



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ANÁLISIS DE TRAZAS FÓSILES DE ARTRÓPODOS
ASOCIADAS A RIZADURAS DE OLEAJE
PERTENECIENTES A LA FORMACIÓN SAN JUAN
RAYA, ESTADO DE PUEBLA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

RUBI GUADALUPE NAVA GÓMEZ.



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

2022

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México



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.

*To the stars who listen
and the dreams that are answered.*

- Sarah J. Mass

DEDICATORIA

A mi familia, mamá, papá y Rubén por apoyarme y alentarme en cada decisión que he tomado, este logro también es suyo.

A todos "los Gómez", a mi tía Rosa y mi tío Barranco, a mi tío Neto por creer en mí.

A Lucía por ser la mejor amiga que pude encontrar, por estar ahí para mí siempre, no tengo palabras para agradecerte el ayudarme a seguir adelante y terminar este trabajo, tenemos muchos viajes y planes que hacer, ¡te quiero mucho peque!

A Colette, gracias por hablarme ese primer día donde nos seguimos secretamente, ahí nació el equipo R (rocket y rojo) y nos convertimos en gemelas perdidas, crecimos en muchos sentidos juntas y eso no sé cómo agradecerte. Gracias por estar conmigo durante todo este tiempo.

A las niñas Colette, Zuly, Susie, Jezz y Montse por ser el mejor equipo que podía tener, gracias por brindarme su amistad desde el principio, por todas las risas y tristezas que compartimos.

A Colette (otra vez), Erick y Nelson por ser los mejores compañeros de expos y laboratorio, por todo lo que aprendí de ustedes. ¡Las risas no faltaron!

Por último, a mi abue Sara, tarde un poco, pero lo logré.

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme formar parte de ella desde mi educación media superior en la ENEP 9, así como en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por todos los conocimientos adquiridos a lo largo de todos estos años.

A mi directora de tesis la M. en C. María del Rosario Fernández Barajas, por brindarme sus conocimientos, enseñanzas y consejos, por su comprensión, apoyo y paciencia, por todas las “paleoaventuras” que compartimos. No tengo palabras para agradecerle el permitirme ser parte del mejor laboratorio. Gracias por todo maestra Chayiiito.

Al Dr. Francisco Sour Tovar por su tiempo, sus consejos y sus invaluable comentarios para hacer de este un mejor trabajo. Gracias por toda la ayuda que me brindó

Al M. en C. Oscar González León, al M. en C. Tizoc Adrián Altamirano Álvarez y a la profesora Rosalía Rico Martínez, por sus observaciones, consejos y comentarios para realizar esta tesis desde que era un proyecto de LICyT. Gracias por todo su tiempo y ayuda.

Al laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la UNAM y al Dr. Rafael Villanueva por proporcionarnos sus instalaciones y auxiliarnos en la elaboración de láminas para el enriquecimiento de este trabajo, así como al Dr. Miguel Ángel Torres Martínez por su ayuda en la interpretación y observación de estas láminas.

Al profesor Rubén Rodríguez de la Rosa, por sus consejos, enseñanzas y motivación en campo, por enseñarnos a ver que nos están diciendo las huellas.

Al poblado de Santa Ana Teloxtoc por recibirnos en su comunidad y permitirnos obtener el material de muestreo dentro de las barrancas.

ÍNDICE.

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades de Paleoicnología.	1
1.2. Generalidades del Phylum Arthropoda.	5
1.3. Generalidades del registro paleoicnológico del Phylum Arthropoda.....	7
1.3.1. Trabajos paleoicnológicos enfocados al Phylum Arthropoda.....	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.	16
3.1. Objetivo General.....	16
3.2. Objetivos Particulares.....	16
4. ÁREA DE ESTUDIO.	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
5.1. Trabajo de campo.....	19
5.2. Trabajo de gabinete.....	20
6. RESULTADOS.	22
6.1. Icnología sistemática.	22
6.2. Descripción de las características sedimentológicas de la roca portadora.....	25
7. ANÁLISIS GENERAL.....	27
8. CONCLUSIONES.	34
9. LITERATURA CITADA.	35
10. LÁMINAS.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Representación del proceso de formación de una icnita fósil (Tomado de Gío-Argáez <i>et al.</i> , 2012).	2
Figura 2. Terminología utilizada para la clasificación etológica de trazas fósiles (Tomado y modificado de Buatois y Mángano, 2011).	4
Figura 3. Morfología general de Phylum Arthropoda. (Tomado de Entomología-WordPress.com)	5
Figura 4. Ejemplificación de los principales grupos del Phylum Arthropoda (Tomado de Slide Share, 2011).	6
Figura 5. Primeras apariciones de cuerpos fósiles y pistas de arácnidos, miriápodos e insectos (Tomado de Mayoral, 2001).	7
Figura 6. Ejemplos de la variedad de producción de icnitas (Tomado de Mayoral, 2001 basado en Ekdale <i>et al.</i> , 1984).	10
Figura 7. Ejemplos de estructuras etológicas de artrópodos (Tomado y modificado de Mayoral, 2001).	11
Figura 8. Representación de rastros fósiles de artrópodos y sus modificación según el modo de andar (Tomado de Seilacher, 2007).	13
Figura 9. Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio (Tomado y modificado de Quezada-García <i>et al.</i> , 2014).	17
Figura 10. Vista del área de estudio (Tomado de Google Earth, 2019).	18
Figura 11. Fotografía del trabajo de campo en el punto de muestreo.	20
Figura 12. Proceso de elaboración de láminas delgadas (A: Pulido de las muestras con polvos abrasivos, B: Fijación de las muestras, C: Desbaste de las muestras).	21
Figura 13. Icnogénero <i>Kouphichnium</i> . (Tomado y modificado de Seilacher, 2017).	22

Figura 14. Observación de láminas delgadas al microscopio petrográfico (A: Micrita neomorfizada, B: Laminación, C: Aparente crecimiento bacteriano, D: Presencia de materia orgánica).....	26
Figura 15. Mapa paleogeográfico de América durante el Cretácico Inferior (Tomado y modificado de Iturralde-Vinent, 2005).	27
Figura 16. Rizaduras de oleaje (A: Rizaduras presentes en la muestra STA BS-1; B: Rizaduras de oleaje presentes en la cordillera Bética (Tomado de Martín, 2020).	28
Figura 17. Trazas fósiles afines al icnogénero <i>Kouphichnium</i> (A: Rastro C de la muestra STA BS-1; B: Esquemmatización; C: Acercamiento; D, E, F y G: Rastros asignados al icnogénero <i>Kouphichnium</i> por King et al., 2019).....	30
Figura 18. Morfología general del Orden Xiphosura (Tomado de Alberti et al., 2016).	31
Figura 19. <i>Mesolimulus walchi</i> y su rastro de huellas (Tomado de Ghedoghedo, 2010).	32
Figura 20. Fotografía y señalización de los rastros presentes en la muestra STA BS-1... ..	46
Figura 21. Fotografía y señalización de los rastros presentes en la muestra STA BS-7... ..	47
Figura 22. A) Fotografía icnogénero <i>Kouphichnium</i> , ejemplar STA BS-1/A. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/A.	48
Figura 23. A) Fotografía icnogénero <i>Kouphichnium</i> , ejemplar STA BS-1/B. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/B.	49
Figura 24. A) Fotografía icnogénero <i>Kouphichnium</i> , ejemplar STA BS-1/C. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/B.	50
Figura 25. A) Fotografía icnogénero <i>Kouphichnium</i> , ejemplar STA BS-1/D. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/D.	51
Figura 26. A) Fotografía del ejemplar STA BS-1/E. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/E.	52
Figura 27. A) Fotografía icnogénero <i>Kouphichnium</i> , ejemplar STA BS-7/F. B) Esquema del ejemplar STA BS-7/F.....	53

Figura 28. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-7/G. 54

Figura 29. A) Fotografía icnogenero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-7/H. B) Esquema del ejemplar STA BS-7/H..... 55

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Listado de ejemplares *Kouphichnium* con su correspondiente código de catálogo. 23

Tabla 2. Datos morfométricos de los ejemplares *Kouphichnium* estudiados. 24

RESUMEN.

Se describen 8 trazas fósiles conservadas en estratos de arenisca de la Formación San Juan Raya que afloran en la Barranca El Salitrillo, al SE del Estado de Puebla, se infiere que dichas marcas fueron producidas por organismos correspondientes al Phylum Arthropoda. Se determinó que siete de los rastros encontrados son afines al icnogénero *Kouphichnium*, el cual hace referencia a marcas de locomoción de limúlidos (cangrejos herradura). Siendo el primer reporte de este tipo para la Formación San Juan Raya y el cuarto registro de presencia de cangrejos herradura para el Cretácico de Norte América, así como el primer registro del icnogénero *Kouphichnium* para el Cretácico Inferior de Norte América.

En cuanto al ambiente probable en el que fueron realizados dichos rastros, las características del sedimento sugieren un entorno costero de baja energía y aguas poco profundas, esto se corrobora por la presencia de rizaduras de oleaje en las rocas portadoras.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades de Paleoicnología.

La paleoicnología es una de las diversas ramas en la que se divide la Paleontología, es una disciplina que se encarga del estudio de las evidencias fósiles indirectas (huellas, rastros, coprolitos y gastrolitos), que se generan mediante la interacción entre los organismos y el sustrato. Las trazas fósiles dan indicios de cómo fueron formados y parte del proceso tafonómico que sufrieron (Buatois y Mángano, 2011).

Los icnofósiles poseen gran importancia paleontológica, sedimentológica y estratigráfica debido a que proporcionan información sobre los procesos generales de sedimentación, características de las corrientes, permiten la reconstrucción de ambientes de depósito y brindan información sobre la conducta de los organismos (Contreras-Barrera y Gío-Argaéz, 1985).

Para la conservación de icnitas (Figura 1), deben conjuntarse diferentes factores, uno de ellos siendo el tipo de sedimento donde se genere la huella; por ejemplo un sustrato limoso, arcilloso o arenoso, ligeramente húmedo, con poca profundidad es un excelente sedimento para la impresión de huellas. Sin embargo, si el sustrato es demasiado húmedo o profundo, las huellas no conservan detalles específicos dando la apariencia de ser simples hoyos (Aranda, 2012).

Otros factores que influyen en su conservación es el depósito de sedimento, inmediatamente después de la impresión de la icnita, así como la velocidad y el tipo de enterramiento. Existe un tiempo que permite a las pisadas consolidarse y depende tanto de las condiciones del sustrato y la profundidad de las huellas, como de las condiciones climáticas (Canudo-Sanagustin y Cuenca-Bescós, 1999).

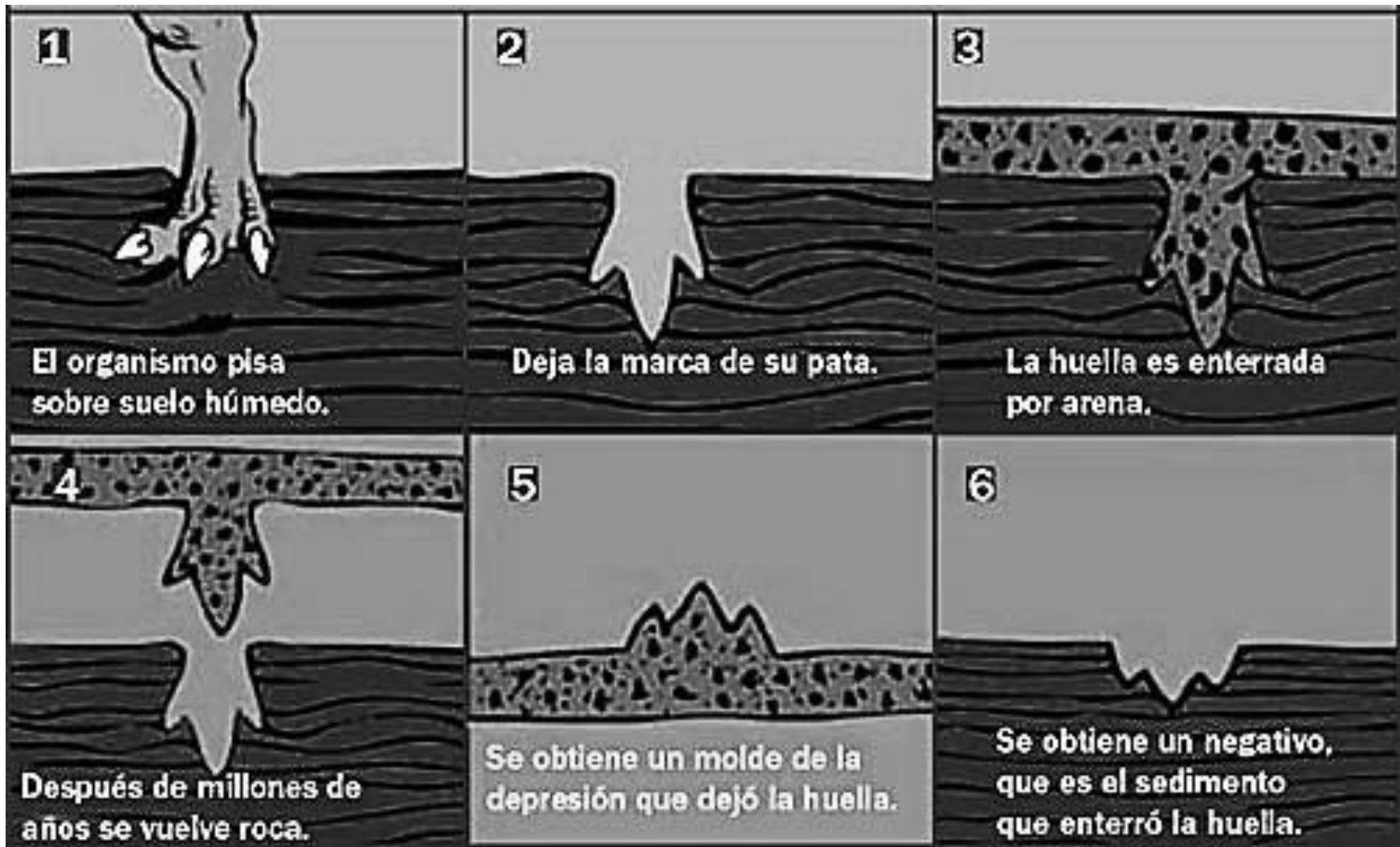


Figura 1. Representación del proceso de formación de una icnita fósil (Tomado de Gío-Argáez *et al.*, 2012).

Otra de las fortalezas de los rastros fósiles es que representan un registro *in situ* de la actividad biológica de los organismos, ya que la mayoría no sufren un proceso de transporte después de su fabricación, esta característica es de suma importancia en las reconstrucciones tanto del organismo como paleoecológicas y paleoambientales. Esto se debe a que a través del análisis de la morfología y estructura de las trazas fosiles se obtiene una gran cantidad de información sobre la anatomía y etología de los organismos que las produjeron, así como los mecanismos de locomoción, los hábitos tróficos y el modo de vida (Buatois y Mángano, 2011).

Algo a tomar en cuenta sobre los icnofósiles es que un mismo organismo puede producir más de un tipo de icnitas según la actividad que se encuentre realizando, las cuales se clasifican en diferentes *ichnoespecies* e *ichnogenera* (Seilacher, 1985).

En 1928 Richter (en Núñez y Vieyra, 2006) fue el primero en utilizar un enfoque etológico al estudiar los icnofósiles pero el auge de la paleoicnología tuvo lugar en la segunda mitad del siglo pasado, con los trabajos de Adolfo Seilacher, los cuales fueron innovadores ya que acuñó nuevos conceptos y métodos de clasificación, según la conducta que podía observarse y la forma de conservación de los icnofósiles.

Es en 1953 cuando Seilacher crea un sistema de nomenclatura etológica (Figura 2), para la clasificación de los icnofósiles, distinguiendo cinco tipos básicos de comportamiento: *domichnia* (construcción de morada), *cubichnia* (pistas de reposo), *repichnia* (pistas de locomoción), *pascichnia* (pistas de alimentación por organismos micrófagos) y *fodinichnia* (pistas de alimentación). Varios años después se agregaron los términos *fugichnia* (estructuras de escape), *agrichnia* (madrigueras y sistemas de madrigueras) *praedichnia* (pistas de depredación), y el término *equilibrichnia* (pistas de migración gradual) (Simpson, 1975; Ekdale, 1984 y 1985; Bromley 1990 en Gámez Vintaned y Liñán. 1996).

En los últimos años debido a los trabajos con insectos terrestres y bioerosionadores se han agregado nuevas categorías etológicas entre ellas: *calichnia* (pistas de anidación), *pupichnia* (cámaras de pupación), *fixichnia* (pistas de anclaje), *impedichnia* (estructuras de bioclaustración) y *mortichnia* (rastros de muerte) (Buatois y Mángano, 2011).

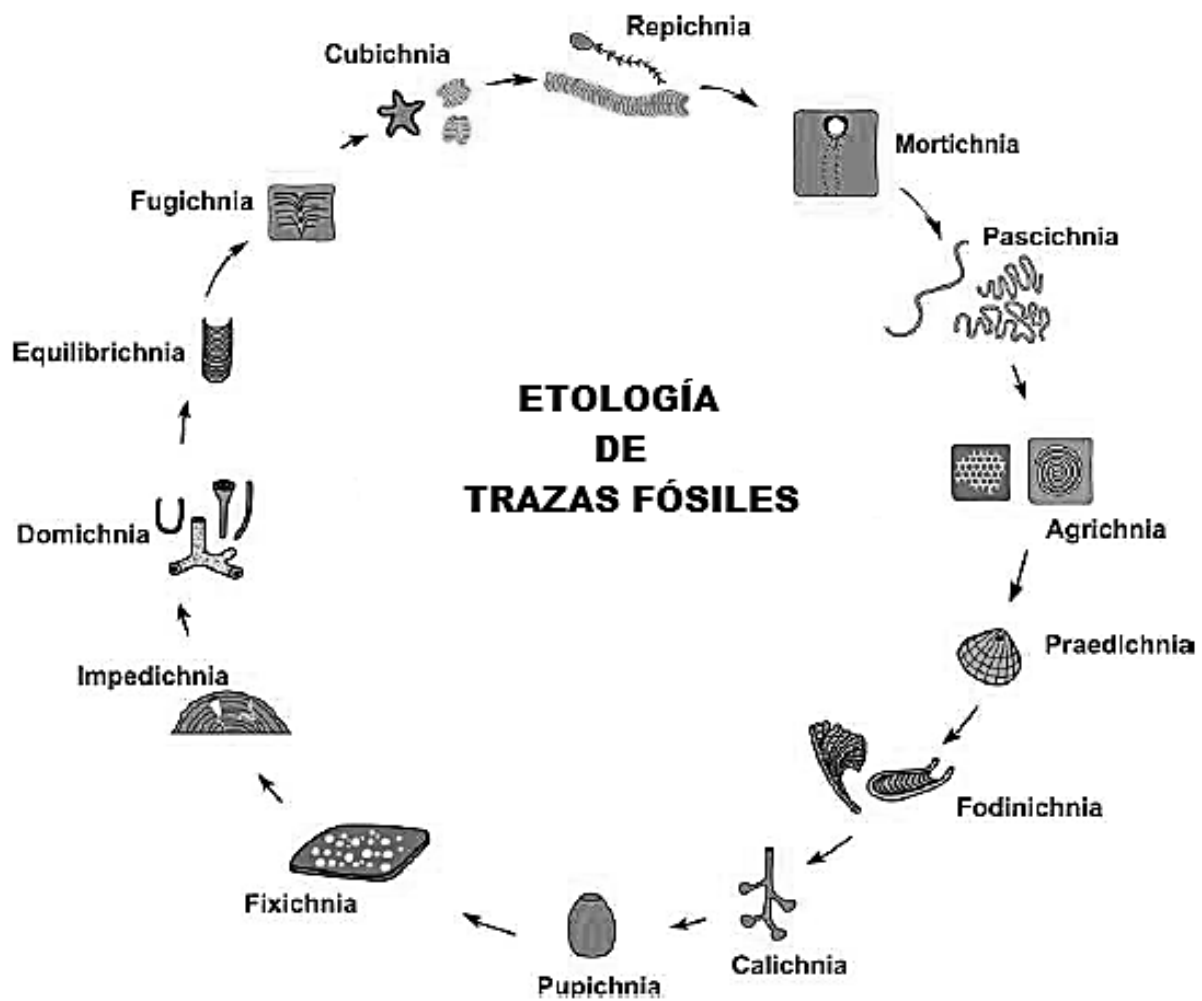


Figura 2. Terminología utilizada para la clasificación etológica de trazas fósiles (Tomado y modificado de Buatois y Mángano, 2011).

Con los avances en la clasificación de icnitas en 1975 Osgood (en Miller, W. 2007) pudo encontrar el motivo por el cual los estudios de huellas de invertebrados no se desarrollaban tanto; explicó que una de las razones por la que no existían tantos estudios sobre el tema se debía a que algunas pistas producidas por organismos invertebrados fueron interpretadas erróneamente como marcas producidas por posibles algas.

1.2. Generalidades del Phylum Arthropoda.

Los artrópodos son animales tripoblásticos, protostomados, de simetría bilateral y metamería heterónoma (Figura 3), que da origen a las unidades funcionales conocidas como tagmas, los cuales están provistos por una cutícula quitinosa también conocida como exoesqueleto, estos organismos generalmente presentan mudas en sus distintas etapas de desarrollo. Además cada segmento del cuerpo lleva un par de apéndices articulados los cuales presentan diferenciación de acuerdo a su uso (Rodríguez-Diego et al., 2009)

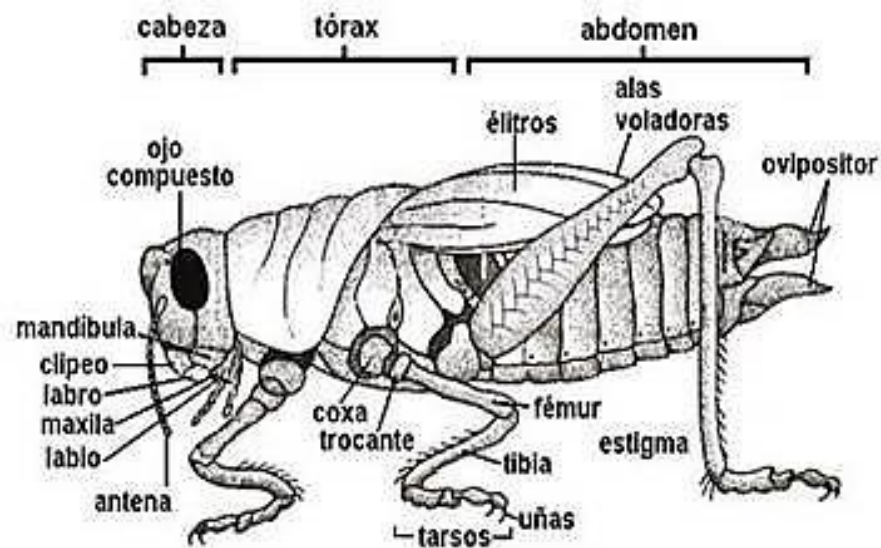


Figura 3. Morfología general de Phylum Arthropoda. (Tomado de Entomología-WordPress.com)

El Phylum Arthropoda es uno de los más diversos comprende varios grupos (Figura 4) entre ellos se encuentran los organismos trilobitomorfos, estos animales habitaron y dominaron los mares hace millones de años, los quelicerados comprenden especies de alacranes, arañas y otros arácnidos, así como la gran diversidad de ácaros y garrapatas hasta especies tan antiguas como los son las cacerolas de mar, considerados verdaderos fósiles vivientes, ya que sus orígenes datan del período Ordovícico. Los mandibulados son considerados el subfilo más grande e incluye cangrejos, langostas y camarones. El 80% de los artrópodos los alberga la clase *Insecta* entre los que figuran los escarabajos, mariposas, libélulas, hormigas, abejas, moscas, chinches, etcétera (Pinkus-Rendón, 2010).

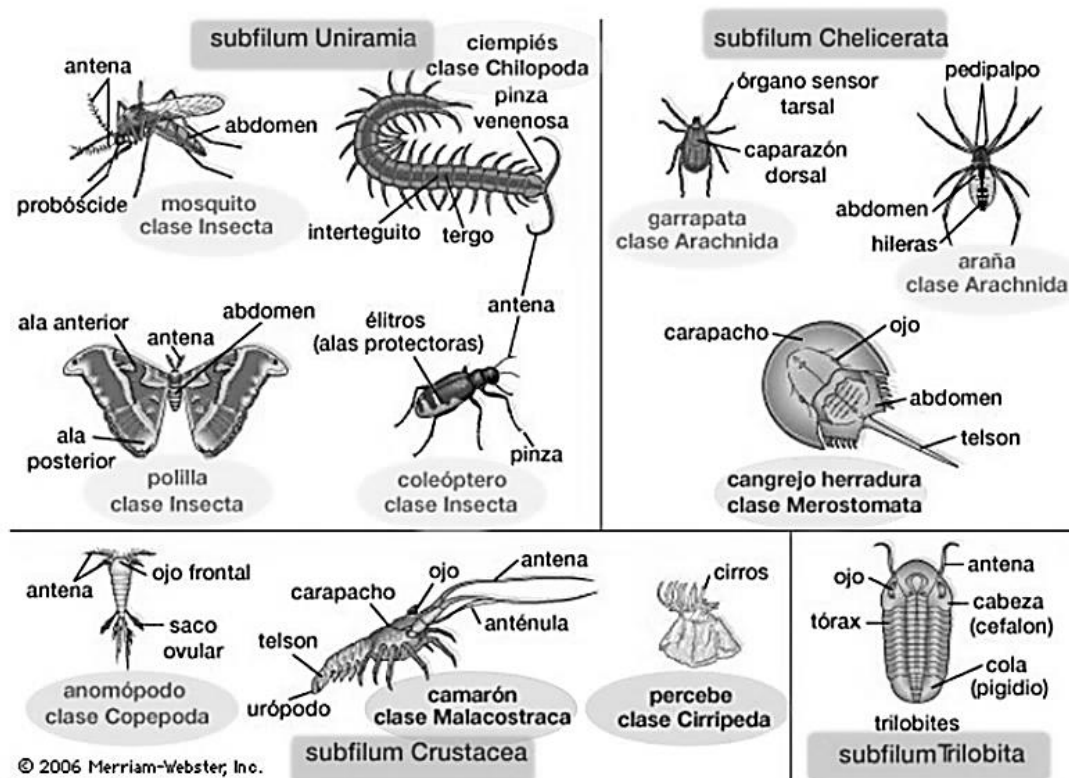


Figura 4. Ejemplificación de los principales grupos del Phylum Arthropoda (Tomado de Slide Share, 2011).

El registro fósil del Phylum Arthropoda (Gr. *Arthron*, articulación; *podos*, pie.) se remonta a principios de la Era Paleozoica hace más de 500 millones de años, durante el período Cámbrico (Figura 5). La diversidad de pistas fósiles relacionadas con la actividad de artrópodos es muy alta, siendo más de cien los icnogéneros descritos hasta la fecha. Probablemente las pistas que han recibido mayor atención sean las registradas en las rocas sedimentarias de origen marino y dentro de éstas, las producidas por los trilobites o trilobitomorfos, estas pistas se pueden encontrar desde el inicio de la Era Paleozoica (Cámbrico), siendo muy abundantes hasta finales del Carbonífero. En general suelen denotar comportamientos de locomoción, descanso o búsqueda de alimento, casi siempre en la interfase sedimento-agua. Se conoce que tanto trilobites como euríptéridos, colonizaron el ambiente marino durante miles de años, otros artrópodos productores de pistas son los crustáceos que responden a conductas motivadas por la búsqueda de morada, alimento, locomoción y descanso. Los medios de transición y los continentales pantanosos supusieron la aparición de nuevos hábitats, cuya colonización fue muy rápida y exitosa por esto, el registro de pistas dejadas por los Artrópodos fue muy elevado, siendo los principales productores los crustáceos, quelicerados y miriápodos (Gould, 1989; Erwin, 1982; Buatois et al., 1998; Mayoral 2001).

Una de las principales razones por las que los artrópodos están presentes en cualquier tipo de hábitat es por su enorme capacidad de adaptación, esto se ve reflejado en el registro paleoicnológico por la producción de diversas señales (Figura 6), que muestran principalmente la respuesta de estos organismos a las condiciones que estaban sometidos. En mayor medida las evidencias producidas por artrópodos están relacionadas a estructuras de bioturbación, esto hace referencia a la modificación de la estructura o consistencia de un sustrato original, lo cual se relaciona a actividades como lo son la búsqueda de refugio, alimentación, reposo o desplazamiento. Con menos frecuencia

podemos encontrar estructuras de bioerosión que reflejan normalmente comportamientos de búsqueda de alimento, en este caso el sustrato afectado está consolidado este puede ser desde hojas o troncos hasta superficies endurecidas como lo son rocas o esqueletos. Muy raramente también se pueden encontrar estructuras de biodepósito y estructuras de bioordenación asociadas a artrópodos. En el primer caso, estas estructuras se producen por la acumulación de sedimento no ordenado, esto se puede relacionar con un comportamiento de construcción de morada o de alimentación, como puede ser la presencia de pelets fecales o excavaciones relacionada a la actividad de muchos crustáceos, por último las estructuras de bioordenación solo se dan de forma muy específica en la actividad de algunos crustáceos o insectos al construir estructuras destinadas a la reproducción o crianza de larvas (Figura 7) (Mayoral, 2001).

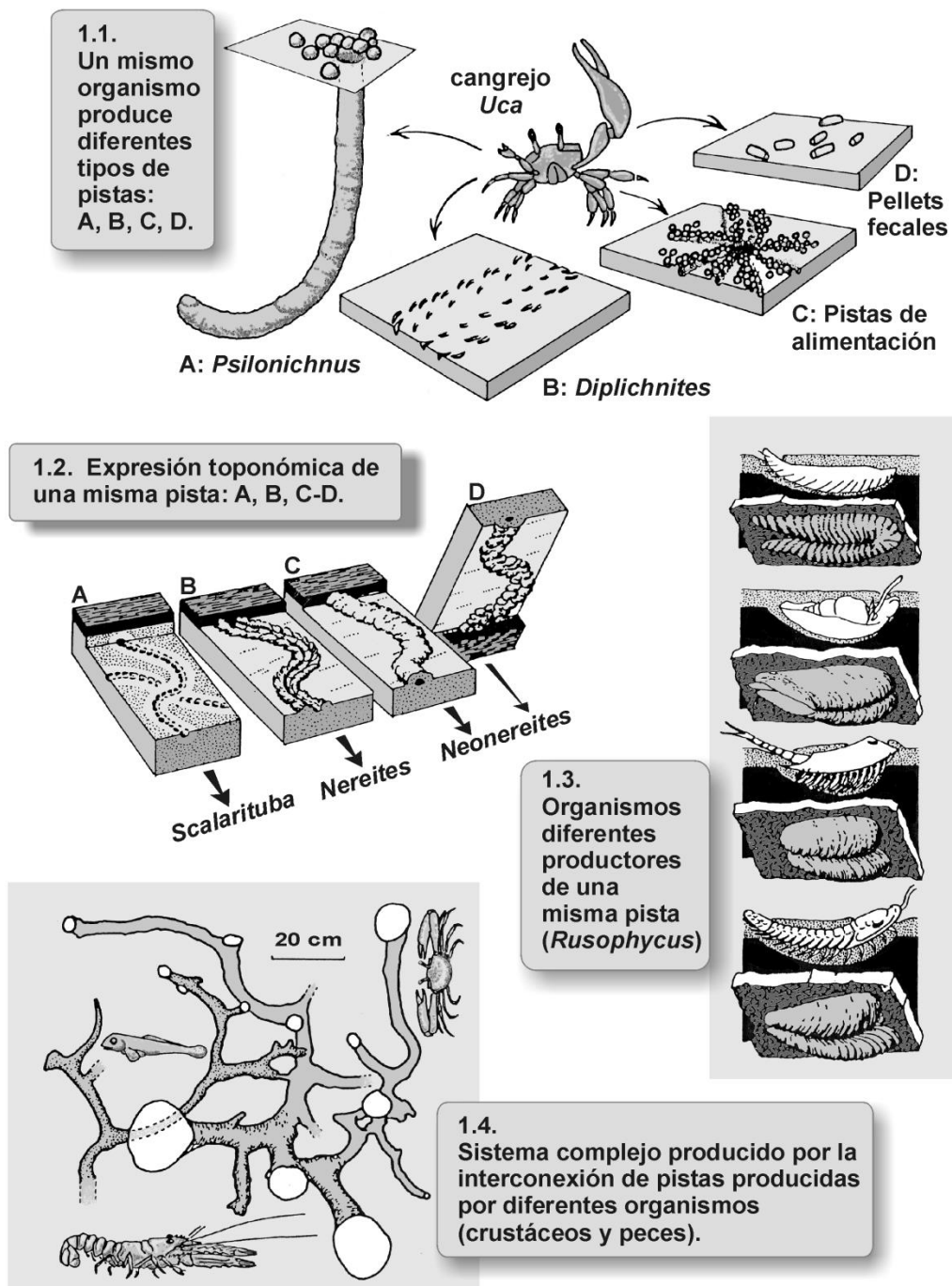


Figura 6. Ejemplos de la variedad de producción de icnitas (Tomado de Mayoral, 2001 basado en Ekdale et al., 1984).

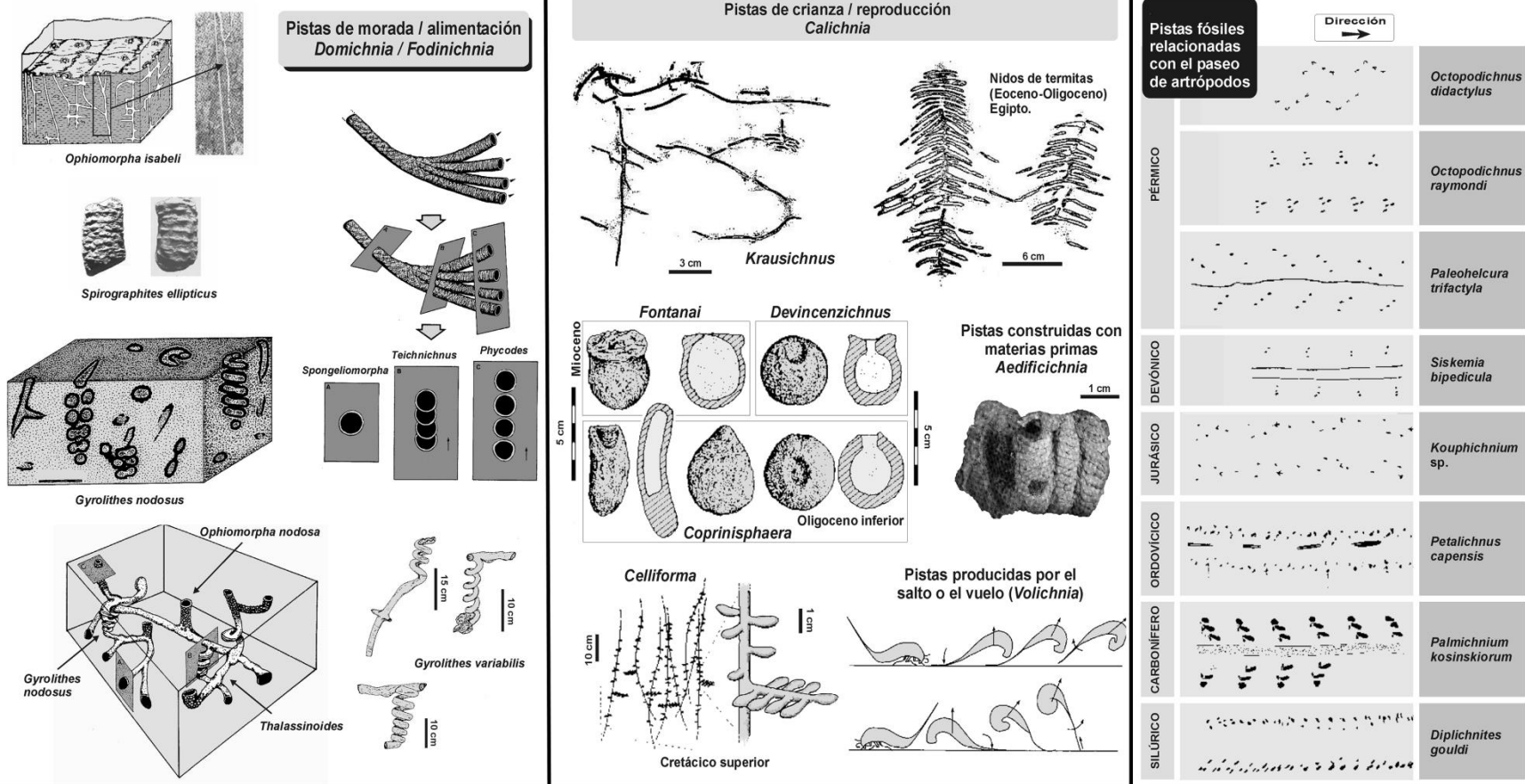


Figura 7. Ejemplos de estructuras etológicas de artrópodos (Tomado y modificado de Mayoral, 2001).

Las trazas fósiles relacionadas a organismos que conforman el Phylum Arthropoda pueden conservarse de diversas maneras, ya sea como relieves completos, o semirelieves ya sean epi o hiporelieves, con este tipo de icnitas se debe tener presente que diferentes clases de artrópodos pueden reflejar estructuras semejantes, principalmente por la presencia de un mayor número de apéndices locomotores y los diversos tipos de comportamiento que presentan (Figura 8), lo cual puede provocar una mayor dificultad en el estudio e interpretación de estas estructuras, otro aspecto a tomar en cuenta es la formación de subimpresiones (“undertracks”) que son estructuras que se forman debajo de la superficie del sedimento sobre el que camina el organismo, en el caso de artrópodos este tipo de icnitas son comunes debido a la forma en que estos organismos tienen contacto con el sustrato en el que se encuentran ya que la mayoría de artrópodos comúnmente se anclan al sedimento ya sea en busca de alimento o para evitar ser desplazados por corrientes de viento o acuáticas, es por esto que las icnitas de artrópodos tienden a ser comunes en un sustrato de grano fino y húmedo por ende se relacionan con depósitos acuáticos poco agitados (Goldring and Seilacher, 1971; Mayoral, 2001; Seilacher, 2007).

1.3.1. Trabajos paleoicnológicos enfocados al Phylum Arthropoda.

Existen diversos artículos sobre el estudio de trazas fósiles o icnofósiles de artrópodos, entre ellos se encuentra el de Bandel (1967) quién describió icnitas fósiles de isópodos y limúlidos, identificando marcas de desplazamiento, de descanso y de natación en areniscas fechadas para el Pensilvánico superior en Kansas.

Arthropod Trackways

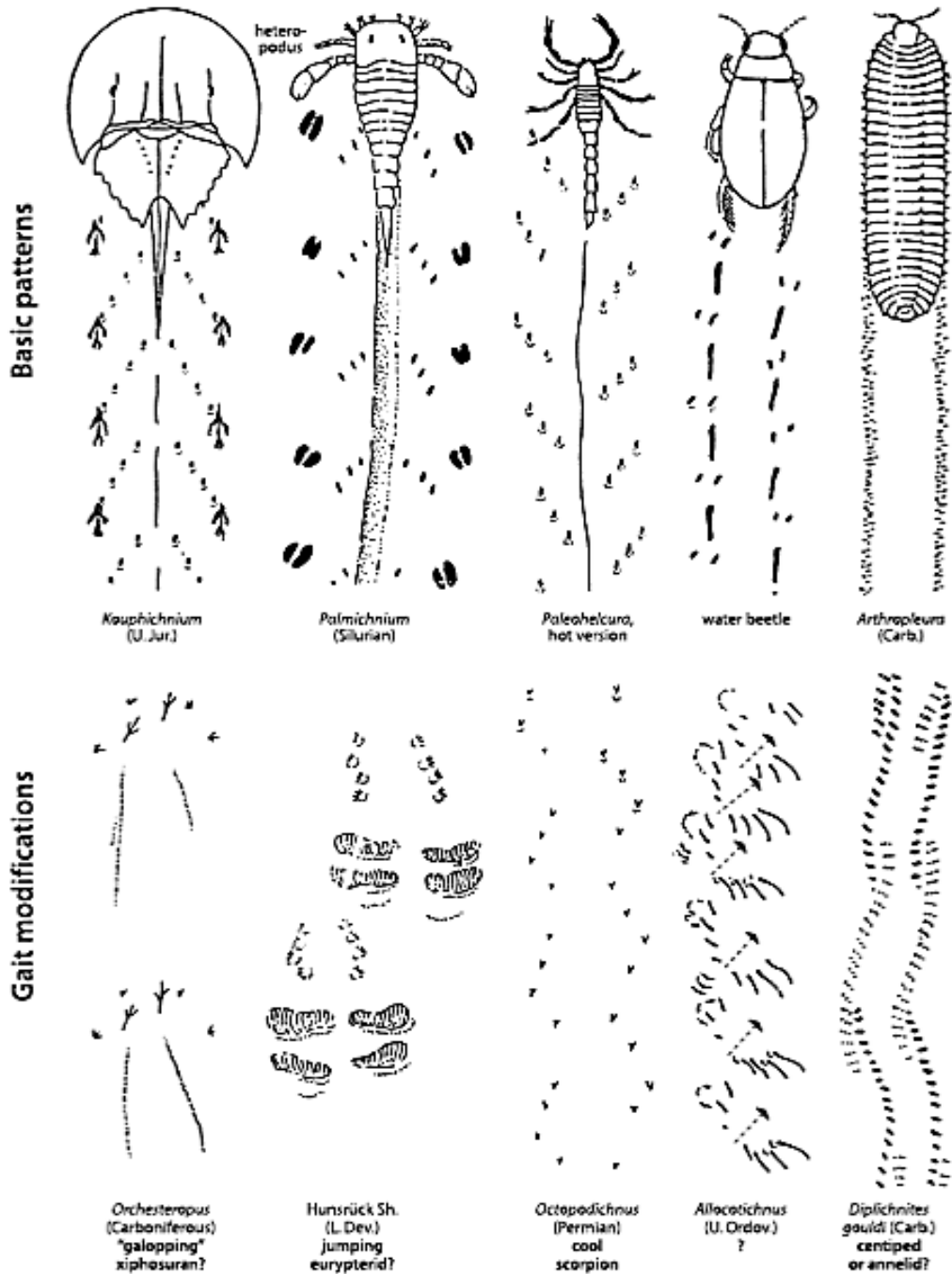


Figura 8. Representación de rastros fósiles de artrópodos y sus modificación según el modo de andar (Tomado de Seilacher, 2007).

En 2004 Hunt et *al.*, realizaron el hallazgo de icnitas de *Arthropleura*, que son columnas largas y paralelas de pequeñas huellas que demuestran que el animal se desplazaba rápidamente, evitando obstáculos con giros bruscos. Cuando se movían a gran velocidad su cuerpo se estiraba y se hacía más largo, proporcionando una mayor longitud de zancada y permitiéndole avanzar con mayor rapidez. Dichas icnitas se clasificaron dentro del icnotaxón *Diplichnites cuithensis*.

Gaillard (2010), describió un rastro de xifosuro de gran tamaño, bien conservado en calizas litográficas de Francia, relacionado a la icnoespecie *Kouphichnium lithographicum*, concluyendo que estas pistas son de un organismo adulto.

En el 2013, Peyre de Fabregues y Allain, encontraron un rastro fósil afín a la icnoespecie *Kouphichnium lithographicum* en Canjuers Lagerstätte que es un afloramiento fosilífero del sureste de Francia, fechado para el Jurásico tardío, donde se observó un desplazamiento de locomoción asociado a un organismo de tipo limúlido.

Alberti et *al.* (2016) reportaron la primera evidencia de miembros del orden Xiphosura en el Jurásico de la India, se trata de un rastro de 44 cm encontrado en la cuenca Kachchh occidental. El icnofósil consiste en las huellas de las patas y la espina dorsal asignado al icnogénero *Kouphichnium*.

En México también podemos encontrar estudios sobre trazas fósiles de artrópodos, un ejemplo de ello es el reporte de la presencia de galerías de descanso y rastros de desplazamiento de trilobites en la Formación Puerto Blanco, que se encuentra al norte del estado de Sonora (Hernández-Barbosa, 2017).

Por otro lado en el estado de Veracruz, en la Formación Tuxpan se realizó un estudio sobre galerías probablemente realizadas por crustáceos, reportándose la presencia de los icnogéneros *Thalassinoides*, *Gyrolithes* y *Ophiomorpha* relacionados de acuerdo a la

clasificación de Seilacher (1953) a actividades de alimentación (*fodinichnia*) y de formación de guaridas (*domichnia*) (Berrocal, 2017).

Al mismo tiempo en el estado de Puebla se han reportado trabajos de paleoicnología de invertebrados, un ejemplo de esto es el estudio realizado a la Icnofauna Local Cazonas, un afloramiento de evidencia de actividad orgánica, ubicado en la Formación Chicontepec, en el estado de Puebla, dónde se reportaron 17 icnoespecies, pertenecientes a 14 icnogéneros y 2 formas indeterminadas, entre los que se encuentran *Cosmorhapse*, *Helminthorhapse*, *Spirorhapse*, *Paleodichyon* y *Lorenzina*, este último tiene como posibles productores a organismos crustáceos (Contreras-Barrera y Gío-Argáez, 1985).

En la Formación San Juan Raya también perteneciente al estado Puebla, se realizó un estudio donde se reconocieron e interpretaron nueve biofacies y tres icnofacies; siendo *Psilonichnus*, *Skolithos* y *Cruziana* las icnofacies encontradas. La icnofacie *Psilonichnus* consiste pequeñas galerías de 2 formas, una de ellas con un eje estructural vertical que son atribuidas al icnogénero *Macanopsis* cuyos posibles productores son organismos afines al Phylum Arthropoda, la otra consiste en estructuras verticales en forma de “J” estas pertenecen a *Psiloninchnus*, asociado principalmente al registro de actividad de cangrejos. Mientras que la icnofacie *Cruziana* consiste en una serie de trazos horizontales y madrigueras verticales asociadas, *Thalassinoides* es el icnofósil más abundante en esta icnofacie y comúnmente se asocia a crustáceos (Serrano-Brañas y Centeno-García, 2014).

2. JUSTIFICACIÓN.

La Formación San Juan Raya ha sido estudiada desde finales del siglo XIX, a pesar de esto, existen pocos reportes de paleoicnológicos, principalmente enfocados a organismos vertebrados, dentro de los cuales se encuentra el hallazgo de icnitas de dinosaurio del Cretácico Tardío que se atribuyen a hadrosaurios y saurópodos, la descripción de rastros de terópodos (posiblemente alosaurioideos), así como icnitas aisladas de ornitópodos y la identificación de icnitas de diferentes tamaños de saurópodos titanosauriformes (Rodríguez de la Rosa et *al.*, 2007, 2012; Castañeda-Salmoren, 2012). Por lo que el presente trabajo aporta nuevos datos que enriquecen el conocimiento del registro paleoicnológico de invertebrados de la Formación San Juan Raya.

3. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo General.

Con base en el Sistema de Nomenclatura Etológica analizar las trazas fósiles colectadas en estratos de la Formación San Juan Raya que afloran en la Barranca El Salitrillo, SE del Estado de Puebla.

3.2. Objetivos Particulares.

- Describir e identificar icnotaxonómicamente los icnofósiles colectados en la Barranca “El Salitrillo”.
- Determinar a qué tipo de comportamiento corresponden las icnitas encontradas.
- Describir las características del sedimento donde se fosilizaron las huellas estudiadas.

4. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se encuentra localizada en la Barranca "El Salitrillo" con coordenadas 18°20'23" N, 97°34'34" W cercana al poblado de Santa Ana Teloxtoc perteneciente al municipio de Tehuacán, Puebla, donde aflora parte de la Formación San Juan Raya (Figura 9 y 10).

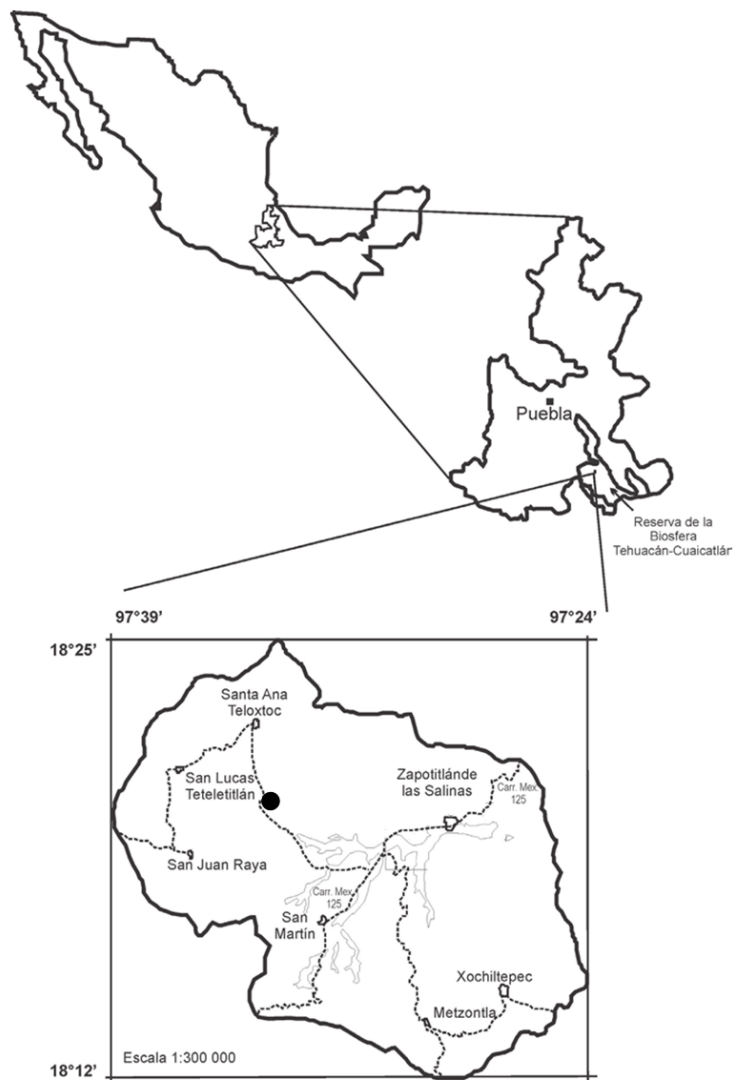


Figura 9. Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio (Tomado y modificado de Quezada-García et al., 2014).

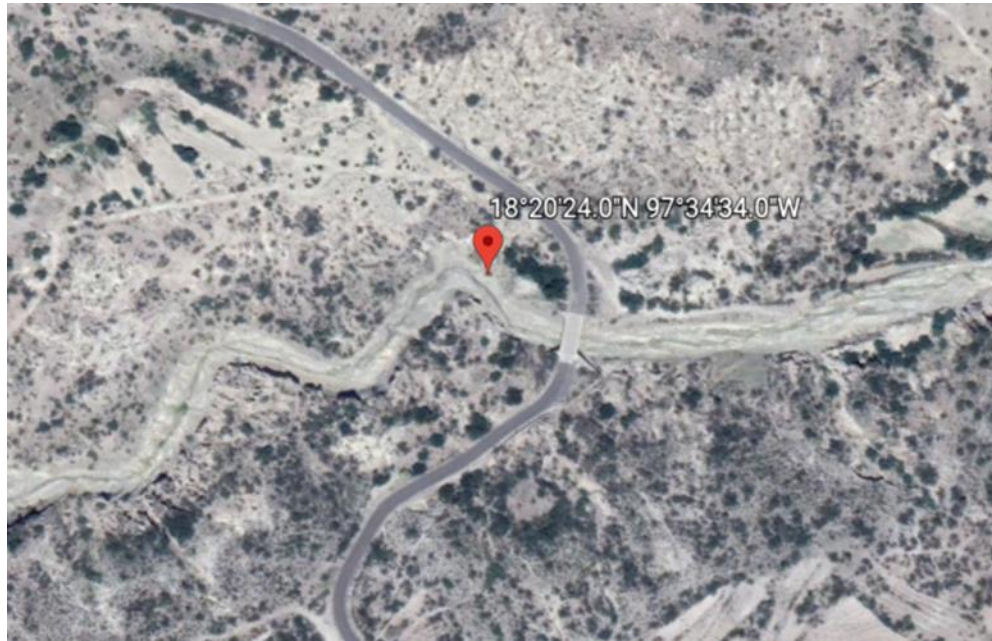


Figura 10. Vista del área de estudio (Tomado de Google Earth, 2019).

La litología de la Formación San Juan Raya, consiste en una alternancia de conglomerados, areniscas, limolitas, lutitas y calizas en estratos delgados y gruesos frecuentemente bioturbados. Los conglomerados son de clastos de cuarzo blanco, subredondeados a redondeados que se intercalan niveles de clastos de caliza que se presentan en estratos lenticulares medianos a gruesos con estructuras de corte en su base y rizaduras simétricas en la cima con estratificación cruzada. Las areniscas varían de grano fino a grueso, forman estratos ondulados y lenticulares delgados a medianos, con rizaduras o estratificación cruzada. Las lutitas se presentan en estratos medianos a muy gruesos con abundantes fósiles gasterópodos y pelecípodos (Mendoza-Rosales, 2010).

La Formación San Juan Raya ha sido asignada al Aptiano Inferior (Cretácico Inferior) por su contenido fósil (Serrano-Brañas y Centeno-García, 2014). Sin embargo, estudios recientes sugieren que la edad de la formación puede extenderse hasta Barremiano

Superior e incluso al Valanginiano-Superior-Hauteriviano inferior (Mendoza-Rosales, 2010; González-León et al., 2015).

Esta formación ha sido interpretada como un ambiente marino de plataforma en base a su contenido fósil, con el estudio de biofacies e icnofacies se han encontrado variaciones de salinidad debido a la posible influencia de agua dulce continental. Asimismo, las diferentes concentraciones de fósiles sugieren una sucesión de facies marino-marginal que muestran que el área estuvo cubierta parcialmente de aguas cálidas y poco profundas que se extendían desde la zona de playa hasta más allá de los parches arrecifales los que constituían una barrera natural (Alencáster de Cserna, 1956; Quiroz-Barroso et al., 2010; Serrano-Brañas y Centeno García, 2014; Hernández-Ocaña et al., 2015).

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Trabajo de campo.

Se realizaron dos salidas a campo a la localidad anteriormente descrita (Figura 11), se llevó a cabo el trabajo prospectivo de campo y un muestreo sistemático, siguiendo la metodología de Montero y Diéguez (2001), revisando los estratos y lajeando con martillo y cincel hasta encontrar fósiles, las muestras se recolectaron tomando en cuenta su posición con respecto al tiempo (o su polaridad) y se etiquetaron con los datos de campo correspondientes. Las coordenadas del punto de muestreo se tomaron con un GPS marca Garmin eTrex. Para el embalaje de las muestras se utilizó papel periódico y manta, se colocaron en cajas de plástico para evitar que se dañaran durante el traslado al Laboratorio De Ciencias De La Tierra, Paleontología y Biología Evolutiva (L-403) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, donde se llevó a cabo su estudio.



Figura 11. Fotografía del trabajo de campo en el punto de muestreo.

5.2. Trabajo de gabinete.

Para la descripción e identificación icnotaxonómica de las muestras se realizó una búsqueda, recopilación, análisis y síntesis de bibliografía especializada, como son artículos científicos y libros tales como *Trace Fossil Analysis*, *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*.

Mientras que la toma de datos morfométricos se llevó a cabo utilizando regla, flexómetro y vernier para medir cada uno de los rastros.

Para una mejor visualización de las muestras se realizó la toma de fotografías con una cámara profesional Nikon 3400®, las cuales fueron posteriormente procesadas y esquematizadas con el programa Adobe Photoshop Cs6®.

Para la determinación de las características del sedimento se realizaron láminas delgadas, en el Taller de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias con la ayuda del Dr. Rafael Villanueva (Figura 12) donde se cortó la roca al tamaño de un portaobjetos y se procedió a pulir con polvos abrasivos en el orden de 120, 240, 400, 600 y 1000, se llevaron a la cortadora y se tuvo un rango de desbaste 2.5 a 2.75.

Las láminas se observaron en el Laboratorio de Microscopia, del Instituto de Geología de UNAM, en un microscopio petrográfico y se interpretaron con la ayuda del Dr. Miguel Ángel Torres Martínez.

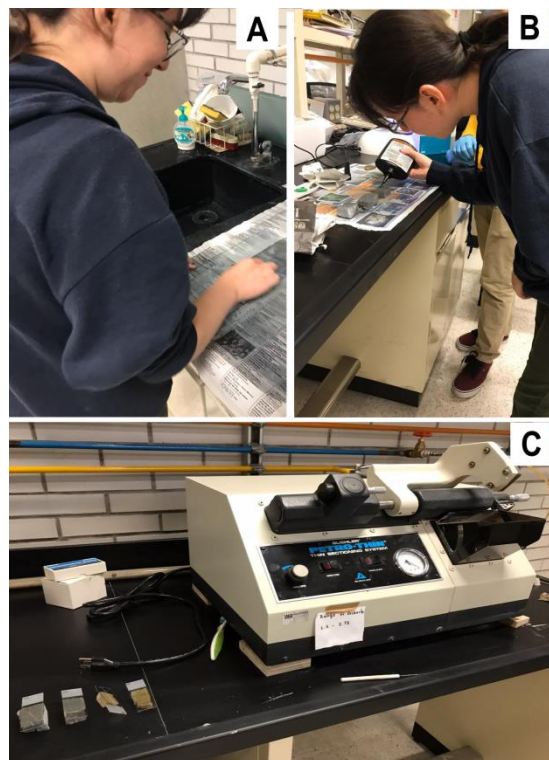


Figura 12. Proceso de elaboración de láminas delgadas (A: Pulido de las muestras con polvos abrasivos, B: Fijación de las muestras, C: Desbaste de las muestras).

6. RESULTADOS.

El material de estudio consistió en dos lajas de 34.8 cm de ancho por 53.2 cm de largo (Figura 20) y 35.4 cm de ancho por 34.3 cm de largo (Figura 21) de arenisca de grano fino con una coloración grisácea verdosa, las cuales presentan rizaduras de oleaje o “*ripple marks*”. En ellas se pudieron distinguir 8 rastros de distinta longitud asociados a desplazamiento de artrópodos.

6.1. Icnología sistemática.

Icnogénero *Kouphichnium* (Nopcsa, 1923).

Diagnosis.- Conjunto de trazas de locomoción, algunas de las cuales son heterópodas y muestran evidencia de origen xifosúrido en la forma aproximadamente triangular de las impresiones de las extremidades más externas y la presencia de una traza telson (cola) (Figura 13). Otros consisten en un solo tipo de impresión de la extremidad o en un solo rastro de la cola (Hantzschel 1975).

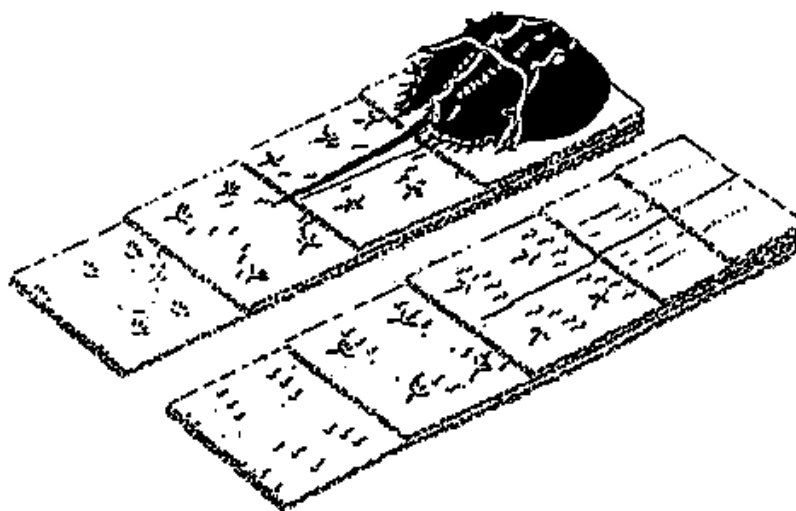


Figura 13. Icnogénero *Kouphichnium*. (Tomado y modificado de Seilacher, 2017).

Lista de Ejemplares

Tabla 1. Listado de ejemplares *Kouphichnium* con su correspondiente código de catálogo.

Ejemplares descritos.		Código de catálogo	Depósito.
Muestra STA BS-1	Rastro A	STA BS-1/A	Colección didáctica de minerales, rocas y fósiles de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Laboratorio de Ciencias de la Tierra, Paleontología y Biología Evolutiva (L-403)
	Rastro B	STA BS-1/B	
	Rastro C	STA BS-1/C	
	Rastro D	STA BS-1/D	
Muestra STA BS-7	Rastro F	STA BS-7/F	
	Rastro G	STA BS-7/G	
	Rastro H	STA BS-7/H	

Descripción.- Traza fósil que presenta una icnita lineal de forma semi-continua a lo largo del rastro, de forma paralela a este, se encuentran aproximadamente pares de icnitas conservadas como hiporrelieves convexos, en este fósil traza se pueden apreciar 4 morfologías de icnitas: circulares y elípticas y semi-circulares (media luna) en su mayoría, así como icnitas con forma semejante a una V ya que presentan una ligera bifurcación.

Tabla 2. Datos morfométricos de los ejemplares *Kouphichnium* estudiados.

	Longitud (cm)
STA BS-1/A	7.42
STA BS-1/B	19.2
STA BS-1/C	33.6
STA BS-1/D	15.20
STA BS-7/F	21.00
STA BS-7/G	13.67
STA BS-7/H	8.20

Discusión.- El material de estudio se asigna tentativamente al icnogénero *Kouphichnium* (Nopcsa, 1923) el cual se asocia a un comportamiento de locomoción regular (*Repichnia*) de organismos xifosurianos principalmente por la presencia de una huella de arrastre de manera semicontinua a manera de surco central en medio de icnitas pares, es por esta característica que se observan semejanzas con el icnogénero *Kouphichnium* reportado en el Jurásico de India (Alberti et. al., 2016). La variedad de morfologías de las icnitas pares (ovales, circulares, media luna, bifurcadas) son características en el icnogénero *Kouphichnium* reportado en el Pensilvánico de Estados Unidos y Kimeridgiano de Francia que consiste en trazas heteropodiales que se forman por el movimiento de 6 pares de apéndices, donde se observa una gran variedad de morfologías diferentes que van desde pistas punteadas/ circulares a bífidas las cuales se infiere son producidas por algún artrópodo, debido a que este tipo de impresiones son dejadas por organismos que presentan quelas. (Gaillard, 2010; King et al., 2019).

Ocurrencia.- Los ejemplares descritos fueron colectados en estratos de la Formación San Juan Raya que afloran en la Barranca El Salitrillo (Aptiano Inferior).

Distribución.- El icnogénero ha sido reportado para el Carbonífero de Inglaterra y Estados Unidos (Chishlom, 1983; King et al., 2019), el Jurásico de Francia e India (Gaillard, 2010; Alberti et. al., 2016) y el Paleógeno de China (Xing et al., 2012).

Material descrito.- STA BS-1/A; STA BS-1/B; STA BS-1/C; STA BS-1/D; STA BS-7/F; STA BS-7/G y STA BS-7/H

Figuras 22-25 y 27-29.

Respecto al ejemplar STA BS-1/E fue el único que no pudo ser determinado, con una medida de 23.10 cm., en él la mayoría de las icnitas que lo conforman son de forma circular casi ovoide, en menor número se observaron algunas con una pequeña bifurcación asemejando una “V”, esta morfología evoca la presencia de quelas, mismas que sugieren a un artrópodo como posible productor con un comportamiento de desplazamiento (*Repichnia*). Sin embargo aunque presenta características particulares que se asemejan al desplazamiento de un artrópodo no se asignó a ningún icnogénero.

Figura 26.

6.2. Descripción de las características sedimentológicas de la roca portadora.

Las muestras STA BS-1 y STA BS-7 están conformadas por arenisca de grano fino de las cuales se realizaron láminas delgadas, que se observaron al microscopio petrográfico (Figura 14) apreciándose características de una facie tipo “mudstone” neomorfizado, según la clasificación de Dunham 1962 (en Pettijohn 1975); con aparente crecimiento bacteriano, sin granos esqueléticos y algo de materia orgánica, también se pudo observar una ligera laminación en estos cortes de las muestras.

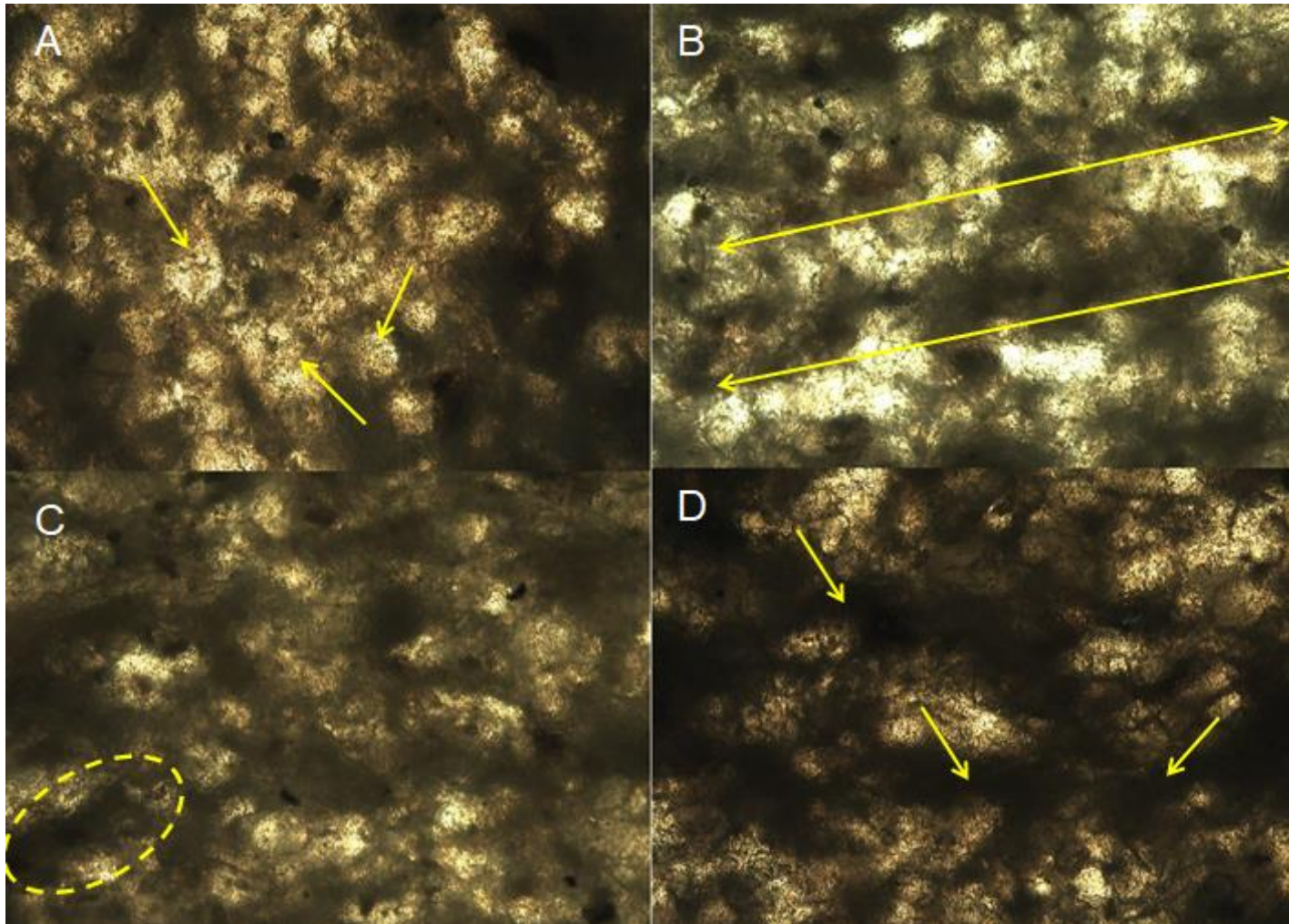


Figura 14. Observación de láminas delgadas al microscopio petrográfico (A: Micrita neomorfozada, B: Laminación, C: Aparente crecimiento bacteriano, D: Presencia de materia orgánica).

7. ANÁLISIS GENERAL.

Durante el período Cretácico, gran parte del actual territorio mexicano se encontraba sumergido en mares de distintas profundidades (Figura 15), la interpretación de que parte de lo que hoy se conoce como el estado de Puebla, especialmente la región donde se encuentra la Formación San Juan Raya estaba bajo el mar, ha sido gracias al estudio de sus características litológicas que muestran características de un ambiente de depósito marino costero, mientras que la paleofauna encontrada en esta zona se ha interpretado como un ecosistema de tipo arrecifal de mares poco profundos, además se sugiere que el flujo intermitente de agua entre la zona arrecifal y la línea de costa dio lugar al depósito de facies calcáreas someras propicias para el desarrollo de una fauna abundante como la encontrada en la zona (Trujillo-Candelaria, 1977; Durán, 2007; Castañeda-Salmon, 2012).

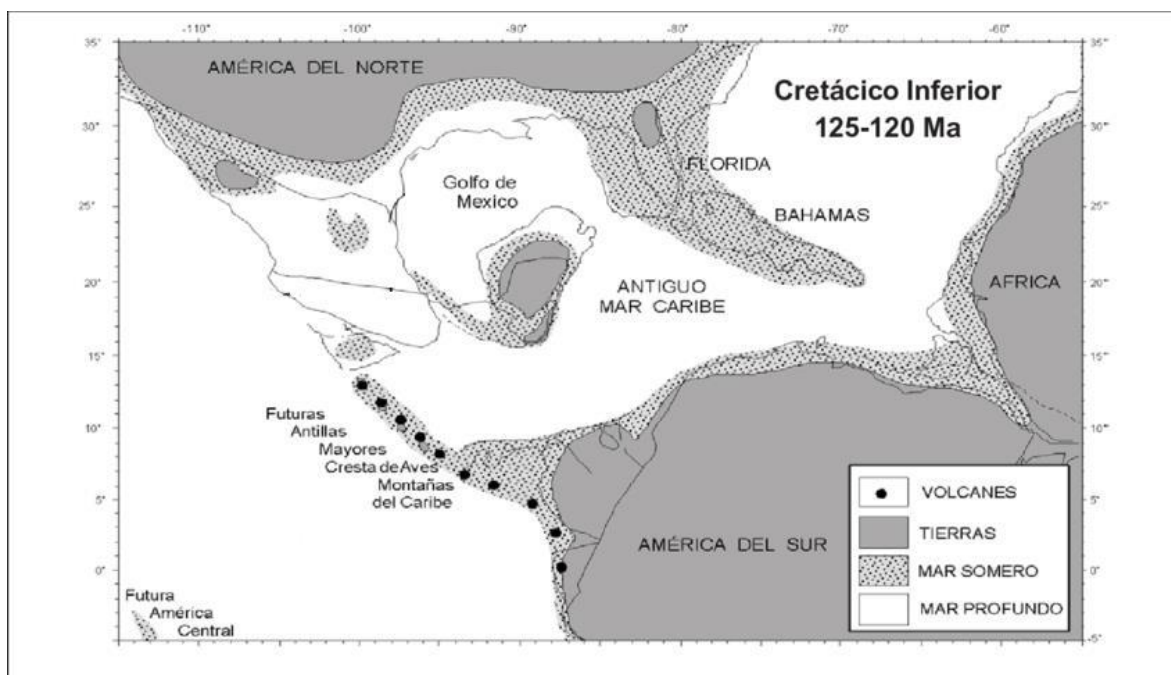


Figura 15. Mapa paleogeográfico de América durante el Cretácico Inferior (Tomado y modificado de Iturralde-Vinent, 2005).

En este tipo de áreas próximas a la costa donde la profundidad es escasa, las olas presentan un movimiento final, que consiste en un vaivén va desplazando las partículas de sedimento suelto formando “ripples” o rizaduras. Las rizaduras de oleaje se caracterizan por ser simétricas y tener crestas agudas y senos redondeados, este tipo de rizaduras suelen presentarse en zonas litorales muy someras. Dichas estructuras se encuentran presentes en las muestras STA BS-1 y STA BS-7 (Figura 16), mismas que están conformadas por arenas de grano fino, un tipo de sustrato que tiende a ser más común en cuerpos de agua someros pertenecientes a un entorno marino marginal (Raup y Stanley, 1978; Tarbuck et *al.*, 2005; Duque-Escobar, 2017; Martín, 2020). El análisis de láminas delgadas que se realizaron de estas muestras también sugiere un posible ambiente litoral debido a que se pudieron observar laminaciones, la presencia de materia orgánica y posible crecimiento bacteriano (Flügel, 2010).

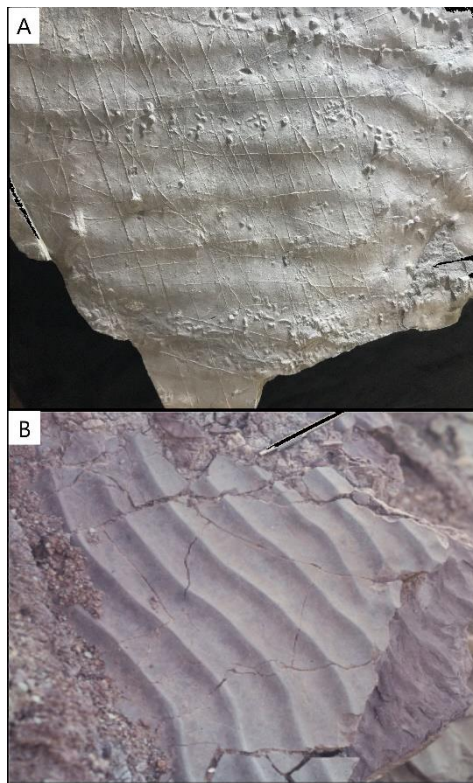


Figura 16. Rizaduras de oleaje (A: Rizaduras presentes en la muestra STA BS-1; B: Rizaduras de oleaje presentes en la cordillera Bética (Tomado de Martín, 2020).

En cuanto al contenido fósil, tanto en la muestra STA BS-1 como en la muestra STA BS-7 7 de los 8 rastros descritos anteriormente presentan características afines al icnogénero *Kouphichnium* (Figura 17), el cual fue introducido por Nopcsa en 1923 y se asocia a un comportamiento de locomoción regular (*Repichnia*) de organismos xifosurianos. Este icnogénero es complejo y su caracterización no es fácil debido a que el rastro puede tener una gran variabilidad morfológica por tratarse de un ensamble de diferentes tipos de icnitas, debido a que los xifosuros presentan cuerpos articulados con un alto grado de segmentación y poseen un número considerable de apéndices locomotores (Figura 18), son rasgos que permiten a estos organismos producir una gran cantidad de pistas distintas en número y forma (Häntzschel, 1975; Chishlom, 1983; Xing et al., 2012).

Los miembros del orden Xiphosura son conocidos comúnmente como “cangrejos herradura” son artrópodos acuáticos de los que se tiene registro desde la Era Paleozoica, desde el período Ordovícico, hasta nuestros días. Sin embargo, fue en el período Triásico cuando tuvieron el mayor auge de diversidad. Actualmente solo hay 4 especies conocidas como fósiles vivientes, debido a que la morfología de este grupo se mantuvo sin cambios notables durante su evolución (Barthel, 1974; Moore et al., 2007; Rudkin et al., 2008; Moreau et al., 2014). Anteriormente las huellas asociadas a estos organismos eran malinterpretadas y atribuidas a diversos grupos de vertebrados como pequeños tetrápodos ("Paramphibius"), pterosaurios o aves primitivas (*Archaeopteryx*), esto se debe al sexto par de apéndices marchadores, ya que presentan una modificación para convertirse en fuertes "empujadores" o patas saltadoras y en consecuencia, deben soportar más peso, es por ello que en estos apéndices las quelas se encuentran muy reducidas, y semeja el talón de un pie de ave (Seilacher, 2007).

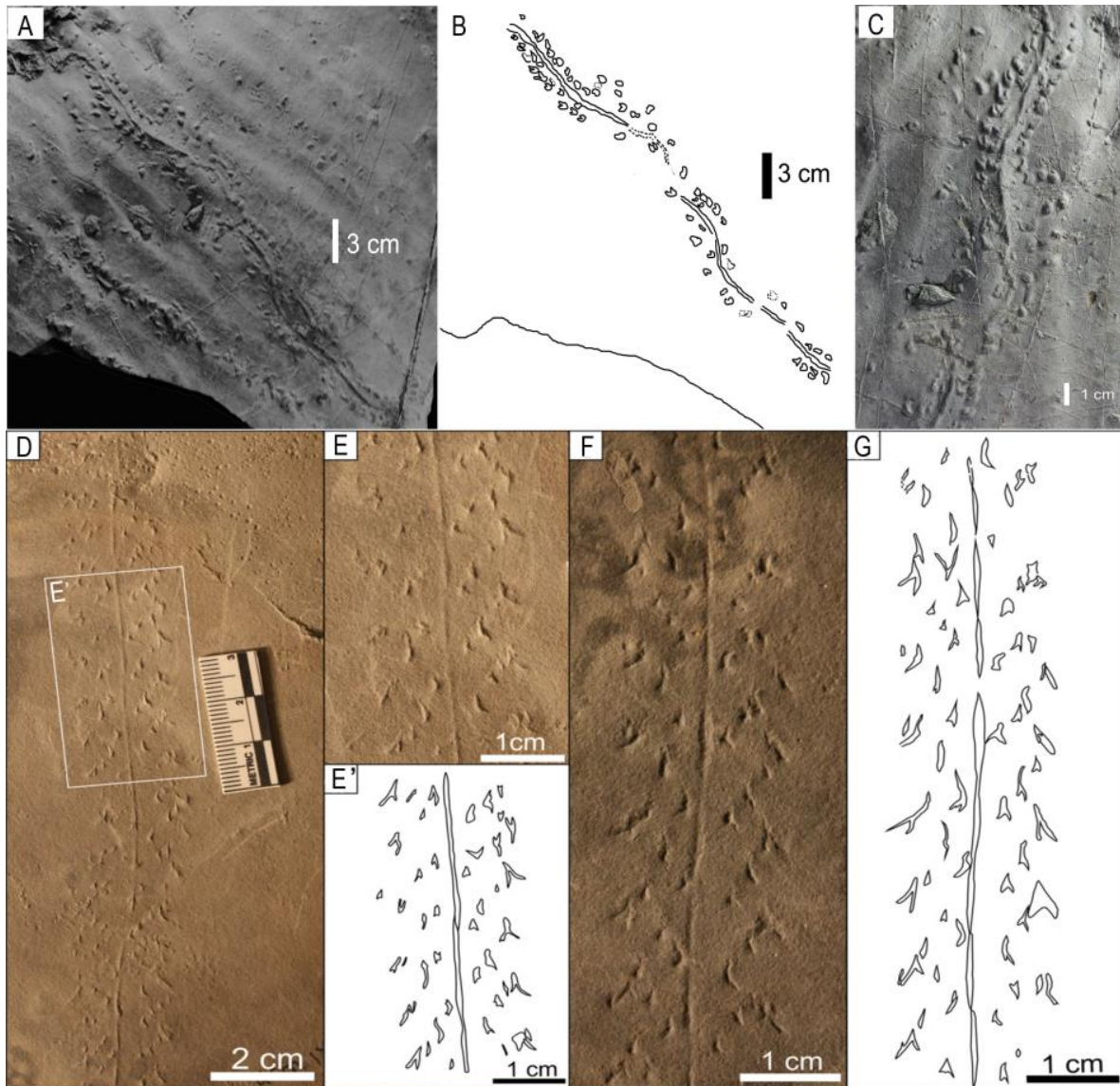


Figura 17. Trazas fósiles afines al icnogénero *Kouphichnium* (A: Rastro C de la muestra STA BS-1; B: Esquematzación; C: Acercamiento; D, E, F y G: Rastros asignados al icnogénero *Kouphichnium* por King et al., 2019).

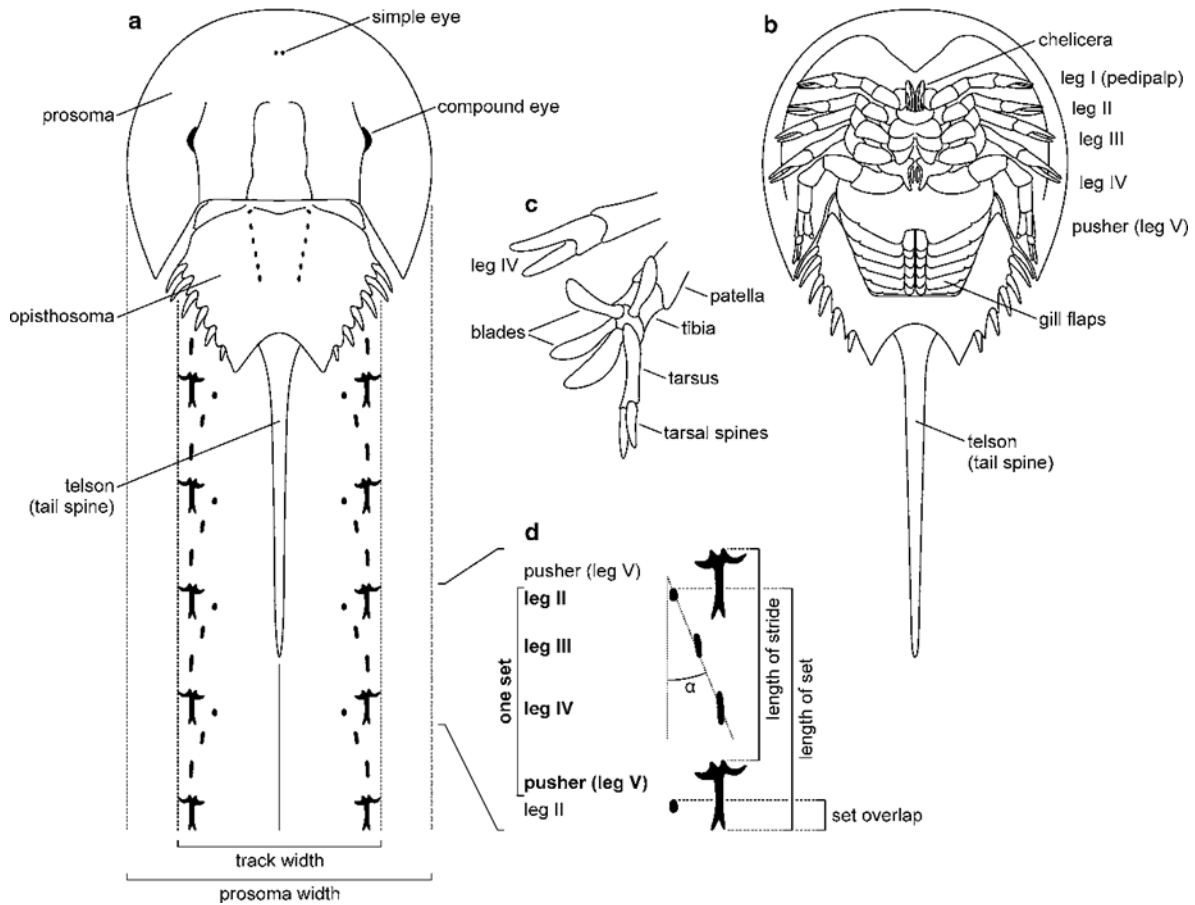
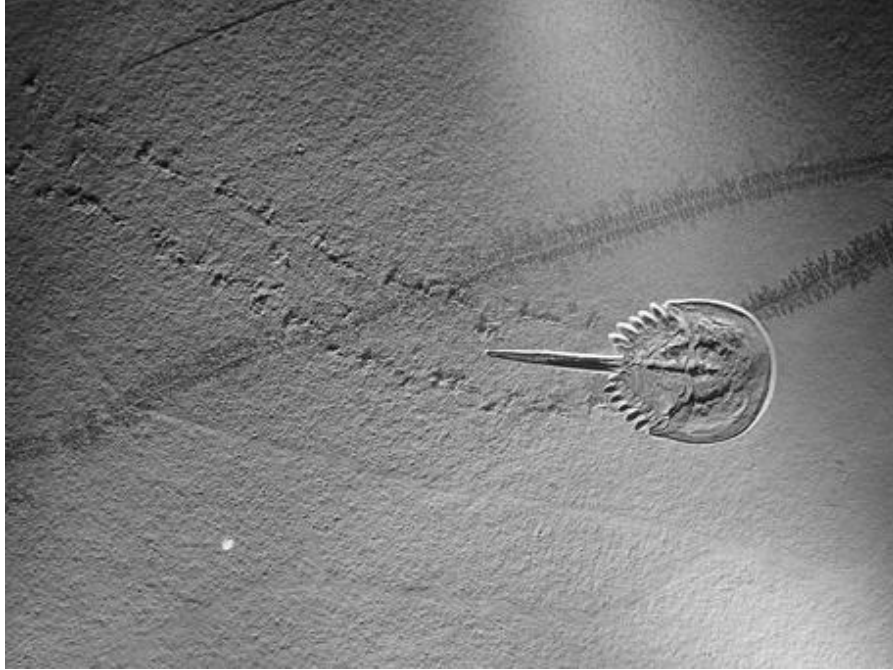


Figura 18. Morfología general del Orden Xiphosura (Tomado de Alberti et al., 2016).

Caster en 1938 fue el primero en realizar comparaciones entre huellas de limúlidos actuales con huellas del registro fósil asignadas al icnogénero *Kouphichnium*, por ejemplo la marca lineal continua o semi-continua característica de este icnogénero, que sugiere el contacto del cuerpo con el sustrato, dicho comportamiento de arrastre del telson se ha observado en limúlidos actuales cuando llegan a tierra para su reproducción (Collette et al., 2012). Se confirmó a estos organismos como productores de dicho icnogénero, debido al descubrimiento de un xifosuro *Mesolimulus* al final de un rastro asociado a *Kouphichnium* (Malz, 1964) (Figura 19), gracias a esto los organismos pertenecientes al Orden Xiphosura han sido ampliamente aceptados como productores de este icnogénero (King et al., 2019).



**Figura 19. *Mesolimulus walchi* y su rastro de huellas
(Tomado de Ghedoghedo, 2010).**

El registro de trazas fósiles afines al orden Xiphosura sugiere que los cangrejos herradura eran capaces de ocupar ambientes de agua dulce desde el Carbonífero inferior hasta el Paleogeno, la abundancia de estas trazas es mayor del Carbonífero superior hasta el Jurásico. Las trazas del Carbonífero superior presentan una mayor diversidad esto se ve reflejado tanto en las diferentes tallas de organismos así como en los diferentes contornos corporales que se aprecian en marcas de reposo, así como las diferentes disposiciones y morfologías de los rastros, esta gran diversidad disminuye a partir del Pérmico debido a que un factor importante es la abundancia de sitios adecuados para la preservación de este tipo de trazas, es por esto que durante el Triásico Superior y Jurásico se tienen registros especialmente en Europa (Lamsdell, 2016).

Las trazas organismos xifosurianos durante el Cretácico son poco comunes, para el Cretácico Inferior se reporta el icnogénero *Kouphichnium* en la Formación Kuwajima, Japón y en la Formación Agrio, Argentina (Matsuoka et al., 2001; Pazos et al., 2012; Fernández and Pazos, 2013)

Shibata y Varricchio en 2020, reportaron el primer registro de trazas de cangrejos herradura para el Cretácico Superior en todo el mundo y el tercer registro de cangrejos herradura para el Cretácico de Norte América, por lo que el presente trabajo representa el primer registro del icnogénero *Kouphichnium* para el Cretácico Inferior de Norte América.

A lo largo del tiempo los xifosuros han vivido en una amplia gama de hábitats, los limúlidos actuales son organismos marinos que habitan principalmente desde la plataforma continental hasta la línea de costa y ocasionalmente arriban a tierra para su reproducción, este tipo de entorno se asemeja al ambiente descrito para la Formación San Juan Raya ya que ha sido considerada como un medio marino de plataforma, la presencia de rizaduras de oleaje en las muestras STA BS-1 y STA BS-7 indican que el productor de los rastros presentes en las mismas, se encontraba en un entorno somero cercano a la zona de playa; (Alencáster de Cserna, 1956; Riek y Gill, 1971; Pickett, 1984; Sekiguchi 1988; Hauschke y Wilde, 1991).

8. CONCLUSIONES.

- ▲ Se describieron 8 trazas fósiles conservadas en areniscas de grano fino; asociados a organismos del Phylum Arthropoda siete de ellos (los rastros A, B, C y D de la muestra STA BS-1 y los rastros A, B y C de la muestra STA BS-7 se identificaron como afines al icnogénero *Kouphichium*, el cual se reporta por primera vez para la Formación San Juan Raya, por lo tanto, este trabajo hace una contribución al registro paleoicnológico de esta formación.
- ▲ En este trabajo se reporta por primera vez la presencia del icnogénero *Kouphichium*, en estratos pertenecientes al Cretácico Inferior de Norte América.
- ▲ La traza fósil clasificada como STA BS-1/E también se puede atribuir al desplazamiento de un artrópodo, debido a las características de las marcas observadas. Sin embargo, debido a su conservación no fue posible asignarla a algún icnogénero.
- ▲ De acuerdo con el sistema de nomenclatura etológica (Seilacher, 1953) se determinó que el comportamiento observado en las 8 trazas fósiles pertenece a la clasificación *Repichnia*, la cual hace alusión a marcas de locomoción.
- ▲ Se determinaron las características del sedimento donde se observaron atributos de una facie tipo “mudstone” neomorfizado, según la clasificación de Dunham 1962; con aparente crecimiento bacteriano, sin granos esqueléticos, algo de materia orgánica y la presencia de laminaciones, lo que sugiere que el ambiente donde se generaron los rastros pertenecía a una zona somera de baja energía lagunar o perimareal.

9. LITERATURA CITADA.

- ▲ Alberti, M., Fürsich, F.T., Pandey, D.K.; 2016. First record of a xiphosuran trackway (*Kouphichnium* isp.) from the Jurassic of India. *PalZ.* 91: 113-126.

- ▲ Alencaster de Cserna, G.; 1956. Pelecípodos y gasterópodos del cretácico inferior de la región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. Instituto de Geología *Paleontología Mexicana.* 2: 1-5.

- ▲ Aranda-Sánchez, J.M.; 2012. Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México, *CONABIO.* 30-32.

- ▲ Bandel, K.; 1967. Isopod and limulid marks and trails in tonganoxie sandstone (Upper Pennsylvanian) of Kansas. The University of Kansas Paleontological Contributions 19: 1-7.

- ▲ Barthel, K.W. ; 1974. *Limulus*: a living fossil—Horseshoe crabs aid interpretation of an Upper Jurassic environment (Solnhofen). *Naturwissenschaften* 61: 428-433.

- ▲ Berrocal, H.P.; 2017. Galerías de crustáceos en la Formación Tuxpan; Mioceno (Langhiano) de la desembocadura del río cazones, Estado de Veracruz, México. *Tesis de Licenciatura.* Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- ▲ Buatois, L.A., Mángano, M.G., Maples, CH., Lanier, W.P.; 1998. Ichnology of an Upper carboniferous fluvio-estuarine paleovalley: The Tonganoxie Sandstone, Buildex Quarry, Eastern Kansas, USA. *Journal of Paleontology,* 72 (1): 152-180.

- ♣ Buatois. L., Mángano, M.G.; 2011. *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press. 5-7
<http://ebooks.cambridge.org/ebook.jsf?bid=CBO9780511975622>

- ♣ Canudo-Sanagustín, J.I., Cuenca-Bescós, G.; 1999. *Paleoicnología de dinosaurios*.
http://www.argosaurus.com/secciones/ined_tos/panel/trabaj/CanudoyCuencaBescosicnitasdinosaurios_1999.pdf

- ♣ Caster, K. E.; 1938. A restudy of the tracks of *Paramphibius*. *Journal of Paleontology*. 12: 3-60.

- ♣ Catañeda-Salmerón, A.; 2012. Descripción e identificación de la icnofauna de dinosaurios de San Juan Raya, Municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla, *Tesis de Licenciatura*, Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Escuela de Biología.

- ♣ Chisholm, J.I.; 1983. Xiphosurid traces *Kouphichnium aff. variabilis* (Linck), from the Namurian Upper Haslingen Flags of Withworth, Lancashire. *Rep. Inst, Geol, Sci.* 83 (10): 37-44.

- ♣ Collette, J.H., Gass K.C., and Hagadorn J.W. ; 2012. *Protichnites eremita* unshelled? Experimental model-based neoichnology and new evidence for a euthycarcinoid affinity for this ichnospecies. *Journal of Paleontology* 86: 442–454.

- ▲ Contreras-Barrera, A. D., Gío-Argaéz, R.; 1985. Consideraciones paleobiológicas de los icnofósiles de la formación de Chicontepec en el Estado de Puebla. *Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geología*. 6 (1): 73-85.
- ▲ Durán, F. J. 2007. Análisis Hidrogeoquímico de las aguas del Valle de Tehuacán, Puebla. *Tesis de maestría*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán, Sección de estudios de posgrado e investigación, México. 20-21.
- ▲ Duque-Escobar, G.; 2017. Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional De Colombia, Manizales. 233-257. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- ▲ Ekdale, A. A., Bromley, R.G., Pemberton, S.G.; 1984. Ichnology: The use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course*, 15: 1-317.
- ▲ Ekdale, A. A.; 1985. Paleoecology of the marine endobenthos. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 50: 63-81.
- ▲ Entomología-WordPress.com, Morfología general de Phylum Arthropoda. Recuperado de <https://ento4227.wordpress.com/2017/03/21/titulo-de-la-entrada-de-blog/>
- ▲ Erwin, T. L.; 1982. "Tropical Forests: Their Richness in Coleoptera and Other Arthropod Species", *The Coleopterists Bulletin*, 36 (1): 74-75.

- ▲ Fernández, D.E., and Pazos, P.J., 2013, Xiphosurid trackways in a Lower Cretaceous tidal flat in Patagonia: palaeoecological implications and the involvement of microbial mats in trace fossil preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 375 : 16-29.
- ▲ Flügel, E.; 2010. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. *Springer Science & Business Media*, 348-352.
- ▲ Gaillard C.; 2010. A giant limulid trackway (*Kouphichnium lithographicum*) from the lithographic limestones of Cerin (Late Kimmeridgian, France): ethological and environmental implications. *Swiss J Geosci*, 104 (1): S57-S72.
- ▲ Gámez Vintaned, J.A. y Liñán, E.; 1996. Revisión de la terminología icnológica en español. *Revista Española de Paleontología*, 11(2): 155-176.
- ▲ Ghedoghedo; 2010. Mesolimulus an extinct arthropod. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Kouphichnium#/media/Archivo:Mesolimulus_walchi_wit_h_trace.JPG
- ▲ Gío-Argaéz R., Gómez Espinosa C., Martínez Villa B.; 2012. Huellas y rastros fósiles ¿Cómo ves? *Revista de Divulgación de la Ciencia UNAM*, 166: pp.11
- ▲ Goldring, R., Seilacher, A.; 1971. Limulid undertracks and their sedimentological implications. *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie Abhandlungen*, 137: 422-442.
- ▲ González-León, O., Jeremiah, J., Schlagintweit, F., Bover-Arnal, T.; Moreno-Bedmar, J. A., Mendoza-Rosales, C., Vega, F.J.; 2015. Novel contributions and

errata to the work "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.*, 276 (3): 323-334.

- ▲ Gould, S. J.; 1989. *Wonderful Life: the Burgess Shale and the Nature of Life*. Norton. Nueva York. Traducción al español: *La vida maravillosa. Burgess Shale y la naturaleza de la historia*. Barcelona, Editorial Crítica Drakontos.
- ▲ Häntzschel, W. ; 1975. Trace fossils and problematica. In: C. Teichert (Ed.), *Treatise on invertebrate paleontology*, part W., Miscellanea, (2nd ed. W1–W269). Geological Society of America and University of Kansas Press.
- ▲ Hardland, W. B., Armstrong, A. V., Cox, A. V., Craig, L.E., Smith, A.G., Smith, D.G.; 1990. A Geologic Time Scale 1989. *Cambridge University Press*, Cambridge., 263 p.
- ▲ Hauschke, N., Wilde V.; 1991. Zur Verbreitung und Ökologie mesozoischer Limuliden. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 183: 391-411.
- ▲ Hernández-Barbosa A.M.; 2017. Descripción de los icnofósiles de trilobites de la Formación Puerto Blanco, Cámbrico inferior de la región Pitiquito-Caborca, norte de Sonora México, inferencias paleoambientales. *Tesis de licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ▲ 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.

- ▲ Hunt, A.P., Lucas S.G., Lerner A., Hannibal, J.T.; 2004. The giant *Arthropleura* trackway *Diplichnites cuithensis* from the Cutler Group (Upper Pennsylvanian) of New Mexico. *Geological Society of America Abstracts with programs*. 36 (5): 66
- ▲ King, O.A., Stimson, M.R., Lucas, S.G.; 2019 The Ichnogenus *Kouphichnium* and Related Xiphosuran Traces from the Steven C. Minkin Paleozoic Footprint Site (Union Chapel Mine), Alabama, USA: Ichnotaxonomic and Paleoenvironmental Implications. *Ichnos*. 26 (4): 266-302.
- ▲ Iturralde-Vinent, M.A.; 2005. La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones en la biogeografía histórica. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. 25: 49-78.
- ▲ Lamsdell, J.C.; 2016. Horseshoe crab phylogeny and independent colonizations of fresh water: ecological invasion as a driver for morphological innovation: *Paleontology*, 59: 181-194.
- ▲ Malz, H.; 1964. *Kouphichnium walchi*, die Geschichte einer Fa'hrt und ihres Tieres. *Natur und Museum*, 94: 81-97.
- ▲ Martín, J. M.; 2020. Apuntes de Sedimentología: Tema 4.- Transporte y depósito II. Corrientes de tracción, mareas, olas y viento. *Universidad de Granada*. Recuperado en 07 de noviembre de 2021, de:
<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/63648/Tema%204.pdf?sequence=5>
- ▲ Matsuoka, H., Hasegawa, Y., Koizumi, A., Nakamura, A., and Yamaguchi, I., 2001, Trail of horseshoe crab, *Kouphichnium* isp., from the Kuwajima Formation (Tetori

Group) in Okuchi Village, Ishikawa Prefecture. *Abstracts of the 150th Regular Meeting of the Palaeontological Society of Japan*, p. 60.

- ▲ Mayoral, E.; 2001. Pistas fósiles de artrópodos. *Bol. S.E.A.*, 28: 15-33.

- ▲ Mendoza-Rosales, C.; 2010. Estratigrafía y facies de la cuenca cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico. *Doctorado*. Universidad Nacional Autónoma de México. 84-85.

- ▲ Miller, W.; 2007. Traces fossils: Concepts, Problems, Prospects. *Elsevier*. Amsterdam, The Netherlands 28-30.

- ▲ Montero, A. y Diéguez C.; 2001. Colecta y conservación de fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 9: (2) 121-126.

- ▲ Moore, R. A., McKenzie, S. C., Lieberman, B. S.; 2007. A Carboniferous Synziphosurine (Xiphosura) from the Bear Gulch Limestone, Montana, USA. *Palaeontology*, 50: 1013-1019.

- ▲ Moreau, J.D., Fara, E; Gand, G., Lafaurie, G., Baret, L.; 2014. Gigantism among Late Jurassic limulids: new ichnological evidence from the Causses Basin (Loze`re, France) and comments on body-size evolution among horseshoe crabs. *Geobios* 47: 237-253.

- ▲ Núñez, R.F., Vieyra, S.G.; 2006. La icnología y su importancia en la paleontología. *Curso de paleontología: "Crónicas de la vida antigua"*. SPACH. 10-25.

- ▲ Pazos, P., Lazo, D., Tunik, M., Marsicano, C., Fernandez, D., Aguirre-Urreta, M.; 2012. Paleoenvironmental framework of dinosaur tracksites and other ichnofossils in Early Cretaceous mixed siliciclastic–carbonate deposits in the Neuquén Basin, northern Patagonia (Argentina). *GondwanaResearch*, 22: 1125-1140.
- ▲ Pettijohn, F.J.; 1975. *Sedimentary Rocks*. 2nd Edition, *Harper and Row Publishers*, New York, 628 p.
- ▲ Peyre de Fabrègues, C., Allain R.; 2013. A limulid trackway from the Late Jurassic (Tithonian) Lagerstätte of Canjuers (Var, France) *C. R. Palevol.* 12: 181–189.
- ▲ Pinkus Rendón, M. Á.; 2010. El hombre y los artrópodos: un vínculo inalienable. *Península*, 5 (2), 81-100. Recuperado en 23 de junio de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-57662010000200004&lng=es&tlng=es.
- ▲ Pickett, J.W. ; 1984. A new freshwater limuloid from the Middle Triassic of New South Wales. *Palaeontology*. 27: 609-621.
- ▲ Quezada-García, R., Jiménez-Sánchez, F., Equihua-Martínez, A., Padilla-Ramírez, J.; 2014. Scolytinae and Platipodinae (Coleoptera Curculionidae) attracted to NTP-80 traps in Zapotitlan de las Salinas Puebla Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 30 (3): 625-636.
- ▲ Quiroz Barroso, S. A., Escalante Ruíz, A. R., Mora Almazán, Edith R., Zárate Villanueva, R. E., 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 y VII Congreso Latinoamericano de Paleontología. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/16954>.

- ▲ Raup, D.M. y Stanley, S.M.; 1978. Principios de paleontología. España: Ariel. 223-273.
- ▲ Riek, E.F., Gill. E.D.; 1971. A new xiphosuran genus from Lower Cretaceous freshwater sediments at Koonwarra, Victoria, Australia. *Palaeontology*. 14: 206-210.
- ▲ Rodríguez-De la Rosa, R.A.; 2007. El estudio de los dinosaurios de México: Historia, Registro, y Perspectivas. *Investigación y ciencia*. (37): 49-58
- ▲ Rodríguez-De la Rosa, R.A.; Bravo-Cuevas V.M.; Carrillo-Montiel E.; Ortiz-Ubilla A.; 2012. "Lower Cretaceous dinosaur tracks from Puebla, Mexico", *Journal of Geological Research*. 1-7.
- ▲ Rodríguez-Diego, J.G.; Arece, J.; Olivares, J.L.; Roque, E.; 2009. Origen y evolución de Arthropoda. *Rev. Salud Anim*. 31 (3): 137-142.
- ▲ Romano, M.; Whyte, M. A.; 2003. The first record of Xiphosurid (Arthropod) trackways from the Saltwick Formation, Middle Jurassic of the Cleveland basin, Yorkshire. *Paleontology*, 46 (2): 257-269.

- ▲ Rudkin, D. M.; Young, G. A.; Nowlan, G. S.; 2008. The oldest horseshoe crab: A new xiphosurid from Late Ordovician konservat-lagerstätten deposits, Manitoba, Canada. *Palaeontology*, 51: 1-9.
- ▲ Serrano-Brañas, C. I.; 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.
- ▲ Seilacher, A.; 1985. Trilobite paleobiology and substrate relationships. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 76, 231-237.
- ▲ Seilacher, A.; 2007. Trace Fossil Analysis, *Springer-Verlag* Berlin Heidelberg 17-23.
- ▲ Sekiguchi, K.; 1988. IV Ecology. Biology of Horse Shoe Crabs. Ed. Sekiguchi, K. *Tokyo: Science House Co.* 50–68.
- ▲ Shibata, M; Varricchio, D.J.; 2020. Horseshoe crab trace fossils from the Upper Cretaceous Two Medicine Formation of Montana, USA, and a brief review of the xiphosurid ichnological record. *Journal of Paleontology*, 94 (5): 887-905.
- ▲ Simpson, S.; 1975. Classification of Trace Fossils. *In: Frey R.W. (eds) The Study of Trace Fossils. Springer, Berlin, Heidelberg.* 39-54.
- ▲ SlideShare; 2011. Artrópodos: los segmentados más exitosos Recuperado de <https://es.slideshare.net/aarg/presentacin-sistematica-animal-invert-iii-1418368>

- ▲ Tarbuck, E.; Lutgens, F. K.; Tasa, D., 2005. Ciencias de la tierra. Madrid: *Pearson Educación, Prentice Hall*. 201-248.

- ▲ Trujillo-Candelaria, J. A.; 1977. Posibilidades acuíferas en sedimentos continentales terciarios de la República Mexicana. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, Tomo XXXVIII, No.2, 34-51.

- ▲ Xing, L.; Lockle, M.G.; Qing, H.; Matsukawa, M.; Persons, W.S.; Xiao, Y.; Zhang J.; 2012. Forgotten Paleogene limulid tracks: Xishuangbanania from Yunnan, China. *Palaeoworld*, 21. 217-221.

10.LÁMINAS

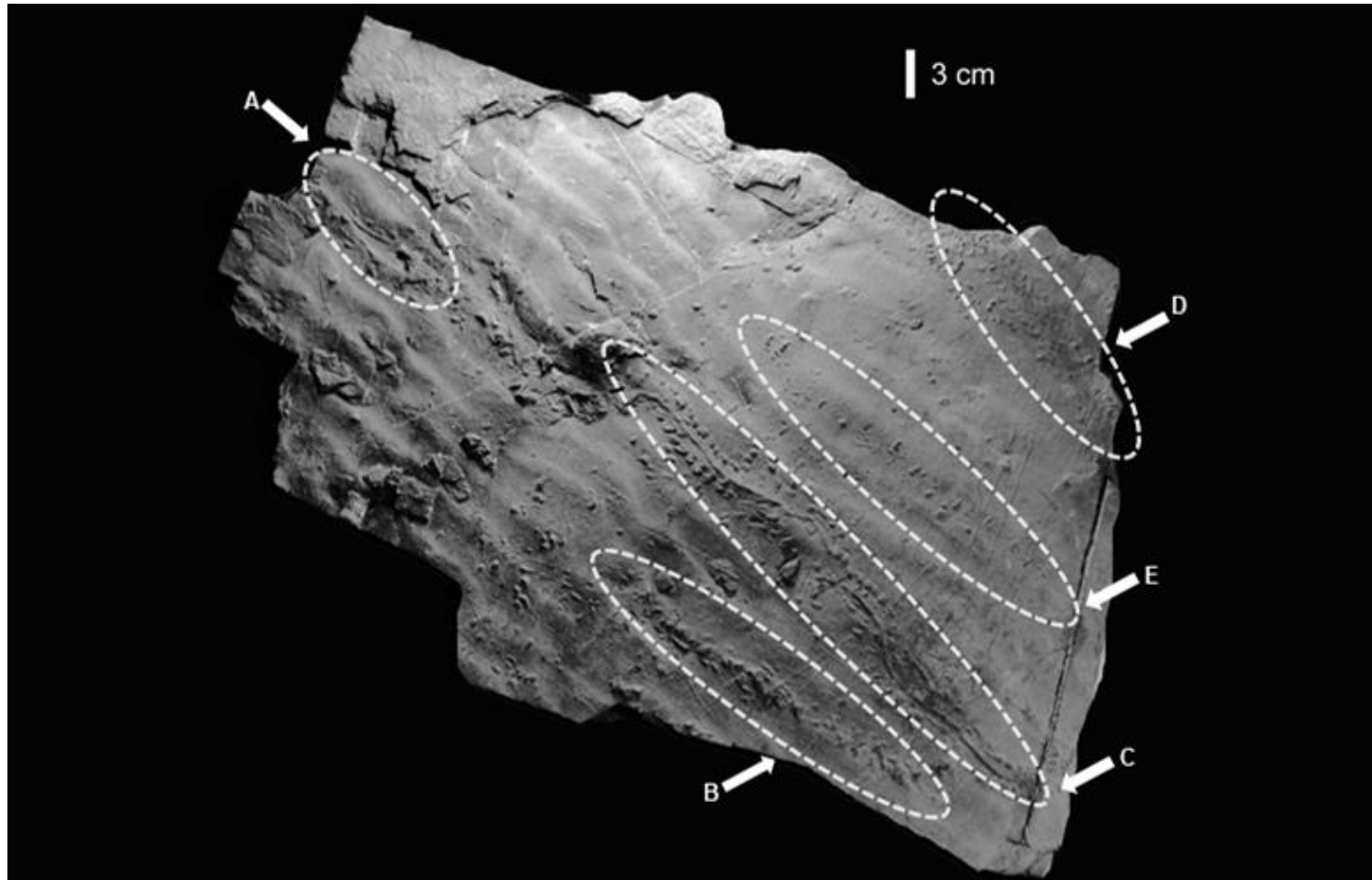


Figura 20. Fotografía y señalización de los rastros presentes en la muestra STA BS-1.

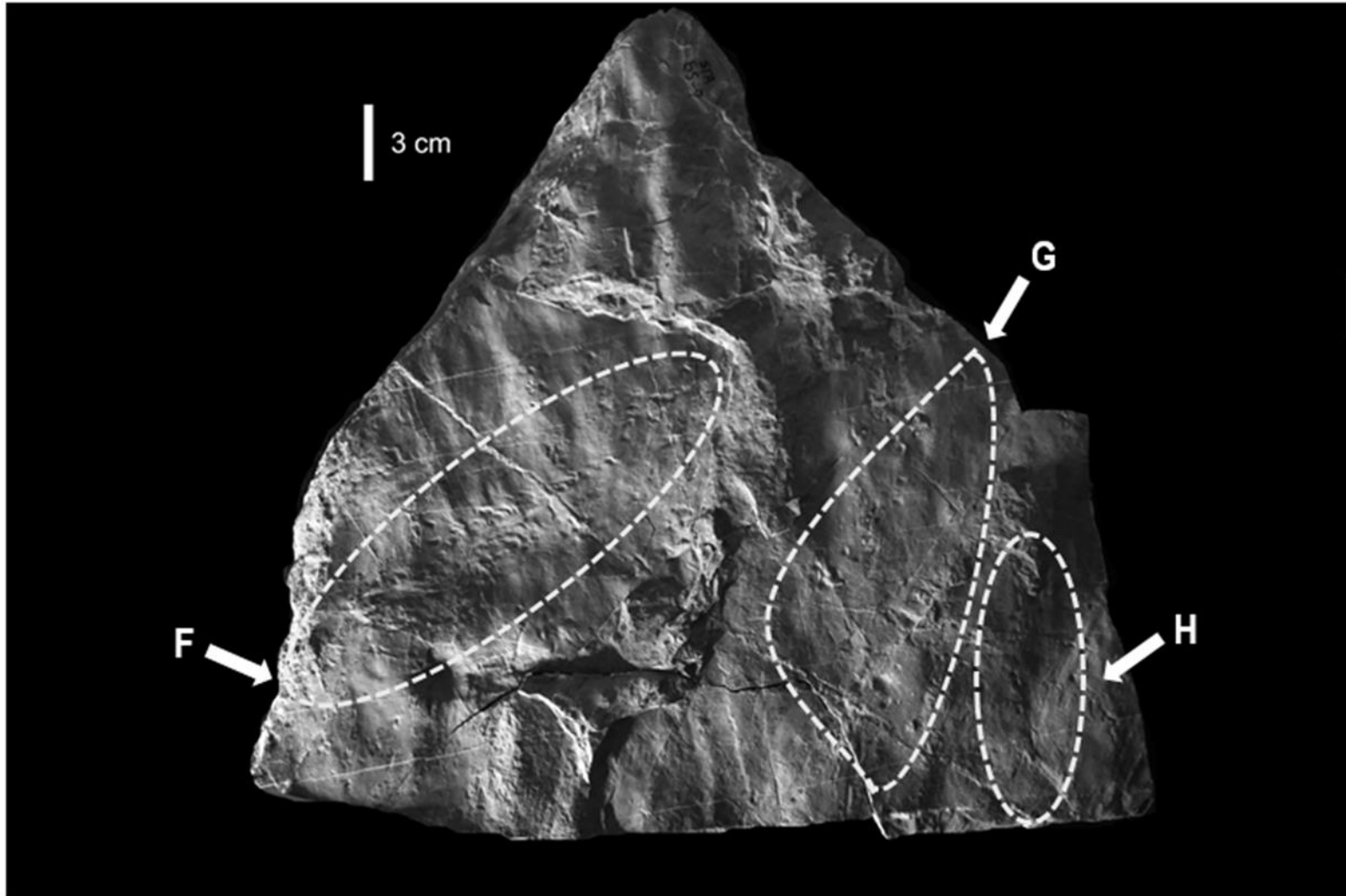


Figura 21. Fotografía y señalización de los rastros presentes en la muestra STA BS-7.

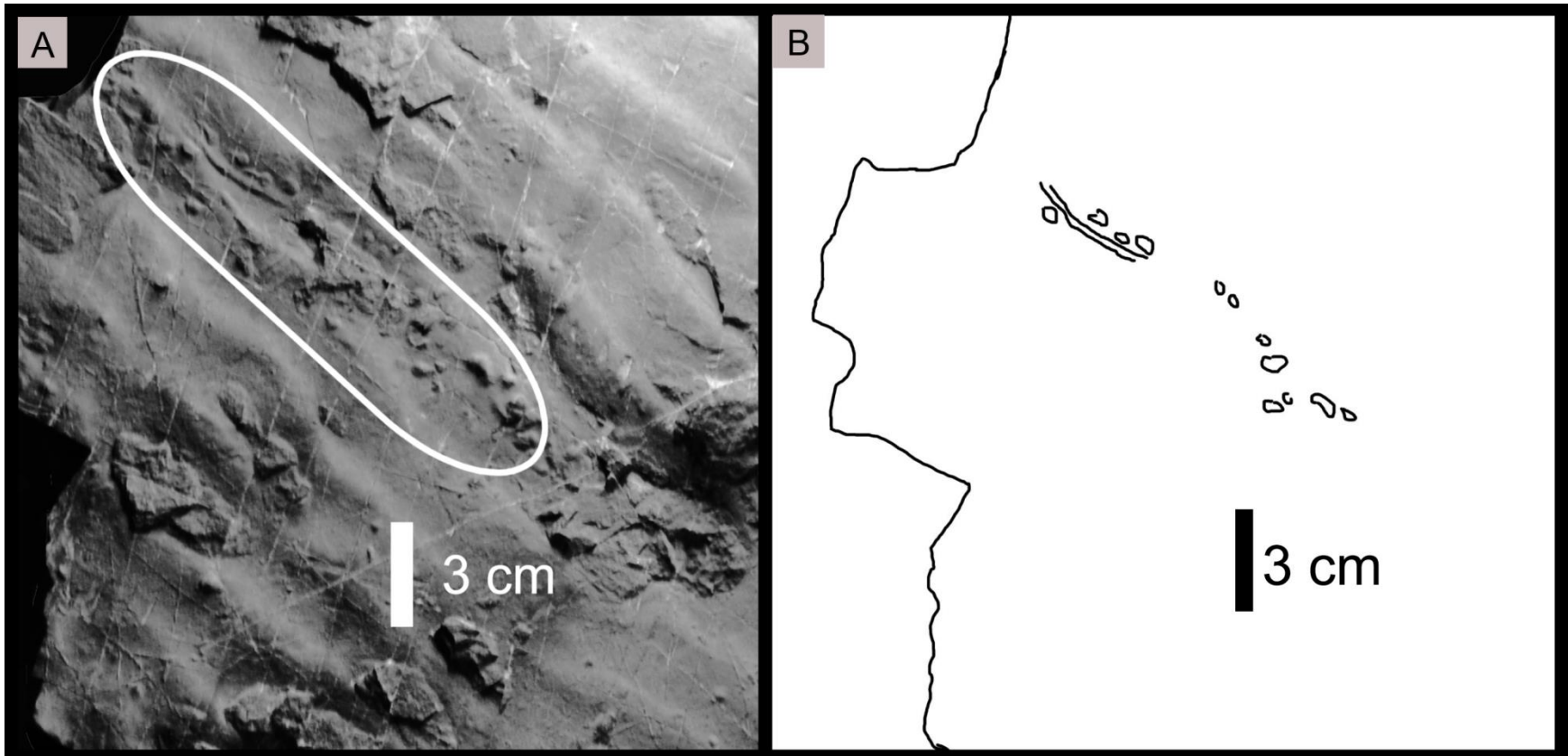


Figura 22. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-1/A. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/A.

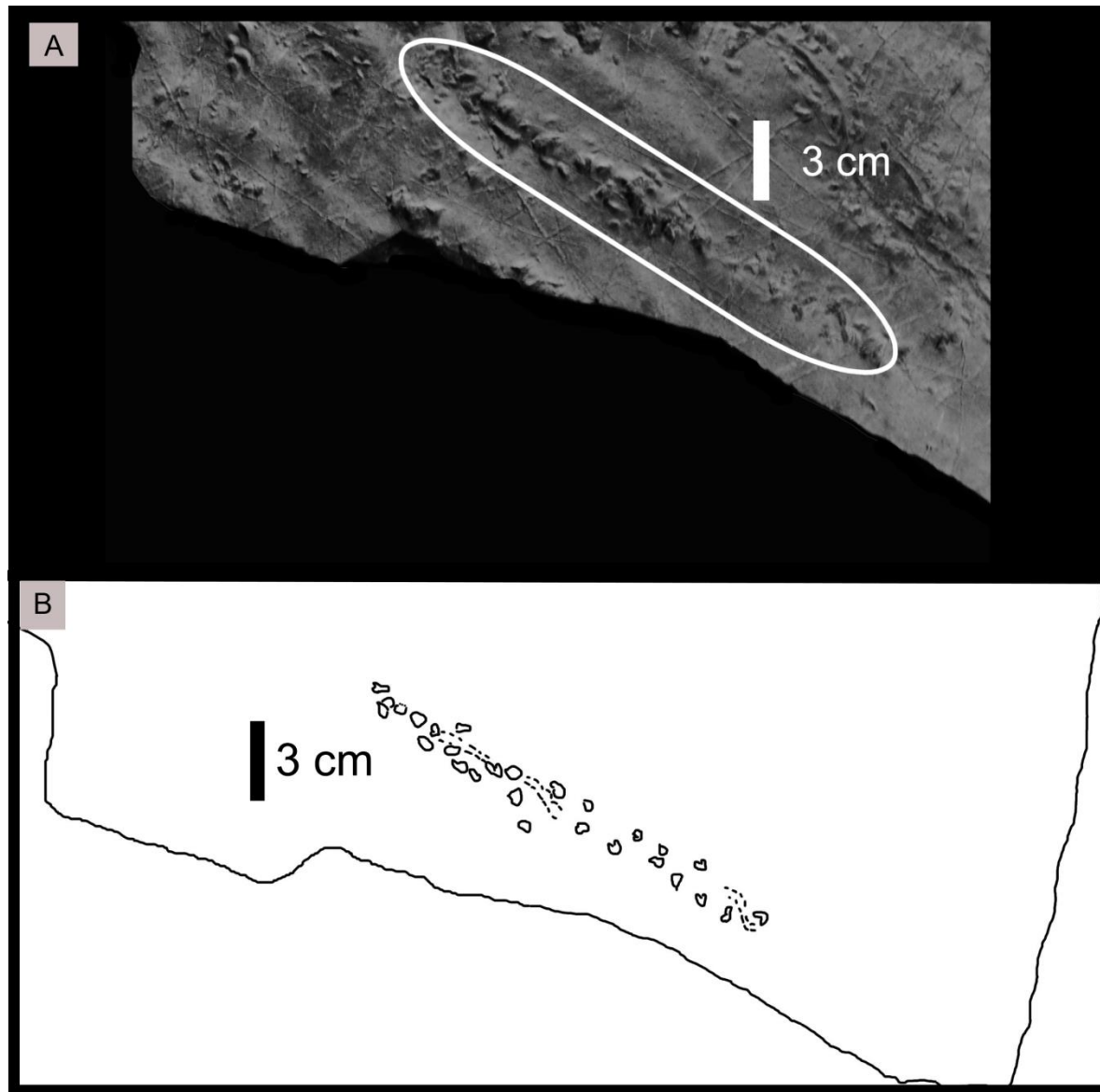


Figura 23. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-1/B. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/B.

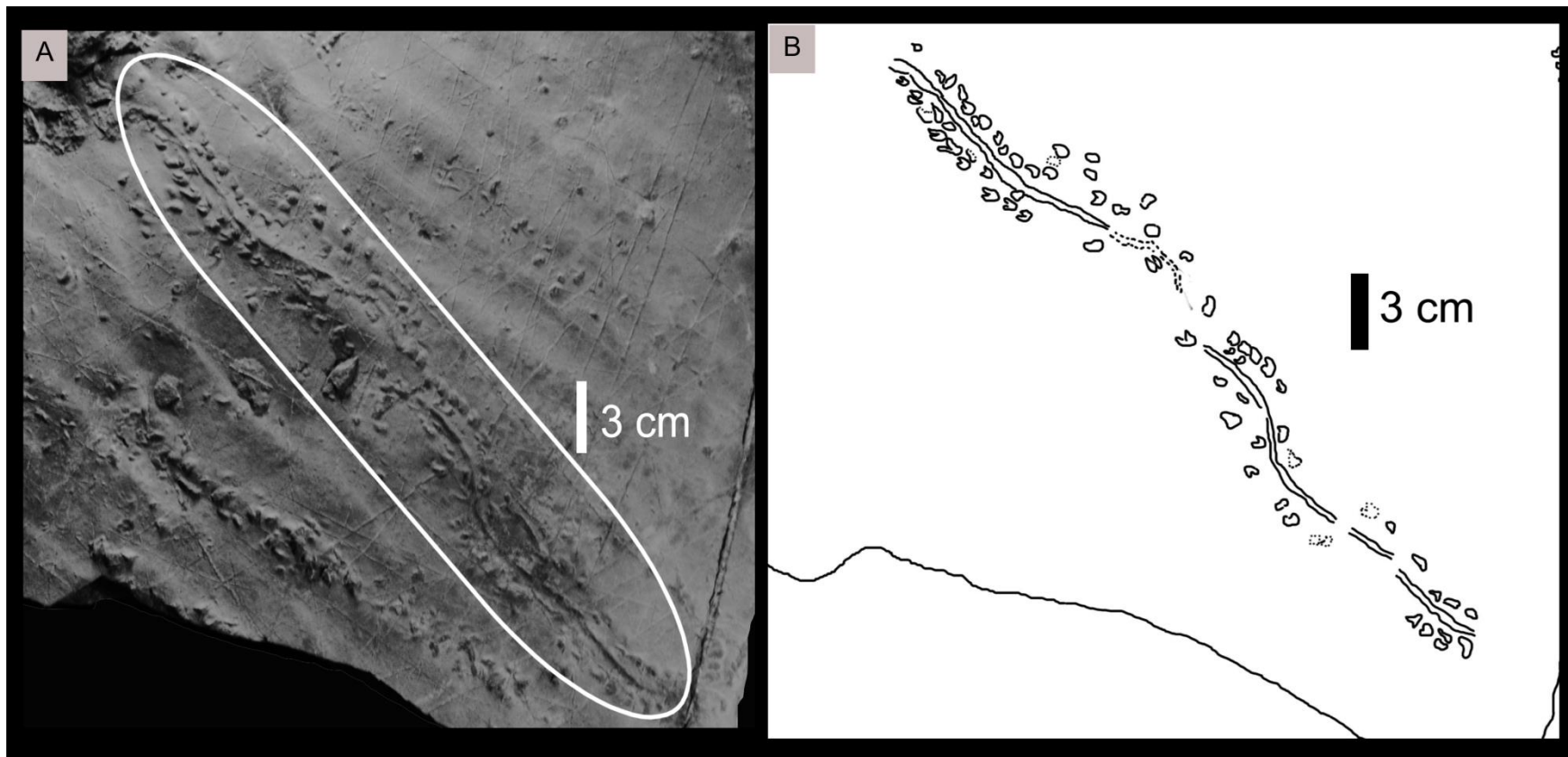


Figura 24. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-1/C. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/B.

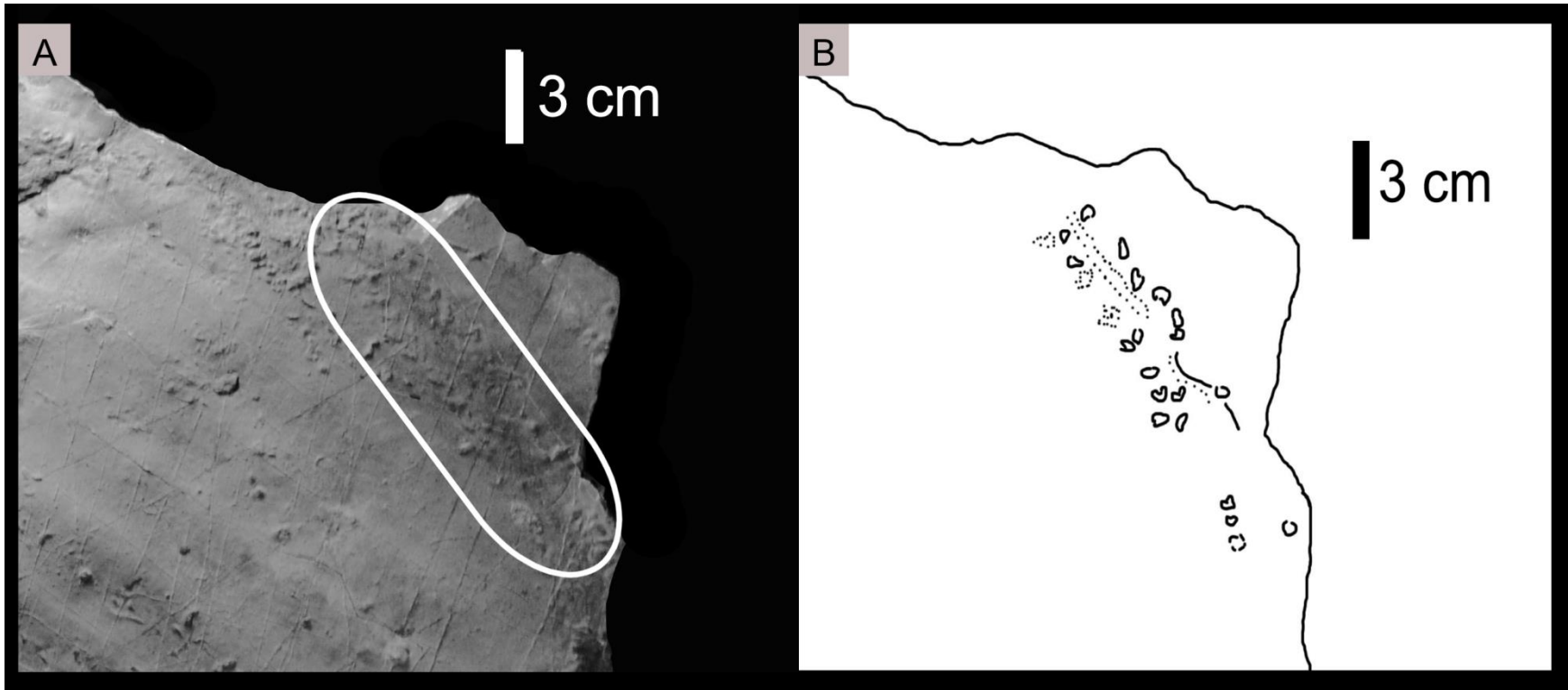


Figura 25. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-1/D. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/D.

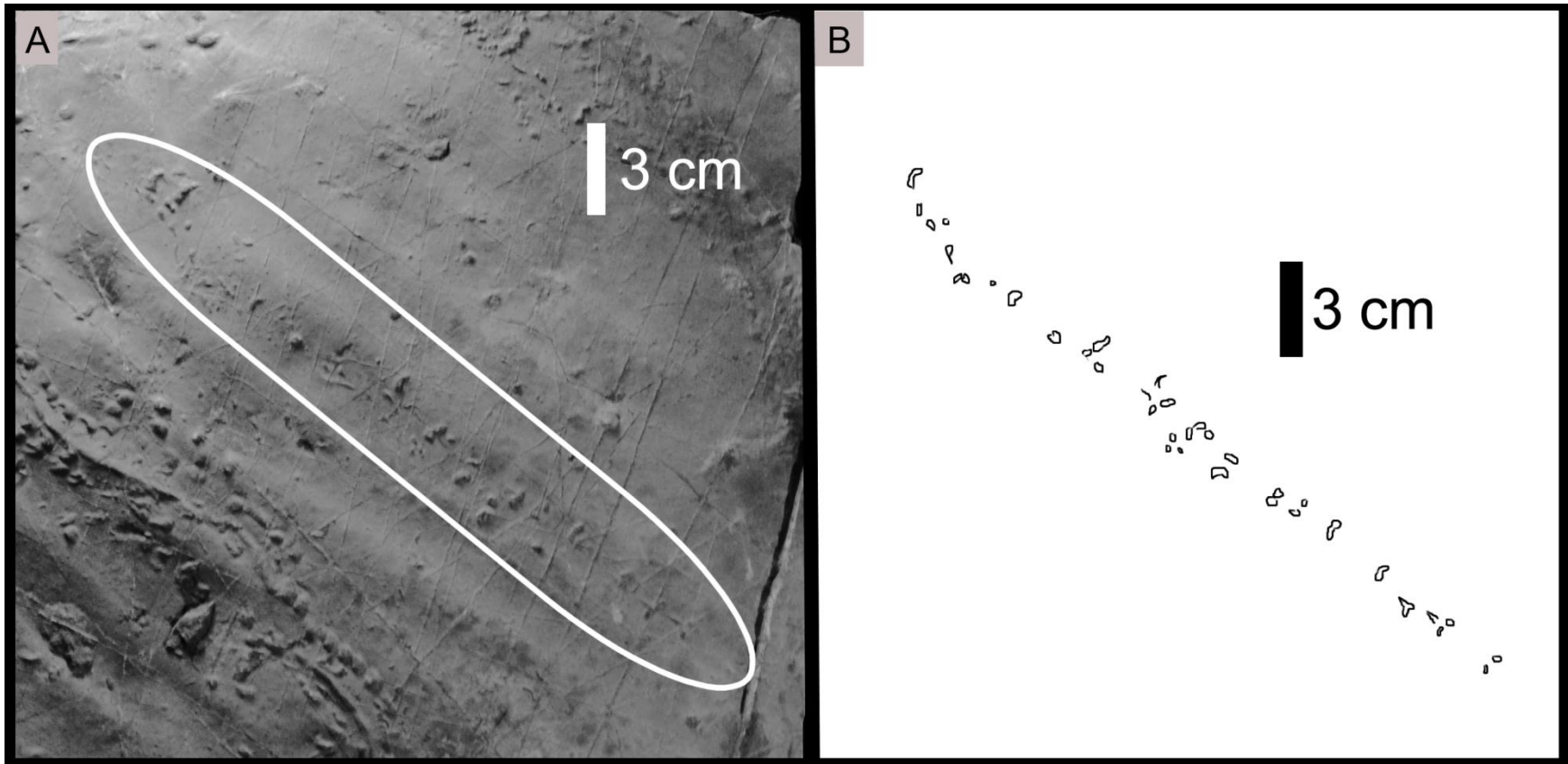


Figura 26. A) Fotografía del ejemplar STA BS-1/E. B) Esquema del ejemplar STA BS-1/E.

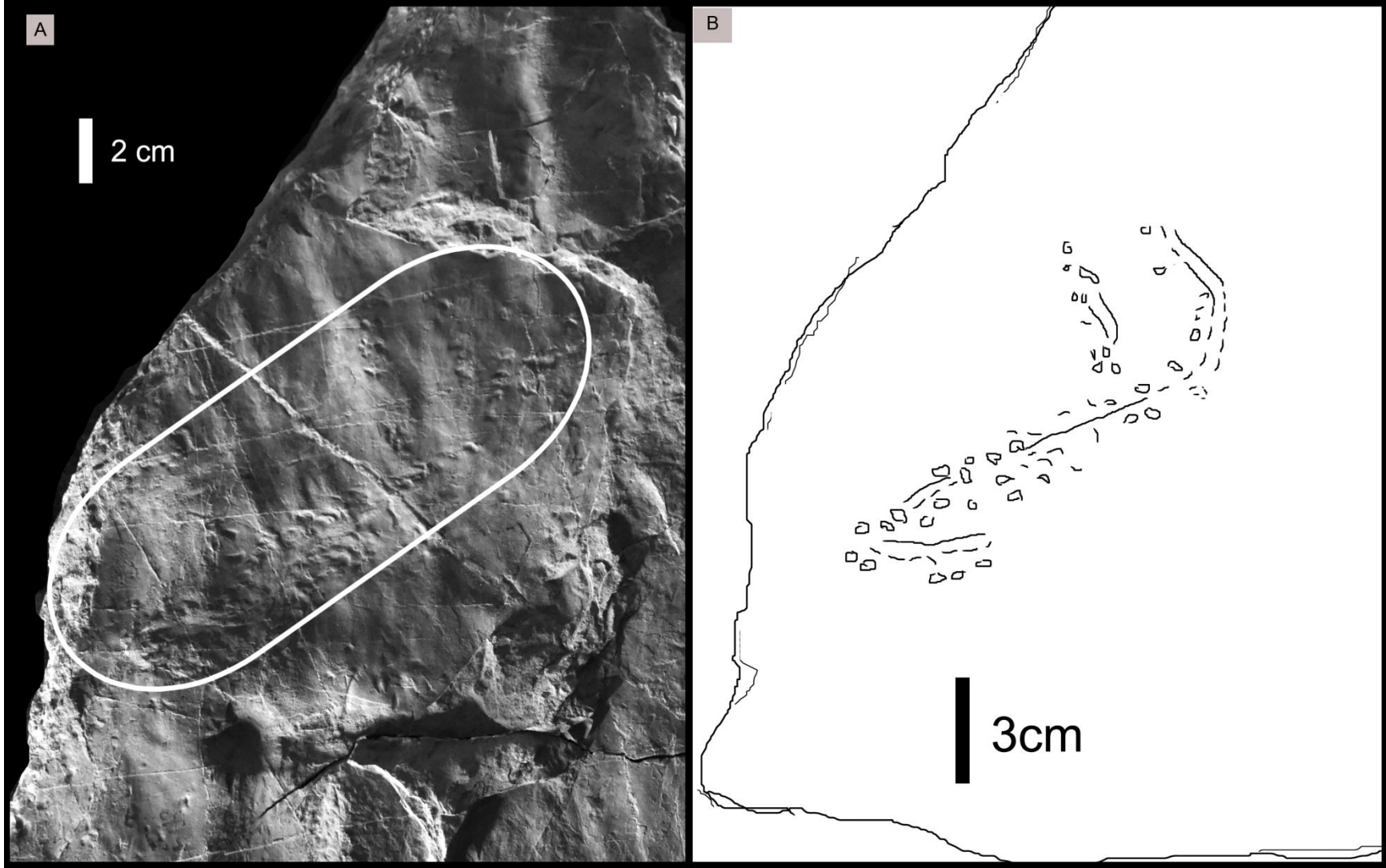


Figura 27. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-7/F. B) Esquema del ejemplar STA BS-7/F.

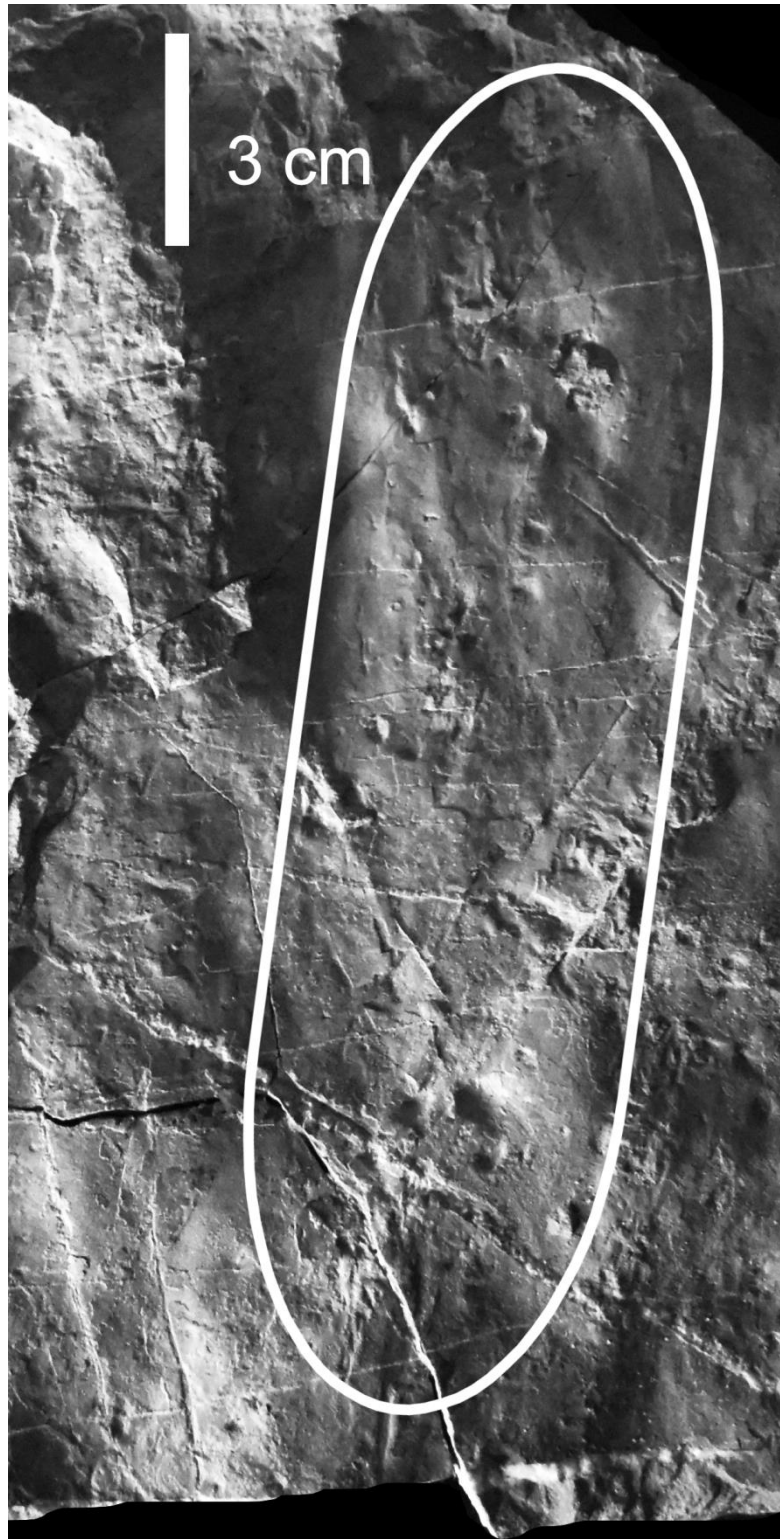


Figura 28. A) Fotografía icnogénero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-7/G.

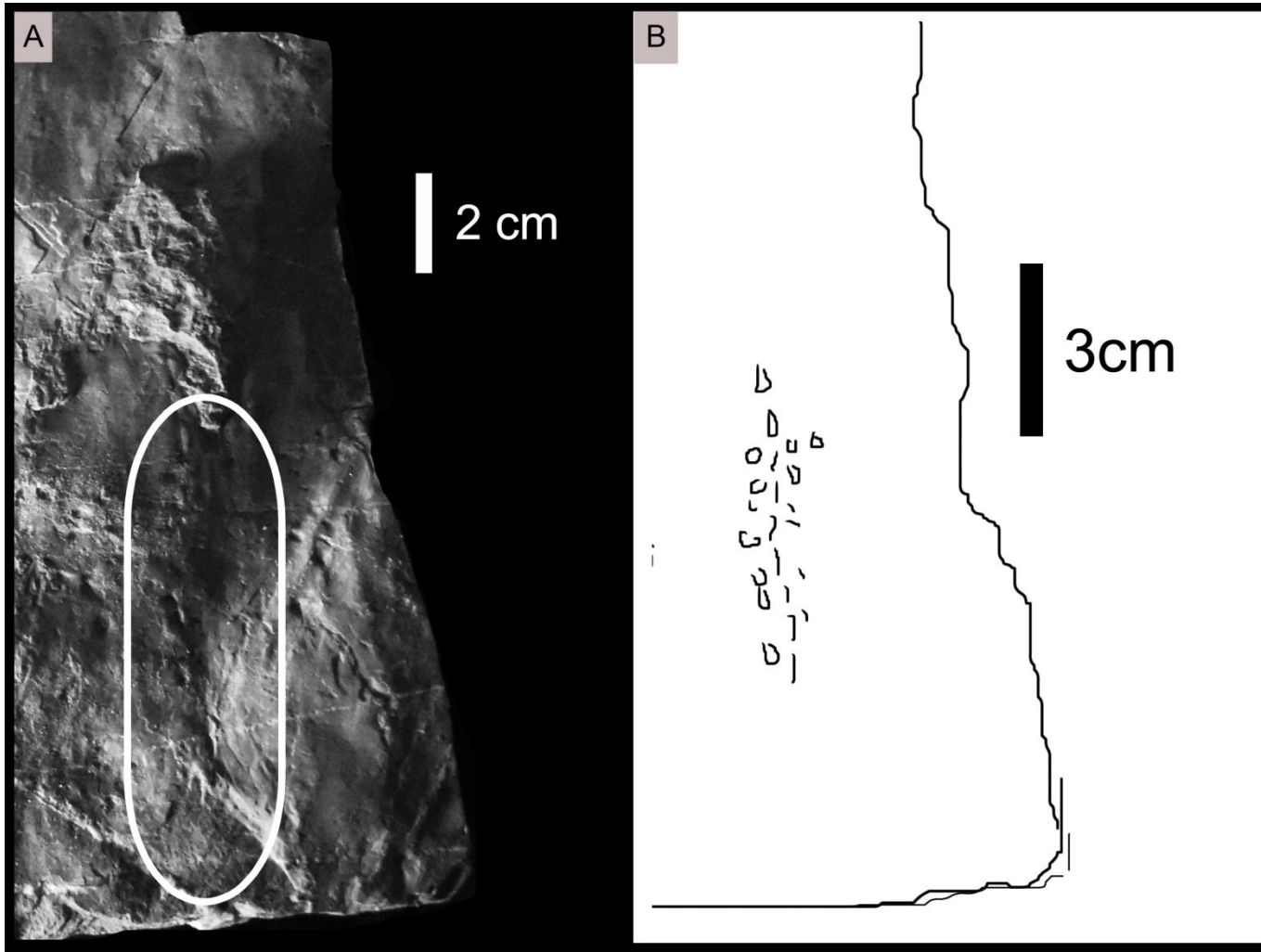


Figura 29. A) Fotografía icnogenero *Kouphichnium*, ejemplar STA BS-7/H. B) Esquema del ejemplar STA BS-7/H.

