



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE HUELLAS DE
TORTUGA Y PTEROSAURIO EN
DESPLAZAMIENTO SUBACUÁTICO DE LA
FORMACIÓN SAN JUAN RAYA, PUEBLA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

PAOLA COLETTE ORDOÑEZ RODRÍGUEZ



**DIRECTORA DE TESIS:
M. en C. MARÍA DEL ROSARIO FERNÁNDEZ
BARAJAS**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México,
2021.**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme pertenecer a tan prestigiosa institución, a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por otorgarme un lugar dentro de sus instalaciones, por todos los conocimientos académicos y personales que adquirí, por los profesores y sus enseñanzas. Siempre guardaré con alegría todas las experiencias, ya sea buenas o malas, que viví en sus instalaciones.

A mi directora de tesis, M. en C. María del Rosario Fernández Barajas por darme la oportunidad de incorporarme en el laboratorio, por todos sus consejos y conocimientos, por compartirnos experiencias y por permitirnos formar nuevas a su lado. Le agradezco todo su tiempo y buena disposición para que este trabajo se diera satisfactoriamente. ¡Muchas gracias Profesora Chayito!

Al Dr. Miguel Ángel Torres Martínez, al Mtro. Oscar González León, a las profesoras Rosalía Rico Martínez y Leticia Martínez por sus comentarios, consejos y aportaciones al trabajo, les agradezco todo su tiempo y ayuda para la realización de la tesis, gracias por todos los conocimientos brindados.

Al Dr. Rafael Villanueva y al Laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la UNAM por permitirnos trabajar en sus instalaciones y por su asistencia en la elaboración de las láminas para la conclusión de este trabajo.

Al poblado de Santa Anna Teloxtoc por su calidez y por las facilidades brindadas para el muestreo de material dentro de las barrancas.

DEDICATORIAS

A toda mi familia, por todo el apoyo y amor que me han dado, por confiar en mí y por no dejarme caer, este también es su logro.

A mis padres, Lupe y Alfredo, gracias por darme la oportunidad de estudiar, de llamarme la atención cuando lo necesité, por apoyarme, por nunca dejarme sola, por toda la confianza y amor que me han dado. Espero que siempre los haga sentir orgullosos y saben que todos los éxitos que alcance son también éxitos suyos. A pesar de todos los obstáculos que se nos pongan delante, sé que teniéndolos a ustedes soy capaz de lograr todo. Los amo con todo mi corazón e infinitas gracias por todo.

A mis hermanas, Ximena y Fernanda, deseo que ustedes crezcan, brillen y lleguen más que yo, que demuestren todo de lo que son capaces, no se dejen vencer y sigan adelante. Malos ratos siempre hay, lo que importa es cómo los superan y aprenden de ellos. Gracias por apoyarme y creer en mí.

A mis otras mamás, tía Bárbara, tía Rosa y mi abuelita Lucía, muchas gracias por todo lo que me han dado, su apoyo y su amor. Gracias por preocuparse por mí desde que llegué a este mundo y por nunca dejarme sola, gracias por levantarse temprano y dormirse tarde junto con nosotras.

A Rubi, te mereces toda una saga, te agradezco mucho por estar a mi lado desde el primer momento en la carrera, por ser mi gemela perdida, por ayudarme y rescatarme de malas decisiones. Por apoyarme, entenderme, confiar en mí, acompañarme en cada nueva experiencia y ser una persona indispensable en todo este viaje. ¡Gracias de verdad por tanto!, espero tenerte conmigo por mucho tiempo más.

A mis "niñas" Rubi, Zuly, Susie, Jezz y Montse, cada una merece un capítulo entero lleno de agradecimientos, toda la carrera la pasé con ustedes y pareciera que fue una vida, no sé qué hubiera sido de mí si no hubiera tenido su compañía, risas y berradas, gracias por todos los buenos y malos ratos, cada uno de ellos nos ayudó a crecer y a fortalecer nuestra amistad. Espero tenerlas conmigo siempre y que podamos compartir muchos logros más.

Las quiero con todo mi ser y gracias por soportarme por tanto tiempo. ¡Por fin toda esa sangre y sacrificios dieron su fruto!

A mis compañeros de Paleo Nelson y Erick, gracias por toda su ayuda, sus comentarios, sugerencias y apoyo.

A mis amigas de la vocacional, que son para toda la vida Karla y Bere (gracias por leer mi trabajo y ayudarme), hemos crecido juntas desde hace tantos años, aunque tomamos caminos diferentes seguimos siendo buenas amigas y espero conservarlas para toda la vida, gracias por tantos momentos de risa y tonterías. ¡Las quiero!

ÍNDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. ANTECEDENTES	8
III. JUSTIFICACIÓN.....	10
IV. OBJETIVOS.....	10
4.1. General.....	10
4.2. Particulares.....	10
V. ÁREA DE ESTUDIO.....	10
VI. METODOLOGÍA.....	12
6.1. Campo	12
6.2. Gabinete	12
VII. RESULTADOS	16
7.1. Descripción de icnogéneros.....	17
7.2. Descripción de huellas del punto de muestreo 1.....	18
7.3. Descripción de huellas del punto de muestreo 2.....	22
7.4. Descripción de láminas delgadas.....	32
VIII. DISCUSIÓN.....	34
IX. CONCLUSIONES	39
X. REFERENCIAS.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen y evolución de los reptiles (Tomado de https://www.animalspot.net/wp-content/uploads/2013/01/Evolution-of-Reptiles.jpg).....	2
Figura 2. Fotografía que muestra carapacho de la tortuga <i>Notoemys zapatoacaensis</i> (Tomado de López, 2016).	3
Figura 3. Huellas y arañazos de tortugas del Grupo Oncala, España dentro del Yacimiento Valles de Valdelalosa (Valdevilla, Soria) (Tomadas de Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2015).	4
Figura 4. Fotografía y esquema que muestran los restos óseos del reptil volador <i>Muzquizopteryx coahuilensis</i> (Frey <i>et al.</i> , 2006).	5
Figura 5. Huellas interpretadas como desplazamiento subacuático (izquierda) y terrestre (derecha) de pterosaurio (Tomado de Lockley y Schumacher, 2014; Lockley y Wright, 2003).	5
Figura 6. Componentes ortoquímicos y aloquímicos que se pueden presentar en rocas carbonatadas sedimentarias (Tomado de: https://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet_sed.htm#comp_carb).	7
Figura 7. Ubicación geográfica del área de muestreo de la "Barranca El Salitrillo" (Tomado y modificado de González-León <i>et al.</i> , 2014).	11
Figura 8. A) Punto de muestreo uno, B) Horizonte del punto de muestreo dos.	11
Figura 9. Ejemplos de medidas del pie y mano: A) ancho total (Ap), largo total (Lp), apertura de la huella (α). B) ancho total (Am), largo total (Lm), relación de ángulos interdigitales (I'II'III) (Tomado y modificado de Pascual y Hernández, 2012).	13
Figura 10. Medidas a considerar en la identificación de un rastro: Lr (largo total), Ar (ancho total), P (paso), Z (zancada) (Tomado y modificado de Pascual y Hernández, 2012).	13
Figura 11. Diferentes etapas en la elaboración de las láminas delgadas. A) Corte de las muestras, B) Pulido de las muestras con polvos abrasivos, C) Pegado de las muestras al portaobjetos, D) Desbastado de las muestras (Fotos del autor).	14
Figura 12. Clasificación de rocas carbonatadas propuesta por Dunham (1962) (Modificado de Flügel, 2010).	15
Figura 13. Modelo de plataforma bordeada de Wilson (Flügel, 2010).	15
Figura 14. Reconstrucciones hipotéticas del icnogénero <i>Pteraichnus</i> . A) Huella de la mano de <i>Pteroichnus</i> y su huella tipo (abajo), B) Pies de <i>Rhamorphorhynchus</i> (arriba) y <i>Pterodactylus</i> (abajo), C) Pies de <i>Pterodactylus</i> (Lockley <i>et al.</i> , 2014).	17
Figura 15. Rastro perteneciente al icnogénero <i>Emydhipus</i> (Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2015).	17
Figura 16. Esquema que muestra huellas del icnogénero <i>Chelonipus</i> (Lichtig <i>et al.</i> , 2017).	18
Figura 17. Muestra BST-001 con su esquema.	18
Figura 18. Muestra negativa (arriba) y positiva (abajo) de la huella BST-002 con su respectivo esquema.	19
Figura 19. Muestra BST-003 con su respectivo esquema.	20
Figura 20. Muestra BST-004 con su esquema.	21
Figura 21. Muestra BST-005 con su respectivo esquema.	22
Figura 22. Muestra del espécimen BST-006 con su esquema.	23
Figura 23. Muestra de los especímenes BST-007 y BST-008.	24
Figura 24. Esquema de los especímenes BST-007 (línea punteada) y BST-008 (línea continua).	25

Figura 25. Muestra BST-009 con su respectivo esquema.....	26
Figura 26. Muestra BST-010 con su respectivo esquema.....	27
Figura 27. Muestra BST-011 con su esquema.....	28
Figura 28. Muestra de los especímenes BST-012 y BST-013.....	29
Figura 29. Esquema del rastro BST-012.....	30
Figura 30. Esquema del ejemplar BST-013.....	31
Figura 31. Láminas delgadas de las muestras, A) micrita neomorfizada; B) laminación; C) posible crecimiento bacteriano; D) presencia de materia orgánica (escala = 0.4 mm).....	33
Figura 32. Comparación de huellas de <i>Chelonipus</i> (Avanzini <i>et al.</i> , 2005) y BST-003.....	34
Figura 33. Comparación de huellas correspondientes a <i>Emydhipus</i> (Avanzini <i>et al.</i> , 2005) y BST-011.....	35
Figura 34. Rastras en desplazamiento subacuático de <i>Emydhipus</i> (Xing <i>et al.</i> , 2014) y BST-012.....	35
Figura 35. Reconstrucción de un pterosaurio caminando (Lockley <i>et al.</i> , 1995) y la muestra BST-005.....	36
Figura 36. Rastro de <i>Cocodylopodus</i> (Lockley <i>et al.</i> , 2010).....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas morfométricas de las muestras analizadas en este trabajo (mm).....	16
---	----

RESUMEN

Se estudiaron 10 muestras de roca colectadas en dos puntos de la Barranca "El Salitrillo", cercana al poblado Santa Ana Teloxtoc, Puebla. Los resultados consisten en la descripción de 13 ejemplares de trazas fósiles de los órdenes Testudines y Pterosauria. Dos de ellas se asignaron al icnogénero *Pteraichnus*, un ejemplar al icnogénero *Chelonipus* y 10 al icnogénero *Emydhopus*. El análisis de las características morfológicas de las huellas y del tipo de roca donde se preservaron permitió inferir que se trata de marcas en desplazamiento subacuático conservadas en lutitas calcáreas y calcarenitas. Siendo el primer reporte de éste tipo para la Formación San Juan Raya.

Con base al estudio sedimentológico de las rocas contenedoras de los icnofósiles, mediante láminas delgadas, se sugiere un ambiente de depósito con condiciones de una plataforma interior evaporítica según el modelo de cinturón de facies de Wilson, ubicándolo en un ambiente somero de baja energía poco oxigenado, así como con condiciones adversas para el asentamiento de biota bentónica foto-independiente.

I. INTRODUCCIÓN

Los reptiles son vertebrados generalmente exotérmicos que se reproducen por huevos y están cubiertos de escamas, aunque es posible que algunos fueran de sangre caliente. Estos organismos aparecieron durante el período Carbonífero de la era Paleozoica, hace más de 300 millones de años, y alcanzaron su esplendor a principios de la era Mesozoica, durante el periodo Triásico, en donde quedaron establecidos todos sus órdenes, entre los que figuraban los pterosaurios, tortugas, plesiosaurios y dinosaurios, entre otros (Figura 1).

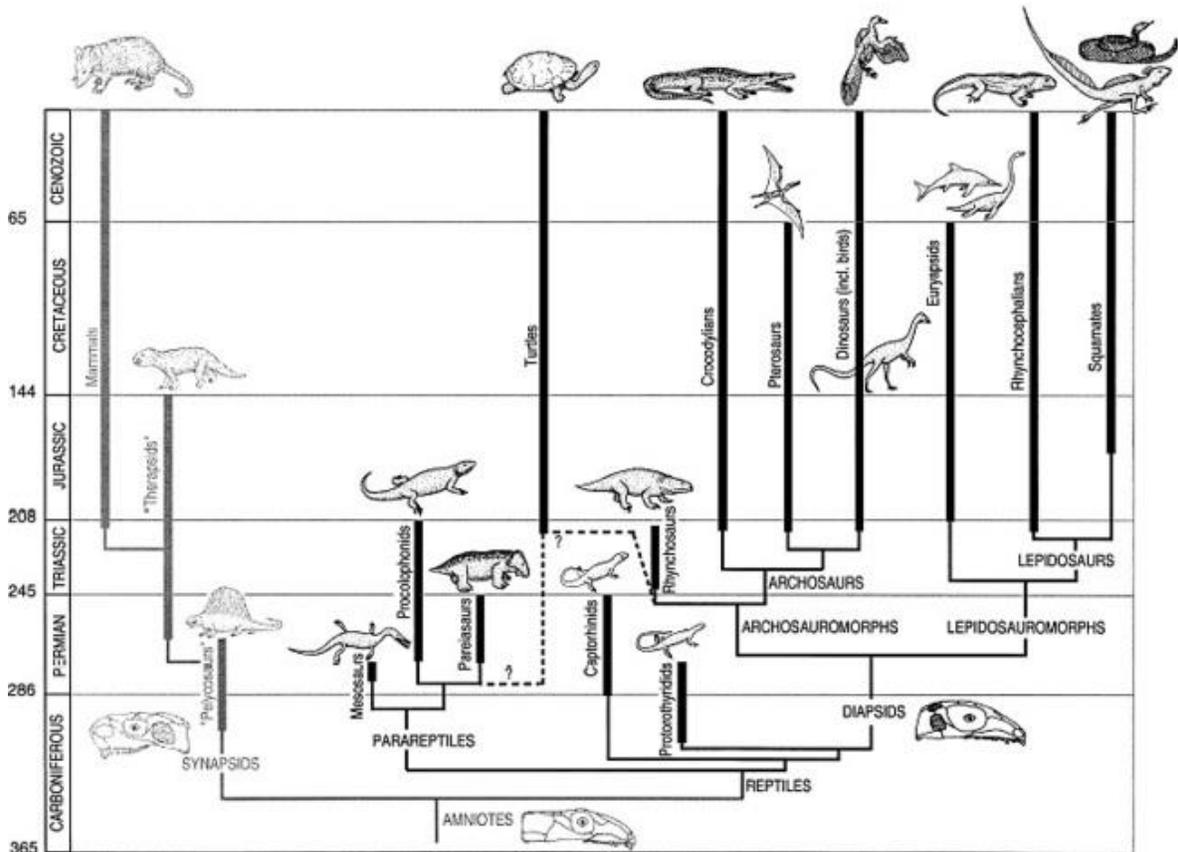


Figura 1. Origen y evolución de los reptiles (Tomado de <https://www.animalspot.net/wp-content/uploads/2013/01/Evolution-of-Reptiles.jpg>).

Actualmente, el papel que los reptiles ocupan dentro del ecosistema oceánico es reducido, sin embargo, durante una gran parte de la era Mesozoica diversos grupos de reptiles invadieron los hábitats marinos, incluso convirtiéndose en grandes depredadores del mar. En cuanto al orden de las tortugas, este cumplió un importante rol como presas y depredadores (López, 2016).

Las tortugas son un grupo de reptiles altamente especializados e inconfundibles porque poseen un caparazón que envuelve gran parte o la totalidad del cuerpo. Los fósiles más antiguos han sido colectados en yacimientos continentales del Triásico Tardío de Alemania. Para el Jurásico, tuvieron una mayor representatividad, pero no fue sino hasta después, que este grupo alcanzó una diversidad taxonómica importante durante el Cretácico Temprano. Su registro fósil en México consta principalmente de restos fraccionados del carapacho y el plastrón (Figura 2), o restos óseos muy pequeños que impiden una identificación precisa, como los reportados por Rivera-Sylva y colaboradores (2009) en Coahuila. El único ejemplar completo fue el reportado para la Formación Tlayúa, el cual desafortunadamente fue robado de las colecciones del Museo Regional Tlayúa, ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla (López-Conde *et al.*, 2020). Esta pérdida considerable de información es provocada por el proceso de fosilización, ya que los restos pueden ser fragmentados al momento de la muerte del organismo o pueden sufrir algún tipo de transporte *post.mortem* (Wellnhofer y Sibbick, 2003). Por otro lado, también hay registros de icnitas en desplazamiento subacuático y terrestre (Figura 3), como los reportados por Avanzini y colaboradores (2005), Xing y colaboradores (2014), Pascual-Arribas y Hernández-Medrano (2015), entre otros; dichos registros de rastros se extienden desde el Triásico temprano hasta el Eoceno, en los cuales se incluyen las primeras huellas publicadas pertenecientes a la tortuga del Jurásico Tardío (Tithoniano) de Solnhofen, Alemania, nombrados como *Emydichnium* por Nopcsa (1923) (Lichtig *et al.*, 2017).

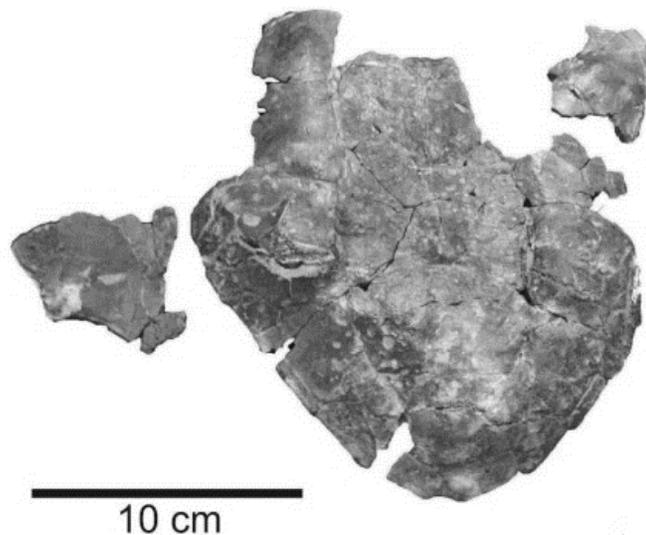


Figura 2. Fotografía que muestra carapacho de la tortuga *Notoemys zapatocaensis* (Tomado de López, 2016).

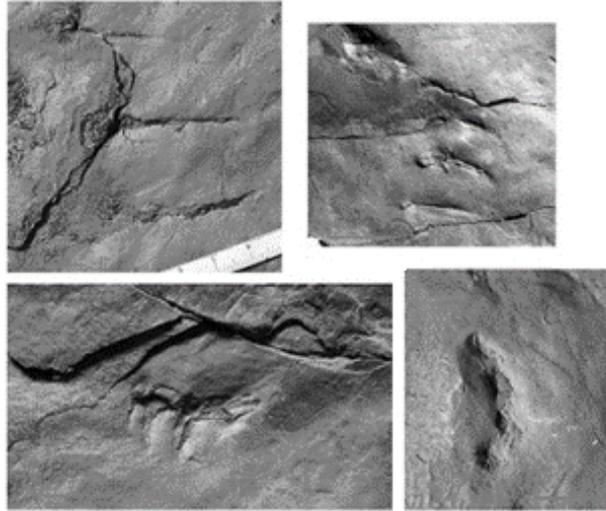


Figura 3. Huellas y arañazos de tortugas del Grupo Oncala, España dentro del Yacimiento Valles de Valdelalosa (Valdevilla, Soria) (Tomadas de Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2015).

Por otro lado, desde tiempos de Cuvier (1801) se sabe que los pterosaurios eran reptiles voladores, estos presentaban un esqueleto ligero, similar a la estructura ósea de las aves actuales que le permitía reducir el peso al máximo, obtener una rigidez y fuerza óptimas para levantar el vuelo. Fueron el grupo que dominó los cielos del Mesozoico, sin embargo, esto no quería decir que no posaran, descansaran y se alimentaran en tierra firme o en cuerpos de agua. Se cree que la mayoría de los pterosaurios vivían cerca del mar o en islas y lagos, y se alimentaban de organismos acuáticos, e incluso se ha inferido que eran la población más importante de las costas de los mares mesozoicos (Wellnhofer y Sibbick, 2003).

El registro fósil de estos organismos es tan diverso que se han encontrado individuos en los que se conserva el contenido del estómago, compuesto comúnmente de peces (Hone *et al.*, 2017). El esqueleto de los pterosaurios, al ser de constitución muy ligera (Figura 4), podía fragmentarse o transportarse fácilmente posterior a la muerte del organismo, con lo cual se perdía mucha información, acentuada aún más por el proceso de fosilización. Esto significaba que la conservación de la forma fósil solo era posible en condiciones favorables y en sedimentos blandos (Wellnhofer y Sibbick, 2003). De la misma manera, existen evidencias de huellas en desplazamiento subacuático de pterosaurios (Figura 5), tal como las reportadas por Lockley y Schumacher en 2014, en donde se presentan impresiones natatorias de garras, así como también existen registros en desplazamiento terrestre, como

los mencionadas por Lockley y Wright en 2003, Pascual-Arribas y Hernández en 2012, Lockley y Schumacher en 2014 y Limón-Mireles y colaboradores en 2017.

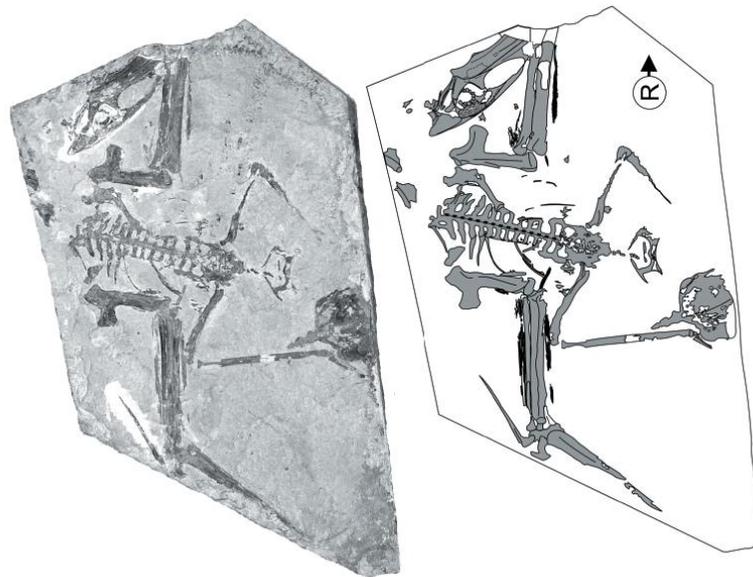


Figura 4. Fotografía y esquema que muestran los restos óseos del reptil volador *Muzquizopteryx coahuilensis* (Frey et al., 2006).

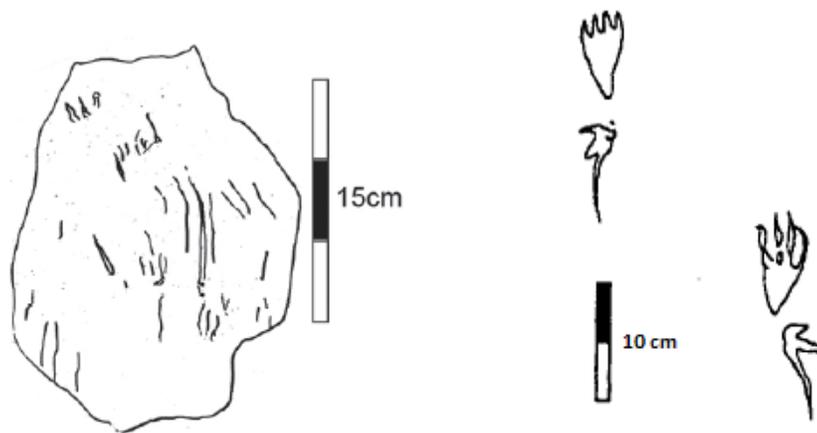


Figura 5. Huellas interpretadas como desplazamiento subacuático (izquierda) y terrestre (derecha) de pterosaurio (Tomado de Lockley y Schumacher, 2014; Lockley y Wright, 2003).

Entonces, se puede denotar que una parte importante del registro fósil de ambos grupos está relacionado con las huellas o impresiones que dejaron en el pasado sobre distintos ambientes sedimentarios. En particular, esta clase de registro fósil es el objeto de estudio de la paleoicnología, la rama de la Paleontología que estudia los rastros o huellas (icnitas)

de la actividad de organismos que vivieron hace miles o millones de años. Estos fósiles generalmente se localizan en rocas que se formaron a partir de sedimentos de la orilla o fondo de cuerpos de agua, existiendo una amplia variedad de evidencias dejadas por los organismos de acuerdo a su comportamiento, tales como: huellas de pisadas, marcas de depredación, galerías, marcas de reptación, descanso, refugios etc., las cuales nos dan importantes datos paleoecológicos del hábitat y del comportamiento de los productores de las pistas o huellas (Jiménez-Moreno *et al.*, 2012; Rojas-Consuegra y Villegas, 2009).

Dichas icnitas son estructuras frágiles que requieren ciertas condiciones que les permitan conservarse y resistir condiciones ambientales y procesos erosivos. Estas debieron haber sido generadas en un sedimento húmedo, donde inmediatamente se depositará otro de granulometría diferente (Núñez y Vieyra, 2006).

Por los puntos antes mencionados, los icnofósiles y la paleoicnología han ganado importancia en los últimos años es debido a que proporcionan una gran cantidad de datos sobre el organismo productor, tal como su conducta y paleoambiente en que vivió, así como su interacción con el medio y con otros organismos. De la misma manera, existen factores ambientales que pueden ser revelados por los icnofósiles, como la salinidad del medio, los niveles de oxígeno, la energía, interacción con diversos factores y el suministro de alimento, por lo que su aplicación en las reconstrucciones paleoambientales y paleobatimétricas es de gran ayuda (Núñez y Vieyra, 2006).

Para interpretar y reconstruir los ambientes sedimentarios donde se originaron las icnitas de algún organismo en particular, es necesario identificar los componentes paleontológicos y sedimentológicos que conforman y caracterizan las facies sedimentarias.

En el caso de las rocas carbonatadas, es posible desarrollar este trabajo mediante el estudio de láminas delgadas (microfacies), las cuales están asociadas a un conjunto particular de condiciones ambientales. Para identificarlas es fundamental llevar a cabo un análisis detallado de los elementos ortoquímicos (material intergranular) y aloquímicos (material carbonatado) (Figura 6), los cuales formarán diferentes asociaciones de facies.

Los elementos **ortoquímicos** son materiales carbonatados inorgánicos, los más comunes son los *micríticos* que suele ser la fracción fina o matriz de los carbonatos, se clasifica de acuerdo con el tamaño de grano: micrita (1-4 micras), microesparita (5-20 μm), pseudoesparita (30-50 μm). La *esparita* consiste en granos de calcita de tamaño de grano superior a las 5 micras, el cual generalmente se encuentra rellenando poros, cavidades y

fracturas, siendo considerado un cemento secundario, formado después del depósito del sedimento carbonatado.

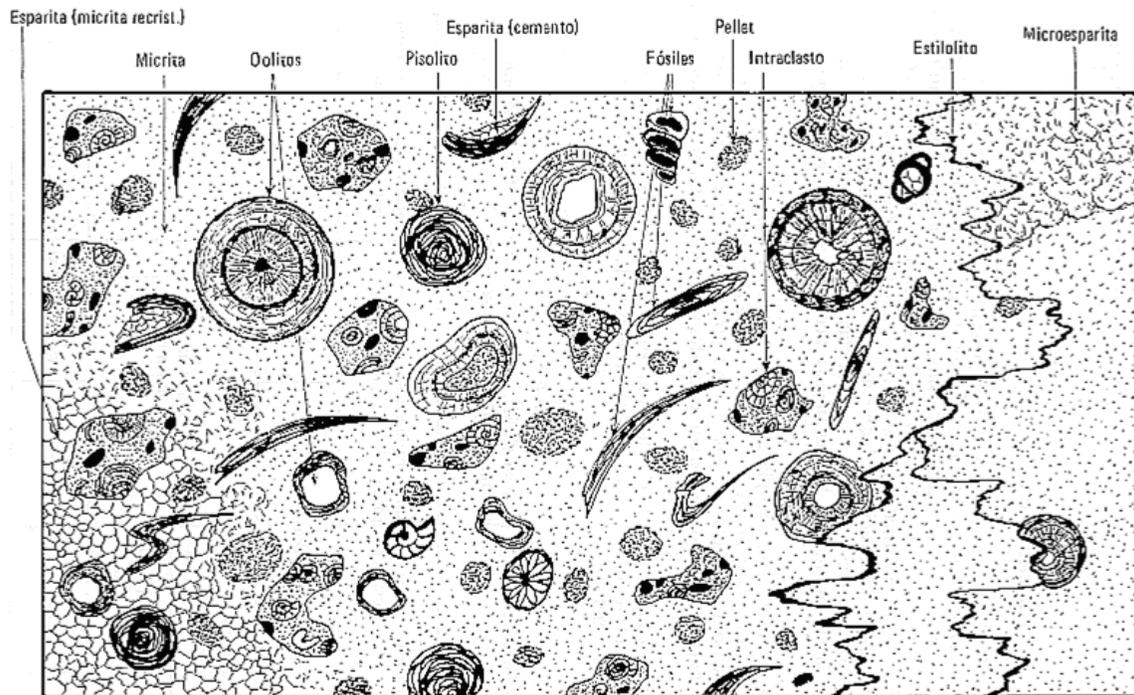


Figura 6. Componentes ortoquímicos y aloquímicos que se pueden presentar en rocas carbonatadas sedimentarias (Tomado de: https://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet_sed.htm#comp_carb).

Los componentes **aloquímicos** son agregados de clastos de origen orgánico y sedimentos carbonatados que se han formado dentro de la cuenca del depósito. Se pueden clasificar como esqueléticos (foraminíferos y fragmentos esqueléticos o bioclastos) y no esqueléticos (crecimientos bacterianos, peloides, ooides) (Flügel, 2010). Con esta información se pueden llevar a cabo las interpretaciones correspondientes en un contexto paleoambiental.

II. ANTECEDENTES

El registro fósil de tortugas es escaso y su estudio sistemático resulta pobre debido a la escasez y condiciones fragmentadas del caparazón. En los estados Puebla, Coahuila, Chihuahua, Baja California, Chiapas y Oaxaca, se ha recolectado material fósil óseo de tortugas de la era mesozoica (López, 2016). En el caso de los pterosaurios, el registro de fósiles, ya sean restos óseos o icnitas (huellas), incluye varias localidades en estados como: Coahuila, Durango, Zacatecas, Puebla y Michoacán (Lozano-Carmona y Rodríguez de la Rosa, 2017).

En 1978, se describió el primer yacimiento icnofosilífero de Michoacán por Ferrusquía y colaboradores, donde se reportó una impresión aislada de una mano de pterosaurio asociada al icnogénero *Pteraichnus*, específicamente en la localidad de Chuta en Michoacán, con una edad aproximada del Jurásico Tardío a Cretácico Tardío. En 1998, se encontró un esqueleto parcial y un pie tridimensional de una nueva especie del pterosaurio basal *Dimorphodon* (*D. weintraubi*) en el cañón de Huizachal, Tamaulipas; perteneciente a la Formación La Boca del periodo Jurásico (Clark *et al.*, 1998). Para el Cretácico Tardío (Coniciano), se han registrado dos especies de pterosaurios de la familia Nyctosauridae en el área de Múzquiz, Coahuila. El primer hallazgo corresponde a restos óseos parcialmente completos y articulados del pterosaurio *Muzquizopteryx coahuilensis*, con una envergadura de casi dos metros (Frey *et al.*, 2006). El segundo consiste en un ala derecha incompleta u parte del esqueleto post-craneal de cf. *Muzquizopteryx sp.* (Frey *et al.*, 2012). En Coahuila, Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz (1998), reportaron restos de un extremo proximal de una tibia izquierda e impresiones de manos y pies, posiblemente de un pterosaurio del superorden Pterodactyloidea perteneciente a la localidad de El Pelillal del Campaniano tardío (Cretácico Tardío); además en esta zona se encontraron restos óseos de varias especies de tortugas y cocodrilos.

Por otro lado, en el municipio de El Oro, Durango, Limón-Mireles y colaboradores en 2017, reportaron varias asociaciones de huellas correspondientes a mesoreptiles, dinosaurios y aves del Mesozoico dentro del sitio icnofosilífero denominado "Las huellas del Cócono". El horizonte principal conserva huellas de pterosaurios de las cuales se han identificado al menos dos impresiones de manos y una podial con la configuración típicamente pterosauniana; estas impresiones fueron referidas al icnogénero *Pteraichnus*.

Para el estado de Puebla, en la Formación Otlaltepec se reportó el primer registro de una huella de pterodactiloideo para el Jurásico (Lozano-Carmona y Rodríguez-de la Rosa, 2017), mientras que, en la Formación San Juan Raya, a pesar de que la mayoría de los estudios han sido realizados con invertebrados marinos, se han registrado rastros pertenecientes a mesoreptiles, incluyendo posibles pterosaurios, cocodrilos y tortugas. Por ejemplo, Rodríguez-de la Rosa y colaboradores en 2017, reportaron una asociación de mano-pie de un pterosaurio correspondiente al icnogénero *Pteraichnus*, así como huellas de pies y manos de tortugas en locomoción subacuática correspondientes al icnogénero *Emydhopus*; además de posibles huellas de cocodrilos, las cuales conservan algunas estrías longitudinales asociadas a escamas de los dígitos.

Para el Cretácico en Coahuila, Rodríguez de la Rosa (2004) ha compilado información sobre registros de impresiones digitales de tortugas dentro del Municipio de General Cepeda, en las localidades cercanas a Rincón Colorado y en el Cañón de las Ánimas. En la Presa San Antonio en el municipio de Parras se han encontrado rastros de tortugas. Más en el norte, en el municipio de Sabinas, huellas de tortuga y cocodrilo se han conservado en areniscas de grano fino dentro de la Formación Olmos. En 2000, Westgate *et al.*, registraron restos fósiles de dinosaurios, peces y tortugas en el estado de Chihuahua en la Formación Aguja.

III. JUSTIFICACIÓN

Debido a que la información del registro de icnitas en locomoción subacuática referido a organismos de los órdenes Testudines y Pterosauria son muy escasos en México, el presente trabajo aporta nuevos datos sobre impresiones y rastros de ambos grupos, así como de las condiciones paleoambientales acaecidas al momento de la formación de las icnitas.

IV. OBJETIVOS

4.1. General

Analizar, en cuanto a su morfología, las huellas de tortuga y pterosaurio encontradas en una localidad de la barranca “El Salitrillo”, perteneciente a la Formación San Juan Raya en el Estado de Puebla, estableciendo cómo eran las condiciones paleoambientales al momento del depósito.

4.2. Particulares

- Describir las muestras de icnofósiles colectadas en la barranca “El Salitrillo”.
- Determinar el icnogénero de las huellas encontradas en el área de estudio.
- Caracterizar y describir las microfacies de las muestras tomadas en el área de estudio.
- Interpretar las condiciones de depósito en un contexto paleoambiental.

V. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada aproximadamente a 5 km al sureste del poblado de Santa Ana Teloxtoc, en el estado de Puebla donde emerge parte de la Formación San Juan Raya (Cretácico Inferior) (Figura 7). Consta de dos puntos de muestreo, el primero se localiza en 18°20'24" N y 97°34'34" W, dentro de la “Barranca El Salitrillo” (Figura 8A). Se caracteriza por presentar calizas y areniscas de grano fino de color grisáceo. El segundo punto se localiza en 18°20'26" N y 97°34'34" W, dentro de la misma barranca, presenta lutitas y areniscas de grano fino de color gris verdoso a café (Figura 8B).

La Formación San Juan Raya consiste en una alternancia de conglomerados, areniscas: arenisca y arenisca calcárea de grano fino a medio de 2 a 50 cm de espesor de colores

gris, gris verdoso o crema, limolitas, lutitas de color gris verdoso a gris. Alternadas con las capas de lutita se encuentran estratos delgados de entre 1 y 5 cm de espesor de lutita calcárea, y calizas en estratos de diferentes espesores, frecuentemente bioturbados. (Mendoza-Rosales, 2010, Hernández-Ocaña *et al.*, 2015).

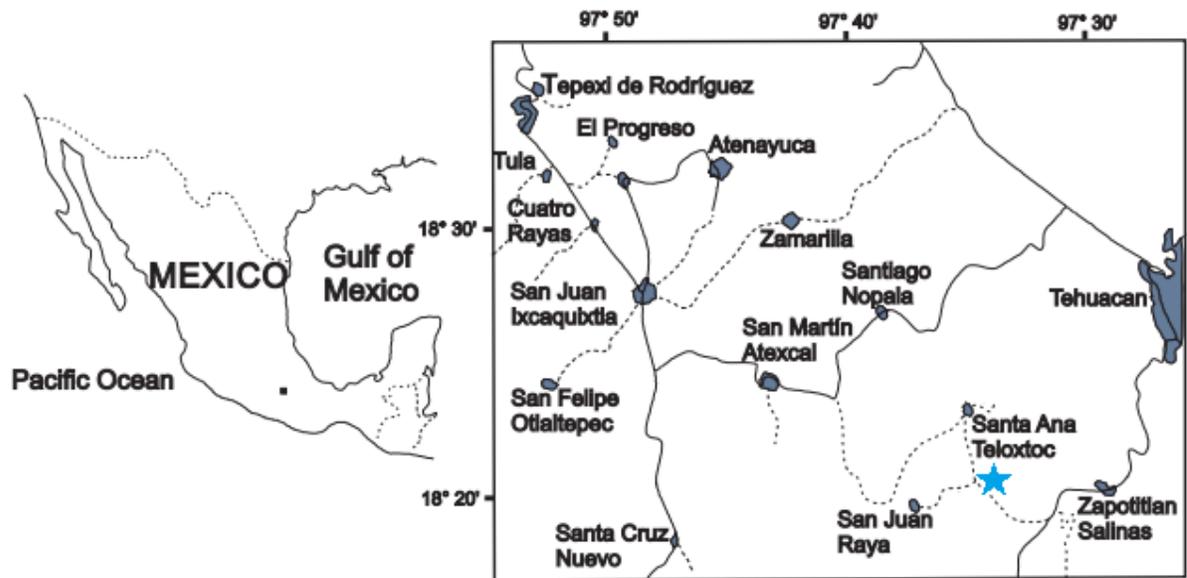


Figura 7. Ubicación geográfica del área de muestreo de la "Barranca El Salitrillo" (Tomado y modificado de González-León *et al.*, 2014).



Figura 8. A) Punto de muestreo uno, B) Horizonte del punto de muestreo dos.

Las investigaciones previas en la zona de estudio sugieren una sucesión de facies marinas y marino-marginales a través del tiempo y del espacio y muestran que durante el Cretácico Temprano (Aptiano), la formación estuvo cubierta parcialmente por aguas cálidas y poco profundas que se extendían desde la zona de la playa hasta más allá de las barreras naturales constituidas por parches arrecifales (Hernández-Ocaña *et al.*, 2015). Por el contrario, Mendoza-Rosales (2010) propone que esta edad puede ser extendida hasta el Barremiano tardío (Serrano-Brañas y Centeno-García, 2014). Recientemente el intervalo estratigráfico de la Formación San Juan Raya, reportado por González-León *et al.* (2015) y Vega *et al.* (2019), se asoció con una plataforma marina más distal, la cual se asignó al intervalo que va del Valanginiano tardío al Hauteriviano temprano. Lo anterior, partir del análisis de nanoplancton calcáreo.

VI. METODOLOGÍA

6.1. Campo

Se realizaron tres salidas a la barranca “El Salitrillo” ubicada al sureste del poblado de Santa Ana Teloxtoc, Puebla, donde se ubicaron dos puntos de muestreo. Para la recolección de material se siguió el procedimiento marcado por Silva-Romo y Mendoza-Rosales (2013), el cual consistió en la toma de datos de campo, como las características estratigráficas y obtención de coordenadas de ambos puntos con el uso de GPS. Para la recolección sistemática de muestras en cada punto de muestreo se tomó en cuenta la polaridad de los estratos, se envolvieron en papel periódico para el posterior traslado de las muestras al Laboratorio de Ciencias de la Tierra, Paleontología y Biología Evolutiva de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM, donde fueron analizadas.

6.2. Gabinete

Se obtuvieron las medidas morfológicas siguientes: longitud total de la huella, la anchura total de la huella, la longitud de los dígitos y ángulos interdigitales, en el caso de los rastros se obtuvieron las medidas del paso, la zancada, la anchura y la longitud total de los mismos (Figuras 9 y 10) con el uso de regla, vernier y el programa ImageJ (versión 1.51). Para describir las muestras y determinar los icnogéneros se utilizó, bibliografía especializada como: Dinosaur Tracks and other fossil footprints of Europe (Lockley y Meyer, 2000) y artículos especializados de Lockley y colaboradores (2000; 2003; 2006; 2014), de Pascual-Arribas y colaboradores (2000; 2015; 2016), Xing y colaboradores (2014), Avanzini y colaboradores (2005) y Moratalla y Hernán (2009).

Para una mejor visualización e interpretación se tomaron fotografías de los icnofósiles con una cámara Nikon 3400 y se elaboraron esquemas de las icnitas con el programa Adobe Photoshop CS6.

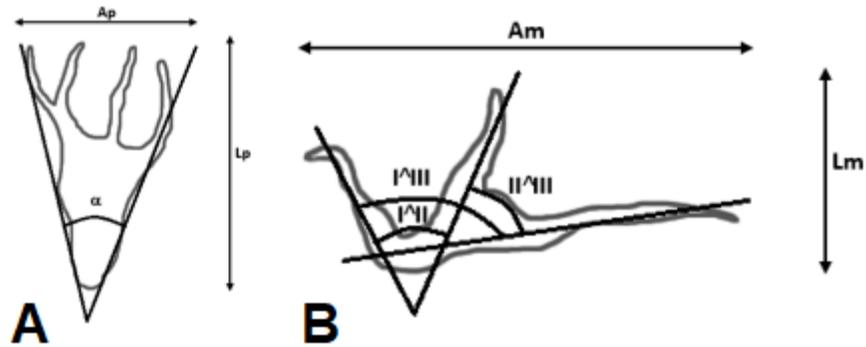


Figura 9. Ejemplos de medidas del pie y mano: A) ancho total (A_p), largo total (L_p), apertura de la huella (α). B) ancho total (A_m), largo total (L_m), relación de ángulos interdigitales (I'II', II'III') (Tomado y modificado de Pascual y Hernández, 2012).

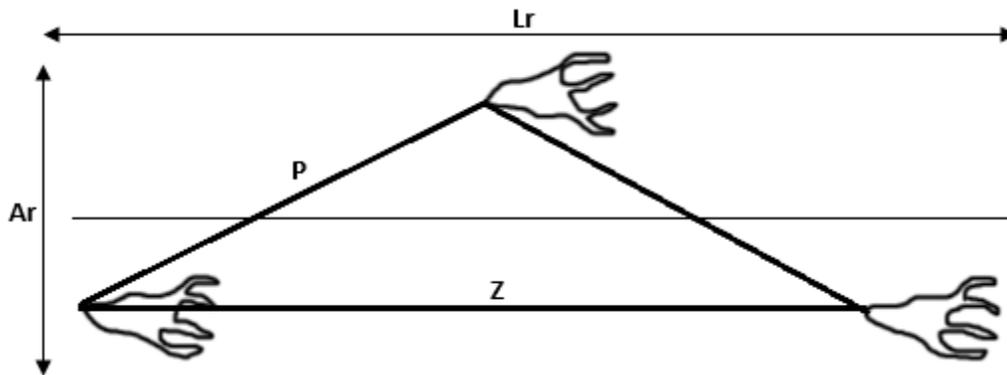


Figura 10. Medidas a considerar en la identificación de un rastro: L_r (largo total), A_r (ancho total), P (paso), Z (zancada) (Tomado y modificado de Pascual y Hernández, 2012).

La descripción de microfácies se realizó mediante el estudio, en lámina delgada, de los elementos conservados en las rocas sedimentarias. Fueron elaboradas 6 láminas delgadas en las instalaciones del Taller de Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, con la asistencia del Dr. Rafael Villanueva y el Técnico Administrativo del IGL Marco Antonio Argáez Martínez del departamento de Paleontología perteneciente al Instituto de Geología de la UNAM. Para esto, se siguió el

procedimiento descrito por Miller (1989) (Figura 11), el cual consistió en tomar muestras de las lajas portadoras de huellas, se cortaron con una cortadora de azulejos para ajustarla al tamaño del portaobjetos, se pulieron las caras de las muestras para eliminar cualquier marca con polvos abrasivos de grano 120, 240, 400, 600 y 100 μm durante cinco, se pegaron al portaobjetos con pegamento con secado UV. Transcurrido el tiempo de secado se desbastaron las muestras hasta dejarlas con un espesor mínimo. Para terminar, se pulieron nuevamente con polvos abrasivos de grano 600 y 1000 μm .

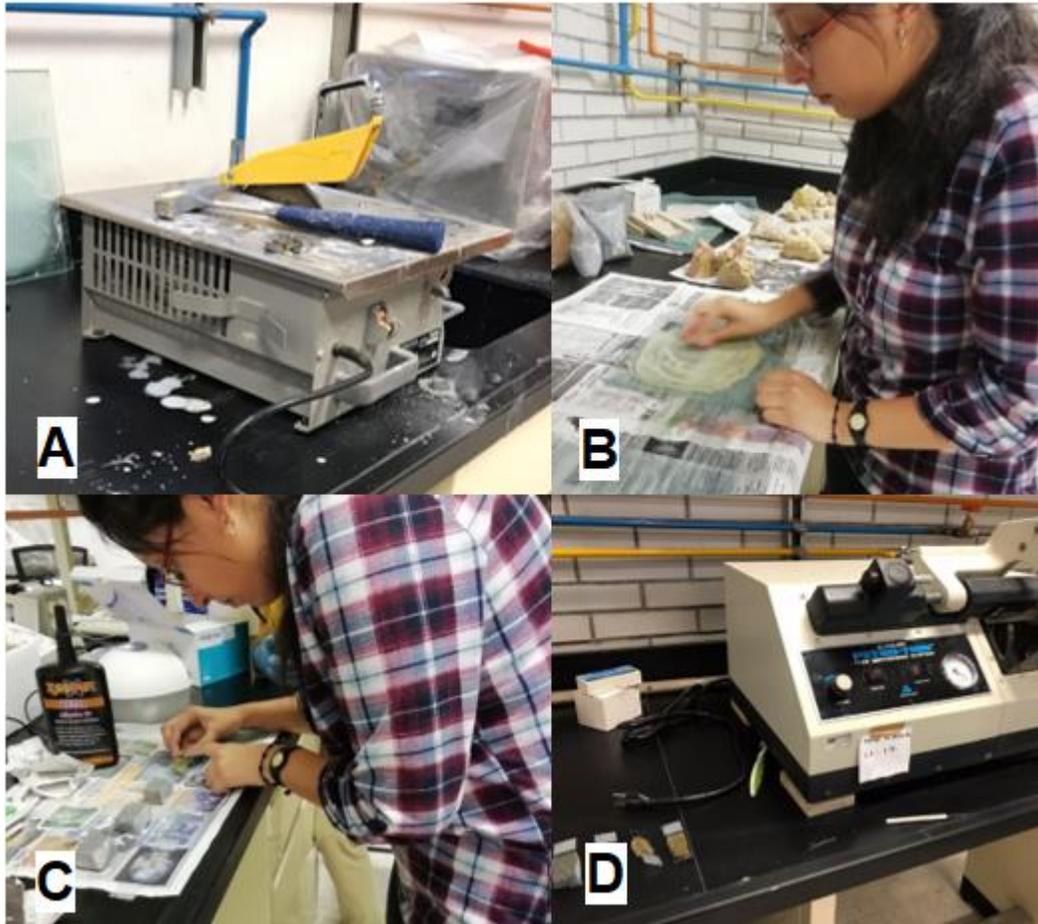


Figura 11. Diferentes etapas en la elaboración de las láminas delgadas. A) Corte de las muestras, B) Pulido de las muestras con polvos abrasivos, C) Pegado de las muestras al portaobjetos, D) Desbastado de las muestras (Fotos del autor).

Para la observación y caracterización de las láminas delgadas obtenidas se utilizaron un microscopio petrográfico y un microscopio óptico. La posterior descripción de las microfacies estándar se realizó bajo el sistema de clasificación de Dunham (1962) (Figura 12), distinguiendo los componentes con ayuda del trabajo realizado por Scholle y Ulmer-

Scholle (2003). Ya que se identificaron los elementos y tipo de asociación se procedió a utilizar el modelo de cinturón de facies de Wilson (en Flügel, 2010) (Figura 13), esto con la finalidad de establecer el tipo de paleoambiente y la paleobatimetría que predominaban en el lugar del asentamiento de las icnitas.

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CARBONATADAS DUNHAM, 1962					
Textura original reconocible					Textura original no reconocible
Componentes originales no enlazados durante el depósito				Componentes originales entrelazados	
Con matriz (Carbonato de tamaño arcilla o limo fino)		Grano soportada	Sin matriz y grano soportada		
Soportada por matriz					
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos				
MUDSTONE	WACKESTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE	BOUNDSTONE	CARBONATOS CRISTALINOS

Figura 12. Clasificación de rocas carbonatadas propuesta por Dunham (1962) (Modificado de Flügel, 2010).

El modelo de cinturón de facies de Wilson (1975) refleja la distribución de facies que se puede producir en una plataforma carbonítica cualquiera. Este modelo resulta muy útil a la hora de predecir facies, constituyendo un ejemplo teórico completo de prácticamente todas las facies y posibilidades que se encuentran tanto en medio antiguos como actuales.

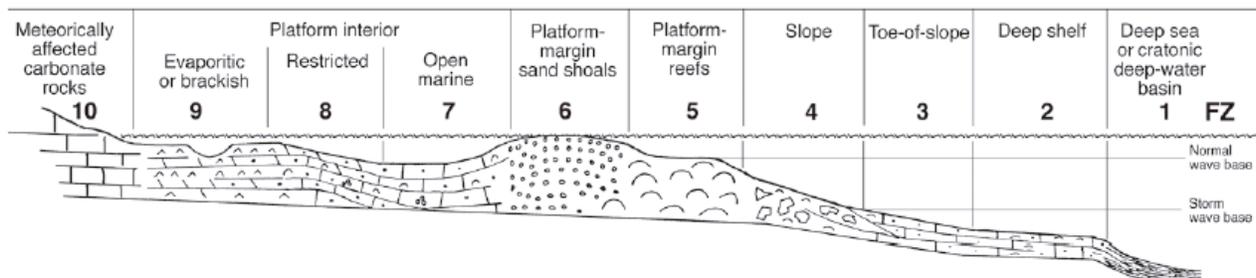


Figura 13. Modelo de plataforma bordeada de Wilson (Flügel, 2010).

VII. RESULTADOS

Las muestras colectadas consistieron en 13 ejemplares, de las cuales cuatro impresiones de huellas se encontraron dentro del primer punto de muestreo (18°20'24" N y 97°34'34" W), conservados en lajas de lutitas calcáreas y calcarenitas de grano fino color grisáceo, algunas de ellas presentan marcas de rizaduras asimétricas.

En el segundo punto de muestreo (18°20'26" N y 97°34'34" W), se recolectaron nueve ejemplares, de los cuales cinco muestras corresponden a impresiones de huellas y cuatro corresponden a rastros en desplazamiento. Todos los ejemplares están conservados en arenisca de grano fino color verde cenizo con amarillo.

En ambos puntos de muestreo se registraron huellas, que se infiere, están asociadas a los icnogéneros: *Pteraichnus*, *Emydhopus* y *Chelonipus*.

Tabla 1. Medidas morfométricas de las muestras analizadas en este trabajo (mm).

Muestra	At	Lt	I	II	III	IV	Pr	Z		α	I [^] II [^] III
BST 1	21.8	22	9.5	14.1	17.4				<i>p</i>	60.51°	
BST 2	43.9	23.2	13	17.2	20.3	15			<i>p</i>	66.84°	
BST 3	24.9	10.8	6.1	8.2	10.5	8			<i>m</i>	61.80°	
BST 4	28.4	18.3	13.9	14.4	17.2				<i>p</i>	49.90°	
BST 5	48.2	17	18.4	23	25.1				<i>m</i>		112.22°:28.79°:138.7°
BST 6	14.2	25.8	15.1	28.6	16				<i>p</i>	41.05°	
BST 7*	41.9	39.7					36.7	22.6	<i>r</i>		
BST 8*	114.2	138							<i>r</i>		
BST 9	25.3	27	15.8	25.4	21.2					40.13°	
BST 10	26.2	22.2	15.3	20.3	7.4					46.51°	
BST 11	21.7	9.2	5	8.4	7.4						
BST 12*	93.6	60.2							<i>r</i>		
BST 13*	43.9	53.9					46.7	38.4	<i>r</i>		

Abreviaturas: At: ancho total; Lt: largo total; I-II-III-IV: longitud de los dígitos; Pr: paso; Z: zancada; *p*: pie; *m*: mano; *r*: rastro; α : apertura de la huella; I[^]II[^]III: ángulos interdigitales;

7.1. Descripción de icnogéneros.

***Ptraichnus* (Stokes, 1957)**

Cuadrúpedo aéreo. Manos con tres dígitos, dos de los cuales son más pequeños y cortos, con garras afiladas; el tercer dígito es más largo, este soporta la membrana alar y es capaz de doblarse hacia atrás y hacia arriba para dejar solo una breve impresión final. Los pies tienen cuatro dígitos. El talón es muy estrecho, la planta del pie tiene forma de V y los dedos son delgados con garras curvas. Al caminar, el miembro trasero sobrepasa al delantero indicando un cuerpo corto y tal vez la posibilidad de una postura bípeda ocasional (Figura 14) (Stokes, 1957).

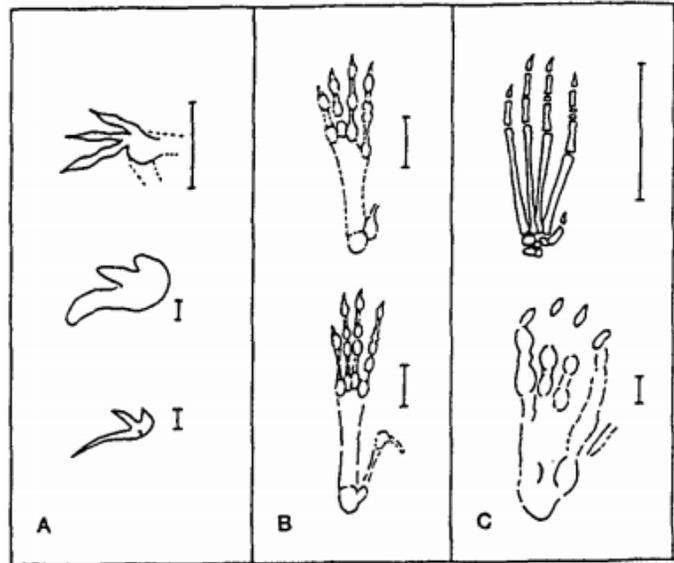


Figura 14. Reconstrucciones hipotéticas del icnogénero *Ptraichnus*. A) Huella de la mano de *Ptraichnus* y su huella tipo (abajo), B) Pies de *Rhamorphorhynchus* (arriba) y *Pterodactylus* (abajo), C) Pies de *Pterodactylus* (Lockley et al., 2014).

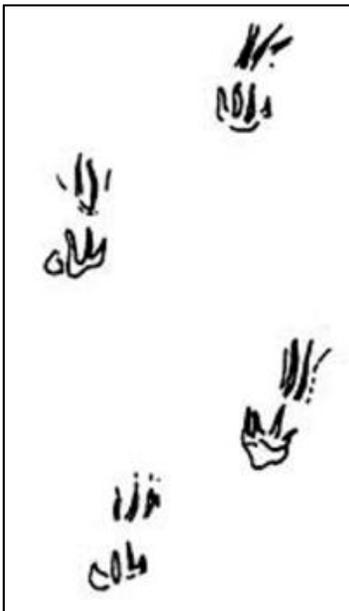


Figura 15. Rastro perteneciente al icnogénero *Emydhipus* (Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2015).

***Emydhipus* (Nopsca, 1923)**

Rastro hecho por un animal cuadrúpedo con diferencias en las extremidades anteriores y posteriores. La impresión manual consta de cuatro alargadas marcas de garras paralelas con referencia al eje de la línea media del rastro. Pies plantígrados de cuatro dígitos con garras. Los dígitos II y III del pie son de casi la misma longitud, el I y IV son más cortos y casi divergentes con respecto al eje largo de los pies. La planta del pie es pequeña y redondeada. Las impresiones manuales y podiales no tienen rotación con respecto a la línea media del rastro (Figura 15) (Avanzini et al., 2005).

***Chelonipus* (Rühle von Lilienstern, 1939)**

Rastro con un ancho de hasta 25 cm, un ritmo de ángulo de 50-70°, pie digitígrado o semiplantígrado con tres o cuatro dígitos que presentan garras delgadas, manos con cuatro dígitos bien distinguidos que son más cortos que los del pie y están conectados por una estructura arqueada y carnosa. El rastro muestra aparentes sobrepasos con la impresión del pie que se coloca lejos de la marca de la mano (Figura 16) (Avanzini *et al.*, 2005).

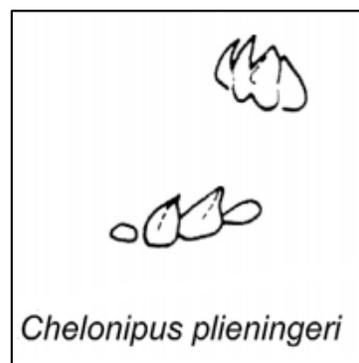


Figura 16. Esquema que muestra huellas del icnogénero *Chelonipus* (Lichtig *et al.*, 2017).

7.2. Descripción de huellas del punto de muestreo 1.

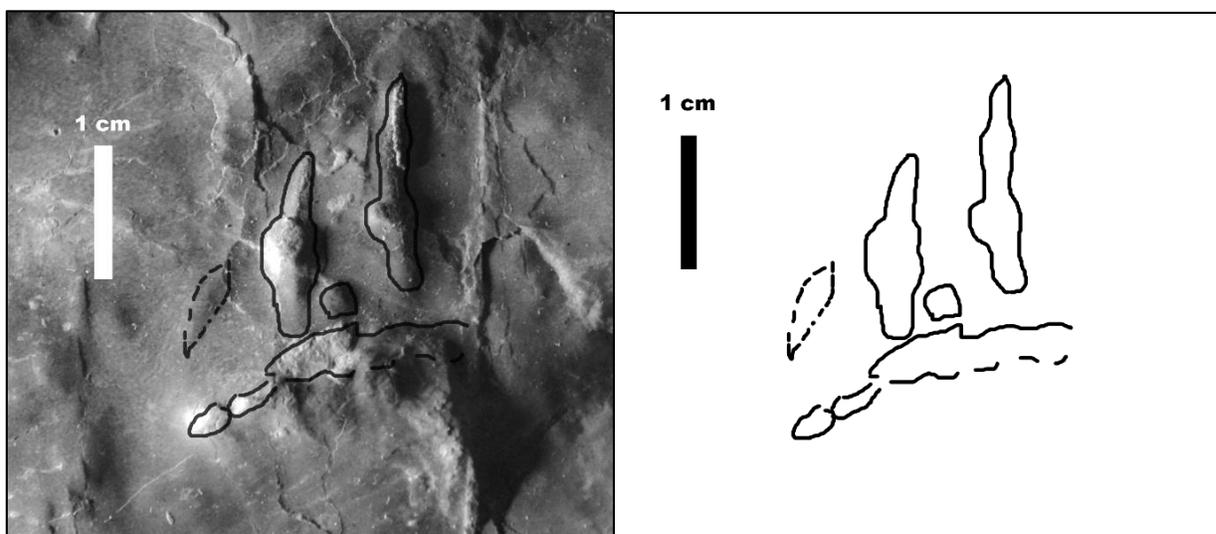


Figura 17. Muestra BST-001 con su esquema.

Espécimen BST-001. Consta de una huella parcial aislada, tridáctila, preservada como contra-molde. Se aprecian las marcas de tres garras, delgadas, afiladas en su parte anterior y sub-paralelas, igualmente se observan posibles almohadillas en los dígitos II y III, así como la marca de la almohadilla principal.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Ptraichnus* (Stokes, 1957)**

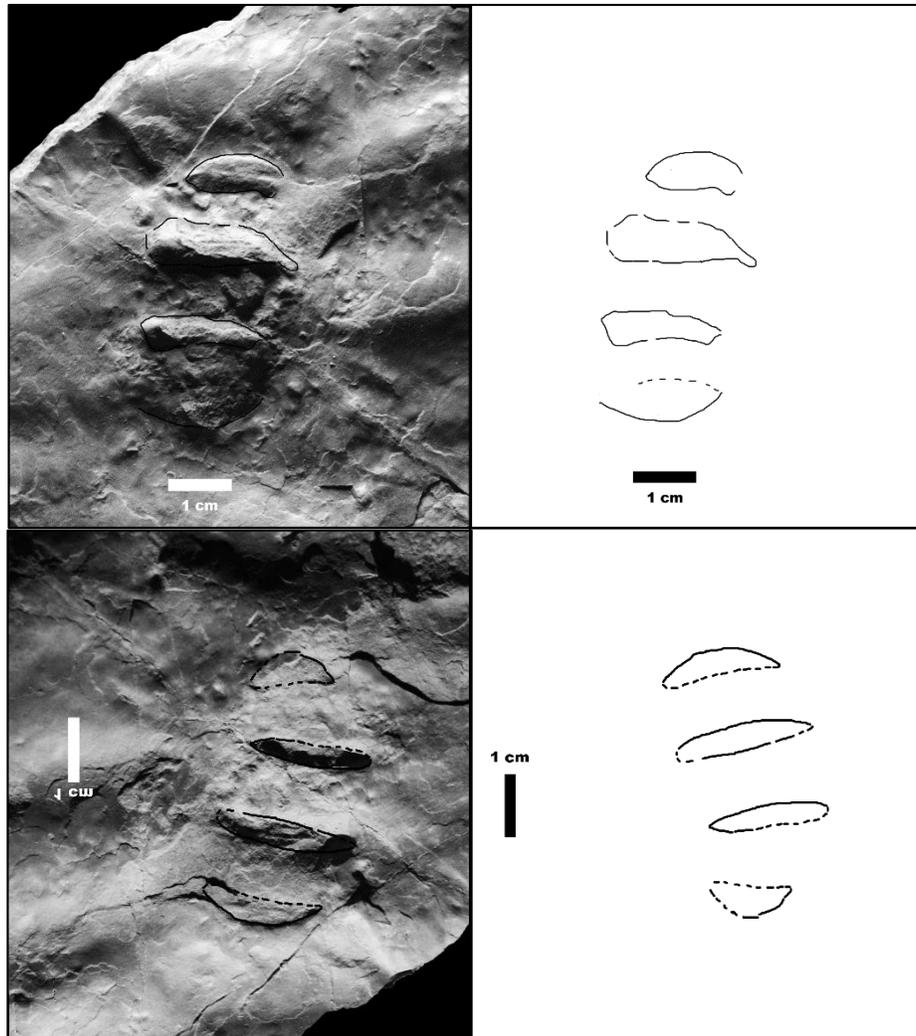


Figura 18. Muestra negativa (arriba) y positiva (abajo) de la huella BST-002 con su respectivo esquema.

Espécimen BST-002. Consta de una huella aislada preservada con su molde positivo de relieve cóncavo y su negativo con relieve convexo. Se aprecia una marca tridáctila con dígitos paralelos y alargados terminados en punta, los dígitos externos presentan una orientación hacia el centro de la huella, se infiere que puede pertenecer a la impresión del pie del organismo debido a su forma redondeada.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: *Emydhopus* (Nopsca, 1923)

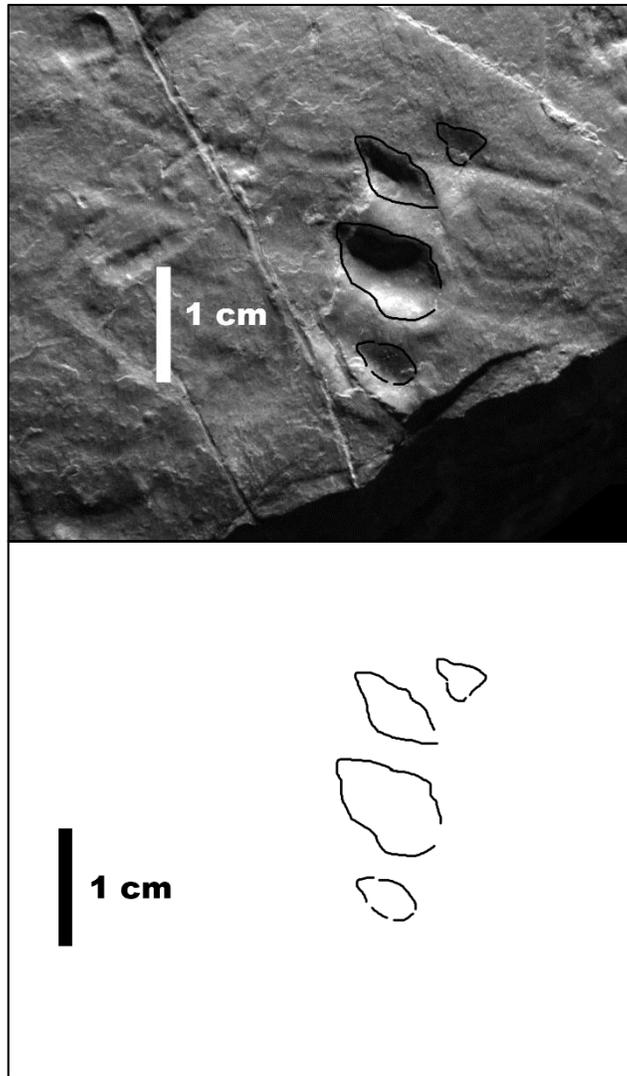


Figura 19. Muestra BST-003 con su respectivo esquema.

Espécimen BST-003. Consta de una huella parcial aislada, tetradáctila, preservada con relieve cóncavo. Se aprecian las marcas de posibles almohadillas de los dígitos, pequeñas, sub-paralelas, de forma ovalada y semi-alargadas, terminadas en punta. Se infiere que la muestra corresponde a la marca de una mano debido a su tamaño y que la forma no es redondeada, sino de una V invertida.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Chelonipus* (Rühle von Lilienstern, 1939)**

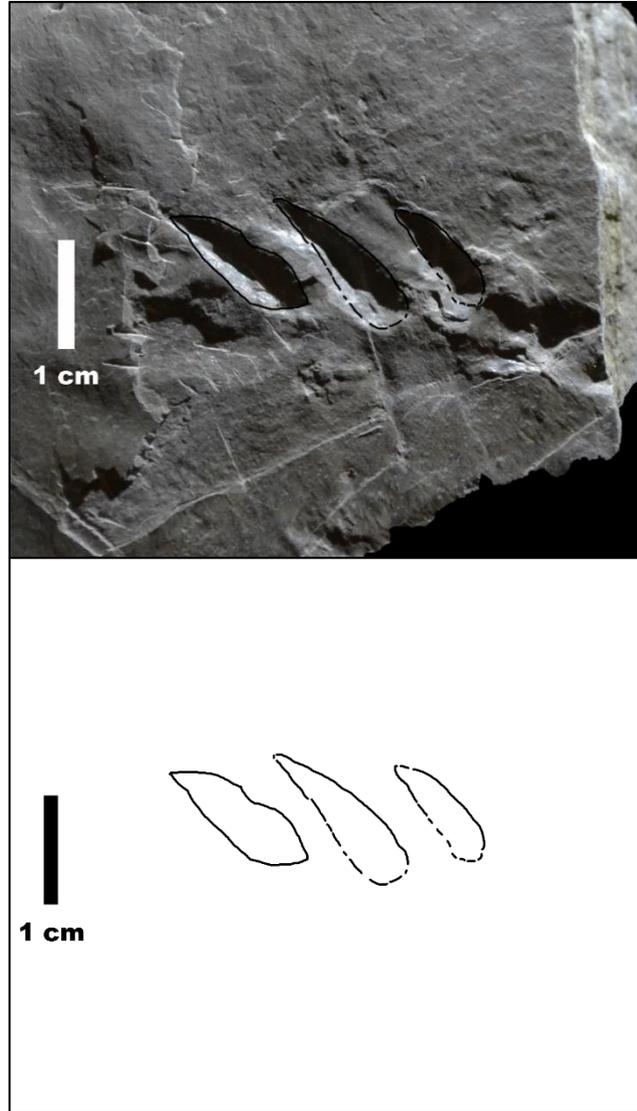


Figura 20. Muestra BST-004 con su esquema.

Espécimen BST-004. Consta de una huella parcial aislada, tridáctila, paralela. Se aprecian las marcas con relieve cóncavo de tres garras, delgadas, terminadas en punta y con una orientación hacia el centro de la huella. Al presentar una forma uniforme, se infiere que corresponde a la marca del pie.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Emydhopus* (Nopsca, 1923)**

7.3. Descripción de huellas del punto de muestreo 2.

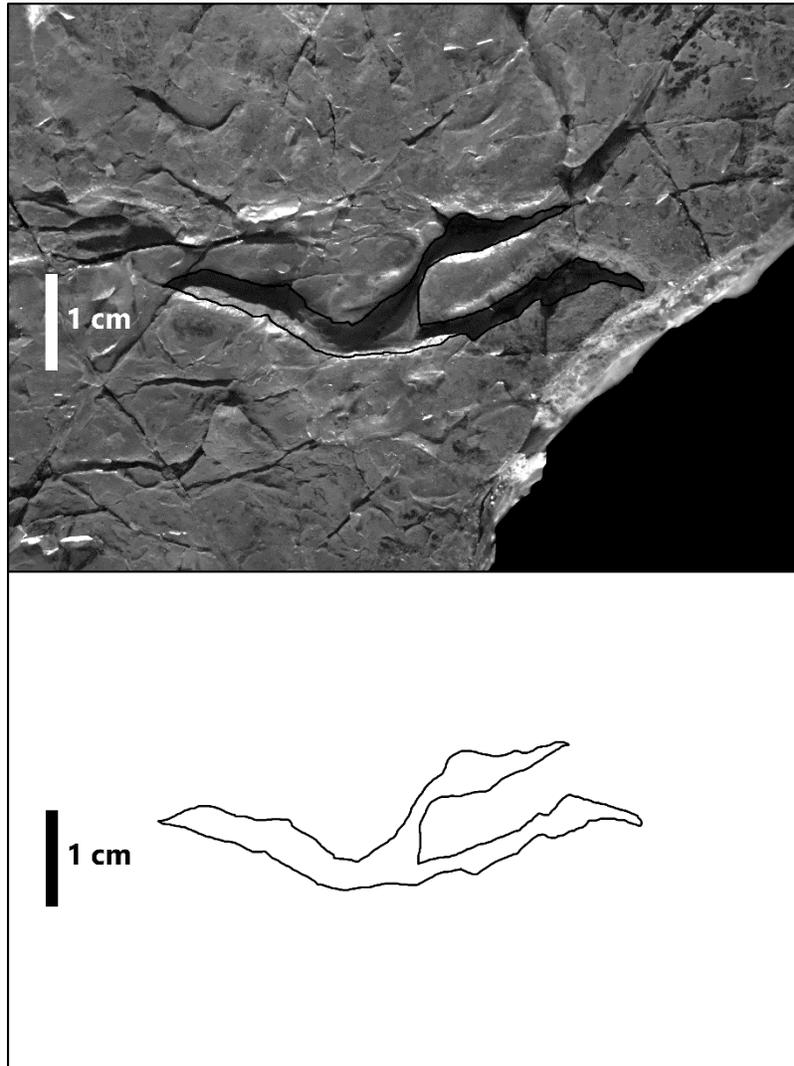


Figura 21. Muestra BST-005 con su respectivo esquema.

Espécimen BST-005. Consta de la impresión de una posible huella aislada de la mano izquierda, parcial y tridáctila. Se aprecian las marcas de tres dígitos los cuales son delgados y terminadas de punta, preservados en relieve cóncavo, el dígito III presenta una mayor longitud.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Ptraichnus* (Stokes, 1957)**

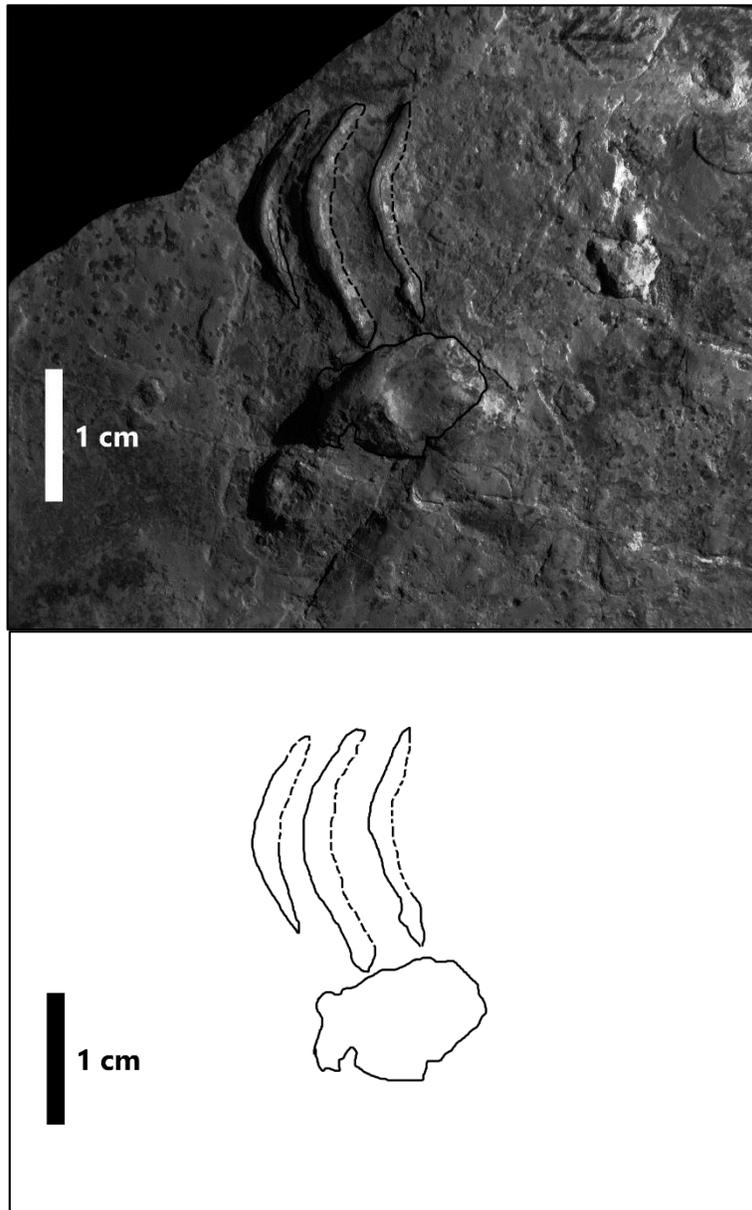


Figura 22. Muestra del espécimen BST-006 con su esquema.

Espécimen BST-006. Consta de la impresión negativa con relieve convexo de tres garras alargadas, terminadas en punta, paralelas; de igual manera se puede apreciar lo que parece ser parte de la almohadilla principal de la huella. Debido a la forma redondeada de la impresión y a una mayor longitud de los dígitos, se infiere que la marca pertenece al pie del organismo.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: *Emydhypus* (Nopsca, 1923)

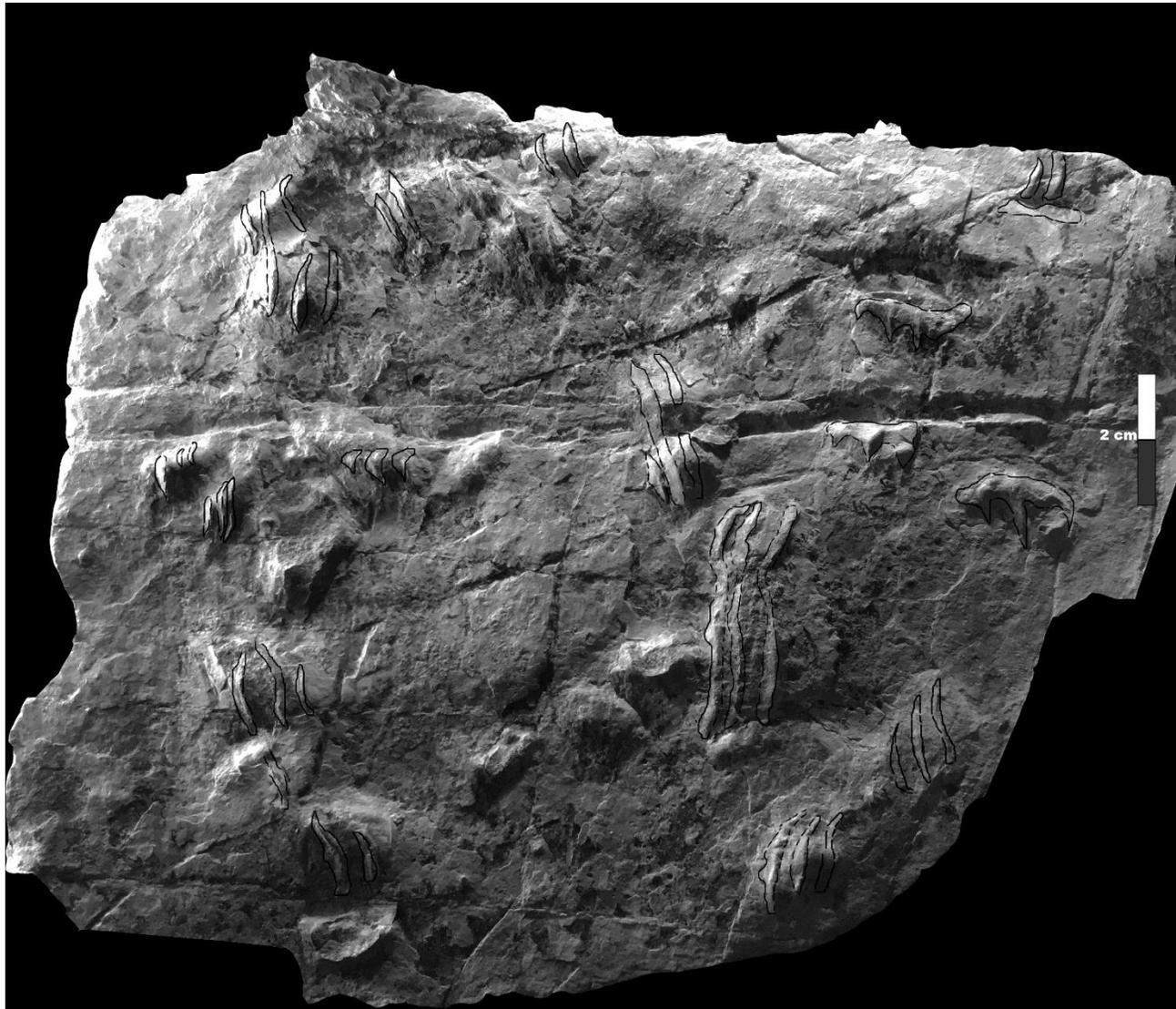


Figura 23. Muestra de los especímenes BST-007 y BST-008.

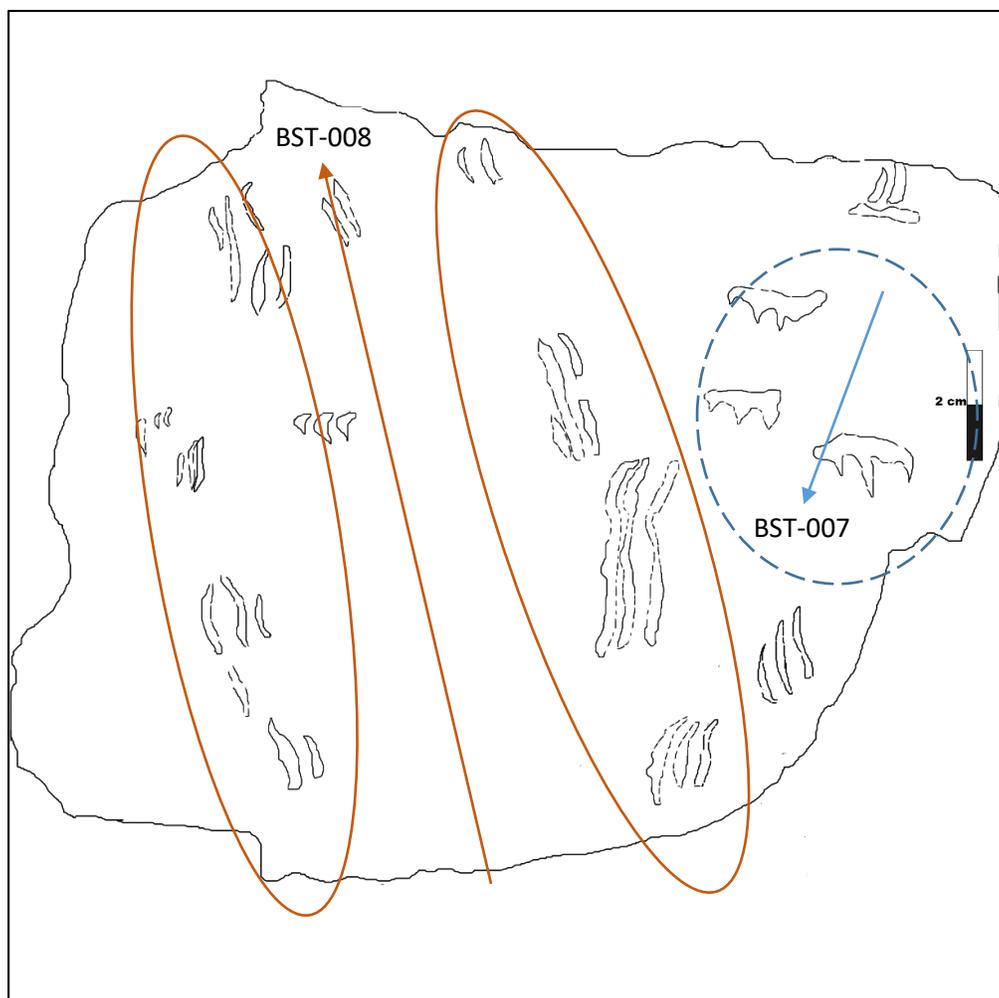


Figura 24. Esquema de los especímenes BST-007 (línea punteada) y BST-008 (línea continua).

Especímen BST-007. Consta de un rastro de tres huellas, con una longitud total del rastro de 39.7 mm de largo por 41.9 mm de ancho, la medida del paso es: 36.7 mm y una zancada de: 22.6 mm. Las impresiones constan de posibles marcas podiales debido a su forma redondeada, tridáctilas con dígitos terminados en punta, conservadas en un relieve convexo; las huellas presentan una longitud promedio de 16.1 mm de ancho por 6.8 mm de largo, con una apertura de huella promedio de: 57.7°.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: *Emydhipus* (Nopsca, 1923)

Especímen BST-008. Consta de un rastro de huellas, con una longitud total del rastro de 138 mm por 114.2 mm de ancho. Presenta aproximadamente 8 posibles impresiones de garras, con una longitud promedio de 13.8 ± 6.1 mm y 12.5 ± 1.4 mm de ancho. Las huellas

no son uniformes, la mayoría son tridáctilas y alargadas, también se presentan huellas de solo dos dígitos que son más pequeñas. Su orientación es también es irregular, las huellas de la parte inferior están orientadas hacia afuera del centro del rastro, el resto son paralelas a la línea central de este.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: *Emydhopus* (Nopsca, 1923)

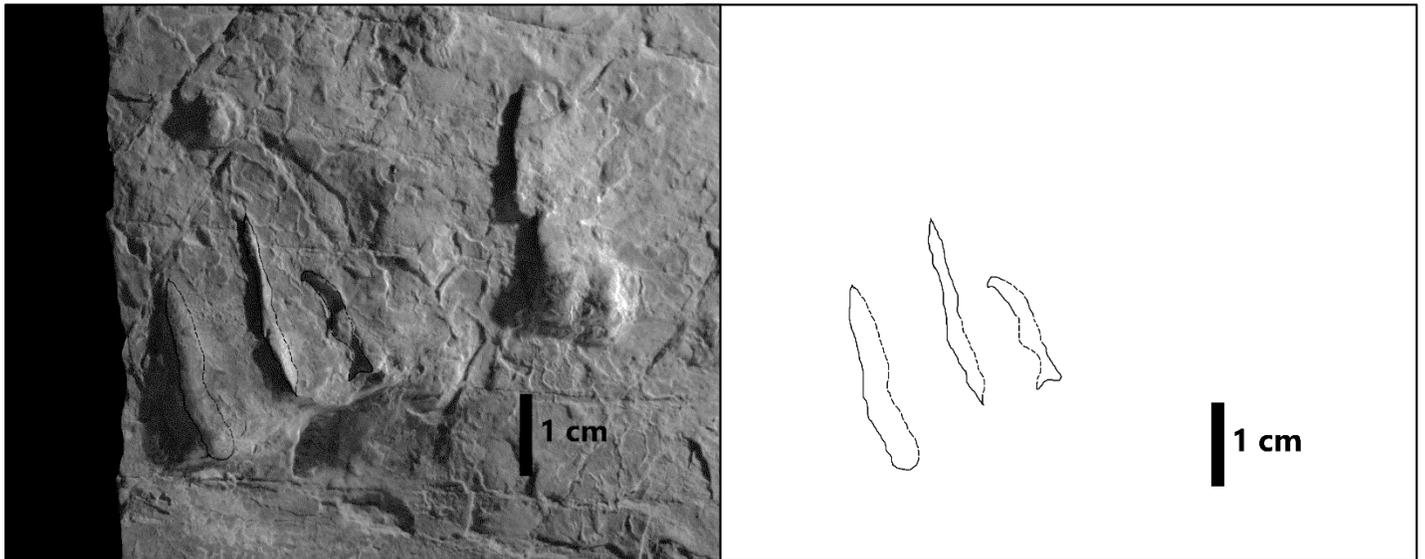


Figura 25. Muestra BST-009 con su respectivo esquema.

Espécimen BST-009. Consta de una impresión negativa con relieve convexo de tres posibles garras alargadas, delgadas, terminadas en punta, paralelas, la marca del dígito central presenta una mayor longitud en comparación a las otras marcas, el dígito I presenta una orientación ligera hacia el centro de la huella.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: *Emydhopus* (Nopsca, 1923)

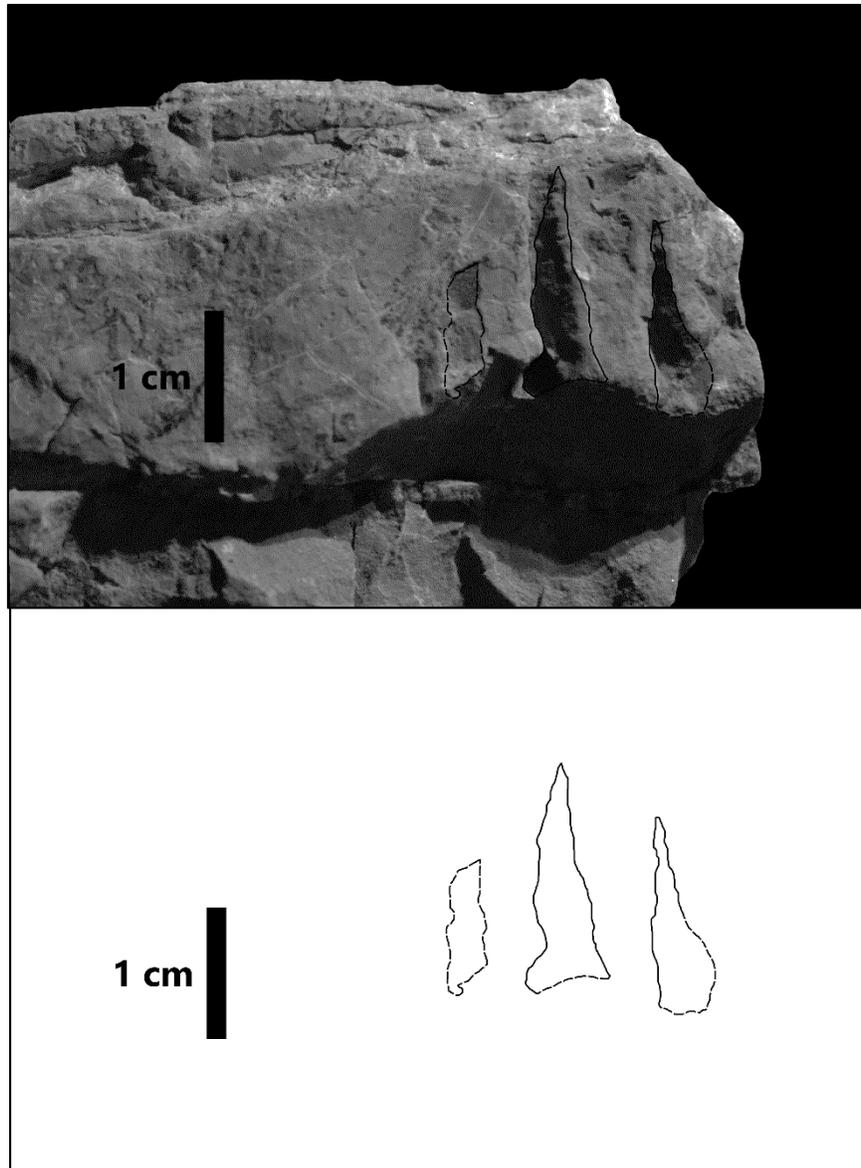


Figura 26. Muestra BST-010 con su respectivo esquema.

Espécimen BST-010. Consta de una impresión de huella tridáctila, con garras alargadas, terminadas en punta, paralelas, con relieve cóncavo. Se infiere que el grosor pronunciado en la base de las marcas se debe a las impresiones de las almohadillas de los dígitos.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Emydhipus* (Nopsca, 1923)**

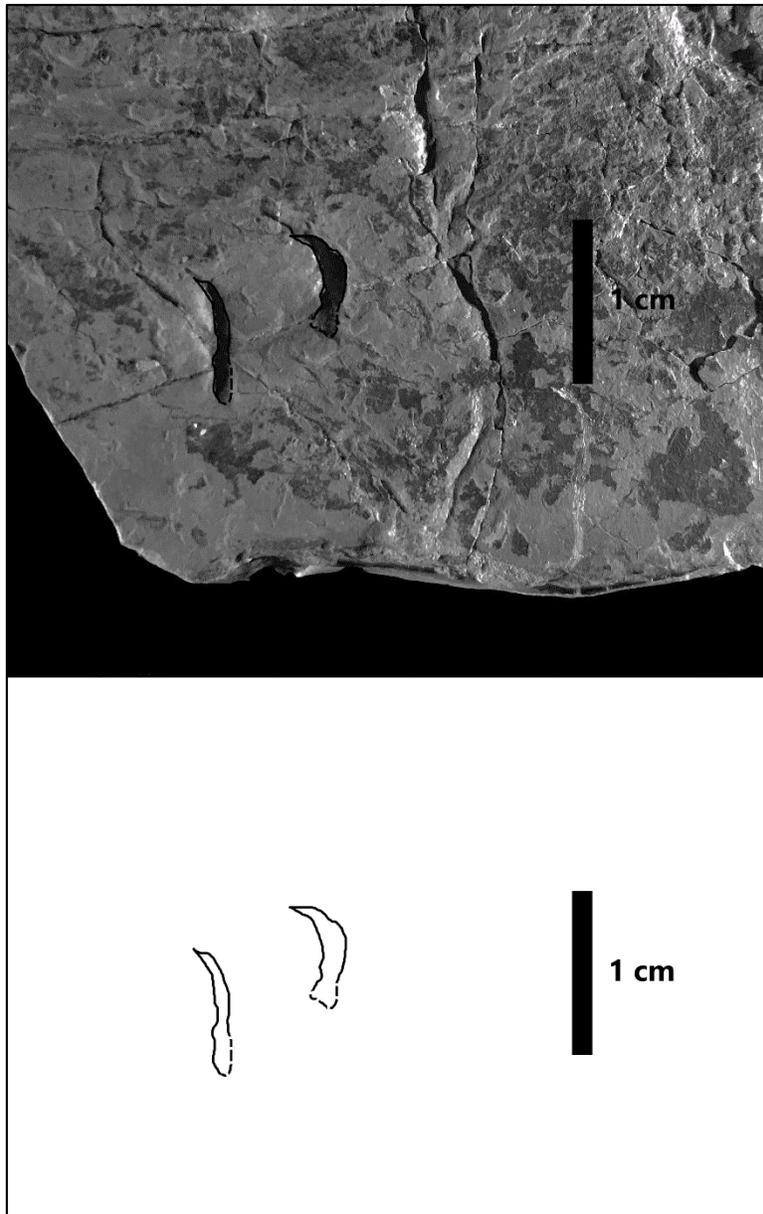


Figura 27. Muestra BST-011 con su esquema.

Espécimen BST-011. Consta de una impresión aislada de dos posibles garras, delgadas terminadas en punta, conservadas en relieve cóncavo, con una ligera orientación a lo que puede ser el centro de la huella. No es posible determinar si corresponde a la marca de la mano o del pie del organismo.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Emydhopus* (Nopsca, 1923)**



Figura 28. Muestra de los especímenes BST-012 y BST-013.



Figura 29. Esquema del rastro BST-012.

Espécimen BST-012. Consta de dos impresiones prolongadas de garras, delgadas, la impresión derecha es tetradáctila y la izquierda está posiblemente incompleta al presentar únicamente tres dígitos, las huellas están conservadas en relieve convexo. Presenta una longitud total de 60.2 mm y un ancho total de 93.6 mm. La impresión derecha tiene una longitud de 81.5 mm por 12.8 mm de ancho, por su parte la impresión izquierda presenta una longitud de 77.6 mm por 9.3 mm de ancho.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: ***Emydhipus* (Nopsca, 1923)**



Figura 30. Esquema del ejemplar BST-013.

Espécimen BST-013. Es un rastro con tres huellas de garras tridáctilas, delgadas terminadas en punta, presentan una impresión en relieve convexo. Tiene una longitud total de 53.9 mm por 43.9 mm de ancho; la apertura de huella promedio es de: 48.4° , estas presentan en promedio una longitud de 15.1 mm por 10.7 mm de ancho, la medida de su paso es de 46.7 mm y de zancada de 38.4 mm. Igualmente, en la laja hay una impresión aislada de una huella tridáctila, con dígitos alargados terminados en punta, conservados en relieve convexo, presenta una longitud de 14.2 mm por 11.9 mm de ancho, similares a las dejadas en el rastro *BST-013*.

ICNOGÉNERO ASOCIADO: *Emydhopus* (Nopsca, 1923)

7.4. Descripción de láminas delgadas.

Siguiendo los lineamientos para la clasificación de rocas carbonatadas de Dunham (1962) las muestras fueron asociadas a una facie de tipo *mudstone* con micrita neomorfizada, presentando gran cantidad de lodo, sin granos esqueletales, intraclastos y materia orgánica esparcida a lo largo de las láminas, mostrando en algunos puntos aparente crecimiento bacteriano (Figura 31). Además, en los cortes de las muestras se observó laminación.

7.4.1. Interpretación paleoambiental.

Las características antes mencionadas sugieren que las icnitas se generaron en un medio evaporítico, semejante a la FZ9 (sensu Flügel) del modelo de cinturón de facies de Wilson, ubicándolo en un ambiente somero de baja energía. En particular, la presencia de laminación, materia orgánica, intraclastos y crecimiento bacteriano puede vincularse con aguas cercanas a la costa, con buena iluminación y aporte constante de terrígenos. No obstante, la ausencia de granos esqueletales, abundancia de materia orgánica y crecimiento bacteriano pueden asociarse a un ambiente poco oxigenado, así como condiciones adversas para el asentamiento de biota bentónica foto-independiente (Núñez-Useche *et al.*, 2020).

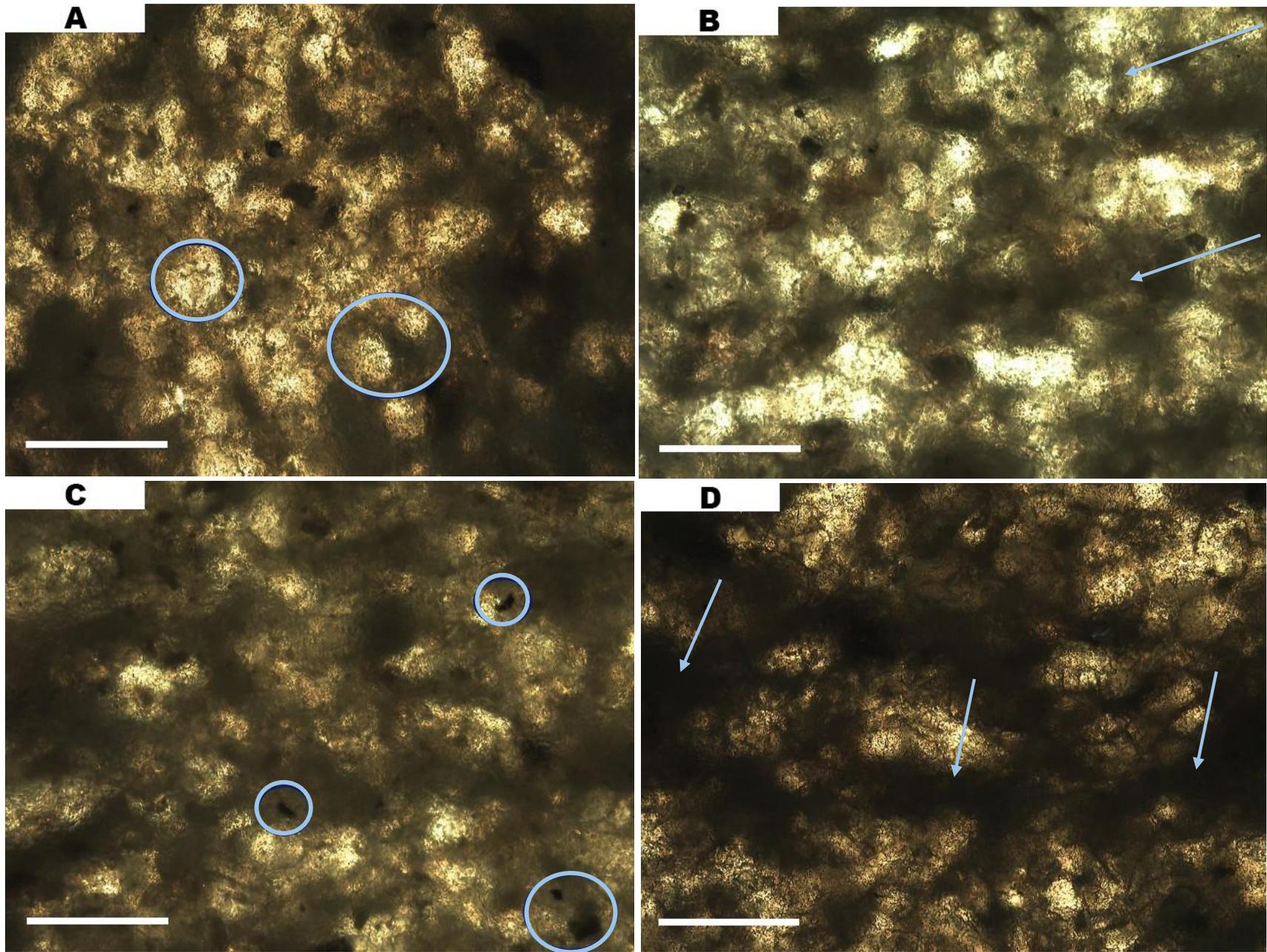


Figura 31. Láminas delgadas de las muestras, A) micrita neomorfizada; B) laminación; C) posible crecimiento bacteriano; D) presencia de materia orgánica (escala = 0.4 mm).

VIII. DISCUSIÓN

Dadas las características de la zona de estudio, se infiere que las muestras descritas en el presente trabajo, referentes a tortugas asociadas a los icnogéneros *Emydhipus* y *Chelonipus* corresponden a desplazamientos subacuáticos. De acuerdo a Xing *et al.* (2014), los rasguños o marcas paralelas de la mayoría de los registros restantes pueden ser interpretadas como evidencia de locomoción subacuática a lo largo del fondo de un sistema somero. La muestra BST-003 consta de una huella parcial aislada, tetradáctila con marcas de posibles almohadillas, similares a las descritas para el icnogénero *Chelonipus*, su diagnosis la coloca como marcas digitígradas o semi-plantígradas con tres o cuatro dígitos unguales bien marcados (Figura 32).



Figura 32. Comparación de huellas de *Chelonipus* (Avanzini *et al.*, 2005) y BST-003.

En cuanto a las muestras BST-002, BST-004, BST-006, BST-009, BST-010, BST-011, se infiere que se traten de huellas aisladas correspondientes al icnogénero *Emydhipus*. Constan de impresiones de garras alargadas terminadas en punta, que van de los tres dígitos a los cuatro. Estas son sub-paralelas en forma de V invertida. Exceptuando la muestra BST-011 que consta de únicamente dos marcas de dígitos, peor que continúa siendo muy similar a las dejadas por tortugas presentadas por Avanzini y colaboradores (2005), correspondiente a marcas de manos de tortugas (Figura 33). Las similitudes se basan en la morfología de las huellas, la presencia de las marcas paralelas y la relativa forma curvada de los dígitos.

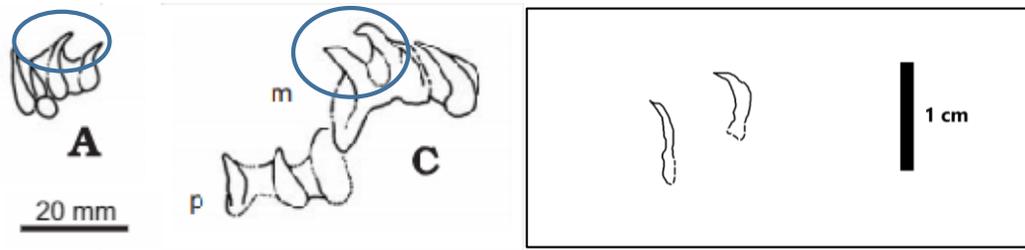


Figura 33. Comparación de huellas correspondientes a *Emydhipus* (Avanzini et al., 2005) y BST-011.

Referente a las muestras restantes: BST-007, BST-008, BST-012 y BST-013, estas corresponden a rastros de posibles tortugas también relacionadas al icnogénero *Emydhipus*. Xing y colaboradores describen los rastros como cuatro marcas de garras alargadas paralelas entre sí y con la línea media del rastro. Esto se aprecia en la muestra BST-012, donde las marcas son bastante alargadas y paralelas entre sí, a pesar de no ser completamente continuas (Figura 34).

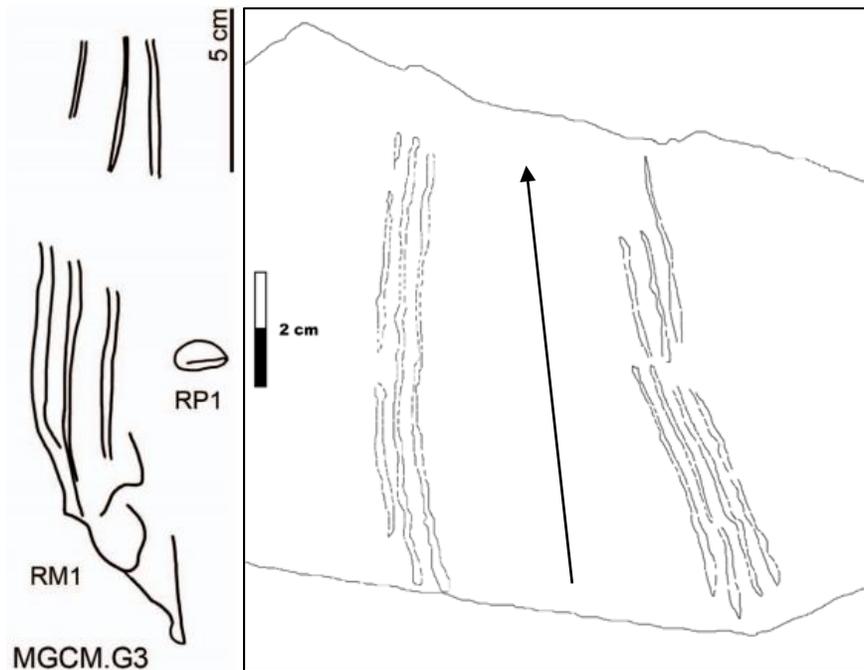


Figura 34. Rastros en desplazamiento subacuático de *Emydhipus* (Xing et al., 2014) y BST-012.

Dentro ambos puntos de muestreo se registraron impresiones de huellas aisladas referentes al icnogénero *Pteraichnus*. La muestra BST-001 corresponde a una posible huella podial y la muestra BST-005 a una huella de la mano izquierda. De acuerdo Lockley y colaboradores en 1995, las impresiones de las patas frontales (manos) del icnogénero *Pteraichnus* consisten en la marca de solo tres dígitos asimétricos (I-II-III), infiriendo que el dígito IV, que sostiene la membrana alar, no tiene contacto con el suelo. BST-005 consta de la impresión de solo tres dígitos, siendo el III el dígito que presenta una mayor longitud. También menciona que las marcas de las manos presentan una mayor profundidad ya que se deduce que recargaban la mayoría de su peso en los miembros anteriores, por lo que esta huella correspondería a una en locomoción terrestre (Figura 35).

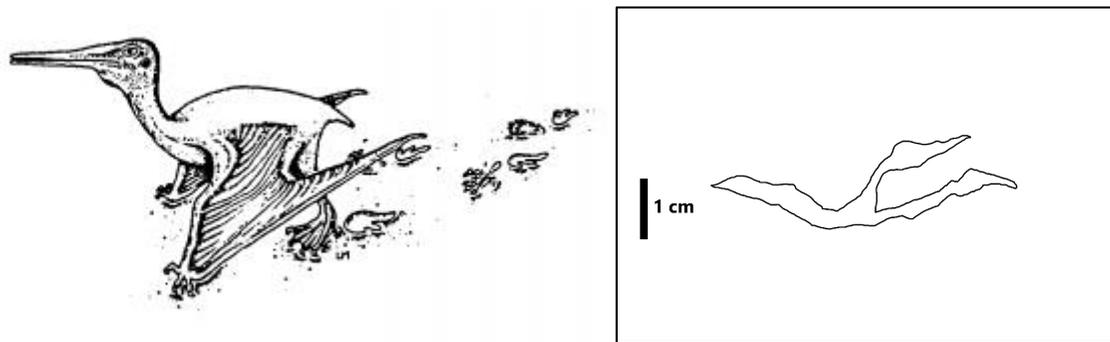


Figura 35. Reconstrucción de un pterosaurio caminando (Lockley et al., 1995) y la muestra BST-005.

En cuanto a la muestra BST-001, consta de una impresión podial, Lockley *et al.* (1995), describen estas huellas como sub-trianguares con un taló afilado, sin embargo, en la muestra no se presenta marca del talón, únicamente de tres dígitos alargados y puntiagudos, en donde los dígitos II y III presentan una mayor longitud. Dicha muestra al constar únicamente de una marca parcial de pie y además de presentar marcas de rizaduras en la laja, se deduce que se trata de una huella en desplazamiento subacuático, ya que de acuerdo a los registros de huellas de pterosaurios se han determinado posibles formas de este desplazamiento y la más aceptada es la que propone que se impulsaban con sus miembros traseros haciendo que sus manos sirvieran como “flotadores”, de la misma manera que las aves acuáticas actuales, tales como anseriformes o pelecaniformes, se impulsan para desplazarse en el agua (Figura 35).

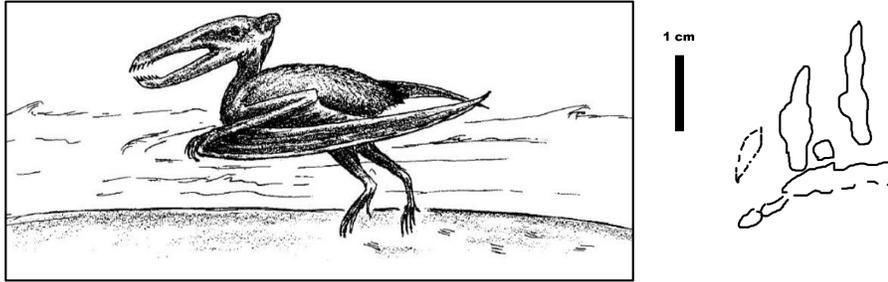


Figura 35. Reconstrucción de un pterosaurio en desplazamiento subacuático (Lockley y Wright, 2003) y la muestra BST-001.

Las características morfológicas presentes en estas dos muestras se acoplan a los rasgos básicos descritos para el icnogénero *Pteraichnus* y se asume que corresponden al mismo, este icnogénero excluye icnitas cuando su tamaño es excepcionalmente grande o aquellas cuya forma difiere radicalmente de las restantes lo cual no se presenta en las huellas descritas en el presente trabajo (Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2016). Se descarta la idea de que las huellas descritas correspondan a cocodrilos, ya que Avanzini *et al.* (2005), las describe como marcas de arañazos muy pronunciados y su principal característica es tener el dígito III como el más largo y pronunciado. Los pies son funcionalmente tetradáctiles y digitígrados, orientados hacia afuera; en cuanto a las manos, son más pequeñas que los pies y presenta cinco dígitos, la huella está rotada de tal manera que el dígito II está apuntando hacia adelante, el IV lateralmente y el V posteriormente (Figura 36).



Figura 36. Rastro de Cocodylopodus (Lockley et al., 2010).

Debemos notar que existen diferencias entre los rastros hechos por animales caminado en tierra y aquellos caminando bajo el agua (locomoción terrestre y acuática). Lockley y

Schumacher (2014), concuerdan que la experiencia y el sentido común dictan que las marcas de natación de los vertebrados acuáticos son substancialmente variables. Esta variabilidad se espera porque los creadores se encontraban flotando y podrían tocar el fondo con cualquier combinación de dígitos y los patrones se ven influenciados por la profundidad del agua, el flujo de energía y los propios movimientos del animal. Por lo que puede haber huellas cortas y anchas, en algunos casos solo se presentan las puntas de los dedos y en otros se dejan marcas de arañazos alargadas. Por lo consiguiente, hacen falta estudios más detallados donde los rastros se registren y se diferencien entre locomoción terrestre o acuática (Lockley *et al.*, 1995).

La particular situación paleogeográfica de México durante el Cretácico hizo que la mayoría de sus masas continentales fueran cubiertas por las aguas tropicales. Ello dio lugar al establecimiento de vastas plataformas que generaron un gran volumen de sedimentos calcáreos (Rosales *et al.*, 1996).

Quiroz-Barroso y colaboradores, en el 2010, mencionaron que las diferentes concentraciones fósiles sugieren una sucesión de facies marino-marginal y muestran que durante el Cretácico Temprano (Aptiano), el área de San Juan Raya estuvo cubierta parcialmente por aguas cálidas y poco profundas que se extendían desde la zona de la playa hasta más allá de las barreras naturales constituidas por parches arrecifales. Las características litológicas de las muestras colectadas en el presente trabajo coinciden con la literatura previa, además, la presencia de materia orgánica, laminación, junto con el material terrígeno arcilloso y lodo calcáreo observados en las láminas delgadas son indicativos de ambientes someros de baja energía, sobre una rampa de poca pendiente (Varela, 2011; Santiago-Bautista *et al.*, 2019).

Sin mencionar que, de igual manera, las marcas de oleaje presentes en las muestras del punto uno de muestreo, son propias de los ambientes marinos someros. De acuerdo con el modelo de facies de Wilson (1975), el área de estudio corresponde a una zona de plataforma evaporítica (FZ9), la cual se interpreta como un ambiente con una afluencia episódica de aguas marinas normales con clima árido, dentro de la zona supramareal y con presencia de estanques de sal. Los sedimentos depositados en esta se caracterizan por presentar lodo calcáreo o dolomítico con yeso y/o anhidrita de marea nodular u ondulado. Los organismos presentes son aquellos adaptados a la alta salinidad como ostrácodos o moluscos (Flügel, 2010).

IX. CONCLUSIONES

Se describieron 13 ejemplares de impresiones fósiles conservados en lutitas calcáreas y calcarenitas de grano fino dentro de ambos puntos de muestreo en la Barranca "El Salitrillo", perteneciente a la formación San Juan Raya. De los cuales, BST-001 y BST-005 se asumen que corresponden a pterosaurios del icnogénero *Pteraichnus*, BST-003 al icnogénero *Chelonipus* y BST-002, BST-004, BST-006, BST-007, BST-008, BST-009, BST-010, BST-011, BST-012 y BST-013 al icnogénero *Emydhopus*, correspondientes a tortugas.

Se deduce que corresponden a huellas en desplazamiento subacuático debido al tipo de sedimento donde se conservaron las muestras, a la presencia de rizaduras en las lajas y al estudio de láminas delgadas, que permitió asociar el ambiente de depósito con las condiciones evaporíticas reportadas para la FZ9 del modelo de cinturón de facies, por lo que las icnitas se formaron en un ambiente con poco oxígeno y condiciones adversas para fauna bentónicas foto-dependiente.

Se recomienda continuar con los estudios dentro de la zona en busca de otros registros de reptiles en desplazamiento terrestre y acuático, de igual manera se sugiere seguir con los estudios de láminas delgadas de secciones en la barranca para las investigaciones sobre interpretaciones paleoambientales dentro de la Formación San Juan Raya.

REFERENCIAS

- Avanzini, M., García-Ramos, J.C., Lires, J., Menegon, M., Piñuela, L. y Fernández, L.A. 2005. Turtle tracks from the Late Jurassic of Asturias, Spain. *Acta Paleontológica Polonica*. 50(4): 743-755.
- Castañeda-Salmonán, A. 2012. *Descripción e identificación de la icnofauna de dinosaurios de San Juan Raya, municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla*. (Tesis de Licenciatura). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Clark, J. M., Hopson, J. A., Hernández, R., Fastovsky, D. E. y Montellano, M. 1998. Foot posture in a primitive pterosaur. *Nature*. 391(1): 886-889.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S.P. y Espinosa-Arrubarrena, L. 1978. Rocas volcanosedimentarias mesozoicas y huellas de dinosaurios en la region suroccidental pacífica de México. Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista del Instituto de Geología*. 2(2): 150-162.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, interpretation and application: Berlin*. Springer Verlag. p. 996.
- Frey, E., Buchy, M.C., Stinnesbeck, W., González, A.G. y di Stefano, A. 2006. *Muzquizopteryx coahuilensis* n.g., n. sp., a nyctosaurid pterosaur with soft tissue preservation from the Coniacian (Late Cretaceous) of northeast Mexico (Coahuila). *Oryctos*. 6(1): 19-39.
- Frey, E., Elgin, R.A., Stinnesbeck, W., Padilla-Gutiérrez, J.M., Ifrim, C., Giersch, S. y González-González, A.H. 2012. A new specimen of nyctosaurid pterosaur, cf. *Muzquizopteryx* sp. from the Late Cretaceous of northeast Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 29(1): 131-139.
- Gamper, M.A. 1977. Estratigrafía y Microfacies Cretácicas del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (Sierra Madre Oriental). *Bol. Sol. Geol. Mexicana*. 38(2): 1-17.
- Gibert, J.M. y Martinell, J. 1998. El modelo de icnofacies, 30 años después. *Revista Española de Paleontología*. 13(2): 167-174.
- González-León, O., Moreno-Bedmar, J.A. y Vega, F.J. 2014. Morphology and ontogeny of the fossil lobster *Meyeria magna* M'Coy, 1849 (Astacidae: Mecochiridae) from the

Lower Cretaceous (Lower Aptian) of Mexico, United Kingdom and Spain. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 271(1): 49-68.

Hernández-Ocaña, M. I., Quiroz-Barroso, S. A. y Sour-Tovar, F. 2015. Tafonomía y Paleoecología de las ostras de la Formación San Juan Raya, Aptiense del sureste de Puebla, México. *Boletín Geológico y Minero.* 126 (1): 37-62.

Hone, D.W.E., Witton, M.P. y Martill, D.M. 2017. New perspectives on pterosaur paleobiology. *Geological Society London Special Publications.* 455.

Jiménez-Moreno, F.J., Rivera-Sylva, H. y Carbot-Chanona, G. 2012. La paleoicnología: tras la huella de los dinosaurios. *Elementos* 86. pp.17-23.

Lichtig, A.J., Lucas, S.G., Klein, H. y Lovelace, D.M. 2017. Triassic turtle tracks and the origin of turtles. *Historical Biology.* pp. 1-11.

Limón-Mireles, J.J., Rodríguez-de la Rosa, R.A. y Carrete-de la Rocha, H.H. 2017. Las huellas del Cócono: icnofauna de vertebrados del Mesozoico de El Oro, Durango, México. *Paleontología Mexicana.* 1(2): 77.

Lockley, M. y Foster, J.R. 2006. Dinosaur and turtle tracks from the Morrison Formation (Upper Jurassic) of Colorado National Monument, with observations on the taxonomy of vertebrate swim tracks. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin.* 36(1): 193-198.

Lockley, M.G., Logue, T.J., Moratalla, J.J., Hunt, A.P., Schultz, R.J. y Robinson, J.W. 1995. The fossil trackway *Pteraichnus* is pterosaurian, not crocodylian: Implications for the global distribution of pterosaur tracks. *Ichnos: An International Journal for Plant and Animal Traces.* 4(1): 7-20.

Lockley, M.G., Lucas, S.G., Milán, J., Harris, J.D., Avanzini, M., Foster J.R. y Spielmann, J.A. 2010. The fossil record of crocodylian tracks and traces: an overview. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 51. pp. 1-14.

Lockley, M. y Meyer, C. 2000. *Dinosaur Tracks and other fossil footprints of Europe.* U.S.A.: Columbia University Press. Pp. 189-228.

Lockley, M. y Schumacher, B. 2014. A new pterosaur swim tracks locality from the Cretaceous Dakota Group of Eastern Colorado: Implications for pterosaur swim track behavior. *Fossil footprints of western North America.* U.S.A. 1(62): 365-372.

- Lockley, M. and Wright, J.L. 2003. Pterosaur swim tracks and other ichnological evidence of behavior and ecology. En: Buffetaut, E. and Mazin, J.M. (editors). *Evolution and Paleobiology of Pterosaurs. Geological Society*. London. 217(1): 297-313.
- López-Conde, O.A. 2016. *Determinación taxonómica de las tortugas fósiles del Kimmeridgiano de la Formación Sabinal, Tlaxiaco, Oaxaca, México*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- López-Conde, O.A., Chavarría-Arellano, M.L. y Montellano-Ballesteros, M. 2020. Nonmarine turtles from Aguja Formation (Late, Cretaceous, Campanian) of Chihuahua, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*. 102(1):1-10.
- Low, J.W. 1966. *Geología de campo*. México: Editorial Continental México. pp. 323-325.
- Lozano-Carmona, D.-E. y Rodríguez de la Rosa, R. A. 2017. *Pteraichnus* Stokes 1957, primer hallazgo en el Jurásico de Puebla: contribución al registro icnológico de pterosaurios en México. *Paleontología Mexicana*. 1(2): 83.
- Mendoza-Rosales, C.C. 2010. *Estratigrafía y facies de la cuenca cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Miller, J. 1989. Microscopical techniques: I. Slices, slides, stains and peels. En: M. Tucker. (Ed.). *Techniques in Sedimentology*. pp. 86-107. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Endinburgh, Boston, Melbourne.
- Mortalla, J.J. y Hernán, J. 2009. Turtle and Pterosaur tracks from the Los Cayos dinosaur tracksite, Cameros Basin (Cornago, La Rioja, Spain): tracking the Lower Cretaceous bio-diversity. *Revista Española de Paleontología*. 24(1): 59-77.
- Núñez, R.F. y Vieyra, S.G. 2006. La icnología y su importancia en el estudio de la paleontología. *Crónicas de la Vida Antigua*. Sociedad Paleontológica de Chile.
- Núñez-Useche, F., Barragán, R., Torres-Martínez, M.A., López-Zúñiga, P.A., Moreno-Bedmar, J.A., Chávez-Cabello, G., Canet, C. y Chacón-Baca, E. 2020. Response of the western proto-North Atlantic margin to the early Aptian Oceanic Anoxic Event (OAE) 1a: an example from the Cupido platform Margin-Gulf of Mexico. NE Mexico. *Cretaceous Research*. 113(1):1-38.

- Nopcsa, F. von 1923. Die Familien der Reptilien. *Fortschritte der Geologie und Paläontologie*. 2: 1–210.
- Pascual-Arribas, C. y Hernández-Medrano, N. 2012. Asociación de huellas de Pterosaurio en el yacimiento de Los Tormos (Soria, España): Implicaciones Icnotaxonómicas. *Studia Geologica Salmanticensia*. 48(1): 7-36.
- Pascual-Arribas, C. y Hernández-Medrano, N. 2015. Las huellas de tortuga del Grupo Oncala (Berriasiense, Cuenca de Cameros, España). *Estudios Geológicos*. 71(1): 1-21.
- Pascual-Arribas, C. y Hernández-Medrano, N. 2016. Huellas de Pterachnus en La muela (Soria, España): consideraciones sobre el icnogénero y la diversidad de huellas de pterosaurios en la Cuenca de Cameros. *Revista de la Sociedad Geológica de España*. 29(2): 889-105.
- Pascual-Arribas, C. y Sanz-Pérez, E. 2000. Huellas de pterosaurios en el grupo Oncala (Soria, España). Pterachnus Palacielii-Saezi, Nov. *Icnosp. Estudios Geológicos*. 56(1): 73-100.
- Quiroz-Barroso, S.A., Escalante-Ruíz, A.R., Mora-Almazán, E.R., Zárate-Villanueva, R.E. y Hernández-Ocaña, M.I. 2010. Análisis tafonómico de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior en el estado de Puebla, México. *X Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía-VII Congreso Latinoamericano de Paleontología*.
- Rivera-Sylva, H.E., Frey, E., Palomino-Sánchez, F.J., Guzmán-Gutiérrez, J.R. y Ortiz-Mendieta, J.A. 2009. Reporte preliminar de una asociación fósil de vertebrados del Cretácico Tardío en Coahuila noroccidental, México. *Bolentín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61(2): 1-6.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1998. Vertebrates of the El Pelillal Locality (Campanian, Cerro del Pueblo Formation), Southeastern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 18(4): 751-764.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Aguillón-Martínez, M.C., López-Espinoza, J. y Eberth, D.A. 2004. The Fossil Record of Vertebrate Tracks in México. *Ichnos*. 1(11): 27-37.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Fernández-Barajas, M.R., Valdes-Vergara, N.A., Prado-Escamilla, E., Mireles-Hernández, B.A., Trejo-Alonso, M. y Martínez-Hernández, E.

2017. Huellas fósiles de vertebrados del Cretácico Inferior de Santa Ana Teloxtoc, Puebla, México. *Paleontología Mexicana, Número Especial: Libro de Resúmenes, XV Congreso Nacional de Paleontología*. 1(2): 137.
- Rojas-Consuegra, R. y Villegas, M.J. 2009. Icnofósiles e icnofacies en algunas formaciones geológicas cubanas. *Estratigrafía y Paleontología*. GEO2-P14:1-28.
- Rosales, C., Bermudez, J. y Aguilar, M. 1996. Microfacies del Cretácico medio y superior de la Sierra de Chiapas (SE México). *GEOGACETA*. 20(1):195-196.
- Rühle v. Lilienstern, H. 1939. Fährten und Spuren im Chirotheriem-Sandstein von Südthüringen. *Fortschritte der Geologie und Paläontologie*. 12:293-387.
- Santiago-Bautista, J.A., Moreal, R., Longoria, J.F. y Flores-Castro, K. 2019. Relación entre las facies marinas del Aptiano-Albiano en Chihuahua y Sonora, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 71(3): 631-656.
- Scholle, P.A. y Ulmer-Scholle, D.S. 2003. *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*. The American Association of Petroleum Geologists. USA
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. *Approaches to Paleoecology*. Pp. 296-316.
- Serrano-Brañas, C.I. y Centeno-García, E. 2014. Paleoenvironmental interpretation using fossil record: San Juan Raya Formation, Zapotitlán basin, Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 31(1): 1-13.
- Seilacher, A. 1967. Fossil behavior. *Scientific American*. 217(1): 72-80.
- Silva-Romo, G. y Mendoza-Rosales, C.C. (Ed.). 2013. *Manual para el Trabajo Geológico en Campo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. pp. 264-267.
- Stokes, L. 1957. Pterodactyl Tracks from the Morrison Formation. *Journal of Paleontology*. 31(5): 952-954.
- Varela, A.N. 2011. *Sedimentología y Modelos Depositionales de la Formación Mata Amarilla, Cretácico de la Cuenca Austral, Argentina*. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de La Plata.

- Vega, F.J., González-León, O. y Moreno-Bedmar, J.A. 2019. Early Cretaceous (late Barremian) Crustacea from Puebla, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*. 96.
- Wellnhofer, P. y Sibbick, J. 2003. *Historia ilustrada de los pterosaurios*. Madrid, España. Susaeta. Pp. 8-57.
- Westgate, J.W. 2000. A Late Cretaceous dinosaur-bearing community from coastal deposits in Chihuahua, México. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 20(3): 78.
- Xing, L., Avanzini, M., Lockley, M., Miyashita, T., Klein, H., Zhang, J., He, Q., Qi, L., Divay, J. y Jia, C. 2014. Early Cretaceous turtle tracks and skeletons from the Junggar Basin,