar se encuentra poco conservado. Edad estimada: Mioceno Medio (Perrilliat, 1973).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 14-16.** Gasterópodo del Género *Bullata* (Jousseaume, 1875) (35 x 16 mm).



**Figuras 17 y 18.** Gasterópodo del Género *Bullata* (Jousseume, 1875) (35 x 16 mm). En la imagen se puede apreciar las tres vueltas de la espira.

### 3. *Conus*

Ejemplar n° LCB-3

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Orden: Sorbeoconcha

Familia: Conidae

Subfamilia: Coninae

Género: *Conus* (Linnaeus, 1758).

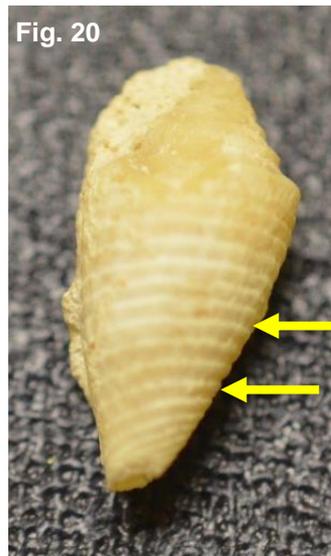
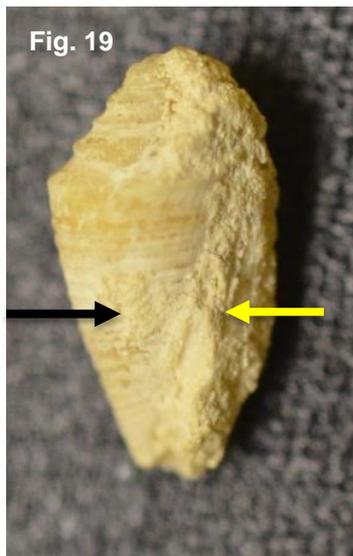
Dimensiones (mm)

Altura: 13

Diámetro mayor: 7

Descripción: La concha es de tamaño medio, bicónica (fig. 19). La espira está formada de siete vueltas, incluyendo al núcleo (fig. 22). La vuelta del cuerpo es grande de perfil ligeramente redondeado y la ornamentación consiste en 18-20 costillas anchas y planas, separadas por interespacios de la mitad del ancho de las costillas (fig. 20 y 21). La abertura es estrecha, de bordes paralelos (fig. 19). El canal anterior es estrecho y largo. Edad estimada: Mioceno Medio (Perrilliat, 1973).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 19-22** Gasterópodo del Género *Conus* (Linnaeus, 1758). (13 x 7 mm).

#### 4. *Cancellaria*

Ejemplar n° LCB-4

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Subclase: Prosobranchia

Orden: Neogastropoda

Familia: Cancellaridae

Género: *Cancellaria* (Lamarck, 1799)

Dimensiones (mm)

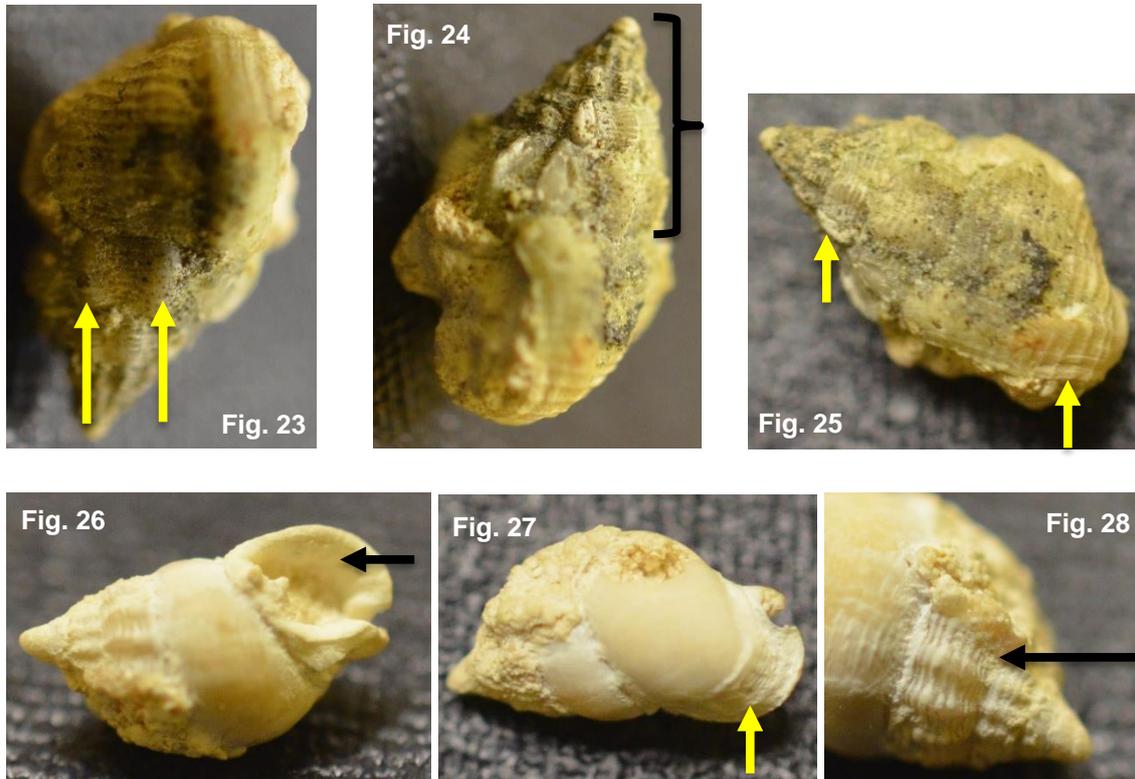
Altura: 12

Diámetro mayor: 7.5

Descripción: La concha es de tamaño pequeño, bicónica, con espira alta, formada de cinco vueltas de perfil convexo y sutura impresa (fig. 24 y 28). La escultura espiral es de costillas e hilos muy finos (líneas de crecimiento) (fig. 25). La escultura axial es de costillas bajas, redondas, ligeramente inclinadas con interespacios del doble del ancho de las costillas (fig. 23). En las vueltas de la espira hay trece costillas. En la vuelta del

cuerpo hay diez costillas, con hilos espirales intercalados. Entre la última costilla y la sutura existen tres hilos mucho más débiles. La columela es ancha y su canal anterior es corto (fig. 26 y 27). Edad estimada: Mioceno Medio (Perrilliat, 1973).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 23-28.** Gasterópodo del Género *Cancellaria* (Lamarck, 1799) (12 x 7.5 mm).

### 5. *Volvarina*

Ejemplar n° LCB-5

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Subclase: Prosobranchia

Orden: Neogastropoda

Familia: Marginellidae

Género: *Volvarina* (Hinds, 1844)

Dimensiones (mm)

Altura: 11

Diámetro mayor: 4

Descripción: Concha de 9 mm de altura y 4 mm de diámetro mayor, delgada. La espira es alta, formada de tres vueltas de perfil plano (fig. 30). La sutura es impresa y está cubierta por un callo ligero. Toda la superficie de la concha es lisa y pulida (fig. 29). Posee una vuelta del cuerpo pronunciada. La abertura es larga, ancha en la parte superior y adelgazada en la parte posterior (fig. 31). La columela se encuentra poco conservada (fig. 29). Edad estimada: Mioceno Medio (Perrilliat, 1973).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 29-31.** Gasterópodo del Género *Volvarina* (Hinds, 1844) (11 x 4 mm).

## 6. *Bulla*

Ejemplar n° LCB-6

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Subclase: Opisthobranchia

Orden: Cephalaspidea

Familia: Bullidae

Género: *Bulla* (Linnaeus, 1758)

Dimensiones (mm)

Altura: 18

Diámetro mayor: 11

Descripción: Concha mediana de forma ovalada y gruesa. Su cuerpo posee líneas de crecimiento (fig. 33). La abertura es ligeramente ancha en la parte inferior, haciéndose más angosta en la parte superior y es tan larga como el resto de la concha (fig. 32 y 34). Su labio interno posee un pliegue (fig. 32). Núcleo bien conservado (fig. 35) (Shimer y Shrock, 1944).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 32-35.** Gasterópodo del Género *Bulla* (Linnaeus, 1758) (18 x 11 mm).

### 7. *Pleurofusia*

Ejemplar n° LCB-7

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Gastropoda

Orden: Neogastropoda

Familia: Turridae

Subfamilia: Turriculinae

Género: *Pleurofusia* (De Gregorio, 1890)

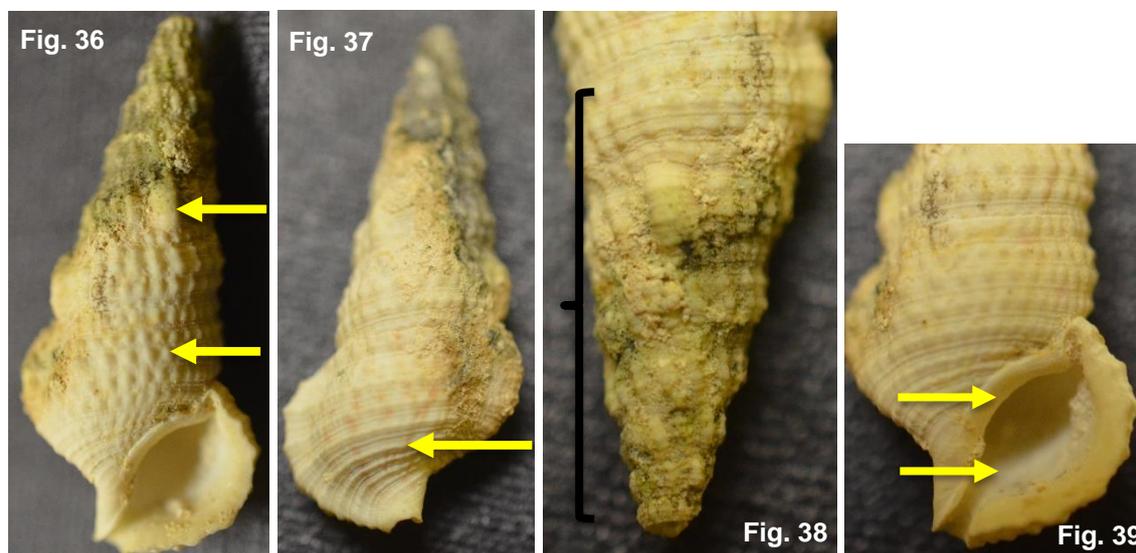
Dimensiones (mm)

Altura: 30

Diámetro mayor: 22

Descripción: La concha es de tamaño medio y delgada. El núcleo es fuerte, de tres vueltas. Las vueltas de la espira son siete, de perfil convexo, que aumentan de diámetro gradualmente (fig. 38). La sutura se encuentra bien marcada. La escultura axial es de costillas anchas (fig. 36), nueve en la última vuelta de la espira y diez en la vuelta del cuerpo. La escultura espiral consiste en líneas de crecimiento gruesos y delgados (fig. 37) y presenta nódulos en sus líneas de crecimiento (fig. 36). El pilar presenta diecisiete hilos espirales. La abertura (columela) es corta y pronunciada (fig. 39). El canal anterior es largo y angosto, ligeramente curvado y su labio interno presenta un pliegue (fig. 39). Edad estimada: Mioceno Medio (Perrilliat, 1973).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 36-39.** Gasterópodo del Género *Pleurofusia* (De Gregorio, 1890) (30 x 22 mm).

## 8. *Chione*

Ejemplar n° LCB-8

Reino: Animalia

Phyllum: Mollusca

Clase: Bivalva

Subclase: Heterodonta

Orden: Veneroida

Superfamilia: Veneroidea

Familia: Veneridae

Género: *Chione* (Mühlfeld, 1811)

Dimensiones (mm)

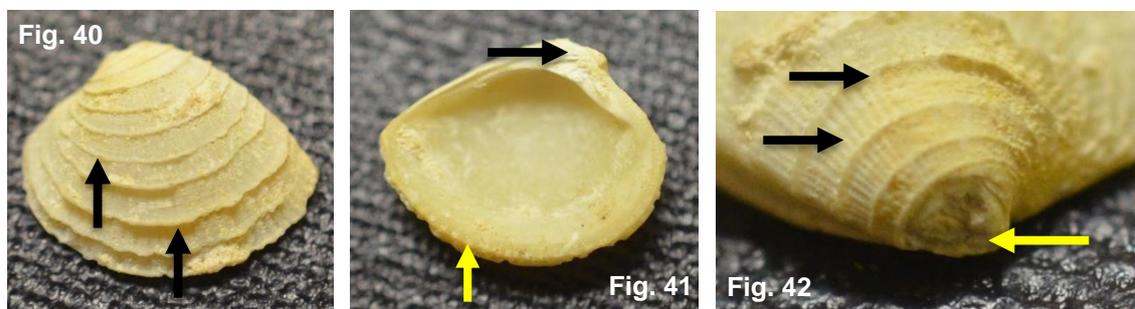
Longitud: 12

Altura: 9

Diámetro mayor: 3

Descripción: La concha es de tamaño medio, alta, triangular redondeada, algo inequilateral. Los umbones son altos, lisos (fig. 42). La lúnula es larga y está ornamentada por continuaciones de las lamelas concéntricas, el escudo está limitado por un surco angular (fig.41). Las marcas de los músculos aductores son pequeños, siendo de mayor tamaño la posterior (fig.41). El margen interno es crenulado. La ornamentación de la concha consiste en diez costillas concéntricas bien marcadas y ampliamente espaciadas, extendiéndose a través de los interespacios y de líneas de crecimiento (fig. 40 y 42). Edad estimada: Mioceno-Medio (Perrilliat, 1984).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 40-42.** Bivalvo del Género *Chione* (Mühlfeld, 1811) (12 x 9 x 3 mm).

## 9. *Corbula*

Ejemplar n° LCB-9

Reino: Animalia

Phyllum: Mollusca

Clase: Bivalva

Subclase: Heterodonta

Orden: Myoida

Superfamilia: Myoidea

Familia: Corbulidae

Género: *Corbula* (Bruguiere, 1797)

Dimensiones (mm)

Longitud: 10

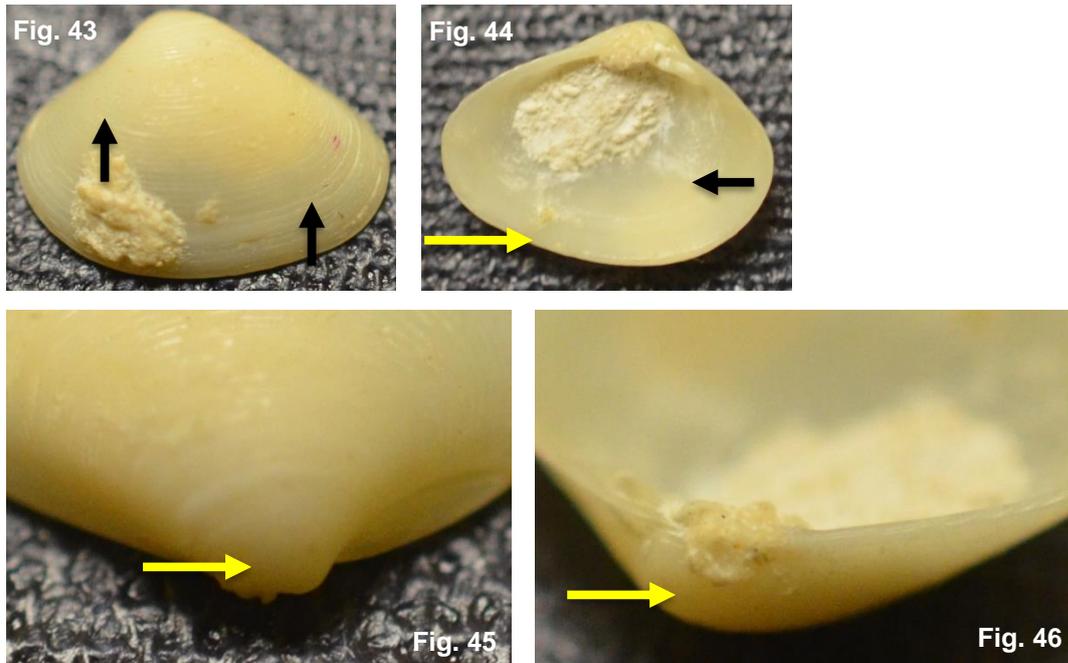
Altura: 8

Diámetro mayor: 3.5

Descripción: Valva derecha. Concha de tamaño medio, alta, triangular, inflada, moderadamente inequilateral, la extremidad posterior ligeramente más extendida. El umbo es alto, liso, fuertemente curvado (fig. 45 y 46). La escultura de la concha consiste en líneas de crecimiento muy bien marcadas (fig. 43). Las marcas de los músculos

aductores son pequeñas (fig.44). La parte posterior de la concha es lisa (fig. 44), mientras que la anterior es de líneas concéntricas finas de 10 a 12 hilos radiales angostos (fig. 43). Edad estimada: Mioceno Medio (Perrilliat, 1984).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



**Figura 43-46.** Bivalvo del Género *Corbula* (Brugiere, 1797) (10 x 8 x 3.5 mm).

#### 10. c.f. *Gastrochaena*

Ejemplar n° LCB-10

Reino: Animalia

Phyllum: Mollusca

Clase: Bivalva

Subclase: Heterodonta

Orden: Myoida

Superfamilia: Gastrochaenoidea

Familia: Gastrochaenidae

Género: *Gastrochaena* (Spengler, 1783)

Dimensiones (mm)

Longitud: 28

Altura: 14

Diámetro mayor: 7

Descripción: Concha de tamaño largo. Posee costillas que crecen desde el umbo (fig. 48) y se van haciendo más marcadas conforme llegan a la parte inferior de la concha. Asimismo, posee tres costillas concéntricas y se logran apreciar algunos nódulos cerca de las costillas (fig. 47).

Localidad: Cozumel, Quintana Roo, México. Cantera de la transversal del lado noreste de la isla. Aproximadamente, a 1.5 km de la costa oriental.



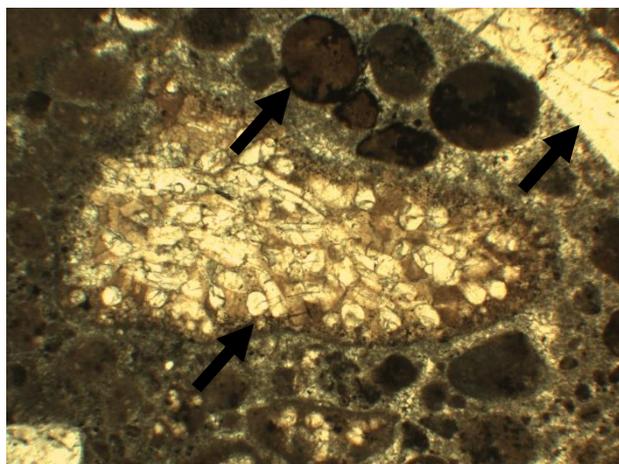
**Figura 47 y 48.** Bivalvo del Género *Gastrochaena* (Spengler, 1783) (28 x 14 x 7 mm).

## Descripción de láminas delgadas

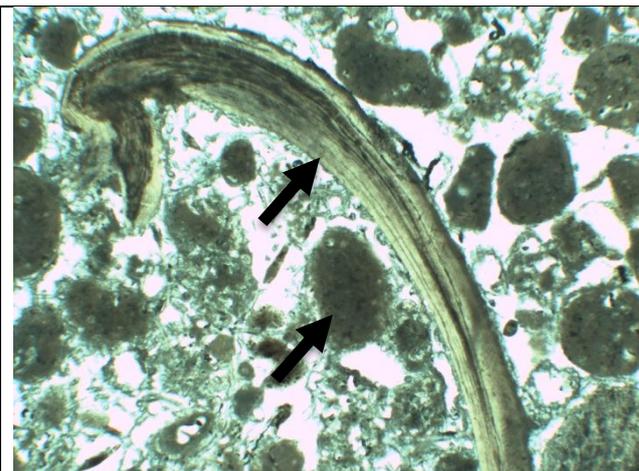
A continuación, se describen las láminas delgadas de cada afloramiento según lo observado en microscopio. Se incluye el número de la lámina, la textura que posee (grano o lodo soportada), el tipo de fábrica, su contenido aloquímico (en porcentaje) y su clasificación según Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971). En el caso de CTN 2 se agregó el tipo de matriz, debido a que la textura de esta lámina contenía microesparita. Al final de cada descripción, se anexan fotos que ilustran lo descrito.

### Afloramiento Carretera Transversal (CTN)

<b>No. Lámina</b>	CTN 1
<b>Textura</b>	Grano soportado. <b>A:</b> 60 %; <b>O:</b> 40 %
<b>Fábrica</b>	Indefinida
<b>Contenido Aloquímico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peloides/pellets 30 %</li> <li>• Pelecípodos 12 %</li> <li>• Gasterópodos 3 %</li> <li>• Foraminíferos bentónicos 4 %</li> <li>• Algas rojas 8 %</li> <li>• Algas verdes 3 %</li> <li>• Braquiópodos traza</li> </ul>
<b>Clasificación Dunham (1962) /Embry y Klovan (1971).</b>	Rudstone de pelecípodos con abundantes pellets y algas rojas, presencia de foraminíferos bentónicos, algas verdes, gasterópodos y fragmentos de braquiópodos.



**Figura 49.** Alga verde con abundantes pellets a su alrededor. En la parte superior derecha se aprecia el fragmento de un pelecípodo, indicado por flechas.

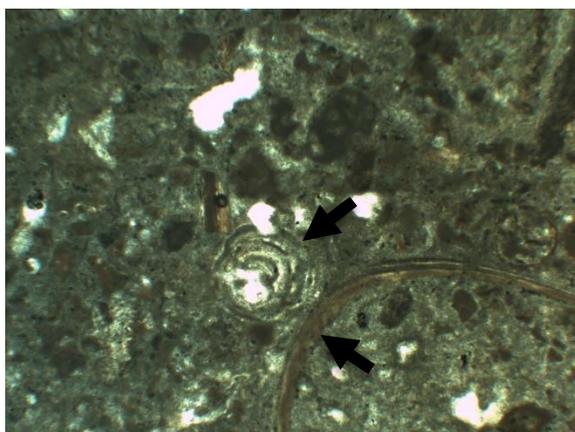


**Figura 50.** Fragmento de pelecípodo con pellets a su alrededor, indicado por flechas.

<b>No. Lámina</b>	CTN 2
<b>Textura</b>	Grano soportado. <b>A:</b> 60 %; <b>O:</b> 40 %
<b>Fábrica</b>	Indefinida
<b>Matriz</b>	Microesparita <b>Color GSM:</b> 5Y 5/6 marrón olivo claro.
<b>Contenido Aloquímico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peloides 22 %</li> <li>• Gasterópodos 6 %</li> <li>• Foraminíferos bentónicos 19 %</li> <li>• Algas verdes 3 %</li> <li>• Briozoarios 2 %</li> <li>• Pelecípodos 8 %</li> <li>• Algas rojas traza</li> </ul>
<b>Clasificación Dunham (1962) /Embry y Klovan (1971).</b>	Packstone de gasterópodos, peloides con abundantes foraminíferos bentónicos, incluyendo foraminíferos miliólidos, con presencia de pelecípodos y, en menor medida, algas verdes, briozoarios y algas rojas.

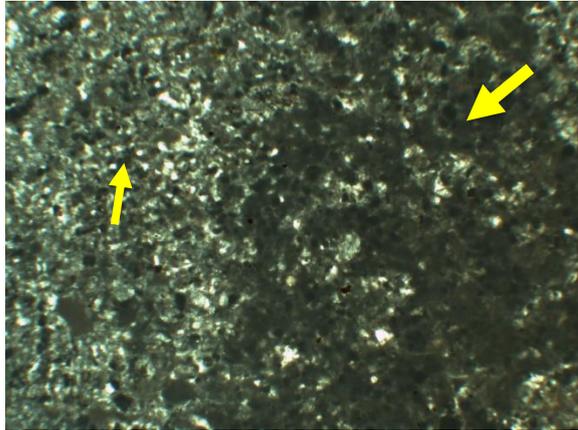


**Figura 51.** Lámina con presencia de gasterópodos y fragmentos de pelecípodos, indicado por flechas.

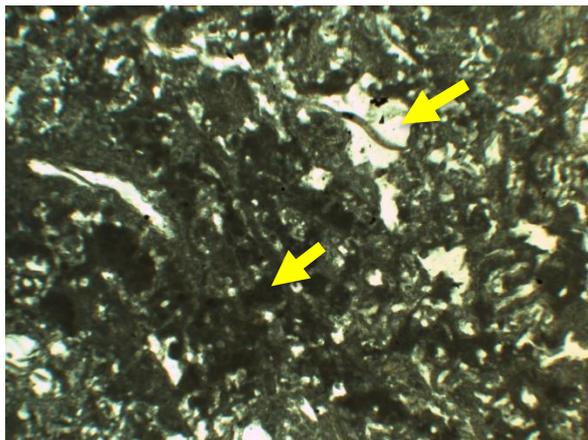


**Figura 52.** Foraminífero miliólido. En la derecha inferior se puede apreciar el fragmento de un pelecípedo, indicado por flechas.

<b>No. Lámina</b>	CTN 3
<b>Textura</b>	<b>A:</b> 50 %; <b>O:</b> 50 %
<b>Fábrica</b>	Fenestral
<b>Contenido Aloquímico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peloides 30 %</li> <li>• Crecimientos microbianos 20 %</li> </ul>
<b>Clasificación Dunham (1962) /Embry y Klovan (1971).</b>	Bindstone de peloides con abundantes crecimientos microbianos.

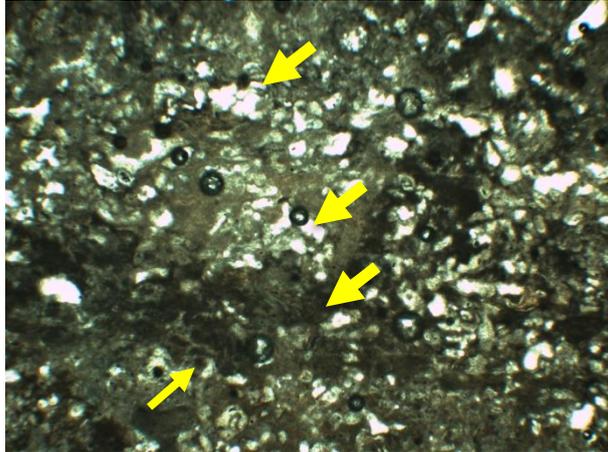


**Figura 53.** Bindstone con presencia de peloides y crecimiento microbiano a la derecha, indicado por flechas.

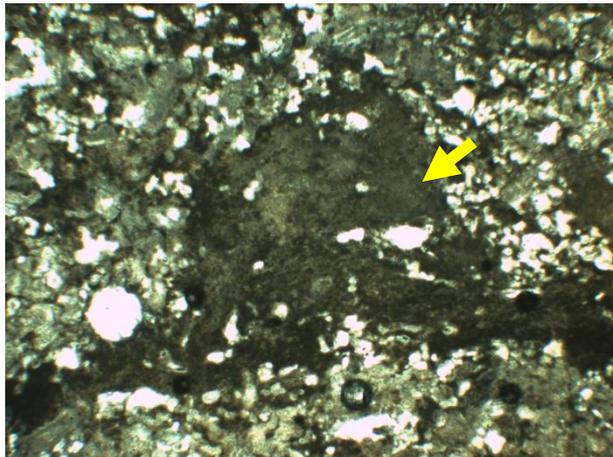


**Figura 54.** Bindstone con crecimiento microbiano notorio en las partes oscuras y fábrica fenestral, indicado por flechas.

No. Lámina	CTN 4
Textura	A: 40 %; O: 60 %
Fábrica	Fenestral (Birdeyes)
Contenido Aloquímico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peloides, intraclastos micríticos 40%</li> </ul>
Clasificación Dunham (1962) /Embry y Klovan (1971).	Bindstone de peloides con intraclastos micríticos.



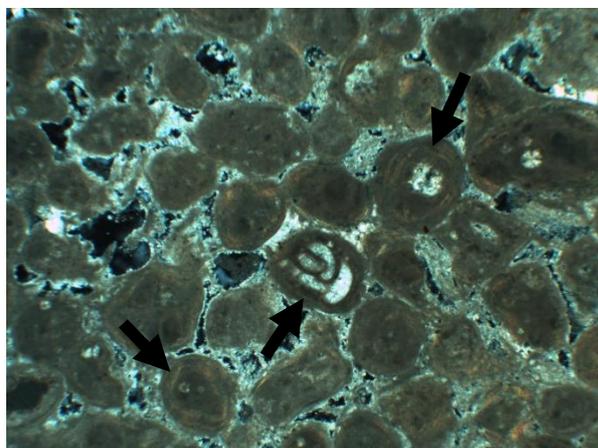
**Figura 55.** Bindstone con fábrica fenestral de birdeyes y crecimientos microbianos, indicado por flechas.



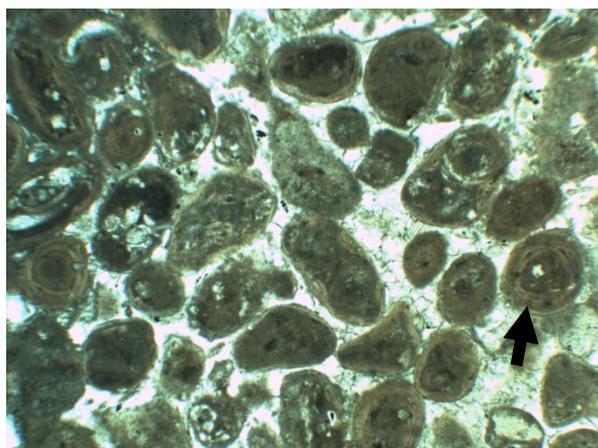
**Figura 56.** Bindstone con crecimiento microbiano, nótese en las partes más oscuras, indicado por flechas.

**Afloramiento CAPA**

<b>No. Lámina</b>	CAPA 1
<b>Textura</b>	Grano soportado. <b>A:</b> 60 %; <b>O:</b> 40 %
<b>Fábrica</b>	Bioturbada-Galerías
<b>Contenido Aloquímico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ooides tangenciales 45 %</li> <li>• Pelecípodos 1 %</li> <li>• Algas verdes 2 %</li> <li>• Foraminíferos bentónicos 6 %</li> <li>• Algas rojas 2 %</li> <li>• Briozoarios 4 %</li> <li>• Gasterópodos traza</li> </ul>
<b>Clasificación Dunham (1962) /Embry y Klovan (1971).</b>	Grainstone de ooides con presencia de foraminíferos bentónicos, briozoarios, algas verdes, algas rojas y fragmentos de pelecípodos y gasterópodos.

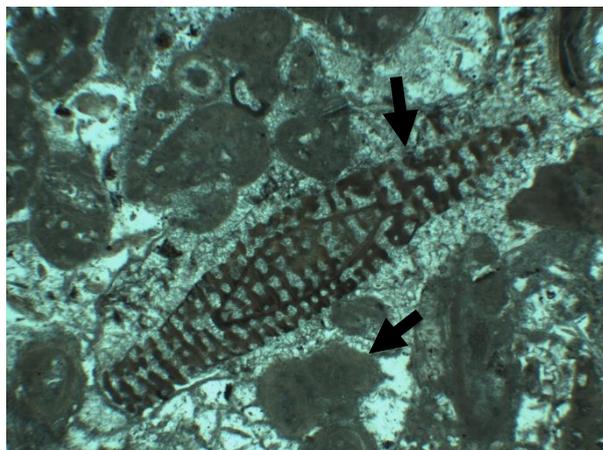


**Figura 57.** Grainstone con abundantes ooides; en el centro, se aprecia un foraminífero bentónico como núcleo de un ooide micrítico, indicado por flechas.

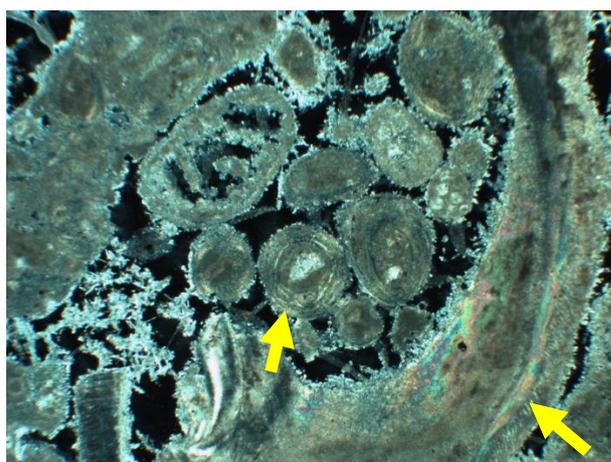


**Figura 58.** Grainstone de abundantes ooides tangenciales, indicado por flechas.

<b>No. Lámina</b>	CAPA 2
<b>Textura</b>	Grano soportado. <b>A:</b> 50 %; <b>O:</b> 50 %
<b>Fábrica</b>	Laminación cruzada
<b>Contenido Aloquímico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peloides bahamíticos 4 %</li> <li>• Ooides 15 %</li> <li>• Intraclastos micríticos 5 %</li> <li>• Algas rojas 6 %</li> <li>• Gasterópodos 1 %</li> <li>• Algas verdes 5 %</li> <li>• Foraminíferos bentónicos 1 %</li> <li>• Briozoarios 2 %</li> <li>• Pelecípodos 10 %</li> <li>• Corales 1 %</li> </ul>
<b>Clasificación Dunham (1962) /Embry y Klovan (1971).</b>	Grainstone de ooides e intraclastos micríticos con abundantes pelecípodos; presenta algas rojas, algas verdes, brozoarios y, en menor medida, foraminíferos bentónicos, gasterópodos y fragmentos de corales.



**Figura 59.** Grainstone con foraminífero bentónico e intraclastos micríticos y ooides, indicado por flechas.



**Figura 60.** Grainstone con abundantes ooides y el fragmento de un pelecípodo en la parte inferior derecha, indicado por flechas.

Conforme a las descripciones de las láminas y su clasificación, a cada facie se le asignó un tipo de microfacie estándar (SMF) y se determinó el ambiente de depósito de cada uno, según el modelo de cinturones de facies de Wilson (1975). A continuación, se mencionan los cuatro ambientes de depósito y las características que poseen estos ambientes, mismas que contienen las láminas descritas. Al final de esta sección, se anexa el modelo de Wilson con modificación según los resultados obtenidos en este trabajo.

### **Ambientes de depósito**

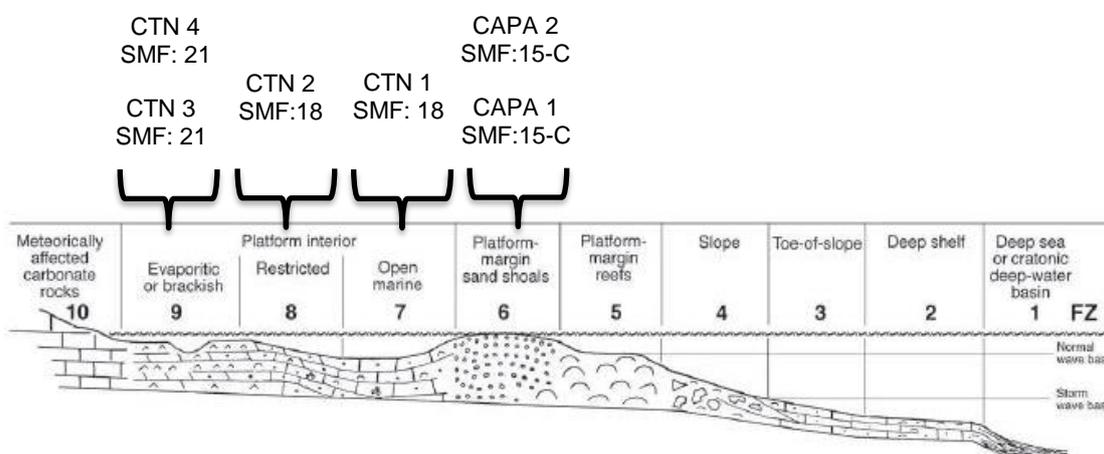
Todas las muestras se encuentran en la zona nerítica, siendo todos ambientes de depósito somero.

Se identificaron las siguientes zonas (véase figura 61):

- Margen de plataforma-banco de arena (CAPA 1 y CAPA 2): Debido a su contenido aloquímico, se determinó que ambas facies representan Microfacies Estándar (SMF) del tipo 15-C (Flügel, 2010). En esta zona se encuentra un gran contenido de ooides y también posee foraminíferos bentónicos, briozoarios, algas verdes, algas rojas y fragmentos de pelecípodos y gasterópodos; CAPA 2 posee ooides e intraclastos micríticos con abundantes pelecípodos; presenta algas rojas, algas verdes, briozoarios y, en menor medida, foraminíferos bentónicos, gasterópodos y fragmentos de corales, lo que permite determinar que es una zona eufótica y posee alta energía, siendo un ambiente de playa, debido a la fuerte influencia del oleaje (Flügel, 2010).
- Plataforma interna cerrada (CTN 1): Esta zona se constituye de una textura tipo Rudstone de pelecípodos con abundantes pellets y algas rojas, presencia de foraminíferos bentónicos, algas verdes, gasterópodos y fragmentos de braquiópodos. Lo cual indica que está suficientemente conectado con el mar abierto para mantener la salinidad y temperatura cercana a la del océano adyacente y posee una energía moderada; sin embargo, no se encontró alguna característica en particular que confirme su ambiente de depósito; por lo que se hipotetiza que es un ambiente de transición entre un ambiente de plataforma interna cerrada y un ambiente de plataforma interna restringida. No obstante, por su contenido textural y por poseer un porcentaje considerable de algas, se determinó que la facie representa Microfacie Estándar (SMF) del tipo 18 (Flügel, 2010).

- Plataforma interna restringida (CTN 2): Se determinó, con ayuda de su contenido aloquímico, se clasificó en Microfacie Estándar (SMF) del tipo 18 (Flügel, 2010). Se denota la presencia de peloides, pelecípodos, gasterópodos y foraminíferos bentónicos de la familia Miliolidae, siendo este último un indicador de un ambiente restringido; es decir, es un ambiente de laguna de baja energía en un ambiente retroarrecifal.
- Plataforma interna evaporítica (CTN 3 y CTN 4): Debido a su contenido aloquímico y textural, se determinó que esta facie representa Microfacie Estándar (SMF) del tipo 21 (Flügel, 2010). La lámina CTN 3 posee una textura Bindstone y se compone de peloides con abundantes crecimientos microbianos. A su vez, CTN 4 es un Bindstone de peloides con intraclastos micríticos. Se encuentran en un ambiente con la influencia episódica de aguas marinas, seguido de una exposición aérea. Su biota normal es de poca biota indígena excepto cianobacterias; ostrácodos, moluscos, salmueras adaptadas a altas salinidades. Conexión deficiente con el mar abierto (Flügel, 2010).

#### Modelo de Cinturones de Facies (FZ) de Wilson (1975)



**Figura 61. Modelo de cinturones de facies (FZ) de Wilson (1975).** Las facies inician en un margen de plataforma-banco de arena (CAPA 1 y CAPA 2). CTN 1 se asignó a un ambiente de plataforma interna cerrada. Para el caso de CTN 2, el ambiente de depósito es una plataforma interna restringida. Por último, las láminas CTN 3 y CTN 4 se asignaron a una facie de plataforma interna evaporítica. Imagen recuperada de Flügel (2010) y adaptada a la descripción de las muestras identificadas.

## DISCUSIÓN

El estudio del análisis del contenido micropaleontológico de las microfacies, corrobora que los diferentes depósitos de los dos sitios de muestreo (cantera de la carretera transversal y eolianita de CAPA) representan sistemas sedimentarios dentro de una plataforma carbonatada somera anular (Tucker y Wright, 1990). Asimismo, se corrobora que es una plataforma somera por no encontrarse foraminíferos planctónicos, debido a que están ausentes o son poco frecuentes en ambientes marinos poco profundos, porque evitan los aportes terrígenos y por eso sus conchas se acumulan en las profundidades batiales de las cuencas marinas abiertas; en contraste, los foraminíferos bentónicos se limitan a la zona fótica debido a que prefieren hábitats con algas y pastos marinos. Según el análisis de las láminas, los ambientes de depósito están comprendidos entre ambientes de playa hasta ambientes intermareales (Flügel, 2010; Tucker y Wright, 1990).

Tucker y Wright (1990) mencionan que los ambientes con presencia de ooides y que presentan una laminación cruzada, indican ambientes de alta energía, playas y barras de marea, siendo un componente importante de los bancos de arena del margen de plataforma; esto se encontró en las láminas CAPA 1 y CAPA 2, por esta razón se asignaron a la FZ 6 (margen de plataforma-bancos de arena).

Los foraminíferos bentónicos de la familia Miliolidae, como lo indica Flügel (2010), se encuentran en ambientes de plataforma restringida; es decir, un ambiente de laguna de baja energía en un ambiente retroarrecifal, como se puede observar en la lámina CTN 2. Aquí se indica una regresión marina porque cuando existe una regresión en una plataforma anular, la plataforma entera estará cerca del nivel del mar con lo que la conexión con el océano abierto será a menudo pobre o inexistente y dará lugar a lagunas hipersalinas con evaporitas (Tucker y Wright, 1990).

Flügel (2010) menciona que el ambiente de una lámina con presencia de fábrica fenestral Birdeyes es un ambiente poco profundo intermareal o supramareal; asimismo, por ser un ambiente con condiciones difíciles para el desarrollo de la vida, se denota la presencia de crecimientos microbianos y moluscos adaptados a altas salinidades y, aunque Flügel reporta ostrácodos y camarones que habitan en aguas con altas concentraciones de salinidad, no se encontraron en las láminas. Este es el caso de las láminas CTN 3 y CNT 4.

Con respecto a lo expuesto en el planteamiento del problema, aseverando los resultados de Spaw (1978), se comprobó que no es un ambiente estático, sino que existieron eventos de regresión y transgresión marina. Él menciona que se presentaron dos eventos de transgresión y dos de regresión marina; las facies descritas por él inician en un margen arrecifal y terminan en un ambiente árido, donde se formó el caliche. Los resultados obtenidos en este trabajo indican que las facies inician en un banco de arena y terminan en una plataforma interna evaporítica; por lo tanto, del banco de arena se pasa a un ambiente de plataforma interna cerrada, donde el mar ascendió varios metros, registrándose una transgresión marina.

El mar alcanza un nivel de plataforma interna restringida y de plataforma interna evaporítica, donde el nivel del mar descendió unos metros hasta alcanzar una profundidad de 1 m, aproximadamente, y se formó una laguna, momento donde ocurrió un evento de regresión marina; sin embargo, no se logró observar la caída del nivel del mar, que es el momento que menciona Spaw donde se formó el caliche. Comparando estos resultados, el modelo de Wilson y los resultados obtenidos por Spaw, se logró confirmar estas fluctuaciones eustáticas; no obstante, es evidente que faltó la colecta de más facies y el fechamiento de las muestras para identificar la cantidad de movimientos del nivel del mar descritas por Spaw (1978), así como el tiempo exacto de dichas fluctuaciones.

Perrilliat (1973, 1984) describe que los géneros c.f. *Bullata*, *Conus*, *Cancellaria*, *Volvarina*, *Pleurofusua*, *Chione* y *Corbula* pertenecen a la época del Mioceno Medio; es decir, una edad estimada entre  $\pm 13.82$  a  $7.24$  millones de años. El género *Olivella* abarca entre el Plioceno y Pleistoceno (Perrilliat, 1968), con una edad estimada entre  $\pm 5.33$  a  $0.011$  millones de años. Esto indica que la edad estimada de depósito del afloramiento CTN ocurrió entre el Mioceno al Pleistoceno.

## CONCLUSIÓN

Los datos obtenidos mediante las láminas delgadas corroboran que los ambientes fueron de una plataforma carbonata somero, ya que se encontraron foraminíferos bentónicos, que se caracterizan por habitar en la zona fótica, rica en algas marinas.

El ambiente de depósito donde iniciaron las facies es un ambiente de margen de plataforma-banco de arena, fue un ambiente de playa con una alta energía ocasionada por el oleaje. En esta facie, se encontraron oolitos y estratificación cruzada, característicos de este ambiente, así como gasterópodos, algas, foraminíferos bentónicos, pelecípodos, por mencionar algunos.

A consecuencia de una transgresión marina, se alcanzó un ambiente de plataforma interna cerrada. Por último, el nivel del mar bajó hasta alcanzar un nivel de plataforma interna restringida y plataforma interna evaporítica de aproximadamente 1 m de profundidad. En la plataforma interna restringida, se formó una laguna, ambiente de baja energía donde es común encontrar foraminíferos bentónicos de la familia Miliolidae.

El ambiente de depósito de la plataforma interna evaporítica era un ambiente intermareal (zona de la franja costera donde se produce la interfase agua - tierra y que está sometida a los efectos de las mareas); es decir, que 12 horas del día esa zona se encuentra cubierta de agua, mientras que las 12 horas posteriores, está sometida a una exposición aérea; las fábricas fenestrales tipo Birdeyes son un indicador importante de este tipo de ambiente. Por esta razón, es difícil encontrar vida, a excepción de crecimientos microbianos, moluscos, ostrácodos y camarones adaptados a altas salinidades.

Observándose los eventos de regresión y transgresión marina que las FZ indican, se corrobora la existencia de fluctuaciones eustáticas del nivel del mar, mismas que dieron lugar a los ambientes de depósito descritos; ya que el nivel del mar de estas facies inició en un ambiente de playa, con nula profundidad, seguidamente, el mar ascendió a varios metros y dio lugar a un ambiente de plataforma interna cerrada; por último, inició un descenso del nivel del mar para obtener una profundidad de aproximadamente 1 m, que es la profundidad de un ambiente de plataforma interna restringida y plataforma interna evaporítica. Por otra parte, debido a la sistemática

---

paleontológica realizada, se estimó que la edad de depósito inició entre el Mioceno, hace aproximadamente 23.03 millones de años. Como se mencionó en la discusión, la falta de muestras provocó que los resultados fueran inconclusos. Por otra parte, la clasificación de ambiente de la facie CTN 1 es inconclusa, considerando que se hipotetiza que es un ambiente de transición por no encontrarse alguna característica particular de algún ambiente, mismo que se podría determinar observando y clasificando adecuadamente los cementos de la muestra; sin embargo, en este estudio se omitió el análisis de cementos de las facies. Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio más detallado donde se analice adecuadamente el contenido ortoquímico y donde se realicen fechamientos para ubicar el cambio de ambiente en la escala cronoestratigráfica, considerando que no es posible comparar los resultados de Spaw con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que las fluctuaciones que menciona Spaw (1978) son durante el Pleistoceno Tardío provocados por las glaciaciones e interglaciaciones ocurridos en el Cuaternario, mientras que las fluctuaciones que se indican en este estudio, va relacionado con el Modelo de Cinturones de Wilson (1975).

**LITERATURA CITADA**

- Aguilar-Rodríguez, A. (2004). Geografía general (2da. Edición). Pearson Educación. México, D.F. 306 p.
- Alba-Pérez, J. I. (2013). [http://www.eoi.es/blogs/embatur/files/2013/09/proyecto\\_comparativa\\_cozumel\\_brujas.pdf](http://www.eoi.es/blogs/embatur/files/2013/09/proyecto_comparativa_cozumel_brujas.pdf). Estudio comparado producción del espacio turístico en ambientes sensibles Isla de Cozumel, México y Cayo Las Brujas, Cuba. Fecha de consulta: 16 de junio de 2015
- Armas, P. y M. L. Sánchez. (2013). Sedimentología y arquitectura de las dunas costeras de la Formación Allen, Grupo Malargüe, cuenca Neuquina - Río Negro, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30: 65-79.
- Baccelle, L. y Bosellini, A. (1965). Diagrammi per la stima visiva della composizione percentuale nelle rocche sedimentarie. *Annali dell' Università di Ferrara (Nuova Serie), Sezione 9, Scienze geologiche e paleontologiche* 1(3): 59-62, 15 Pls.
- Buitrón-Sánchez, B. E. (2013). Los animales fósiles sin hueso. En: R. Ledesma-Saucedo (Ed.). *Paleontología en México* (12-13 p.). *Revista del Instituto Politécnico Nacional Conversus* 103.
- Butterlin, J. (1958). Reconocimiento geológico preliminar del territorio de Quintana Roo. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* 10(1): 531-570.
- Campos-Bedolla, P., Bazán-Perkins, B., Sanmartí-Puig, N., Torres-Lobejón, M. D., Mingo-Zapatero, B., Fernández-Esteban, M. A., Boixaderas-Sáenz, N., De La Rubia, Ma., Rodríguez-Bernabé, R., Pintó-Casulleras, R. y López-Puigcever, Ma. J. (2003). Biología 1. Editorial Limusa. México, D.F. 200 p.
- Carrillo-Fajardo, N. (2011). Atlas de riesgos del municipio de Cozumel. SEDESOL, Protección Civil, NICAFA. Recuperado de [http://www.anr.gob.mx/Docs/2011/vr\\_23001\\_AR\\_COZUMEL.pdf](http://www.anr.gob.mx/Docs/2011/vr_23001_AR_COZUMEL.pdf)

- Castaño-Fernández, S. (1987). Concepto y desarrollo histórico de la geología. Recuperado de Dialnet-ConceptoYDesarrolloHistoricoDeLaGeologia-2282467.pdf
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., E. A. González-Torres y L. Calvillo-Canadell. (2012). Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México. *Acta Botánica Mexicana* 100: 317-350.
- Cohen, K.M., Finney, S.C. y Gibbard, P. L. (2015). The ICS International Chronostratigraphy Chart. International Commission on Stratigraphy.
- Dávila, F. M. y Astini, R. A. (2003). Las eolianitas de la sierra de Famatina (Argentina): ¿interacción paleoclima-tectónica en el antepaís fragmentado andino central durante el Mioceno Medio? *Revista Geológica de Chile* 30 (2): 187-204. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-02082003000200003](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-02082003000200003)
- Denyer, P., J. Cortés y G. Cárdenas. (2005). Hallazgo de dunas fósiles de final del Pleistoceno en las islas Murciélago, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 33: 29-44.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in Ham, W. E., ed., Classification of carbonate rocks — a symposium: *Am. Assoc., Petroleum Geologists, Mem.* 1: 108-121.
- Embry, A. F. y Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 19 (4): 730-781.
- Ferrusquía-Villafranca, I. (2013). Geología/Paleontología: una relación muy enriquecedora. *Paleontología Mexicana* 64 (1): 5-12. Recuperado de [http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/rpm/PM64\\_03\\_interactivo.pdf](http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/rpm/PM64_03_interactivo.pdf)
- Flügel, E. (2010). Microfacies of carbonate rocks: Analysis, interpretation and application (2° ed.) Springer. Nueva York. 984 p.
- Folk, R. L., 1959, Practical petrographic classification of limestones: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.* 43: 1-38.

- Fornós, J. J.; Rodríguez-Perea, A.; Bromley, R. G. y Clemmensen, L. B. (2007). S'Estret des Temps: registro cuaternario, eolianitas y estructuras asociadas. En: Fornós, J.J., Ginés, J. y Gómez-Pujol, Ll. (eds.). *Geomorfología Litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears* 15: 173-186.
- Fragoso-Servón, P; Pereira, A; Frausto, O; Bautista, F. (2014). Relación entre la geodiversidad de Quintana Roo y su biodiversidad. *Quivera*, 16(1) 97-125. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40132130006>
- Gass, I. G., Smith, P. J. y Wilson, R. C. L. (1980). Introducción a las ciencias de la tierra. Editorial Reverté. Barcelona, España. Pp. 18-21.
- Guerrero-Arenas, R. y Bravo-Cuevas, V. M. (2011). Conceptos básicos de estratigrafía. *Ciencias y Mar* 15 (44): 55-59. Recuperado de [http://www.umar.mx/revistas/44/09\\_estratigrafia.pdf](http://www.umar.mx/revistas/44/09_estratigrafia.pdf)
- Gutiérrez-Ayala, L.; Torrescano-Valle, N. y Islebe, G. (2012). Reconstrucción paleoambiental del Holoceno tardío de la reserva Los Petenes, Península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29 (3): 749-763.
- Lesser-Jones, H; Azpeitia-Reyes, J; Lesser-Illades, J. (1978). Geohidrología de la Isla de Cozumel, Q. Roo. *Recursos Hidráulicos* 2(1): 32-50. Recuperado de <http://www.lesser.com.mx/files/78-1-Geohidrologia-Isla-de-Cozumel,-Q-Roo.pdf>
- Linán, E., Gámez, J. A. y Dies, M. E. (2008). El cosmos, la Tierra, el hombre y la vida. *Revista digital de la Facultad de Ciencias de Zaragoza* 2 (1): 28-34. Recuperado de [http://wzar.unizar.es/murero/activos/pdfs/2008\\_Linanetal\\_conCIENCIASnumero2.pdf](http://wzar.unizar.es/murero/activos/pdfs/2008_Linanetal_conCIENCIASnumero2.pdf)
- Monroe, J., Wicander, R. y Pozo-Rodríguez, M. (2008). Geología. Dinámica y evolución de la Tierra. (4ta. Edición). Editorial Paraninfo. Madrid, España. 744 p. Recuperado de [https://books.google.com.mx/books?id=z54Pu6w\\_UwAC&printsec=frontcover&dq=historia+geologica+de+la+tierra&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiCmciJqLbRAhVGKiYKHd-LA-8Q6AEIGTAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=z54Pu6w_UwAC&printsec=frontcover&dq=historia+geologica+de+la+tierra&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiCmciJqLbRAhVGKiYKHd-LA-8Q6AEIGTAA#v=onepage&q&f=false)

- Moreno-Garrido, C., Sáez-Ramos, R. y González-Barrionuevo, F. (2008). *Guía geológica e itinerarios. Parque Natural Sierra Norte de Sevilla*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Ortiz-Quintero, E. (2012). *Estudio sistemático de los invertebrados cretácicos de Santa Ana Teloxtoc, Puebla, con fines museográficos*. Tesis de Licenciatura. 6 p.
- Perrilliat-Montoya, M. C. (1968). Fauna del Cretácico y del Terciario del norte de Baja California. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D. F. 51 p
- Perrilliat-Montoya, M. C. (1973). Monografía de los moluscos del Mioceno Medio de Santa Rosa, Veracruz, México: parte II (Gasterópodos: Mitridae a Terebridae). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D. F. 136 p.
- Perrilliat-Montoya, M. C. (1984). Monografía de los moluscos del Mioceno Medio de Santa Rosa, Veracruz: parte VII, Pelecípodos: Dreissenidae a Verticordiidae. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D. F. 88 p.
- Pettijohn, F. P.; Potter, P. E. y Siever, R. (1973). Sand and sandstones. Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin.
- Rhodes, F. H. T., H. S. Zim y P. R. Shaffer. (1970). *Fósiles*. Barcelona, España. Ediciones Daimon, Manuel Tamayo. 10-12, 14-16, 20-21 p.
- Riquelme, J. y Blázquez, A. M. (2001). Caracterización de las eolianitas cuaternarias entre Cap Blanc y el Penyal d'ifac (Litoral Valenciano). *Cuad. De Geogr.* 69/70: 163-186.
- Rojas-Vilches, O. (2008). Tiempo geológico. Universidad de Concepción. Ciudad Universitaria, Concepción, Chile. Recuperado de <http://www2.udec.cl/~ocrojas/tiempogeologico.pdf>
- Santana-Salas, L. A. (2012). *Análisis de microfacies y paleoictiología de la Formación Agua Nueva (Cretácico superior) en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas*,

- México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 112 pp.
- Shimer, H. W. y Shrock, R. R. (1944). Index fossils of North America. Editorial MIT Press. U.S.A. Pp. 517.
- Spaw, R. (1978). Late pleistocene carbonate bank deposition: Cozumel Island, Quintana Roo, Mexico. *Gulf Coast Association of Geological Societies* 28(1): 601-619.
- Tucker, M. E. y Wright, V. P. (1990). Sedimentología de carbonatos. Publicaciones Blackwell Scientific. Londres, Reino Unido. 467 pp.
- Urbano-Lemus, R. (2013). Paleontología en México. En: R. Ledesma-Saucedo (Ed.). *Paleontología en México* (17 p.). *Revista del Instituto Politécnico Nacional Conversu*.
- Wilson, J.L. (1975): Carbonate facies in geologic history. – 471 pp., New York (Springer).

## ANEXOS

### Glosario

**Abertura (molusc.):** es la última vuelta de la concha y suele ser más grande que las vueltas de la espira y es la parte de la concha de los moluscos gasterópodos por donde sale el cuerpo del animal hacia el exterior.

**Acuífero:** formación geológica saturada con poros o fracturas con suficiente agua para ser aprovechada por el ser humano.

**Afloramiento:** lugar de la superficie terrestre con rocas y estructuras geológicas expuestas.

**Ápice:** extremo de la concha que se forma primero, generalmente puntada o sobresaliente en gasterópodos.

**Aragonito:** mineral de la clase de los carbonatos, polimorfo de la calcita y de la vaterita. Es incoloro o presenta color blanco, rosado, gris o amarillento; tiene raya blanca y brillo vítreo y es de transparente a translúcido. Es metaestable a la temperatura y presión ambientales y estable en condiciones de presión moderadas. De él están formadas originariamente las conchas de muchos organismos y termina transformándose en calcita durante el proceso de fosilización.

**Arcaico:** primero en antigüedad de los dos eones en que se divide el Precámbrico. Comprende un intervalo entre el origen de la Tierra y los 2,500 millones de años.

**Archaias:** es un género de foraminífero bentónico de la subfamilia Archaiasinae, de la familia Soritidae, de la superfamilia Soritoidea, del suborden Miliolina y del orden Miliolida.

**Arcilla:** partícula con un diámetro no mayor de 0.004 mm.

**Arenisca:** roca terrígena consolidada, en la que el tamaño de grano varía entre 0.062 y 2 mm. Al ser la sílice el material más perdurable por su resistencia mecánica y química, la mayor parte de ellas están mayoritariamente compuestas por granos silíceos.

**Azimutal:** ángulo que forma el plano vertical que contiene una dirección dada con el meridiano local, contado en el plano del horizonte en sentido de las agujas del reloj. Como origen se toma, en unos casos, la dirección sur y en otros, la norte.

**Banco Arrowsmith:** plataforma arrecifal sumergida localizada a 40 m al este de Punta Cancún; su ubicación es importante debido a que se encuentra en la zona de transición entre el Mar Caribe y el Golfo de México.

**Barranco:** valle de cabecera estrecho y de paredes abruptas, excavado en terrenos de fácil erosión por flujos efímeros.

**Basamento de rocas:** conjunto de rocas que se sitúa bajo una cobertera sedimentaria y se comporta de manera competente durante la deformación cortical. || Corteza continental generada durante un ciclo anterior al de la secuencia estratigráfica suprayacente, denominada cobertera.

**Bindstone:** tipo de roca carbonática autóctona bioconstruida, cuyos componentes quedan trabados o ligados durante la sedimentación por la actividad de organismos encostrantes y envolventes.

**Biogénico:** producidos por la acción o la presencia de organismos vivos o de sus restos.

**Biolitita:** roca carbonática bioconstruida, habitualmente por organismos que general un armazón rígido, como los arrecifes.

**Bivalvos:** animales del phylum Mollusca que se caracterizan por poseer dos valvas, que son los elementos de gran dureza que forman la concha.

**Braquiópodo:** invertebrados marinos sésiles parecidos a los bivalvos, pero se diferencian en que su concha está formada por dos valvas de distinto tamaño, forma y ornamentación.

**Buzamiento:** ángulo que forma la línea de máxima pendiente de una superficie (estrato o capa) con su proyección sobre el plano horizontal o inclinado.

**Calcárea:** que contiene carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Calcarenita:** arenita constituida mayoritariamente por clastos de carbonatos o de bioclastos.

**Calcita:** roca sedimentaria constituida, al menos, por 90 % de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Calcítico:** compuesto de calcita.

**Caliche:** depósito de carbonato cálcico, originado en las zonas áridas, que se forma en los suelos debido al ascenso o descenso del agua y a su posterior evaporación.

**Caliza esparítica:** caliza compuesta por más del 90 % de esparita.

**Caliza:** roca sedimentaria cuyo origen puede ser predominantemente biológico, químico o mixto. La variedad pura tiene, al menos, un 95% de  $\text{CaCO}_3$ ; la corriente, por lo menos un 50%; de los componentes restantes, el más frecuente y dominante es el carbonato de magnesio, y los accesorios son silicatos o productos de su alteración, como arcillas, sílice, y también pirita y siderita.

**Callo (molusc.):** en la concha de algunos gasterópodos, capa calcárea más gruesa que se forma alrededor de la abertura o cubre el umbón.

**Canal anterior (molusc.):** canal sifonal en gasterópodos, es una extensión (de longitud variada) del borde de la abertura de la concha junto a la base de la columela, que incluye al sifón que forma el manto.

**Características diagenéticas:** son todos aquellos cambios físicos, químicos y bioquímicos, que ocurren en los sedimentos o en las rocas sedimentarias después del depósito ocasionados por la circulación de fluidos, procesos fisicoquímicos y fuentes de energía requeridas.

**Cemento esparítico:** es un agregado de cristales de carbonato (aragonito o calcita) de tamaños mayores a las 4 micras que precipitan en los espacios existentes entre los granos de un sedimento carbonatado, o en los espacios internos de estas partículas.

**Cemento:** material de precipitación química (principalmente calcita o sílice) que rellena total o parcialmente los poros de una roca sedimentaria.

**Cenozoico:** tercera en antigüedad de las tres eras en que se divide eón Fanerozoico. Abarca, aproximadamente, los últimos 66 millones de años de la historia geológica. Comprende los períodos Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.

**Columela (molusc.):** pilar sólido o hueco del eje de una concha espiral.

**Columna estratigráfica:** ordenación temporal, de la más antigua a la más moderna, de las unidades estratigráficas existentes en una región, incluyendo los distintos tipos de roca y ciertos fenómenos geológicos en orden cronológico de acuerdo con la evolución del área estudiada.

**Coluvial:** sedimento constituido por material suelto acumulado en las laderas por la acción de la gravedad.

**Concrecionario:** rocas dispuestas en forma de masas.

**Conglomerado:** rocas conformadas por partículas redondeadas con diámetros mayores de 2 mm.

**Constituyentes aloquímicos:** materiales de origen químico o bioquímico formados en la propia cuenca de sedimentación pero que se incorporan al sedimento como clastos. Estos materiales han podido presentar un leve transporte dentro de la cuenca, pero su origen está muy relacionado con el de la roca sedimentaria donde se encuentra.

**Constituyentes ortoquímicos:** materiales formados por precipitación química o bioquímica directa en la propia zona de sedimentación, durante o inmediatamente después del depósito.

**Coquina:** roca clástica formada por aglomeración de conchas de moluscos o braquiópodos o por fragmentos de éstas, de tamaño superior a 2 mm.

**Costillas (molusc.):** patrón en relieve de la superficie de la concha, que comparten el mismo centro u origen.

**Crenulado:** margen que presenta en forma regular la proyección de las costillas, en la abertura de la concha gasterópodos o en el borde de las valvas de bivalvos.

**Cresta:** punto más elevado que presenta un pliegue en un perfil transversal del mismo.

|| Alineación montañosa submarina.

**Cronoestratigrafía:** estudio y organización de los estratos en unidades basadas en su edad y en relaciones temporales.

**Cuaternario:** periodo que abarca los últimos 1.6 millones de años y comprende dos épocas, el Pleistoceno (la más antigua) y el Holoceno (la más moderna). Se caracteriza por la coexistencia de casquetes de hielo en los dos hemisferios y por la alternancia cíclica de períodos fríos (periodos glaciares) y períodos cálidos (periodos interglaciares).

**Cuenca:** espacio de sedimentación de forma cóncava. Puede coincidir con depresiones en la superficie terrestre.

**Datación:** asignación de edad o época, relativa o numérica a una formación o proceso geológico, roca, mineral, agua o fósil.

**Deleznable:** que se rompe o se deshace fácilmente.

**Detrítico:** roca o sedimento constituido por fragmentos de minerales o rocas más antiguas o de restos fósiles de organismos.

**Dolomita:** mineral de la clase de los carbonatos, de fórmula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , que cristaliza en el sistema trigonal con formas romboédricas. Es incoloro o presenta color blanco, gris o amarillento, raya blanca y brillo vítreo, y de transparente a translúcido. Se puede formar directamente por precipitación a partir del agua del mar en ambientes sedimentarios hipersalinos.

**Echelon:** estructura escalonada.

**Emplazamiento:** fenómeno mediante el cual un material rocoso cambia de posición.

**Eolianita:** roca sedimentaria, arenisca, formada por la consolidación de un sedimento arenoso acumulado por el viento.

**Eólico:** que es producto de la acción del viento.

**Equidimensional:** dígame de los cristales que tiene las aristas de las caras aproximadamente del mismo tamaño.

**Era Secundaria:** segundo en antigüedad de las tres eras en que se divide el Fanerozoico. Está comprendido entre los 251 y los 65 Ma antes de los tiempos actuales. Sinónimo: Mesozoico.

**Era Terciaria:** sinónimo anterior del Cuaternario.

**Escudo (molusc.):** área posterior inmediata al umbo. Zona deprimida, lisa o no lisa, se ubica detrás del ligamento de algunos bivalvos. Representa capas sucesivas de crecimiento de estructuras de la charnela.

**Escultura espiral (molusc.):** ornamentación de la concha, patrón en relieve en la superficie de la concha.

**Espira (molusc.):** conjunto de todas las vueltas observadas en gasterópodos, excepto la última.

**Estratificación cruzada:** conjunto de estratos secundarios que se disponen inclinados con respecto a la estratificación principal, separados entre sí por superficies originadas por cambios bruscos en las condiciones sedimentarias, incluidas las de erosión y de interrupción sedimentaria.

**Estratificación:** disposición de sedimentos y rocas en estratos o capas.

**Estrato:** aplicado a capas de rocas, más o menos distinguible de forma visual o física.

**Estructura axial (molusc.):** relacionado al eje de la concha.

**Facies:** conjunto de características de las rocas de una unidad geológica, que reflejan las condiciones en las que se formaron. En rocas sedimentarias se consideran los caracteres petrográficos (litofacies) y los paleontológicos (biofacies).

**Fanerozoico:** eón más moderno de los tres en los que se divide la historia geológica, con el significado de vida manifiesta. Comprende los últimos 545 millones de años de la historia de la Tierra. Se subdivide en tres eras: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico.

**Fangolita:** roca sedimentaria granulosa fina cuyos componentes originales eran arcillas o fangos. El tamaño de grano es hasta 0.0625 milímetros con los granos individuales demasiado pequeños para ser distinguidas sin un microscopio.

**Floatstone:** caliza de grano grueso con clastos matriz-soportados, de los cuales el 10 % o más son de tamaño mayor a 2 mm.

**Formación geológica:** cuerpos rocosos identificables con las características litológicas que permitan reconocer la formación de las adyacentes que permiten delimitar y jerarquizar las rocas. Una formación está conformada por miembros. Se designa su nombre dependiendo del tipo de roca dominante y de la localidad geográfica.

**Gasterópodos:** son moluscos de cuerpo alargado antero-posteriormente, con la cabeza y el pie formando una unidad ventral unida a la masa visceral por un estrecho pedúnculo. Es una clase de invertebrados y es una de las más diversas.

**Geología:** ciencia que estudia la composición y la estructura interna de la Tierra y los procesos que la modifican.

**Grainstone:** caliza compuesta por partículas grano-soportadas sin matriz fangosa.

**Grano-soportada:** los componentes llegan a estar en contacto entre ellos mismos.

**Gravilla:** producto de la trituración de una roca cuyos elementos tienen un grosor máximo de 25 mm.

**Hádico:** es un eón informal de la escala de tiempo geológico. Es la primera división del Precámbrico y abarca desde el inicio de la tierra (4600 millones de años) hasta los 4000 millones de años.

**Hipersalino:** dígame del ambiente que posee elevadas concentraciones de sal.

**Holoceno:** época más reciente de las dos que componen el Cuaternario, correspondiente al período interglaciar actual, que abarca los últimos 0.01 millones de años y se

caracteriza por la desaparición de los grandes inlandsis. Durante ella<sup>1</sup> se desarrollaron las culturas Mesolítica, Neolítica, Calcolítica, del Bronce, del Hierro, Romana, Medieval y Moderna, según la cronología arqueológica.

**Incita:** huella dejada sobre el terreno o en el fondo del mar o de un lago por el paso de un animal.

**Inequilateral (molusc.):** cuando las dos porciones de la valva a cada lado del umbo son diferentes.

**Intermareal:** franja costera donde se produce la interfase agua- tierra y que está sometida a los efectos de las mareas. Es la zona que se extiende desde líneas de las más altas mareas hasta la línea de las mareas más bajas.

**Labio externo (molusc.):** borde extremo de la concha de los caracoles. Corresponde al borde libre de la abertura.

**Labio interno (molusc.):** la parte interna de la abertura corresponde a la parte visible de la columela.

**Lacustre:** relativo o perteneciente a lagos.

**Lamelas concéntricas (molusc.):** lámina delgada. Estructura sobresaliente de la superficie de la concha con dirección que coincide con las líneas de crecimiento.

**Laminación:** disposición sucesiva de láminas dentro de un estrato. Puede ser de tipo paralela o cruzada.

**Laterítico:** suelo tropical de horizonte "A" mínimo, sobre un material rojizo profundamente meteorizado, en general, sobre un sílice.

**Lenticular:** de forma parecida a la semilla de la lenteja.

**Limo:** partícula detrítica con un diámetro entre los 0,004 y 0,063 mm.

**Líneas de crecimiento (molusc.):** serie de líneas concéntricas al umbón más o menos marcadas ubicadas en la superficie externa de la concha.

**Litificación.** proceso natural mediante el cual un sedimento incoherente se transforma en una roca sedimentaria consolidada, por cementación y compactación durante la diagénesis.

**Litofacie.** conjunto de caracteres litológicos o petrográficos que definen una facies.

**Litología:** estudio de las rocas. Se ocupa de su descripción y clasificación (petrografía) y de los mecanismos de formación (petrogénesis). Según el tipo de rocas, esta disciplina se subdivide en ígnea, metamórfica y sedimentaria. Sinónimo de petrología.

**Litoral:** franja de tierra que bordea el agua en océanos, mares o lagos.

**Lodo soportado:** las láminas contienen lodo y los granos, a diferencia del grano-soportada, no tienen contacto entre ellos.

**Lodolita:** roca sedimentaria granulosa fina cuyos componentes originales eran arcillas o fangos. El tamaño de grano es hasta 0.0625 milímetros con los granos individuales demasiado pequeños para ser distinguidas sin un microscopio.

**Lúnula (molusc.):** es una zona ovalada, algo hundida, que está delante del umbo; la presentan algunos bivalvos.

**Matriz:** material de grano fino de cualquier roca que contiene componentes (minerales o fósiles) de tamaño grande.

**Médanos:** forma acumulativa superficial, constituida por material detrítico incoherente y móvil (como arena o, en menor medida, ceniza volcánica o nieve), y acumulada por el viento. Sinónimo de duna.

**Mesozoico:** segundo en antigüedad de las tres eras en que se divide el Fanerozoico. Está comprendido entre los 245 y los 66 millones de años antes de los tiempos actuales.

**Micrita:** depósito de calcita microcristalina, originado en el seno del agua como polvo finísimo, en el que el tamaño del grano de los cristales es menor de 4  $\mu\text{m}$ .

**Micritización:** formación de micrita debido principalmente a la perforación de bioclastos por ciertos organismos, en especial cianobacterias, y a la posterior precipitación de micrita dentro de las perforaciones.

**Microatolón:** son estructuras de pequeñas dimensiones (10-25 m de diámetro). Tienen forma de hongo más o menos circular. Son formadas por ciertas especies de corales y su crecimiento vertical está limitado por la altura de la marea media.

**Microscopio de polarización:** microscopio óptico destinado al control de materiales que trabaja con luz transmitida o luz reflejada, con dos prismas de Nicol, uno llamado *polarizador*, antes de que la luz incida sobre la muestra, y otro, después de que lo haga, denominado *analizador*. Los planos de vibración de la luz polarizada en ambos prismas de Nicol son perpendiculares.

**Miembro (estratigrafía):** se compone de una capa o más capas que permiten reconocerlos dentro de la formación.

**Mioceno:** primera en antigüedad de las dos épocas en que se divide el Neógeno. Abarca aproximadamente entre los 24 y los 5 millones de años antes de los tiempos actuales.

**Morfología:** en geología, estudia el origen y evolución de la superficie terrestre como, por ejemplo, la formación de cadenas montañosas.

**Músculos aductores (molusc.):** aquellos que cierran las valvas.

**Myotragus balearicos:** mamífero endémico de Mallorca, España que se extinguió presumiblemente con la llegada del hombre. Fue el mamífero de mayor tamaño de las islas, parecido a la gacela, que pertenecía al grupo de los antílopes.

**Nódulo:** estructura diagenética de forma ovoide y con composición mineralógica diferente de la de la roca en la que está incluida.

**Nódulos (molusc.):** tubérculos o protuberancias redondeadas de la superficie de la concha de un gasterópodo.

**Núcleo (molusc.):** primera parte que se forma en una concha.

**Oblicuo (molusc.):** pliegues que no se encuentran netamente rectos.

**Oligoceno:** tercera en antigüedad de las tres épocas en que se divide el Paleógeno. Abarca aproximadamente entre los 37 y los 24 millones de años antes de los tiempos actuales.

**Paleoambiental:** estudio de los ambientes de tiempos geológicos, cuyas características pueden deducirse a partir de diversos datos geológicos o paleobiológicos.

**Paleozoico:** primera en antigüedad de las tres eras en que se divide el Fanerozoico. Abarca aproximadamente entre los 545 y los 245 millones de años antes de los tiempos actuales. Se subdivide en los períodos Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico.

**Palustre:** relativo o perteneciente a pantanos o zonas pantanosas.

**Pedogénico:** proceso que forma, transforma o elimina componentes del suelo.

**Pelecípodo:** moluscos cuya concha está formada por capas y consiste en dos valvas, cada valva contiene una cubierta orgánica delgada (periostraco) y muchas capas de carbonato. La composición puede ser únicamente de calcita, aragonita o una mezcla de ambas en capas alternas.

**Penecontemporáneo:** casi simultáneo. Pene es un prefijo del latín *paene* que significa “casi”.

**Perfil convexo (molusc.):** apariencia similar a la cara externa de una esfera o circunferencia; su parte central sobresale del resto del cuerpo.

**Petrología sedimentaria:** estudio de rocas de origen sedimentario, ocupándose de su descripción, clasificación y de los mecanismos de formación.

**Pleistoceno:** época más antigua de las dos que componen el Cuaternario. Se desarrolló entre 1.6 – 0.01 millones de años. Comenzó con la formación del casquete glaciar en el hemisferio norte y es el intervalo de tiempo caracterizado por la alternancia de períodos glaciares e interglaciares.

**Postsedimentario:** el prefijo post significa “detrás” o “después de”. Es decir, la postsedimentación se refiere al momento después del proceso de sedimentación.

**Precámbrico:** tiempo geológico anterior al Fanerozoico. Se divide en dos eones: Arcaico y Proterozoico, abarcando desde el inicio de la Tierra (4,600 millones de años) hasta los 545 millones de años.

**Profundidades batiales:** zona oceánica con profundidad comprendida entre 200 y 2000 m aproximadamente, que se sitúa entre la zona nerítica más somera y próxima al continente y la zona abisal más profunda.

**Proterozoico:** segundo en antigüedad de los dos eones en que se divide el Precámbrico. Comprende un intervalo entre los 2 500 y los 545 millones de años antes de los tiempos actuales.

**Radial:** caracterizada por la presencia de cristales alargados o aciculares que divergen a partir de un centro común.

**Recristalización:** proceso metamórfico mediante el cual se produce la cristalización de nuevos granos a expensas de granos de la misma especie mineral.

**Roca sedimentaria:** roca formada en el exterior de la corteza terrestre mediante un proceso de sedimentación. Presenta estructuras características, como, principalmente, la estratificación.

**Sascab:** en maya significa “tierra blanca” y es el material usado para preparar mezclas para la construcción. Representa una transición en la evolución de la roca dura original al reblandecimiento, para transformarse en la cabeza calcárea y favorece el desarrollo de las formas kársticas subterráneas.

**Sedimentación:** proceso de depósito o acumulación de fragmentos de material rocoso, organismos muertos, sustancias químicas u otros materiales.

**Sinorogénico:** contemporáneo con los movimientos horizontales de la corteza terrestre.

***Strombus sp.***: género de moluscos gasterópodos marinos de la familia Strombidae.

**Subyacer:** hallar algo debajo de otra cosa.

**Surco angular (molusc.):** espacio entre dos cordones, costillas o lamelas.

**Sutura impresa (molusc.):** es la separación entre las vueltas de la concha.

**Tafonomía:** disciplina científica que estudia los procesos de fosilización y la formación de los yacimientos de fósiles.

**Tipos de Microfacies Estándar (SMF):** es el conjunto de criterios paleontológicos y sedimentológicos. Las asociaciones de SMF son útiles para reconocer las zonas de facies. Actualmente, existen 26 microfacies estándar.

**Topografía submarina:** técnica usada para representar el relieve del subsuelo marino para representarlo en planos.

**Umbón (molusc.):** vértice de las valvas. Protuberancia en el lado dorsal de la valva.

**Valvas (molusc.):** cada una de las piezas sólidas y duras que constituyen la concha de los moluscos bivalvos y algunos invertebrados.

**Zona de facies (FZ):** son cinturones que se pueden diferenciar por los cambios de criterios sedimentológicos y biológicos que ocurren a través de transectos de plataforma-talud-cuenca.

**Zona fótica:** zona del océano en la que la penetración de la luz es suficiente para permitir la fotosíntesis. Su profundidad es variable y se puede considerar como media la de 80 m.

**Zona nerítica:** perteneciente al ambiente oceánico situado entre el nivel de bajamar y la isobata de los 200 m, o entre el nivel de bajamar y aproximadamente el borde de la plataforma continental.

