



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**GALERÍAS DE CRUSTÁCEOS EN LA FORMACIÓN
TUXPAN; MIOCENO (LANGHIANO) DE LA
DESEMBOCADURA DEL RÍO CAZONES, ESTADO
DE VERACRUZ, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

PORFIRIO BERROCAL HERNÁNDEZ



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. FRANCISCO SOUR TOVAR
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno
Berrocal
Hernández
Porfirio
56 66 26 43
Facultad de Ciencias
Biología
308013571
2. Datos del tutor
Dr.
Francisco
Sour
Tovar
3. Datos del sinodal 1
Dr.
Frank Raúl
Gío
Argáez
4. Datos del sinodal 2
M. en C.
Daniel
Navarro
Santillán
5. Datos del sinodal 3
Dr.
Miguel Angel
Torres
Martínez
6. Datos del sinodal 4
M. en C.
Arturo David
Contreras
Barrera
7. Datos del trabajo escrito
Galerías de crustáceos en la Formación Tuxpan; Mioceno (Langhiano) de la
desembocadura del Río Cazones, Estado de Veracruz, México
40 pp.
2017

Galerías de crustáceos en la Formación Tuxpan; Mioceno (Langhiano) de la desembocadura del Río Cazonés, Estado de Veracruz, México

Dedicatoria

*A mi madre Margarita
A mis tías Rita y Elena
A mis abuelitos Ma. De la Luz y Juan
Y a mis hermanos Guillermo y Adrian*

Life can only be understood backwards; but it must be lived forwards
Søren Kierkegaard, 1844

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la mejor experiencia de mi vida.

Al Dr. Francisco Sour Tovar por el apoyo incondicional que me ha brindado, las palabras se quedan cortas para expresar lo agradecido que estoy con su generosidad.

A los sinodales que se encargaron de revisar mi trabajo, sus observaciones y comentarios me permitieron cambiar mi perspectiva de muchas maneras.

A los miembros del Museo de Paleontología: Dra. Sara Quiroz, M. en C. Daniel Navarro, Dr. Pedro García, M. en C. Itzia Nieto y al Dr. Francisco Sánchez, así mismo como a mis compañeros M. en C. Sergio González, M. en C. Isabel Ocaña, Annette Rivera, Alina Hernández, Miguel Morán y Ana Pineda, su compañía a lo largo de estos dos años hizo más placentero el último tramo de mi travesía.

A mis queridos amigos de la carrera Emilia Guerrero, Leonardo Calzada, Juan Aguilar, Rosario Vega, Pamela Aceves, Rodrigo Muñoz, Clara E. (Clarissa) Castaños, Eric Novelo, Tetsuya Nakamura, Gabriela Zepeda, Nadia Mariano, Citlali Martínez, Lina Romero y Etel Sánchez. Las experiencias, risas y sobre todo las locuras que hemos vivido no las cambiaría por nada.

Al M. en C. Brian Urbano y a la Dra. Martha Reguero gracias por su gran apoyo, consejos y su valiosa amistad.

A mis grandes amigos Arturo Dominguez, Octavio Romero, Samanta Arreola y Fernanda Garza, aunque casi no nos vemos deben saber que los llevo conmigo.

A mi madre, mis tías y mis hermanos que jamás han dejado de creer en mí, me han apoyado y guiado en este sueño, no podría pedir o desear una mejor familia.

Índice

Resumen	1
1. Introducción.....	2
2. Objetivo general	3
2.1 Objetivos particulares	3
3. La clasificación de los icnofósiles	3
4. Icnofacies.....	6
5. Generalidades	7
5.1 Sistemas de galerías asociadas a crustáceos.....	7
5.2 Etología de crustáceos excavadores	8
6. Trabajos Previos	11
7. Área de estudio	11
7.1 Marco geológico.....	12
8. Estratigrafía	13
8.1 Descripción de la Sección de Barra de Cazonés:	14
9. Método.....	16
9.1 Trabajo de campo	16
9.2 Trabajo de gabinete	16
10. Resultados.....	17
10.1 Icnología Sistemática.....	17
11. Discusión	23
11.1 Tipos de asociación e icnofacies	23
11.2 Icnofacies y Paleoambiente	25
12. Conclusiones.....	28
13. Bibliografía.....	29
14. Láminas	35

Índice de figuras

Figura 1. Las catorce categorías que actualmente conforman la clasificación etológica de los icnofósiles (modificada de Buatois y Mángano 2011, modificada a su vez de Bromley, 1996).	4
Figura 2. Términos empleados en la clasificación a los icnofósiles esta depende de los horizontes sedimentarios donde se formaron (modificado de Benton y Harper, 2013, modificada a su vez de Ekdale <i>et al.</i> , 1984).	6
Figura 3. Mapa del estado de Veracruz donde se muestra el área de estudio. La Sección de Barra de Cazonas aflora muy cerca del poblado homónimo.	12
Figura 4. Sección estratigráfica del afloramiento de Barra de Cazonas de la Formación Tuxpan, Mioceno (Langhiano), Veracruz.	15
Figura 5. Vista parcial de la sección medida de la Formación Tuxpan en Barra de Cazonas, Veracruz. La Unidad 1 se caracteriza por la presencia exclusiva de <i>Thalassinoides</i> ; la Unidad 2, por la abundancia de <i>Gyrolites</i> ; y la Unidad 3 por la de <i>Ophiomorpha</i> . La secuencia indica un evento regresivo con un cambio de un ambiente infralitoral hacia ambientes mesolitoral y supralitoral	25

Resumen

Se realizó el análisis de tres sistemas de galerías presentes en un afloramiento del Mioceno (Langhiano) de la Formación Tuxpan en Barra de Czones, Veracruz, encontrados en una sección estratigráfica de 14 m de espesor y dividida en tres unidades. La Unidad 1, en la base de la sección, presenta un sistema complejo de galerías conformado casi exclusivamente por el icnogénero *Thalassinoides*. La Unidad 2 se caracteriza por una abundante presencia del icnogénero *Gyrolithes*. *Ophiomorpha* es el icnogénero más abundante en el sistema de galerías de la Unidad 3 y es un componente secundario en la Unidad 2. El origen de los tres tipos de galerías que se describen se asocia principalmente a actividades habitacionales (Domichnia) y de alimentación (Fodinichnia), desarrolladas por crustáceos esto se considera debido a que restos de crustáceos se encuentran asociados a las galerías dentro de la Sección. En las tres unidades se observa una predominancia de galerías de tipo Domichnia, con una orientación tanto vertical como horizontal dentro de un sedimento principalmente arenoso en la Unidad 1 y con mayor presencia de limo y arcilla en las unidades 2 y 3. Estos sistemas representan el primer registro de galerías de crustáceos que se reportan para la Formación Tuxpan.

Para las tres unidades, las asociaciones icnológicas son consideradas como parte de la icnofacies de *Glossifungites* establecida por Seilacher (1953).

Se interpreta que el depósito de toda la sección se dio en un ambiente marino-marginal, en donde la Unidad 1 representa la zona infralitoral con influencia del oleaje, la Unidad 2 se acumuló en la zona mesolitoral, con influencia de moderada a baja del oleaje y la Unidad 3, representa una parte del ambiente supralitoral con una alta exposición a condiciones subaéreas.

1. Introducción

La icnología es el estudio de las diferentes marcas o huellas producidas por los organismos (animales y plantas) dentro o sobre el substrato e incluye el estudio de las estructuras sedimentarias biogénicas de bioturbación, biodepositación y bioestratificación (Pemberton *et al.*, 1992; Bromley, 1990, 1996; Buatois y Mángano, 2011).

El presente trabajo se enfoca en los icnofósiles de bioturbación, los cuales se definen como una serie de estructuras sedimentarias biogénicas que reflejan una alteración en la estratificación o las fábricas sedimentarias (Frey y Wheatcroft, 1989; Buatois y Mángano, 2011). Las huellas [tracks] (impresiones dejadas por apéndices locomotores) y el término relacionado para una serie de huellas o pistas [trackway] (surcos continuos producidos durante la locomoción), o de madrigueras [burrows] (estructuras más o menos permanentes excavadas dentro del sedimento) que se clasifican dentro de este grupo (Buatois y Mángano, 2011).

Las icnofacies se definen como un grupo de icnofósiles asociados (p. ej. pisadas, galerías o marcas de reposo), ya que estos presentan ciertas características, como su orientación, tipo de sedimento o etología asociada, entre otros aspectos, que son considerados clave para su identificación; y que conforman el contenido de una icnocomunidad (Buatois y Mángano, 2011). Este concepto permite delimitar y esclarecer el tipo de asociación, así como su origen y las condiciones ambientales bajo las cuales se formó la comunidad.

La caracterización de las icnofacies proporciona información de gran relevancia acerca de los diferentes elementos imperantes en el medio, que al originarse *in situ* presentan ventajas para su estudio (Seilacher, 1967). Este concepto también permite comprender la historia geológica del área de estudio, inferir los diferentes tipos de comportamiento que presentó la biota que produjo el registro icnológico y proporciona una caracterización acertada del modo de vida y de las características de los procesos de preservación.

Frey y Pemberton (1985), reconocen que en la preservación de los icnofósiles se pueden distinguir dos aspectos principales:

- La toponimia que comprende la descripción y la clasificación de las estructuras biogénicas de acuerdo al modo de preservación y a la posición de la estructura en o dentro del estrato o al medio donde se formó el vaciado.
- Los procesos físicos y químicos de preservación y de alteración del sedimento asociados con la diagénesis.

La remoción de sedimento por parte de los animales ocurre por diversas causas, que pueden variar desde aquellas que no tienen intención alguna, como dejar huellas en el substrato a causa del desplazamiento, hasta aquellos casos en donde los organismos pasan gran parte de su ciclo de vida construyendo intrincadas estructuras como parte de su forma de alimentación, reproducción o protección. A este último tipo de organismos se les denomina infaunales y todos ellos han desarrollado una serie de adaptaciones y estrategias que les permiten completar su ciclo de vida (Bromley, 1996).

2. Objetivo general

Contribuir con el estudio de los icnofósiles de México.

2.1 Objetivos particulares

- Identificar los icnotaxa que conforman los sistemas de galerías que se encuentran en el afloramiento de Barra de Cazonas de la Formación Tuxpan.
- Caracterizar las icnofacies a las que pertenecen los sistemas de galerías de la Sección de Barra de Cazonas.
- Determinar las condiciones paleoambientales bajo las que se dio el depósito.
- Inferir los posibles productores de las galerías.

3. La clasificación de los icnofósiles

En el presente, la clasificación de los icnofósiles más utilizada deriva de la propuesta de Seilacher (1953) que considera el comportamiento del organismo productor. En su clasificación etológica original, Seilacher categoriza cinco grupos: marcas de reposo

(Cubichnia), de vivienda (Domichnia), de reptación o locomoción (Repichnia), de pastoreo [*grazing*] (Pascichnia) y de alimentación (Fodinichnia). A estas cinco categorías se han agregado otras nueve, considerándose en el presente un total de 14 (Figura 1), entre las que se incluye a los rastros de los organismos terrestres (Bromley, 1996; Buatois y Mángano, 2011). La clasificación etológica es la más empleada, considerando que Seilacher postuló que actividades similares, aún de organismos sin relación filogenética, pueden dar como resultado trazas de morfología similar (Seilacher, 1953; Buatois y Mángano, 2011). Un ejemplo es una galería en forma de “U” elaborada por un poliqueto que es indistinguible a la realizada por un crustáceo.

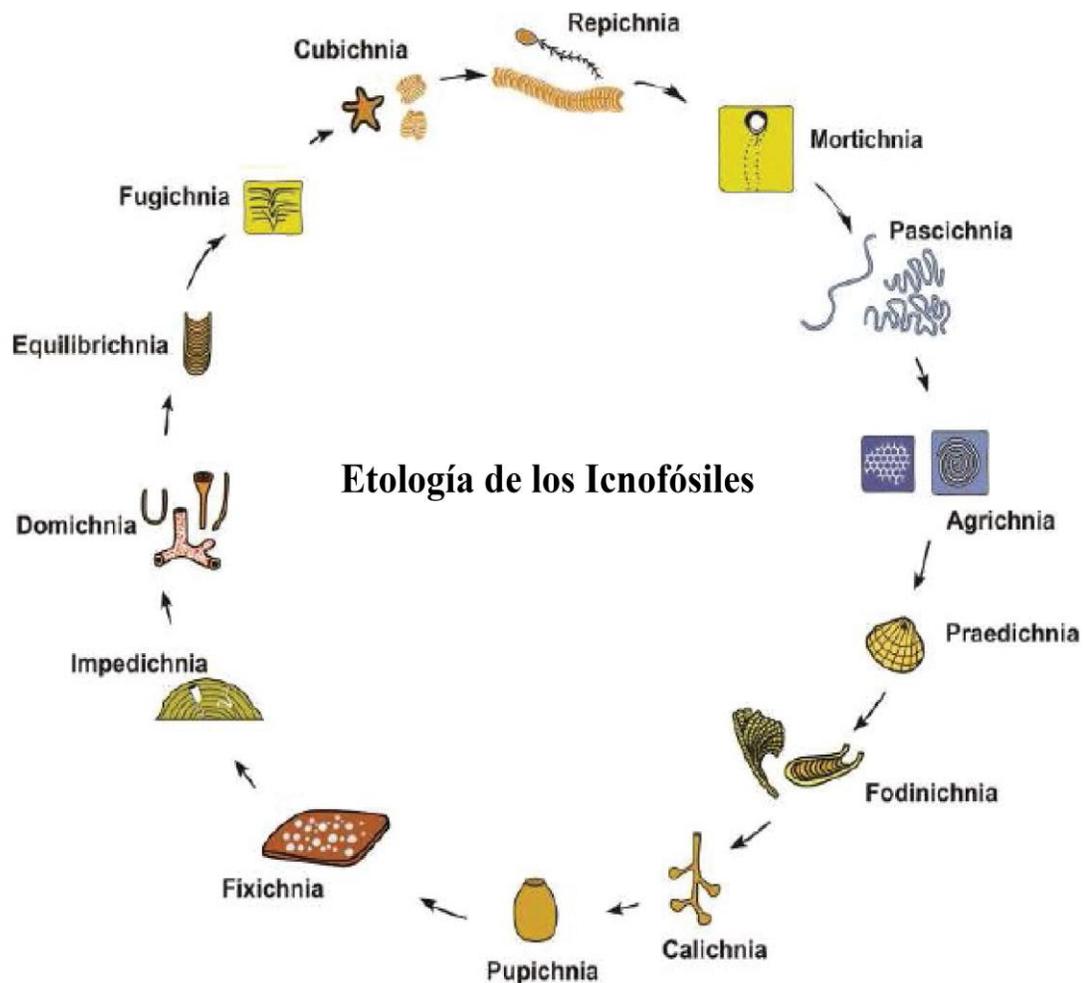


Figura 1. Las catorce categorías que actualmente conforman la clasificación etológica de los icnofósiles (modificada de Buatois y Mángano 2011, modificada a su vez de Bromley, 1996).

Aunque con base en los procesos mecánicos involucrados en la fabricación de la estructura (estratinomía) existen tres diferentes clasificaciones, en este contexto la clasificación de Seilacher (1953; 1964) está estructurada a partir de dos series de términos: descriptivos y genéticos. Los descriptivos se asocian con el icnofósil y el medio sedimentario en cual se formó (muy similar a la de Martinsson), por lo cual se evalúa si las estructuras forman relieves de algún tipo (p. ej. completos o semirelieves). Los genéticos se refieren al tipo de sedimentos que conforman al icnofósil y a la matriz, debido a que las marcas dejadas pueden estar constituidas por diferentes tipos de sedimentos, por ejemplo, cuando las marcas superficiales son rellenadas por un sedimento diferente al sustrato se denominan exogenéticas, mientras que las endogenéticas son aquellas estructuras rellenadas pasiva o activamente con el mismo material que compone la capa en la que se encuentran contenidas (Figura 2). Es importante aclarar que este sistema de clasificación fue modificado (1964), ya que en un principio fueron propuestas cinco categorías basadas en la interpretación de la conducta de un organismo sobre el sustrato. Dentro de la clasificación de Simpson (1957), se establecen cuatro categorías que reflejan los tipos de preservación que se presentan en el icnofósil, sin embargo, esta clasificación ya no es empleada, aunque se toman ciertos conceptos que enriquecen a las otras dos. Mientras que en la clasificación de Martinsson (1970) sólo se interpretan los procesos de interacción entre organismos y el sustrato, cabe aclarar que hasta el momento la nomenclatura de esta clasificación se utiliza sólo para estructuras de bioturbación (Gámez-Vintaned y Liñán, 1996).

Entre esos términos se define un “rastros” (trail) como una sola impresión realizada por los apéndices de un animal sobre la superficie de un sustrato, mientras que un tren de pisadas (trackway) es una serie de pasos continuos dejados sobre el sedimento, así que, es posible clasificar a una galería como un rastros continuo hecho dentro del sustrato. La orientación que siguen, cualquiera de esas marcas, se define de manera simplificada como horizontal, subhorizontal, oblicuo, subvertical o vertical. El conocer la orientación arroja información de diversas condiciones ambientales, por ejemplo, el nivel de energía de las olas o la tasa de sedimentación (Seilacher, 1953).

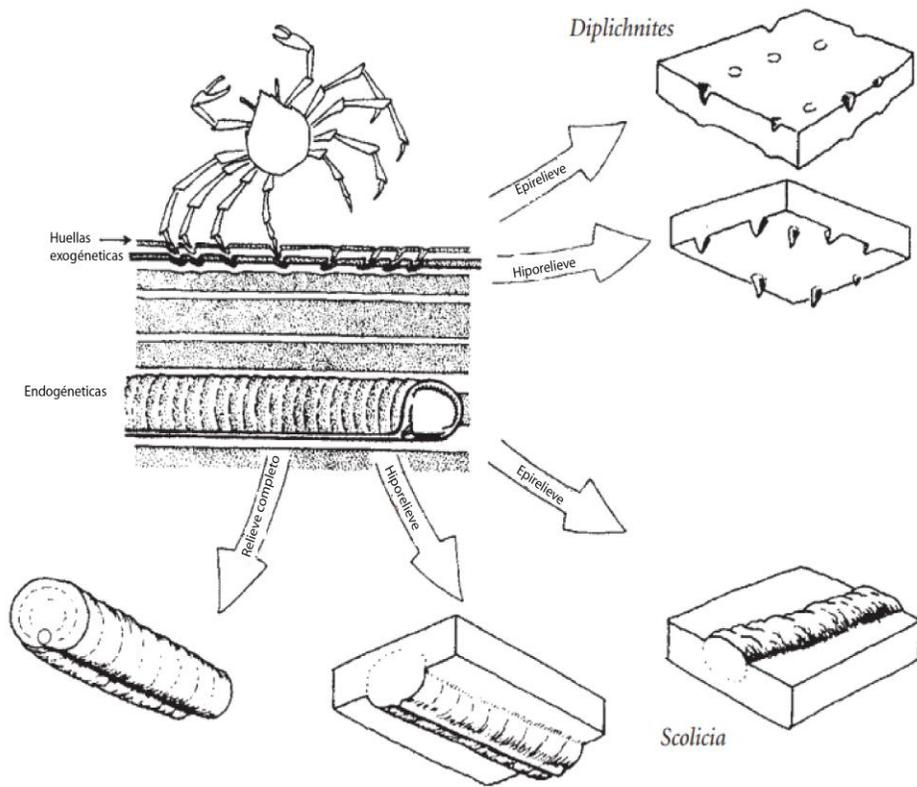


Figura 2. Términos empleados en la clasificación a los icnofósiles esta depende de los horizontes sedimentarios donde se formaron (modificado de Benton y Harper, 2013, modificada a su vez de Ekdale *et al.*, 1984).

4. Icnofacies

Posteriormente Seilacher (1967) reconoció que el tipo de actividad de los animales depende de múltiples factores del ambiente, de los recursos disponibles y de la diversidad de relaciones que se desarrollan entre los organismos. Tomando en consideración que la morfología de los icnofósiles y las asociaciones que se encuentran son un reflejo de todos esos factores, Seilacher desarrolló el estudio de las icnofacies o facies arquetípicas cuya definición se basa en su contenido y en la diversidad de los icnofósiles asociados.

5. Generalidades

5.1 Sistemas de galerías asociadas a crustáceos.

Dentro de la diversidad de sistemas de galerías que se han descrito, *Thalassinoides* es un icnogénero que encuentra en todo el Fanerozoico (Myrow, 1995), pero su mayor abundancia y diversidad se alcanza a inicios del Mesozoico (Bromley, 1996). En general, se reconoce como una serie de galerías dicotómicas en forma de “Y” o de “T”, que forman intersecciones o laberintos, y que por lo general no presentan ornamentaciones o arrugas de algún tipo. Su conformación consiste básicamente en un tubo estrecho (<4 mm de diámetro), con un núcleo interno, así como con una pared externa de 3-4 cm de grosor, con un halo de origen diagenético formado alrededor de lo que pudo ser alguna mucosidad impregnada en las paredes de la galería. Este icnofósil es común en las icnofacies de *Zoophycos* y *Glossifungites* (Seilacher, 2007). Gran parte de los especialistas concuerdan en considerar a *Thalassinoides* como un fósil traza cuya fabricación, asociada principalmente a diversos tipos de crustáceos, responde a un modo de vida que se asocia a un patrón etológico complejo.

Los sistemas de galerías asociados a *Gyrolithes* son comunes en depósitos de ambientes marino-marginales con aguas salobres del Mesozoico y Cenozoico (Netto *et al.*, 2007). Se caracterizan por ser galerías en forma espiral, con una orientación perpendicular al plano de sedimentación, sin ramificaciones, el ancho de las galerías es variable (aunque por lo general son mayores a 4 mm) y su coloración es más opaca en las galerías con respecto a la roca donde se encuentra contenida (Mayoral y Muñiz, 1995). *Gyrolithes* es común en las icnofacies de *Skolitos* y *Glossifungites*. Su producción se asocia a crustáceos decápodos, especialmente a talasínidos (Mayoral y Muñiz, 1993, 1995), y por lo general son encontrados en asociación con *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*. Se consideran como icnofósiles de tipo Domichnia, es decir galerías que funcionaron principalmente como morada, pero también se han asociado al menos con los comportamientos de tipo Fodinichnia y Agrichnia (Netto *et al.*, 2007).

Las galerías identificadas como *Ophiomorpha* se encuentran desde el Paleozoico hasta el Reciente, en depósitos de ambientes de amplio rango batimétrico. Se caracterizan

como galerías con paredes recubiertas de pellets, presentan una coloración más oscura con respecto a la roca en la que se encuentran; pueden presentarse rectas, con ramificaciones, en diversidad de tamaños, con una orientación que puede ser tanto vertical como horizontal. *Ophiomorpha* se reconoce más como un sistema integrado de galerías que como galerías solitarias (Frey *et al.*, 1978) y se asocia a las icnofacies de *Skolitos* y *Zoophycos* (Bromley, 1996). Los organismos productores de *Ophiomorpha* que se han propuesto son principalmente crustáceos decápodos (Frey *et al.*, 1978; Bromley, 1996). Se considera a estos un icnofósil de tipo Domichnia (Frey *et al.*, 1978).

Thalassinoides y *Ophiomorpha*, también son interpretados como icnofósiles del tipo Fodinichnia, considerando que en las mismas galerías o túneles se alimentan los organismos productores (Bromley, 1996), los cuáles finalmente terminarán siendo utilizados como sitios de morada. Por regla general, ambos tipos de galerías son anastomosadas, (lo cual quiere decir) que se presentan en forma de una red intrincada con múltiples intersecciones entre las diversas galerías que conforman a la estructura y su clasificación se basa en muchos más criterios, tales como la cantidad de ramificaciones, lo liso que pueden ser las paredes o el tipo de marcas que estas pueden presentar (Ekdale y Lamond, 2003). La complejidad de los sistemas de galerías ha fomentado una discusión con respecto a qué es considerado un icnofósil complejo. Por ejemplo, en el caso particular de *Thalassinoides*, debido a que su origen se asocia a crustáceos infaunales, con patrones etológicos complejos que involucran el uso de las galerías para actividades de depredación y alimentación y como un medio donde reposar o refugiarse de depredadores o condiciones ambientales adversas. Esta complejidad se diferencia claramente al origen de una pisada o a un tren de pisadas que son considerados como icnofósiles simples producto de un sólo tipo de actividad, y cuya geometría y arquitectura es relativamente sencilla (Ekdale y Bromley, 2003).

5.2 Etología de crustáceos excavadores

En el presente una diversidad de crustáceos de agua dulce, terrestres y marinos son excavadores, esto se refiere principalmente al hecho de que remueven sedimento de un sitio y lo depositan en otro. Parte de esa diversidad la integran gran número de especies totalmente infaunales, tal como los en los crustáceos del Orden Decápoda, particularmente los de hábitos

semiterrestres (Vannini, 1980; Atkinson y Eastman, 2015), así como los talasínidos (Suborden Pleocyemata) que habitan las superficies de la zona litoral y sub-litoral (Dworschak, 1983; Gibson *et al.*, 2005; Atkinson y Eastman, 2015). El comportamiento asociado a excavar consta de dos etapas: 1) el ablandamiento del depósito en la zona de excavación, seguido de la recolección del sedimento excavado y 2) el levantamiento del sedimento para su posterior transporte fuera de la galería. Las fases de desarrollo de la excavación incluyen la formación inicial de la misma, su posterior desarrollo por remoción hasta transformarla en una galería más compleja y “madura”, para finalizar con el mantenimiento estructural. Para todo el proceso se ha descrito de manera más detallada el comportamiento que exhiben los crustáceos mientras excavan o mientras realizan actividades asociadas a la remoción o al mantenimiento (Atkinson y Eastman, 2015).

El sedimento es excavado por medio de varios apéndices, usualmente los toracópodos anteriores tales como el tercer maxilípodo, las quelas, y los pares anteriores de los pereiópodos. El sedimento excavado es usualmente transportado por las extremidades anteriores que usan a manera de una canastilla. En Astacidea y Thalassinidea esta canastilla es formada por el tercer maxilípodo y el par anterior de pereiópodos (Karplus, 1987; Nickell y Atkinson, 1995; Stamhuis *et al.*, 1996; Atkinson y Eastman, 2015). Los representantes del Infraorden Brachyura utilizan indistintamente sus quelas y sus otros pereiópodos para transportar el sedimento; en los casos específicos de cangrejos y alfeidos el sedimento es transportado solamente por las quelas (Alexander y Ewer 1969; Atkinson *et al.*, 2003; Atkinson y Eastman, 2015). El sedimento que se encuentra suspendido puede ser expulsado por acción del golpeteo del pleópodo como es descrito para alfeidos, estomatópodos y talasínidos (Karplus, 1987; Atkinson *et al.*, 1997, 2003; Atkinson y Eastman, 2015).

La dirección recta o curvada que seguirá la galería, así como los rasgos de la base que permitirá mantener consolidada la estructura general de la galería, dependerá principalmente de dos factores, el tipo de substrato dónde se excavó la galería, así como el tipo de crustáceo que se vio involucrado en su construcción. Por citar un ejemplo, si el sedimento es de granulación fina la galería podrá mantener fácilmente su estructura, sin la necesidad de consolidarla, en contraposición a aquellas galerías que son construidas en sedimentos de una

granulación arenosa o de mayor tamaño donde es necesario la consolidación de los muros, ya que esta acción evita su colapso. El mecanismo de consolidación se puede realizar de diferentes formas, dependiendo principalmente del tipo de crustáceo, ya que algunos emplean secreciones para mantener la estructura de las paredes de las galerías; otros aglutinan las paredes con sedimento más fino o restos vegetales y algunos otros simplemente apelmazan las paredes para tratar de mantener la integridad de las paredes (Dworschak 1983; Kneer *et al.*, 2008; Vonk *et al.*, 2008; Atkinson y Eastman, 2015).

En el caso particular de los braquiuros es posible reconocer dos tipos de cangrejos con patrones conductuales muy marcados, los denominados “excavadores de espalda” y los “excavadores de lado” (Frey *et al.*, 1984). En la actualidad existen cangrejos que en conjunto con sus galerías son abundantes en diversos ambientes sedimentarios, que van desde los terrestres (clásticos), hasta los marinos carbonatados (Farrow, 1971; Frey *et al.*, 1984). Las familias representantes de braquiuros modernos en los que se conoce esta conducta incluyen a miembros de las familias: Portunidae, Xanthidae, Goneplacidae, Grapsidae y Gecarcinidae, al menos una especie de los géneros *Albuena* y *Ocypode* (Farrow, 1971; Frey *et al.*, 1984), así como algunos representantes de los géneros *Cerianthus* y *Balanoglossus*, siendo los crustáceos decápodos talasinidos el grupo más importante (Myrow, 1995). Las adaptaciones que presenta cada grupo, por ejemplo, en su locomoción o hábitos alimenticios, se reflejan en la morfología de las madrigueras que forman y gracias a ello, aplicando el principio del actualismo biológico, es posible analizar diversos aspectos presentes en organismos actuales para tratar de comprender y vislumbrar las características que pudieron haber tenido los organismos pasados (Chamberlain, 1971; Frey *et al.*, 1984).

Cabe destacar que los sistemas de *Thalassinoides* elaborados por cangrejos son los más aptos para mostrar marcas dejadas por los quelíceros sobre las paredes de los túneles, que aquellas excavadas por otros decápodos o incluso estomatópodos. Dentro de los *Thalassinoides* atribuidos a cangrejos, los que fueron reportados por Jenkins (1975) parecen ser los más típicos dentro del icnogénero en términos generales de la configuración del túnel. Mientras que aquellos reportados por Nomura y Hatai (1936) y Richards (1975) son considerados menos típicos, ya que consisten en galerías que derivan de un túnel basal

horizontal. Configuraciones similares también han sido observadas en *Thalassinoides* formados por carideos (Frey *et al.*, 1984).

6. Trabajos Previos

Las galerías y marcas fosilizadas atribuidas a cangrejos han sido reportadas para múltiples localidades de muy diversas edades: para el Cretácico Tardío de la Columbia Británica (Richards, 1975), el Mioceno o Plioceno de Japón (Nomura y Hatai, 1936), el Mioceno de Taiwán (Hayasaka, 1935) y Polonia (Radwański, 1977), el Mioceno-Plioceno de Australia (Jenkins, 1975), el Pleistoceno de Carolina del Norte de los Estados Unidos (Frey y Mayou, 1971; Curran y Frey, 1977), de las Bahamas (Curran y Frey, 1977) y posiblemente en el Oligoceno de Egipto (Bown, 1982). Sobre localidades de México portadoras de galerías de crustáceos existen registros del Plioceno de las formaciones Gloria (Johnson *et al.*, 1997) e Infierno (Ledesma-Vázquez *et al.*, 1997) de Baja California Sur.

7. Área de estudio

El área de estudio se ubica entre las coordenadas geográficas 97° 19' 64.39 W y 20° 71' 51.968 N, en el Municipio de Cazonos de Herrera, estado de Veracruz, México. El Municipio de Cazonos se encuentra en el sureste de la región Huasteca, limita al norte con el de Tuxpan, al oeste con el de Tihuatlán y al sur con el de Papantla. La sección que porta los sistemas de galerías estudiados, aflora a lo largo de la línea de costa, sobre la playa que bordea hacia el sur el poblado de Barra de Cazonos. Posee una extensión aproximada de 600 metros y se encuentra expuesta completamente sólo durante la marea baja.

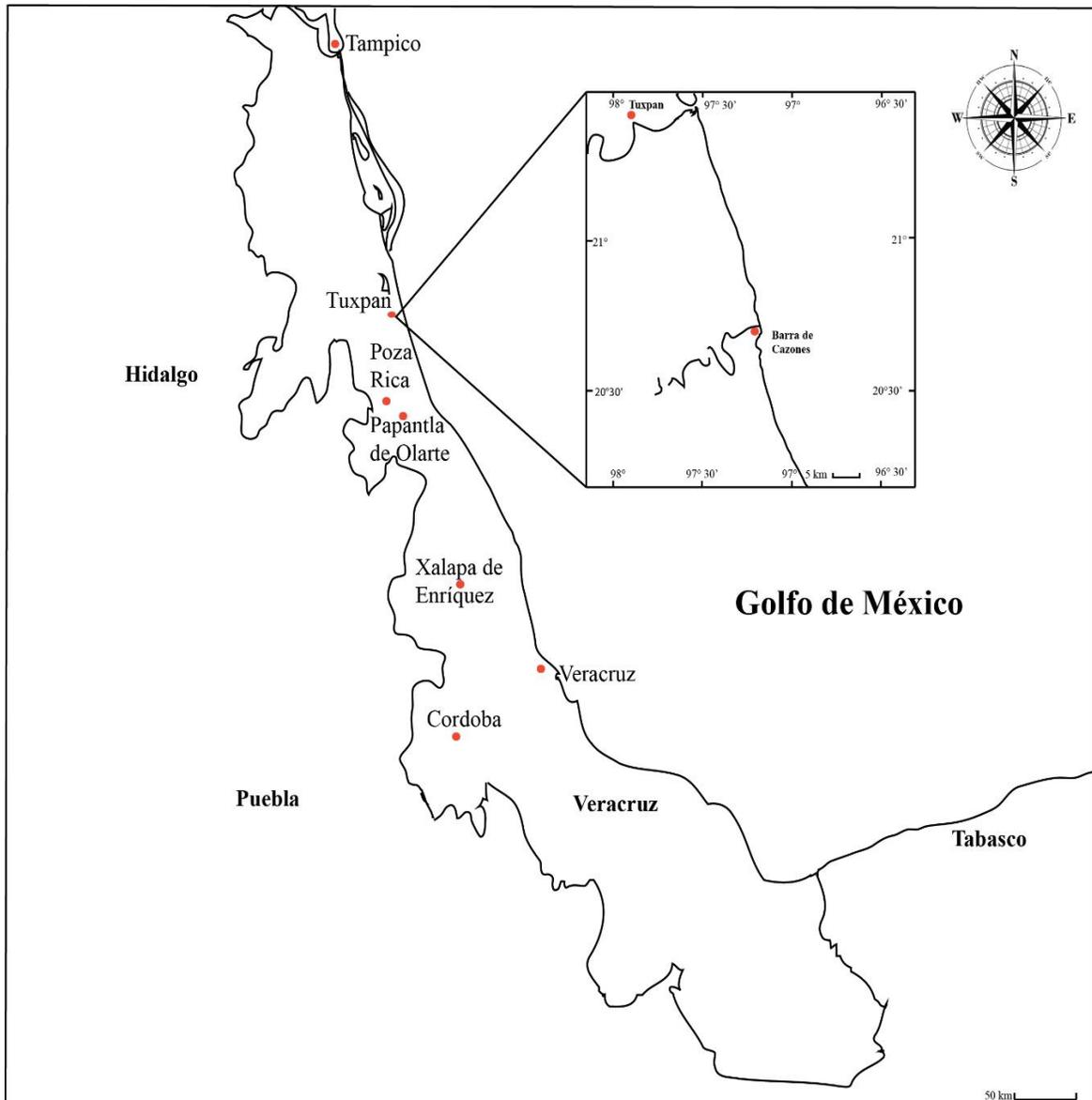


Figura 3. Mapa del estado de Veracruz donde se muestra el área de estudio. La Sección de Barra de Cazonos aflora muy cerca del poblado homónimo.

7.1 Marco geológico

La Formación Tuxpan fue descrita originalmente por Dumble (1911) como la Capa Tuxpan; esto mientras realizaba trabajo geológico en busca de agua artesiana en el suroeste de Texas y el Noreste de México. A partir de este trabajo obtuvo abundante información sobre las localidades del Cenozoico (Terciario en el informe) que afloran en la Planicie del Golfo. De acuerdo a Dumble, la Capa Tuxpan comprende una secuencia de arenisca de color

amarillo, la cual se caracteriza por una gran diversidad de invertebrados del Mioceno (Langhiano) principalmente gasterópodos, bivalvos, equinoideos y crustáceos. Durante el transcurso de su trabajo, Dumble también se dedicó a detallar la litología de la formación. Esta unidad fue cartografiada por López-Ramos (1956) y fue definida por él como una serie de afloramientos que varían en extensión entre 1 y 20 km paralelos a la costa del Golfo de México (López-Ramos, 1956; Vega *et al.*, 1999). La Formación Tuxpan se encuentra dentro de la Cuenca Sedimentaria Tampico-Misantla, que actualmente constituye la llanura costera del Golfo de México, se encuentra limitada al norte por el río Guayalejo y la población de Xicoténcatl, Tamaulipas, así como por el extremo sur de la Sierra de Tamaulipas; al sur se limita por las poblaciones de Nautla y Misantla, Veracruz y el Macizo de Teziutlán; al este por el Golfo de México y al oeste por la Sierra Madre Oriental. Esta cuenca comprende gran parte de las formaciones del Paleógeno-Neógeno marino del este de México y tiene una superficie aproximada de 25,000 km² (López-Ramos, 1982).

8. Estratigrafía

Las rocas que conforman a la Formación Tuxpan presentan una coloración crema y son portadoras de una alta diversidad y abundancia de gasterópodos, bivalvos, tubos de anélidos, restos de crustáceos y equinoideos (López-Ramos 1982; Vega *et al.*, 1999). La sección tipo presenta un espesor de 155 metros y fue descrita en la Ciudad de Tuxpan (Dumble, 1911). La base de la formación se encuentra conformada por conglomerados seguidos por capas de arenisca, arenisca calcárea y de lutita más o menos arenosa (López-Ramos, 1982). La Formación Tuxpan descansa en discordancia sobre la Formación Mesón, aunque también presenta límites con las formaciones oligocénicas Escolín, Coatzintla, Alazán y Palma Real. La parte superior se encuentra cubierta en ciertas porciones por sedimentos costeros y aluviales no diferenciados que pueden corresponder al Plioceno o Cuaternario (Juárez-Arriaga, 2010). La presencia de diversos foraminíferos planctónicos entre ellos *Operculinoides tuxpanesis* (Vega *et al.*, 1999), permitió establecer una edad del Mioceno (Baker *et al.*, 1976) que permite correlacionar a la Formación Tuxpan con el Mioceno Inferior (Budigaliano-Langhiano) de Luisiana (Juárez-Arriaga, 2010), aunque la presencia de bivalvos del género *Pycnodonte* sugieren que la edad corresponde al Mioceno Medio (Perrilliat, 1994). Se ha señalado que los sedimentos de la Formación Tuxpan fueron

depositados durante una fase transgresiva de agua someras, seguida de una regresión, donde las aguas alcanzaron la posición de la actual costa norte del Golfo de México (López-Ramos, 1982).

8.1 Descripción de la Sección de Barra de Cazonas:

Como se mencionó previamente, la sección de estudio, de 14 m de espesor, aflora sobre la playa que bordea hacia el sur al poblado de Barra de Cazonas. Posee una extensión de 600 metros aproximadamente y se encuentra expuesta completamente sólo durante la marea baja. Se caracteriza por una serie de estratos de arenisca de grano medio con abundantes foraminíferos. Los primeros 5.1 m que constituyen a la Unidad 1 se encuentran conformados por arenisca limo-arcillosa y arenisca calcárea que se distingue por presentar icnofósiles de *Thalassinoides* así como restos fosilizados de crustáceos decápodos; los siguientes 3.6 m (Unidad 2) son de arenisca limosa, con registros de *Gyrolithes* y en menor medida de *Ophiomorpha*, así como restos fosilizados de crustáceos y equinoideos; los últimos estratos (Unidad 3) miden 5.3 m y están compuestos por arenisca limo-arcillosa y calcarenita y presentan abundantes icnofósiles de *Ophiomorpha*, y fósiles de equinoideos, gasterópodos, bivalvos, crustáceos y otros invertebrados (Figura 3).

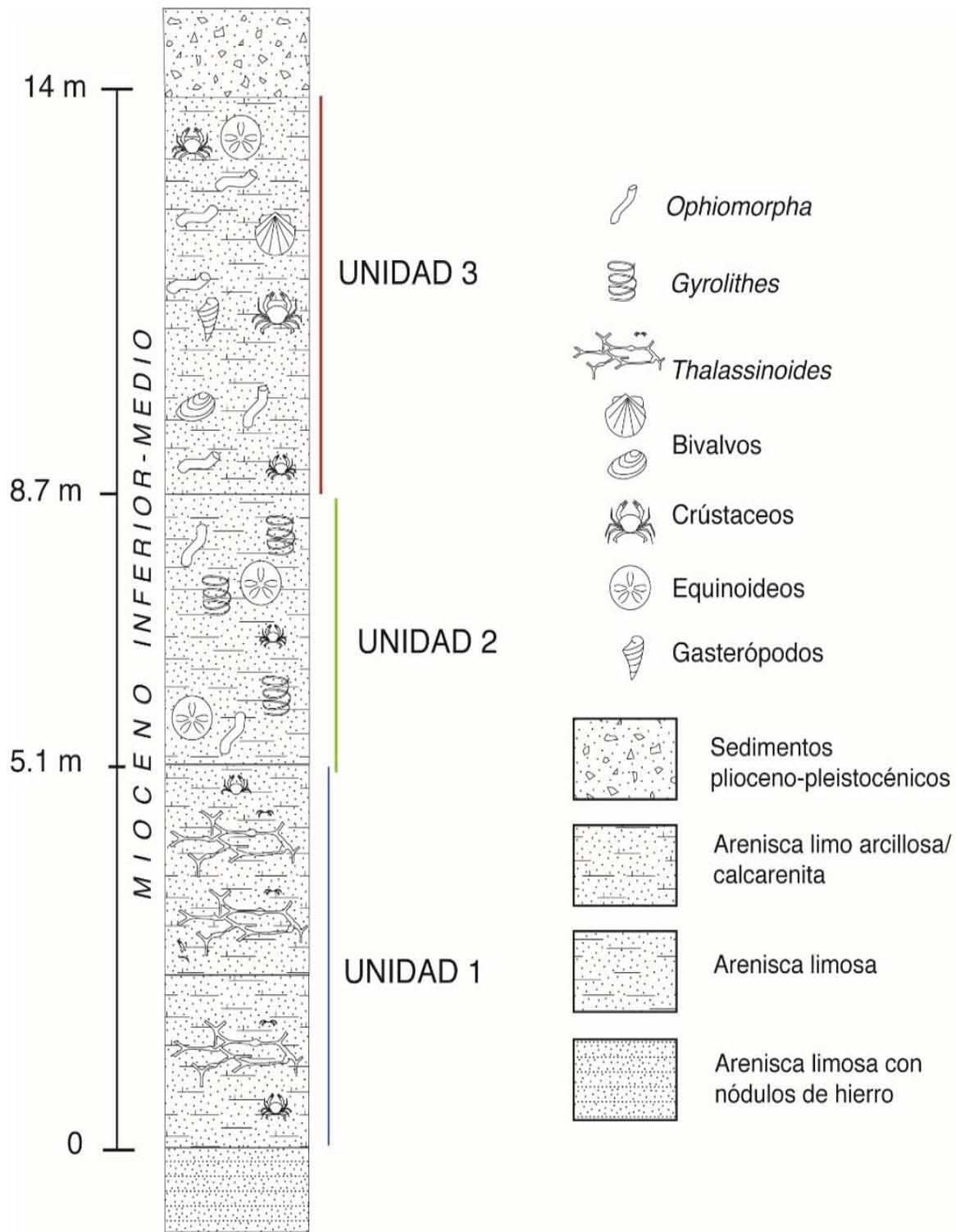


Figura 4. Sección estratigráfica del afloramiento de Barra de Cazones de la Formación Tuxpan, Mioceno (Langhiano), Veracruz.

9. Método

9.1 Trabajo de campo

Se realizó una salida durante el mes de noviembre de 2015, la cual tuvo una duración de tres días. Dentro de los cuales:

1. Se caracterizó la sección estratigráfica.
2. Se midieron y describieron las unidades en que se dividió la sección de estudio.
3. Se analizó el contenido icnológico y paleontológico de cada unidad.
4. Se elaboró el acervo fotográfico de las galerías, en especial se tomaron en consideración aquellos icnofósiles que tuvieran bien representados sus caracteres diagnósticos.

9.2 Trabajo de gabinete

1. Revisión y medición de los ejemplares de galerías recolectados previamente, los cuales se encontraban resguardados en las colecciones del Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M.
2. Se llevó a cabo la revisión bibliográfica correspondiente. Se enfocó a la búsqueda de publicaciones relacionadas con el análisis icnológico, con la geología del área de estudio y en los cuales se describen o analizan galerías fósiles de crustáceos.

10. Resultados

10.1 Icnología Sistemática

Icnogénero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

Icnoespecie tipo *Thalassinoides callianassae* Ehrenberg, 1944.

Diagnosis: Sistema complejo de galerías con elementos verticales y horizontales. Las galerías son cilíndricas con diámetros de 2 a 20 cm. Presenta ramificaciones regulares caracterizadas por bifurcaciones en forma de “Y” con una zona hinchada en el punto de ramificación. Los elementos que conforman el plano horizontal se unen formando polígonos. Las dimensiones de las galerías son variables entre sistemas. Los sistemas horizontales se conectan a la superficie por túneles inclinados o ligeramente inclinados y comúnmente con restos de calasinidos (Häntzschel, 1962).

Thalassinoides isp.

Lámina 1, fotografías 1-6

Descripción: Sistema de galerías complejo, anastomosado, de paredes suavizadas con elementos orientados tanto vertical como horizontalmente, formando una red tridimensional, con una extensión de 20 a 40 metros en su anchura, expuesta por la erosión a lo largo de 200 m sobre la línea de costa (Lámina 1, fotografías 1 y 2). Las galerías son cilíndricas o semicilíndricas, con tramos muy irregulares en diámetro y longitud entre bifurcaciones o nodos; las galerías oscilan entre 2 y 8 cm de diámetro y entre 4 y más de 30 cm de longitud (Lámina 1, fotografías 1 y 5) en sus secciones internodales. Las bifurcaciones principalmente tienen forma de “Y” con ángulos agudos que van desde los 45° hasta los ángulos rectos de 90°, llegando a tener forma de “T” (Lámina 1, fotografías 2 y 3), presentan un engrosamiento muy marcado formando cámaras o nodos muy amplios y en conjunto una red intrincada con interconexiones tanto horizontales como verticales. Los nodos son muy prominentes,

irregulares y principalmente de forma bulbosa; se pueden interpretar, además de ser puntos de bifurcación de corredores, como cámaras de descanso o madrigueras (Lámina 1, fotografía 4).

Clasificación. Los *Thalassinoides* presentes en Barra de Cazonos por su modo de preservación son icnofósiles endogenéticos y de acuerdo con la clasificación etológica de Seilacher (1953) son considerados icnofósiles de tipo Fodinichnia y Domichnia.

Discusión. *Thalassinoides* se ha reportado en localidades con edades que abarcan del Triásico hasta el Reciente, presentando una mayor abundancia y diversidad durante el Mioceno-Plioceno. A lo largo de este tiempo, también es común que se encuentre asociado a *Ophiomorpha*, que es el icnogénero con mayor semejanza morfológica. *Thalassinoides* comprende una gran cantidad de icnoespecies que se distinguen principalmente por las dimensiones de los túneles, la forma de las cámaras y los patrones de bifurcación. El sistema de *Thalassinoides* de Barra de Cazonos presenta una diversidad de morfotipos y su determinación a nivel de icnoespecie representa un trabajo a desarrollarse posteriormente. Los sistemas de galerías de *Thalassinoides* son comunes en las icnofacies de *Zoophycos*, cuando domina un sustrato poco consolidado y *Glossifungites*, en sustratos más firmes (Myrow, 1995).

Productores. Asociados a las galerías de *Thalassinoides* se han encontrado restos de crustáceos decápodos, principalmente quelas, que pueden ser considerados como los organismos productores. Vega y colaboradores (1999) describieron la fauna de crustáceos decápodos de la Formación Tuxpan, entre esta fauna se encuentran los crustáceos *Portunus atecuicitli* y *Necronectes tajinensis* y algunos representantes de la Familia Calappidae; decápodos que pueden ser considerados como los posibles productores.

Ichonogénero *Gyrolithes* Saporta, 1884

Ichonoespecie tipo *Gyrolithes davreuxi* Saporta, 1884.

Diagnosis enmendada. Madrigueras más o menos verticales en relación al plano de sedimentación, formadas por una espiral circular que se enrolla indistintamente a la izquierda o a la derecha; su superficie puede presentar o no estructuras en la pared o trazas de estrías; el radio de la vuelta y el diámetro del túnel son bastante constantes y se puede ramificar o interconectar con otros sistemas o estructuras correspondientes (Mayoral y Muñiz, 1995).

Gyrolithes isp.

Lámina 2, figuras 1-5

Descripción: Madrigueras verticales en espiral circular, con enrollamiento dextrógiro o levógiro; eje ligeramente inclinado de la vertical (Lámina 2, fotografías 1 y 3). La sección transversal es subcircular a sub-elipsoidal, el diámetro varía entre 3 y 4.5 cm, el número máximo de vueltas observado es de 9 en una galería de 30 cm de longitud (Lámina 2, fotografía 1); la terminación es ciega y fusiforme; el espaciado entre cada vuelta varía de 1.5 a 3 cm, siendo mayor en las espirales superiores (Lámina 2, fotografía 1). Las paredes de las espirales son lisas, sin detalles de ornamentación fina, y presentan protuberancias a manera de tubérculos prominentes. En la parte externa del tubo en espiral que compone a varias de las galerías analizadas, se presenta un canal medio que provoca una bilobulación a lo largo de toda la galería (Lámina 2, fotografía 3). La mayoría de los ejemplares presentan una costra o capa superficial, de color amarillento con un contorno rojizo, de posible origen diagenético (Lámina 2, fotografías 1, 3 y 5). El sedimento de relleno es una arena fina muy similar al de las rocas portadoras. En la unidad en que se presenta *Gyrolithes* también contiene algunas galerías de *Ophiomorpha* y, en menor cantidad, algunas de tipo *Thalassinoides* (Lámina 2, fotografías 1, 2 y 4).

Clasificación. En la clasificación etológica de Seilacher (1953) *Gyrolithes* es considerado un icnofósil de tipo Domichnia, aunque se ha señalado la posibilidad de que representen también comportamientos de tipo Fodinichnia dado que los organismos productores también aprovechan las galerías para alimentarse de los sustratos ricos en materia orgánica que se acumulan en las paredes de las mismas. Un ejemplo de ello se describe para las formaciones Rio do Sul y Rio bonito, en la cuenca del Paraná, Brasil (Netto *et al.*, 2007).

Discusión. Las galerías de Barra de Cazonas, asignadas a *Gyrolithes*, presentan algunos rasgos que permiten distinguirlos de icnoespecies descritas para otras localidades. En particular la aparente bilobulación del tubo que compone la espiral es un rasgo no descrito en otras icnoespecies del género. *Gyrolithes variabilis*, descrita para el Mioceno tardío de la Cuenca de Huelva, España (Mayoral y Muñiz, 1993), en algunas de sus diferentes variedades, es similar en sus dimensiones, en la homogeneidad del diámetro de cada vuelta y en el aumento paulatino en la dimensión de los espacios que separan cada vuelta, llega a presentar estriaciones muy finas pero no se ha observado la presencia del surco que provoca la bilobulación que caracteriza a las galerías descritas en este trabajo, ni tampoco la presencia de tubérculos sobresalientes. Otras icnoespecies miocénicas, como *G. marylandicus* de Maryland y Virginia, en los Estados Unidos (Gernant, 1970), se pueden distinguir por un aumento gradual en el diámetro de cada vuelta y la constancia en la distancia de separación que existe entre ellas. *Gyrolithes* es un icnogénero que forma parte de las icnofacies de *Glossifungites*.

Productores. La literatura asocia estas galerías a crustáceos decápodos (Bromley y Frey, 1974; Netto *et al.*, 2007). En diversos puntos, a lo largo del afloramiento de Barra de Cazonas, es posible observar una transición gradual de la Unidad 1 hacia la 2, de este rasgo se puede inferir que las galerías descritas como *Gyrolithes* son producto de los mismos tipos de organismos, crustáceos portunidos y calappidos. Dentro de ambas unidades se encuentran asociados restos de quelas y otros apéndices que apoyan dicha hipótesis. El eventual cambio en el patrón de las galerías se puede explicar por cambios en el aporte sedimentario y en la energía del medio que influyó en la conducta de los productores y el cambio en la morfología de las galerías a través del tiempo.

Ichnogénero *Ophiomorpha* Lundgren, 1891

Ichnoespecie tipo *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891.

Diagnosis: Sistema de galerías simple a complejo, de apariencia arrugada debido a una aglutinación de pellets de sedimento. Presenta un revestimiento más o menos suavizado en el interior; exterior de escasa a densamente nodoso. Los pellets de manera individual o en su conjunto pueden ser discoidales, ovoides, bilobados o irregulares. Lo corrugado de las paredes puede variar entre ejemplares (Frey *et al.*, 1978).

Ophiomorpha isp.

Lámina 3, fotografías 1-5

Descripción: Los ejemplares de *Ophiomorpha* de Barra de Cazonas se caracterizan por ser una serie de galerías o túneles interconectados en una red tridimensional con una serie de bifurcaciones a lo largo del sistema. Las galerías por lo general son circulares en su luz (Lámina 3, fotografías 2, 3 y 5), pero se presentan algunas ligeramente ovaladas; el diámetro que presentan por lo general no supera los 6 centímetros y las longitudes son variables, con tramos no mayores a 4 cm y algunos que llegan a medir más de 15 cm; los túneles siguen trazos en diferentes planos e inclinaciones; la superficie de las paredes externas de los túneles es rugosa por la presencia de pellets (Lámina 3, fotografías 4 y 5) que en algunos casos incluyen foraminíferos; la misma superficie presenta una coloración más oscura en comparación al sedimento de relleno y envolvente (Lámina fotografías 3, 4 y 5); el interior muestra sedimentos de diferente tamaño. En el mismo nivel estratigráfico en que domina la presencia de *Ophiomorpha* se encuentra a *Gyrolithes* y pocos *Thalassinoides* (Lámina 2, fotografías 2, 5; Lámina 3, fotografía 3).

Clasificación. De acuerdo a la clasificación etológica de Seilacher (1953), *Ophiomorpha* es un icnofósil de tipo Domichnia.

Discusión. La distribución que presenta *Ophiomorpha* es bastante amplia dentro de los márgenes marinos, ya que se les puede asociar a ambientes tales como lagunas, playas, bancos de arena, planicies de marea y barras (Frey *et al.*, 1978). En la actualidad, galerías similares son formadas por crustáceos del género *Callinasa* y existen modelos sobre la elaboración de las galerías, su distribución en el sedimento y el modo de empleo; llegan a presentar una morfología similar a la de *Thalassinoides* y se ha mostrado que ambos icnogéneros pueden tener su origen en un comportamiento similar de los organismos productores. Cabe destacar que este icnogénero no es el único que presenta similitud con *Ophiomorpha* y que existen asociaciones en las que se encuentran asociados *Thalassinoides*, *Gyrolithes* y *Ophiomorpha* que presentan una distribución batimétrica similar a la icnofacies Skolithos (Frey *et al.*, 1984).

Productores. Al igual que los otros dos icnogéneros, *Ophiomorpha* también se considera elaborado por crustáceos decápodos (Frey *et al.*, 1978). Actualmente las galerías elaboradas por *Callianassa* presentan una morfología muy similar y existen representantes de otros géneros de crustáceos que también construyen sistemas similares.

11. Discusión

11.1 Tipos de asociación e icnofacies

El afloramiento de edad miocénica de Barra de Cazonos se dividió en tres unidades que en conjunto forman una sección de aproximadamente 14 m de espesor (Figura 5). La Unidad 1, se encuentra en la base de la sección, tiene un espesor de 5.1 metros, y se caracteriza por contener un sistema de galerías que se describen como *Thalassinoides* isp. La matriz está compuesta principalmente por arenisca, de grano fino a medio, que por erosión se ha perdido en gran parte y ha dejado al descubierto tridimensionalmente al sistema de galerías que aflora por cerca de 600 metros en paralelo a la línea de oleaje. El sistema presenta un claro dominio de *Thalassinoides* isp., desde la base hasta la parte superior de la Unidad 1. En el contacto con la Unidad 2 el sistema de *Thalassinoides* se pierde y es reemplazado por un sistema con dominio de *Gyrolithes* embebido en una matriz de arenisca de grano fino. Esta unidad, transicionalmente es cubierta por la Unidad 3 que contiene un tercer sistema de galerías, en el que domina la presencia de *Ophiomorpha*, dentro de una matriz de arenisca de grano medio.

Para la Unidad 1, se infiere que las galerías de *Thalassinoides* fueron elaboradas y empleadas por diferentes tipos de crustáceos, cuyos restos se han encontrado en las rocas portadoras, durante actividades de depredación, carroñeo o al alimentarse como suspensívoros: las mismas galerías pudieron ser empleadas como morada (MacEachern *et al.*, 2007). Los sistemas de *Thalassinoides* son comúnmente asociados a las icnofacies de *Zoophycos*, *Cruziana* o *Glossifungites* (Myrow, 1995). En el caso de Barra de Cazonos, la Unidad 1 no presentan otro tipo de galerías, diferentes a *Thalassinoides* y no es posible con el tipo de icnoasociación determinar a qué icnofacies corresponde el sistema. Sin embargo, los restos de crustáceos encontrados en la misma unidad y el tipo de sedimento de la matriz señalan un ambiente litoral y con ello se puede establecer a *Glossifungites* como la icnofacies presente.

La Unidad 2, que se encuentra en la parte media de la sección, tiene un espesor de 3.6 m, posee un sistema dominado por la presencia de *Gyrolithes*, galerías empleadas principalmente como morada. Se considera que su forma helicoidal no sólo favorece el desplazamiento entre diferentes tipos de sedimentos, también ofrece protección contra cambios ambientales, como fluctuaciones de salinidad o humedad en el medio que pueden dañar a los organismos formadores. Para lograrlo, en algunos casos, cuando el sedimento es fino, actúa ralentizando el intercambio de agua a través de los poros, ocasionando que el efecto de las fluctuaciones de salinidad se vea disminuido (Rhoads, 1975; Netto *et al.*, 2007). Las galerías de tipo *Gyrolithes* siguen una orientación perpendicular al plano de sedimentación que permite al productor desplazarse a zonas de mayor profundidad, permitiéndole ocultarse de posibles depredadores y resistir periodos con condiciones poco favorables. El modo de vida infaunal es reconocido como una estrategia común que actúa en favor de los organismos en condiciones poco favorables, por ejemplo, les permite tolerar la acumulación excesiva de materia orgánica y los bajos niveles de oxígeno que provoca tal acumulación (Netto *et al.*, 2007). *Gyrolithes* es un icnogénero común en las icnofacies de *Zoophycos* y *Glossifungites*. En el caso de la Unidad 2, la asociación de *Thalassinoides* y *Ophiomorpha*, y los rasgos sedimentológicos de la matriz permiten identificar la icnofacies de *Glossifungites*.

La Unidad 3, con un espesor de 5.3 m y constituida por sedimentos limo-arcillosos, se distingue por una gran abundancia de galerías del icnogénero *Ophiomorpha* acompañadas por algunas galerías de *Gyrolithes* y *Thalassinoides* formando un sistema de icnofósiles de tipo Domichnia. *Ophiomorpha* ha sido asociado a ambientes marinos someros y facies arenosas del Mesozoico hasta el Reciente (Pollard *et al.*, 1993), aunque no necesariamente se restringe a tales zonas, puesto que se han encontrado estructuras semejantes a este icnofósil en ambientes marinos profundos, como zonas de talud con corrientes turbidíticas, y también se ha encontrado en depósitos litorales, como lagunas o deltas (Crimes, 1977; Crimes *et al.*, 1981; Pollard *et al.*, 1993). Dada la asociación de *Ophiomorpha* con *Thalassinoides* y *Gyrolithes*, para la Unidad 3 de la sección de Barra de Cazonas se postula que la icnoasociación forma parte de una icnofacies de *Glossifungites*.

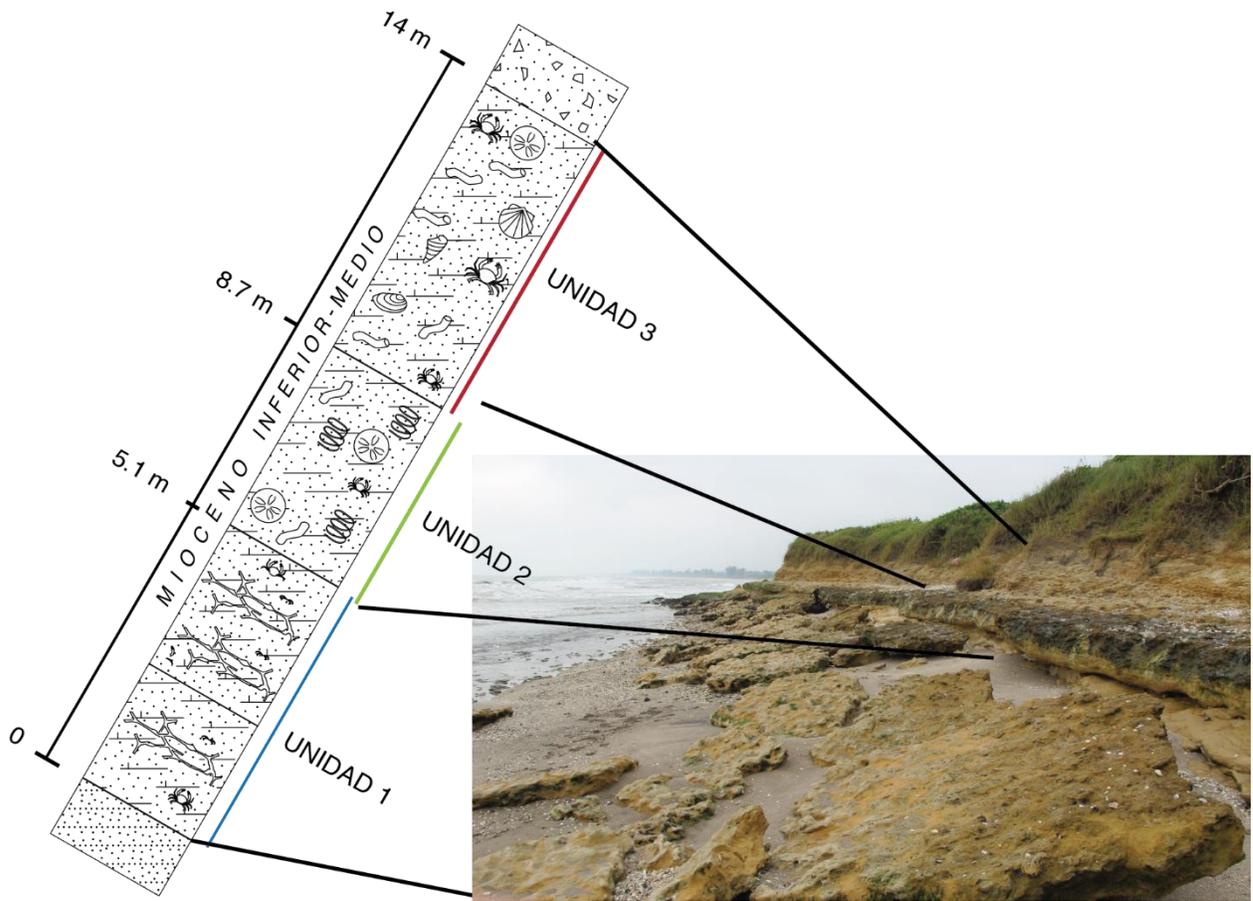


Figura 5. Vista parcial de la sección medida de la Formación Tuxpan en Barra de Cazones, Veracruz. La Unidad 1 se caracteriza por la presencia exclusiva de *Thalassinoides*; la Unidad 2, por la abundancia de *Gyrolites*; y la Unidad 3 por la de *Ophiomorpha*. La secuencia indica un evento regresivo con un cambio de un ambiente infralitoral hacia ambientes mesolitoral y supralitoral

11.2 Icnofacies y Paleoambiente

En las tres unidades de la sección de la Formación Tuxpan, que aflora en Barra de Cazones, se encuentran sistemas de galerías que se pueden asignar a la icnofacies de *Glossifungites*, icnofacies típica de ambientes litorales con sustratos de terrígenos arenolimosos (MacEachern *et al.*, 2012) en donde eventos sedimentarios asociados a transgresiones y regresiones marinas pueden ocurrir de manera alternada o secuencial (Gingras *et al.*, 2000; MacEachern *et al.*, 2012). En este contexto, se observa un cambio en el tipo de galerías de la base a la cima de la sección, primero un sistema con dominancia de *Thalassinoides*, seguido de uno con mayor presencia de *Gyrolites*, y un tercero con dominancia de *Ophiomorpha*, este orden se puede interpretar como el efecto de un cambio

en el nivel del mar a través del tiempo durante el cual se depositaron secuencialmente los tres niveles de la sección.

Primero, para el sistema con dominancia de *Thalassinoides* que se encuentran en la base del yacimiento, la Unidad 1, se infiere un depósito en la zona infralitoral con influencia del oleaje que se infiere por la predominancia de galerías horizontales. Esta disposición es la presenta menor resistencia al oleaje y evita que eventualmente sean rellenadas con nuevos sedimentos. Por otra parte, la naturaleza cohesiva de los sedimentos firmes, permite mantener la estructura de la galería, incluso en situaciones que provocan compactación, pérdida de agua o exposición al ambiente aéreo (Gingras, *et al.*, 2000).

Para el segundo evento sedimentario, representado por la Unidad 2 en que se encuentra a *Gyrolithes*, se infiere que se desarrolló dentro de la zona mesolitoral con una influencia de moderada a baja del oleaje. Esto se infiere dada la estructura vertical de las galerías con respecto al plano de sedimentación. Esta disposición puede corresponder a algún tipo de estrategia alimentaria, en general es atribuida a animales infaunales intersticiales, como en el caso, por ejemplo, de los cangrejos que transportan pedazos de carroña hacia el interior de las galerías y ahí los consumen o el caso de diversos organismos suspensívoros que, con el cuerpo dentro de la galería, mantienen las estructuras de captura de partículas en la interface agua-sedimento. Las propiedades del sustrato en que viven estos organismos incluyen una selección del tamaño del grano, consistente en partículas de muy diversos tamaños, que da cohesión a las galerías (Gingras *et al.*, 2000), esta es una de las cualidades de los sedimentos asociados a la icnofacies *Glossifungites* (Gingras, *et al.*, 2000, MacEachern, *et al.*, 2007, MacEachern *et al.*, 2012) y que caracteriza a la Unidad 2 de estudio.

Para el último evento de depósito, el que dio origen a la Unidad 3, es posible establecer que se dio en un ambiente supralitoral, tal vez una zona de marismas o un ambiente con condiciones estuarinas. El tipo de sedimento asociado y el tipo de galerías presentes, con dominio de *Ophiomorpha* en esta parte de la sección apoyan la interpretación considerando que existe una relación de este icnogénero y el ambiente. Observaciones realizadas por Frey

y colaboradores (1978), realizadas en playas del sur de Estados Unidos, muestran que diversas galerías comparten características morfológicas con *Ophiomorpha* y que se presentan a lo largo de la porción oriental del Golfo de México. Este patrón que se repite en localidades de diferentes partes del mundo (Bromley y Frey, 1974; Kern y Warne, 1974; Macsotay, 1967), sugiere que la presencia de galerías de *Ophiomorpha* no es exclusiva de ambientes de playa y que se puede encontrar en ambientes subaéreos, en ambientes alejados de la costa y en todos los ambientes intermedios.

12. Conclusiones

Se reporta la presencia de tres sistemas de galerías, *Thalassinoides*, *Gyrolithes* y *Ophiomorpha*, en una sección de la Formación Tuxpan en el afloramiento de Barra de Cazonos, Veracruz. *Thalassinoides* constituye un complejo de galerías presente en la unidad basal de la sección; *Gyrolithes* se presentan en abundancia en la unidad media y, en menor medida, en la unidad superior (3) de la sección; *Ophiomorpha* se encuentra como principal componente en el sistema de galerías de la Unidad 3 y como componente secundario en la Unidad 2. Estos sistemas representan el primer registro de galerías de crustáceos que se describe en la Formación Tuxpan. Las tres icnoasociaciones presentes, y la composición sedimentológica de cada unidad asocia toda la sección a la icnofacies de *Glossifungites*. Esta icnofacies se caracteriza por galerías que pueden presentarse tanto verticales como horizontales, con una predominancia de comportamiento tipo *Domichnia*, rellenas pasivamente con sedimentos areno-limosos típicos de ambientes litorales.

Se infiere que el ambiente de depósito se encontraba en un litoral con variaciones en la profundidad, en la influencia del oleaje y en la exposición de condiciones de un ambiente infra a supralitoral. Para la Unidad 1, que presenta una predominancia de *Thalassinoides*, se infiere que el depósito ocurrió en un ambiente infralitoral con influencia moderada a alta del oleaje. Para la Unidad 2, con dominio del icnogénero *Gyrolithes* en asociación a algunas galerías del icnogénero *Ophiomorpha*, se sugiere que el depósito se dio en un ambiente mesolitoral con una influencia moderada a baja del oleaje. La mayor proporción del icnogénero *Ophiomorpha* en la Unidad 3, permite interpretar que el ambiente de depósito fue subaéreo con condiciones estuarinas o de marismas. En su conjunto, los cambios icnológicos y sedimentológicos que se observan en las tres unidades, permiten inferir una disminución gradual en el nivel del mar durante el depósito de toda la sección. Este evento se puede asociar a un evento regresivo, descrito en trabajos previos.

13. Bibliografía

- Alexander, S. J. & Ewer D.W. (1969). A comparative study of some aspects of the biology and ecology of *Sesarma catenata* Ort. and *Cyclograpsus punctatus* M. Edw., with additional observations on *Sesarma meinerti* De Man. *African Zoology*, 4(1): 1-35.
- Atkinson, R. J. A., Eastman, L.B. (2015) Burrow Dwelling in *Crustacea*. In: Watling, L., & Thiel, M. (eds). *The Natural History of the Crustacea*. Oxford University Press. Vol 2, pp 75-102.
- Atkinson, R. J. A., Frogliá, C., Arneri, E., & Antolini, B. (1997). Observations on the Burrows and Burrowing Behaviour of: *Squilla mantis* L. Crustacea: Stomatopoda. *Marine Ecology*, 18(4): 337-359.
- Atkinson, R. J. A., Gramitto, M. E., & Frogliá, C. (2003). Aspects of the biology of the burrowing shrimp *Alpheus glaber* (Olivi) (Decapoda: Caridea: Alpheidae) from the Central Adriatic. *Ophelia*, 57(1): 27-42.
- Barker, R. W., & Blow, W. H. (1976). Biostratigraphy of some Tertiary formations in the Tampico-Misantla embayment, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*, 6(1): 39-58.
- Benton, M., & Harper, D. A. (2013). *Introduction to paleobiology and the fossil record*. John Wiley & Sons, pp 510- 528
- Bromley, R. G. (1990). Trace Fossils. Biology and Taphonomy. *Unwin & Hyman, London*, pp 17- 65.
- Bromley, R. G. (1996). Trace Fossils. Biology, Taphonomy and Applications, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman & Hall, pp 77-104.
- Bromley, R. G., & Frey, R. W. (1974). Redescription of the trace fossil *Gyrolithes* and taxonomic evaluation of *Thalassinoides*, *Ophiomorpha* and *Spongeliomorpha*. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 23(3-4): 311-335.
- Bown, T. M. (1982). Ichnofossils and rhizoliths of the nearshore fluvial Jebel Qatrani Formation (Oligocene), Fayum Province, Egypt. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 40(4): 255-309.
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2011). *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press, pp 5- 67.

- Chamberlain, C. K. (1971). Biogenic mounds in the Dakota Sandstone of northwestern New Mexico. *Journal of Paleontology*, 45(4): 641-644.
- Crimes, T. P. (1977). Trace fossils of an Eocene deep-sea sand fan, northern Spain. *Trace fossils*, 2 (eds T.P. Crimes and J.C. Harper), *Geological Journal, Special Issues*, 9, 71-90
- Crimes, T. P., Goldring, R., Homewood, P., van Stuijvenberg, J., & Winkler, W. (1981). Trace fossil assemblages of deep-sea fan deposits, Gurnigel and Schlieren flysch (Cretaceous-Eocene), Switzerland. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 74(3): 953-995.
- Curran, H. A., & Frey, R. W. (1977). Pleistocene trace fossils from North Carolina (USA), and their Holocene analogues. *Trace fossils 2*. Geological Journal Special Issue 9: 139-162.
- Dumble, E.T., (1911). Tertiary deposits of northeastern Mexico. *Science*, n.s. 33:232-234
- Dworschak, P. C. (1983). The biology of *Upogebia pusilla* (Petagna) (Decapoda, Thalassinidea) I. The Burrows. *Marine Ecology*, 4(1): 19-43.
- Ehrenberg, K. (1944). Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. *Paläontologische Zeitschrift*, 23(3): 354-359.
- Ekdale, A. A., Bromley, R. G., & Pemberton, S. G. (1984). Ichnology Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, OK. Short Course Notes pp 15- 77.
- Ekdale, A. A., & Lamond, R. E. (2003). Behavioral cladistics of trace fossils: evolution of derived trace-making skills. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 192(1): 335-343.
- Farrow, G.E., (1971), Back-reef and lagoonal environments of Aldabra Atoll distinguished by their crustacean burrows. *Symposia of the Zoological Society, London*, 28: 455-500.
- Frey, R. W., Curran, H. A., & Pemberton, S. G. (1984). Tracemaking activities of crabs and their environmental significance: the ichnogenus *Psilonichnus*. *Journal of Paleontology*, 58(2): 333-350.
- Frey, R. W., Howard, J. D., & Pryor, W. A. (1978). *Ophiomorpha*: its morphologic, taxonomic, and environmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 23: 199-229.
- Frey, R. W. & Mayou, T. V. (1971). Decapod burrows in Holocene barrier island beaches and washover fans, Georgia. *Senckenbergiana maritima*, 3: 53-77.

- Frey, R. W., & Pemberton, S. G. (1985). Biogenic structures in outcrops and cores. I. Approaches to ichnology. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 33(1): 72-115.
- Frey, R. W., & Wheatcroft, R. A. (1989). Organism-substrate relations and their impact on sedimentary petrology. *Journal of Geological Education*, 37(4): 261-279.
- Gámez-Vintaned, J.A., y Liñan E. (1996). Revisión de la terminología icnológica en español. *Revista Española de Paleontología*, 11(2): 155-176.
- Gernant, R. E. (1970). Invertebrate biofacies and paleoenvironments. *Environmental History of Maryland Miocene: Maryland Geological Survey Guidebook*, 3: 19-30.
- Gibson, R., Atkinson, R., & Gordon, J. (2005). Aspects of the physiology, biology and ecology of thalassinidean shrimps in relation to their burrow environment. *Oceanography and marine Biology: an annual review*, 43: 173-210.
- Gingras, M. K., Pemberton, S. G., & Saunders, T. (2000). Firmness profiles associated with tidal-creek deposits: the temporal significance of *Glossifungites* assemblages. *Journal of Sedimentary Research*, 70(5): 1017-1025.
- Hayasaka, I. (1935). The burrowing activities of certain crabs and their geologic significance. *American Midland Naturalist*, 16(1): 99-103.
- Häntzschel, W. (1962). Trace fossils and Problematica. *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Part W: 177- 245, figs 109-149. New York
- Jenkins, R. J. F. (1975). The fossil crab *Ommatocarcinus corioensis* (Cresswell) and a review of related Australian species. *Memoirs of the National Museum of Victoria*, 36: 33-67.
- Johnson, M. E., Ledesma-Vazquez, J., Mayall, M. A., & Minch, J. (1997). Upper Pliocene stratigraphy and depositional systems: The Peninsula Concepción basins in Baja California Sur, Mexico. *Special Papers-Geological Society of America*, 318: 57-72.
- Juárez-Arriaga, E. (2010) Tuxpan, Formación. Paleógeno, Mioceno temprano-Mioceno medio. Léxico Estratigráfico de México. Extraído de http://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/default.html. Fecha de Consulta 1 de marzo 2017
- Karplus, I. L. A. N. (1987). The association between gobiid fishes and burrowing alpheid shrimps. *Oceanography and Marine Biology*, 25: 507-562.
- Kern, J. P., & Warme, J. E. (1974). Trace fossils and bathymetry of the Upper Cretaceous Point Loma Formation, San Diego, California. *Geological Society of America Bulletin*, 85(6): 893-900.

- Kneer, D., Asmus, H., Ahnelt, H., & Vonk, J. A. (2008). Records of *Austrolethops wardi* Whitley (Teleostei: Gobiidae) as an inhabitant of burrows of the thalassinid shrimp *Neaxius acanthus* in tropical seagrass beds of the Spermonde Archipelago, Sulawesi, Indonesia. *Journal of Fish Biology*, 72(4): 1095-1099.
- Ledesma-Vázquez, J., Berry, R. W., Johnson, M. E., & Gutiérrez-Sánchez, S. (1997). El Mono Chert: a shallow-water chert from the Pliocene Infierno Formation, Baja California Sur, Mexico. *Special Papers Geological Society of America*, 318: 73-82.
- López-Ramos, E. (1956). Visita a las localidades tipo de las formaciones del Eoceno, Oligoceno y Mioceno de la Cuenca Sedimentaria de Tampico-Misantla, en la Llanura Costera del Golfo de México, entre Poza Rica, Ver. Tampico. Tamps, y Ciudad Valles, SLP: *Cong. Geol. Internal*, 20, México, Excursión pp16-94
- López-Ramos, E. (1982). Geología de México. CONACYT, tomo II 3ª edición pp 390-397
- Lundgren, B. (1891). Stndier öfvor fossilförande lösa block. *GFF*, 13(2): 111-121.
- MacEachern, J. A., Pemberton, S.G., Murray, K.G. & Bann, K.L. (2007). The Ichnofacies Paradigm: A Fifty-Year Retrospective. Miller. W. III (ed.). Trace Fossils: Concepts, Problems. *Prospects*, pp 53-68.
- MacEachern, J. A., Bann, K. L., Gingras, M. K., Zonneveld, J. P., Dashtgard, S. E., & Pemberton, S. G. (2012). The Ichnofacies Paradigm. *Developments in Sedimentology*, 64: 103–138.
- Macsoy, O. (1967). Huellas problemáticas y su valor paleoecológico en Venezuela. *Geos*, 16: 7-79.
- Martinsson, A. (1970). Toponymy of trace fossils. In T.P. Crimes and J.C. Harper (eds.), *Trace Fossils, Geological Journal Special Issue*, 3: 323–330.
- Mayoral, E., & Muñoz, F. (1993). Consideraciones paleoetológicas acerca de *Gyrolithes*. *Jornadas de Paleontología*, 9: 18-22.
- Mayoral, E., & Muñoz, F. (1995). Nueva icnoespecie de *Gyrolithes* del Mioceno Superior de la cuenca del Guadalquivir (Lepe, Huelva). *Revista Española de Paleontología*, 10: 190-201.
- Myrow, P. M. (1995). *Thalassinoides* and the enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaios*, 10(1): 58-74.

- Netto, R. G., Buatois, L. A., Mángano, M. G., & Balistieri, P. R. M. N. (2007). *Gyrolithes* as a multipurpose burrow: An ethologic approach. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10(3): 157-168.
- Nickell, L. A., & Atkinson, R. J. A. (1995). Functional morphology of burrows and trophic modes of three thalassinidean shrimp species, and a new approach to the classification of thalassinidean burrow morphology. *Marine Ecology Progress Series*, 128: 181-197.
- Nomura, S. and Hatai, K. (1936). On the occurrence of peculiar shaped concretions probably due to certain decapod crustaceans. *Japanese Journal of Geology and Geography*, 13: 57-61.
- Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., & Frey, R. W. (1992). Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. *Facies models: response to sea level change: Geological Association of Canada*, pp 47-72.
- Perrilliat, M.C. (1994). Bivalvos de la Formación Tuxpan (Mioceno medio), Estado de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2): 232-242.
- Pollard, J. E., Goldring, R., & Buck, S. G. (1993). Ichnofabrics containing *Ophiomorpha*: significance in shallow-water facies interpretation. *Journal of the Geological Society*, 150 (1): 149-164.
- Radwański, A. (1977). Burrows attributable to the ghost crab *Ocypode* from the Korytnica basin (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Poland). *Acta Geologica Polonica*, 27(2): 217-226.
- Rhoads, D. C. (1975). The paleoecological and environmental significance of trace fossils. Frey, R. W. (ed), *The Study of Trace Fossils*. Springer Berlin Heidelberg. pp 147-160.
- Richards, B. C. (1975). *Longusorbis cuniculosus*: a new genus and species of Upper Cretaceous crab; with comments on Spray Formation at Shelter Point, Vancouver Island, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 12(11): 1850-1863.
- de Saporta, G. (1884). *Les organismes problématiques des anciennes mers*. Libraire de L'Académie de Médecine.
- Seilacher, A. (1953). Studien zur Palichnologie. I. Über die Methoden der Palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 96: 421–452.
- Seilacher, A. (1964). Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils. *Sedimentology*, 3: 256–253.
- Seilacher, A. (1967). Bathymetry of trace fossils. *Marine geology*, 5(5): 413-428.

- Seilacher, A. (2007). *Trace fossil analysis*. Springer Science & Business Media. pp 50-60.
- Simpson, S. (1957). On the trace fossil *Chondrites*. *The Quarterly Journal Geological Society of London*, 112: 475–479.
- Stamhuis, E. J., Reede-Dekker, T., Van Etten, Y., De Wiljes, J. J., & Videler, J. J. (1996). Behaviour and time allocation of the burrowing shrimp *Callianassa subterranea* (Decapoda, Thalassinidea). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 204(1): 225-239.
- Vannini, M. (1980). Researches on the Coast of Somalia. The Shore and the Dune of Sar Uanle: 27. Burrows and Digging Behaviour in *Ocypode* and other Crabs (Crustacea Brachyura). *Monitore Zoologico Italiano. Supplemento*, 13(1): 11-44.
- Vonk, J. A., Kneer, D., Stapel, J., & Asmus, H. (2008). Shrimp burrow in tropical seagrass meadows: an important sink for litter. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(1): 79-85.
- Vega, F. J., Feldmann, R. M., Villalobos-Hiriart, J. L., & Gio-Argiez, R. (1999). A new decapod fauna from the Miocene Tuxpan Formation, Eastern Mexico. *Journal of Paleontology*, 73(03): 407-413.

14. Láminas

Lámina 1. Unidad 1. Sistema de galerías, compuesta exclusivamente por *Thalassinoides*. Se presenta en la base de la Sección que aflora en Barra de Cazonés. En las galerías predominan las bifurcaciones en forma de “Y” y “T” (fotografías 1-3), son anastomosadas (fotografías 4 y 6), con paredes lisas. Las galerías se pueden presentar en disposición horizontal, sin un sentido aparente. Porciones del conjunto de galerías presentan zonas con un mayor abultamiento (fotografías 2 y 4) que se consideran cámaras de reposo.

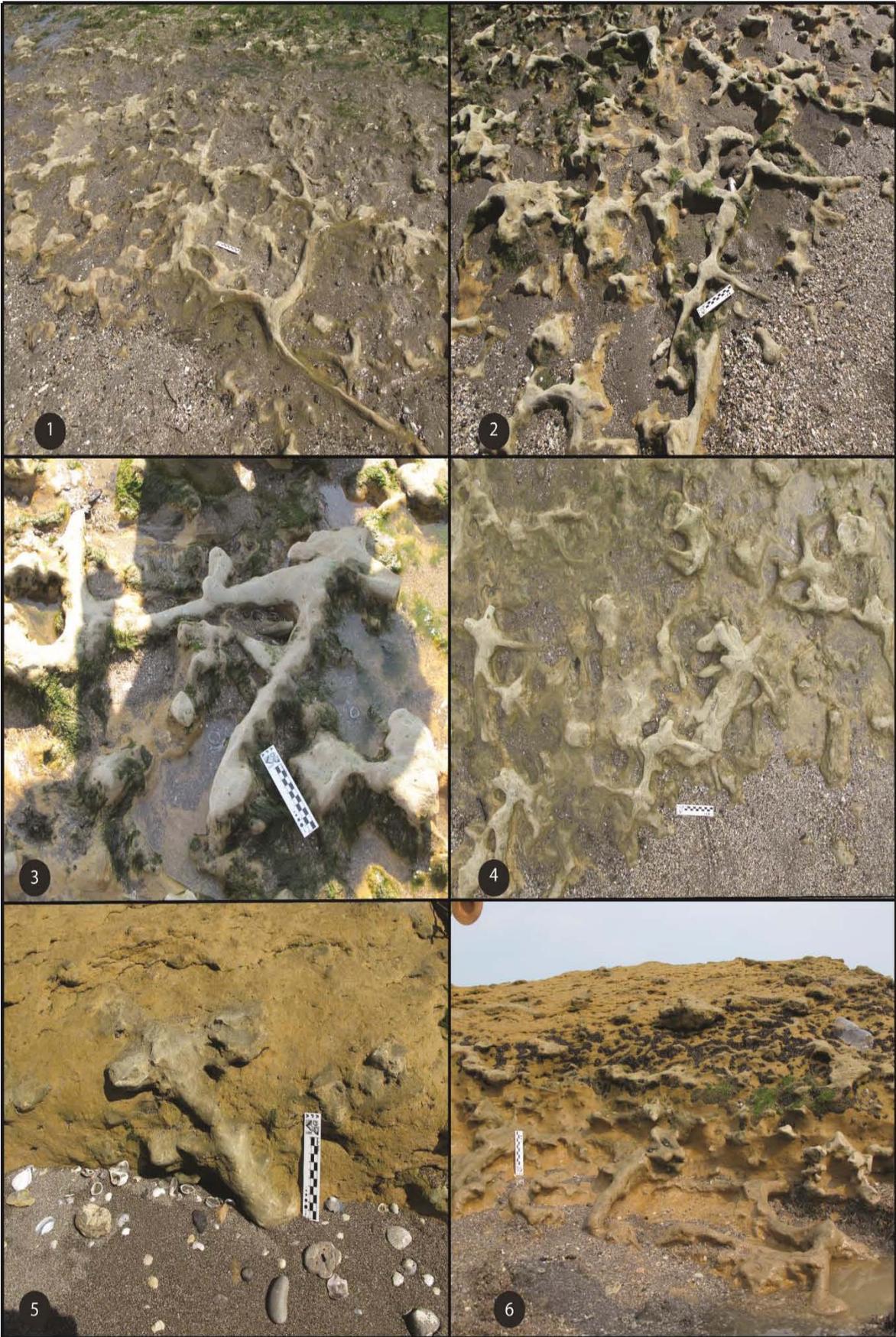


Lámina 2. Sistema de galerías con presencia abundante de *Gyrolithes*. Se encuentra en la parte media de la sección de Barra de Cazonas. Las galerías se caracterizan por su forma en espiral y una orientación perpendicular al plano de estratificación. Poseen una bilobulación (**Bi**) en la parte externa del giro (fotografías 1 y 3). En la misma unidad se encuentran galerías de *Ophiomorpha* (**Op**) y *Thalassinoides* (**Th**) (fotografías 1, 2, 5)

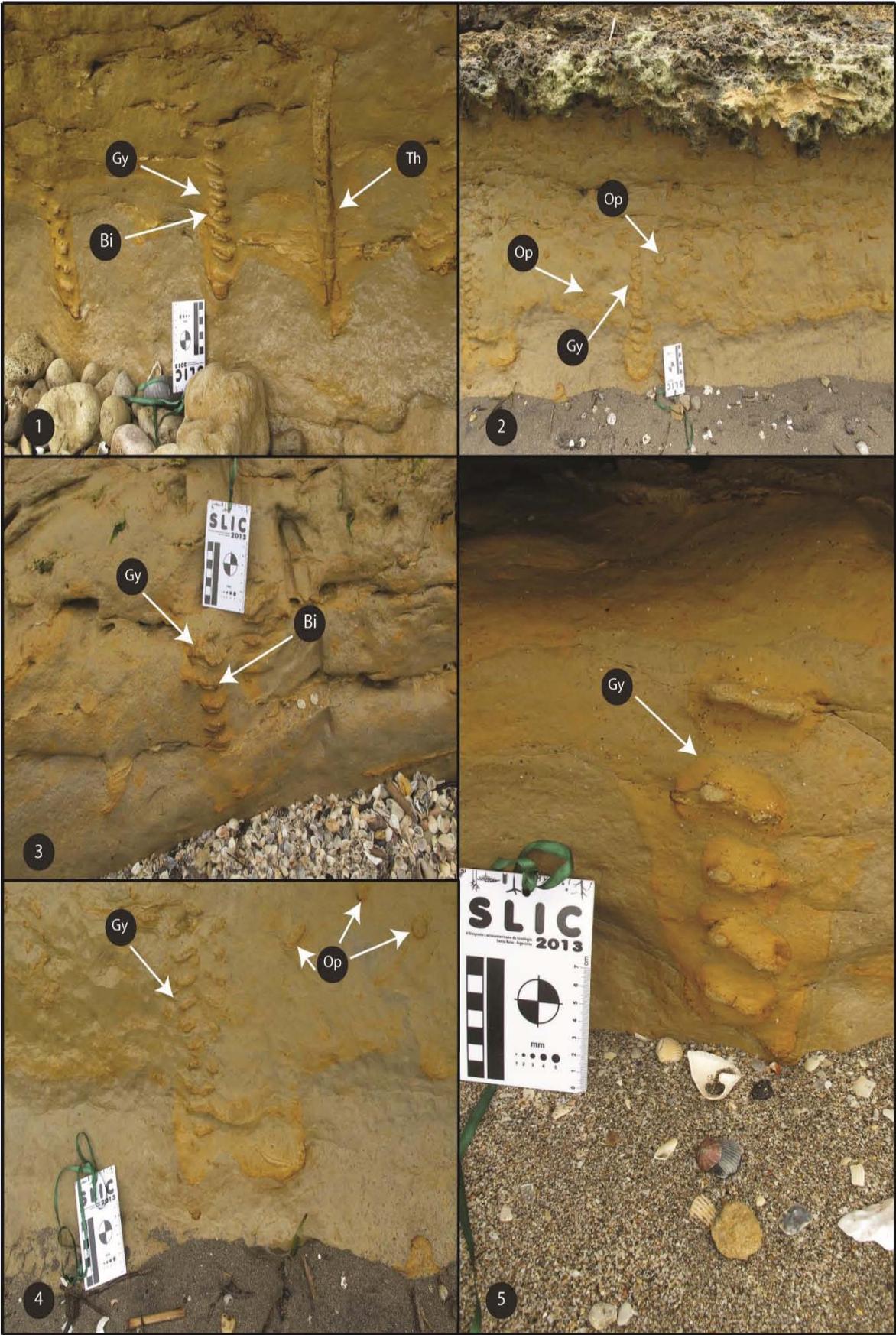


Lámina 3. Galerías de *Ophiomorpha* que se encuentran en la parte superior de la sección de Barra de Czones. Se caracterizan por los pellets aglutinados en las paredes de las galerías (fotografías 2, 4 y 5). La orientación puede ser tanto vertical como horizontal con diversas variaciones (fotografías 2, 3, 4 y 5); las galerías presentan una coloración más oscura con respecto a la matriz que las envuelve (fotografías 4 y 5), *Gyrolithes* (**Gy**) es un icnogénero que se presenta con cierta regularidad dentro de la unidad (fotografías 2 y 3).

