



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

BIVALVOS PERFORADORES DE MADERA
DE LA FORMACIÓN SAN JUAN RAYA,
CRETÁCICO INFERIOR DE PUEBLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

EDITH ROSALBA MORA ALMAZÁN

TUTORA:

DRA. SARA ALICIA QUIROZ BARROSO

2008





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.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno
Mora
Almazán
Edith Rosalba
57 41 82 13
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
084532305
2. Datos del tutor
Dra.
Sara Alicia
Quiroz
Barroso
3. Datos del sinodal 1
Dra.
Gloria
Alencáster
Ybarra
4. Datos del sinodal 2
Dra.
María del Carmen
Perrilliat
Montoya
5. Datos del sinodal 3
Dr.
Francisco
Sour
Tovar
6. Datos del sinodal 4
M en C.
Daniel
Navarro
Santillán
7. Datos del trabajo escrito
Bivalvos perforadores de madera de la Formación San Juan Raya,
Cretácico Inferior de Puebla
67 p
2008

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por brindarme la oportunidad de obtener la formación profesional en la carrera de Biología; asimismo al Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias el darme la oportunidad de elaborar y presentar este trabajo. Especialmente agradezco a la Dra. Sara Alicia Quiroz Barroso su valioso apoyo en el trabajo de campo, en la elaboración de las técnicas de laboratorio, en la asesoría y por su paciencia y comprensión durante la elaboración de este trabajo.

Agradezco también a mis sinodales la Dra. Gloria Alencáster, Dra. Ma. del Carmen Perrilliat Montoya, Dr. Francisco Sour, y al M. en C. Daniel Navarro Santillán por las sugerencias que me ayudaron a mejorar y enriquecer el presente trabajo.

Al M. en C. José Angel Gomez Cabrera (Jefe de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra; al M. en C. Luis Antonio Aguilar Pérez (Jefe del Departamento de Geología); al Ing. Alfredo Victoria Morales (Jefe del Departamento de Yacimientos Minerales) y a la M. en C. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez (Técnico Académico del Departamento de Geología) de la Facultad de Ingeniería, por la realización del análisis mineralógico de cinco ejemplares. Al Dr. Luis Fernando Reyes Hernández (Coordinador de Investigación, Departamento de Cirugía); Dr. Fernando Vellegas Alvarez (Jefe del Departamento de Cirugía) y al Técnico radiólogo Benjamín León de la Facultad de Medicina, por su apoyo con el estudio radiológico de cinco muestras.

Al Dr. Enrique Martínez Hernández del Laboratorio de Palinología, perteneciente al Departamento de Paleontología del Instituto de Geología, por su valioso apoyo en la elaboración del análisis palinológico de una muestra de madera fósil.

Al Biól. Luis Chávez García por su apoyo en la revisión del trabajo escrito lo cual contribuyó al enriquecimiento del mismo.

A Francisco Sour, Daniel Navarro e Ignacio de la Mora, por su ayuda en el trabajo de campo.

A Daniel Navarro por su apoyo y asesoría en el corte de rocas.

A Héctor Hernández Campos, por las excelentes fotografías que ilustran el trabajo.

A Rosendo Martínez Becerril, dibujante de la Facultad de Ciencias, por la elaboración de las figuras presentadas en las páginas 43, 58 y 60.

Por último una sincera mención al proyecto PAPIIT IN 214806-2 por la ayuda económica brindada para la realización del trabajo de campo.

A quienes amo profundamente

Elena y Mariana

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	6
I. INTRODUCCIÓN	7
II. OBJETIVOS	7
III. ANTECEDENTES	
1. Trabajos previos del área de estudio	8
2. Bivalvos perforadores de madera	
• Generalidades.....	10
• Anatomía y método de perforación	12
• Importancia paleontológica	12
• Registro fósil	13
• Registro icnológico.....	15
• Trabajos previos.....	16
IV. ÁREA DE ESTUDIO	
1. Localización geográfica	16
2. Geología	16
3. Localidades estudiadas	20
• Localidad 1	20
• Localidad 2	23
V. METODOLOGÍA	
1. Técnicas para limpieza y observación de las muestras.....	26
VI. RESULTADOS	
1. Información obtenida de cada técnica.....	26
2. Registro icnológico	32
3. Bivalvos perforadores	33
4. Sistemática	34
• Icnología sistemática.....	34
• Paleontología sistemática	37
VII. DISCUSIÓN	
1. Consideraciones paleobiológicas	41
2. Consideraciones paleoambientales	41

VIII. CONCLUSIONES	44
IX. LÁMINAS	45
X. ANEXO 1. Análisis Petrográfico	51
XI. ANEXO 2. Cuadro comparativo de la subfamilia Martesiinae	55
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

RESUMEN

En este trabajo se refiere por primera vez la presencia de bivalvos perforadores de madera en la Formación San Juan Raya, para la cual se ha reportado anteriormente una paleofauna marina muy variada, así como madera fósil.

El material estudiado proviene de dos localidades ubicadas en las barrancas Grande y Salitrillo, en donde se recolectaron fragmentos de troncos densamente perforados por bivalvos, hallados en estratos de arenisca. Las galerías están preservadas de manera diferente. En una de las muestras ocurrió la total descomposición de la madera, por lo que sólo se observa la silueta del tronco que resalta del sedimento por la coloración ocre, que es producto del intemperismo y en donde se conserva como única evidencia de la actividad de los bivalvos un conjunto de abultamientos redondeados muy apiñados, que representan el fondo de galerías pertenecientes al icnogénero *Teredolites* sp.

En otras muestras se han conservado residuos de madera, aunque muy alterados diagenéticamente. El estudio del material y la aplicación de rayos X ha permitido observar galerías tridimensionales, con formas cortas y rectas o ligeramente sinuosas, orientadas perpendicularmente a la veta de la madera y atribuibles a la icnoespecie *Teredolites clavatus*.

Con la aplicación de diversas técnicas se logró observar conchas incluidas en las galerías y extraer dos conchas parcialmente conservadas, asignadas tentativamente al foládido *Opertochasma* sp.

La presencia de este material en la Formación San Juan Raya indica que su depósito ocurrió en un ambiente marino cercano a la línea de costa y con aguas cálidas, en una zona tropical o subtropical.

I. INTRODUCCIÓN

La Formación San Juan Raya toma su nombre del poblado del mismo nombre, perteneciente al Municipio de Tehuacán, en el estado de Puebla. Esta formación ha sido muy estudiada por ser altamente fosilífera. Se ha reportado una gran variedad de paleofauna marina que consiste, en orden de abundancia, de bivalvos, gasterópodos, cefalópodos, corales, equinodermos, braquiópodos y crustáceos. La paleoflora es escasa y en muchos casos está mal conservada, pero existen menciones de madera fósil en la zona (Alencáster, 1956).

En años recientes, personal del Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, al realizar trabajos de prospección en la zona, encontró madera fósil infestada con perforaciones hechas por bivalvos. Se sabe que la madera puede ser utilizada como habitación temporal o permanente por organismos perforadores, proporcionándoles refugio contra depredadores y medio ambiente. Los organismos perforadores desempeñan un papel importante en la reducción de la madera que flota en el mar, llegando a constituir una plaga para la vegetación arbórea que crece en los márgenes de mares y ríos. Por lo anterior resulta importante el estudio de este material, planteándose los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS

- Evidenciar la presencia de fragmentos de troncos perforados por bivalvos en la Formación San Juan Raya.
- Identificar taxonómicamente a los bivalvos perforadores de madera.
- Establecer las implicaciones paleobiológicas y paleoambientales de su presencia en la Formación San Juan Raya.

III. ANTECEDENTES

1. Trabajos previos sobre el área de estudio.

El área de San Juan Raya fue visitada en 1830 por los geólogos belgas Nyst y Galeotti, quienes supusieron que el material colectado y estudiado por ellos pertenecía al Jurásico (Nyst y Galeotti, 1840). El estudio de los bivalvos ostreidos permitió reasignar una edad del Cretácico Temprano (Aptiano) a esta formación (Coquand, 1865). Posteriormente, los geólogos alemanes Felix y Lenk (1891), hicieron un reconocimiento de la región de Tehuacán y sus alrededores y refirieron la presencia de especies nuevas. Villada (1905) realizó otros estudios de reconocimiento en la región de San Juan Raya. El primer estudio geológico fundamental fue llevado a cabo a fines del siglo XIX y principios del siglo XX por el geólogo mexicano José Guadalupe Aguilera (1906). Durante la X Sesión del Congreso Geológico Internacional efectuado en México, él mismo dirigió una excursión a esa región, publicando el libro-guía correspondiente, que incluye una lista de fósiles en una tabla de relaciones entre la actual Formación San Juan Raya y el Aptiano europeo (Aguilera, 1906). En este trabajo Aguilera describe una secuencia de lutita y arenisca de edad Cretácico Temprano (aptiana) a la que denomina Formación San Juan Raya, ya que aflora en los alrededores de la ranchería que lleva este nombre. El abundante material colectado por Aguilera sirvió de base para la elaboración de esa lista, pero las descripciones de los géneros y especies nuevos no fueron publicadas en los años siguientes, por tal razón permanecieron como *Nomina nuda*, con excepción de las especies descritas por Müllerried (1933, 1934) y Alencáster (1956).

Müllerried (1933, 1934) describe la estratigrafía de la región de Tehuacán y menciona la presencia de fósiles de bivalvos, gasterópodos, corales, equinoides, fragmentos de madera, vermes y nuevas especies encontradas en el área de San Juan Raya, realizando perfiles geológicos de las áreas estudiadas con información

paleontológica, estratigráfica y tectónica y resumiendo la historia geológica de Tehuacán.

Salas (1949) realizó un bosquejo geológico de la cuenca de Oaxaca y estableció una comparación de la litología cercana al poblado de San Juan Raya con la de Tlaxiaco en Oaxaca y menciona para el área diferentes afloramientos del Cretácico Inferior.

Alencáster (1956) realizó la descripción de bivalvos y gasterópodos de la colección de Aguilera.

Calderón (1956) estudió la distribución, litología, espesor, estructura, relaciones estratigráficas, fósiles y edad de las formaciones que integran parte del Sistema Cretácico de Puebla.

Blásquez (1957) realizó un estudio hidrogeológico de parte del valle de Tehuacán, estado de Puebla.

Barceló-Duarte (1978) estudió la fisiografía, litología, espesor, petrografía, paleontología, estructura, relaciones estratigráficas, edad y correlación y midió el espesor de la sección tipo de algunas formaciones, además de enlistar las especies reportadas en trabajos anteriores.

Se han realizado diversos trabajos paleontológicos de la Formación San Juan Raya, los cuales incluyen a grupos como foraminíferos y ostrácodos (Segura-Vernis y Rodríguez-Torres, 1972); bivalvos y gasterópodos (Alencáster, 1956; Buitrón y Barceló, 1980; Salmones, 1994; Zárate, 2003; Escalante, 2006); amonitas (González-Arreola, 1974); corales (Calderón-García, 1956; Reyeros, 1963; Filkorn, 2003); braquiópodos (Hernández-Láscares y Galván-Mendoza, 1990; Navarro, 2006); crustáceos decápodos (Feldman *et al.*, 1995); y equinodermos (Maldonado-Koerdell, 1953; Buitrón, 1968, 1970).

2. Bivalvos perforadores de madera

- **Generalidades.**

La Clase Bivalvia pertenece al Phylum Mollusca y está representada por un gran número de especies actuales y fósiles, algunas de ellas son perforadoras de diversos materiales como roca, coral o madera, adaptándose a la vida en estos sustratos duros.

La concha de los bivalvos está formada por dos valvas de naturaleza calcárea, secretadas por el manto y unidas por una charnela. En las especies perforadoras las valvas son alargadas, de forma cilíndrica, y se sitúan con el eje vertical mayor. Generalmente poseen sifones bien desarrollados.

La concha de estos bivalvos es muy delgada y resistente a la abrasión, ya que excavan con los bordes de la misma. A menudo estos bordes están provistos de espinas, que actúan como cincel para excavar durante los movimientos de giro de la concha alrededor del eje mayor. Sin embargo, no todos los bivalvos de concha fina y afilada son perforadores. Algunos viven sobre el sedimento más o menos compacto y están bien adaptados a este modo de vida; evidentemente éstos representan el estadio a partir del cual evolucionaron los organismos perforadores de roca y madera (Clarkson, 1986).

Dentro de los bivalvos perforadores de madera, los foladáceos se han diversificado mucho, encontrándose la familia Pholadidae con las subfamilias Xylophaginae y Martesiinae, con varios géneros y la familia Teredinidae en la que se encuentran representados los géneros más especializados a esta forma de vida (Barnes, 1977). Todos ellos se encuentran distribuidos en la zona litoral de mares tropicales y subtropicales, en donde el aporte de madera proveniente de las comunidades vegetales continentales y costeras les provee un sustrato favorable (Fischer, 1990).

En la actualidad, los bivalvos perforadores de madera empiezan la excavación luego de que se asienta la larva, y van agrandando y profundizando la galería a medida que crecen, quedando encerrados para siempre en ella, de manera que únicamente los sifones salen a la superficie. La perforación se produce de manera mecánica. Los extremos anteriores de las valvas son las superficies abrasivas, las que los bivalvos rotan dentro de sus galerías al momento de perforar, logrando así perforaciones redondas, que son observadas en corte transversal. El sedimento producido durante el proceso de perforación es eliminado, entrando a la cavidad del manto, y expulsándose con las pseudoheces o a través del intestino (Barnes, 1977).

Las especies perforadoras de madera tienen una alta tasa reproductiva, una gran densidad poblacional, un rápido crecimiento, una pronta maduración y hacen uso de hábitats temporales, por lo que se les considera especies oportunistas. A este respecto, se han realizado trabajos experimentales, colocando paneles de madera en el mar. Después de un periodo aproximado de tres meses, se observó que el ataque a la madera fue de alta densidad poblacional, y en algunas áreas la superficie fue desintegrada y rota, encontrándose dos especies de perforadores conviviendo en el mismo sustrato. En el mismo estudio se observó que la dispersión se lleva a cabo por medio de una larva de vida libre, que sufre metamorfosis hasta que se encuentra con el sustrato de madera que le permitirá asentarse e iniciar la perforación (Turner, 1973a).

Desde el punto de vista evolutivo, los perforadores de madera presentan una radiación adaptativa en el ambiente marino, la cual se originó con la evolución de las plantas con madera. La adaptación a sustratos en forma de madera flotante, desarrolló un modo de vida que les permitió adaptarse plenamente a un nuevo hábitat. Sufrieron cambios en su morfología, como la compresión lateral, reducción y alargamiento de la concha, compresión o aplanamiento del pie, reducción de la charnela, desarrollo de estructuras como los sifones, que les permiten mantener contacto con el exterior, así como estrategias mecánicas para formar las cavidades (Hoagland y Turner, 1981). Las familias Pholadidae y Teredinidae

presentan adaptaciones tales como la reducción de la charnela, las proyecciones de la concha y el pie largo y discoidal.

Se considera una posible secuencia de tres etapas fundamentales en la adaptación de los bivalvos a la vida dentro de la madera: 1) adquisición de la habilidad para perforar sustrato duro y roca para protección; 2) la habilidad de perforar madera y 3) la habilidad de usar la madera como fuente de alimento (Hoagland y Turner, 1981). El caso extremo de esta conquista de un nuevo modo de vida lo presentan los miembros de la familia Teredinidae y de la subfamilia Xylophaginae, que han sufrido modificaciones a nivel del tubo digestivo y han desarrollado simbiosis con bacterias, lo cual les permite utilizar la madera como alimento (Turner, 1973b).

- **Anatomía y método de perforación.**

Los bivalvos perforadores de las familias Pholadidae y Teredinidae presentan una morfología general muy similar, resultado de adaptaciones a un mismo hábito de vida. Sin embargo, existen diferencias importantes a nivel de su anatomía y en la manera en que perforan el sustrato. El cuadro 1 muestra las principales diferencias entre estas dos familias.

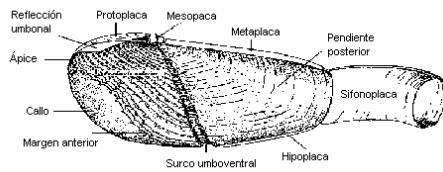
- **Importancia paleontológica.**

Tienen un papel importante en la bioerosión, por ser degradadores rápidos de madera en el ambiente marino y porque sus perforaciones aportan datos importantes para las interpretaciones paleoambientales (Fischer, 1990). Además, algunas perforaciones fósiles incluyen conchas carbonatadas que son fácilmente fosilizables, lográndose hallazgos numerosos y frecuentes. Tanto las perforaciones como las conchas conservadas en su interior son herramientas útiles para analizar condiciones de sedimentación, procesos diagenéticos, tectónicos y bioestratigráficos (Fischer, 1990).

FAMILIA PHOLADIDAE

- Perforan en sentido perpendicular a la veta de la madera.
- No dejan recubrimiento calcáreo en el interior de la galería.
- Presentan sifones sin paletas.
- Se alimentan por filtración.
- Comprende a las subfamilias Martesiinae (?Carb. y Jur. - Rec.) y Xylophaginae (Cret. Tard. - Rec.).
- En foladáceos la galería es alargada, ligeramente sinuosa y más ancha al fondo. En xilófagos es angosta y amplia al fondo, con forma de botella.

Esquema de foladáceo



foladáceo

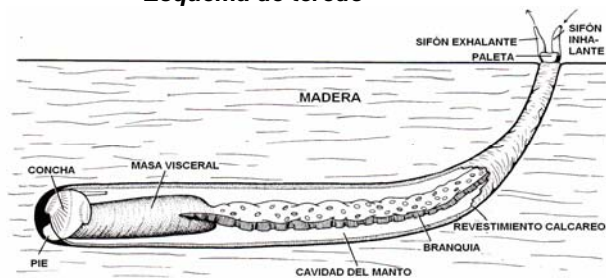


xilófago

FAMILIA TEREDINIDAE

- Perforan en el sentido de la veta de la madera.
- Dejan recubrimiento calcáreo en el interior de la galería.
- Presentan sifones con paletas.
- Se alimentan de la madera que perforan.
- (?Cret. y Paleoceno - Rec.).
- La forma de la galería es recta, alargada y muy angosta.

Esquema de teredo



teredo

Forma de la galería



Martesiinae



Xylophaginae



Teredinidae

Cuadro 1. Muestra las principales diferencias entre las familias Pholadidae y Teredinidae. Tomado y modificado de Cox *et al.*, 1969; Barnes, 1977; <http://mangrove.nus.edu.sg/pub/seashore/text/261.htm> (foladáceo); <http://fossilesboulonnais.free.fr/ichnofossiles/html/dir/jich008.html> (xilófago); www.geocities.com/submergefestival/teredos.htm (teredo); y Kelly, 1988.

- **Registro fósil.**

La familia Pholadidae está constituida entre otras, por las subfamilias Martesiinae y Xylophaginae cuyos miembros, representados por los géneros *Martesia* y

Xylophaga, están adaptados en forma muy parecida a perforadores de roca y concha de miembros de la misma familia. La subfamilia Martesiinae tiene un registro incierto en el periodo Carbonífero y de manera continua del Jurásico al Reciente; de la subfamilia Xylophaginae se conocen registros del Cretácico Tardío al Reciente (Cox *et al.*, 1969).

Los miembros de la familia Teredinidae, que como se mencionó anteriormente incluyen a los perforadores de madera más especializados, tienen un registro incierto para el periodo Cretácico y de manera continua del Paleoceno al Reciente (Cox *et al.*, 1969).

Hoagland y Turner (1981) consideran que el análisis de la radiación adaptativa de los bivalvos perforadores de madera requiere tomar en cuenta las líneas de las familias en la evolución de todos los linajes, incluyendo los que no adoptan el hábito perforador, mostrándose qué especies perforadoras de madera y roca existen juntas en los Pholadidae. Los teredos están representados exclusivamente por perforadores de madera. De esta forma, consideraron que los perforadores de madera evolucionaron a partir de los perforadores de fango (lodo y arena) de la familia Pholadidae.

La mayoría de los géneros de la superfamilia Pholadacea no se encuentra en el registro fósil hasta el Terciario, no obstante *Martesia*, *Barnea* y *Xylophaga*, representantes de las tres subfamilias, fueron considerados inicialmente dentro del alcance temporal que va del Jurásico Tardío al Cretácico Tardío (Anexo 2). *Xylophomia* es conocido desde el Cretácico. En Norteamérica, fósiles de Pholadidae son frecuentes desde principios del Plioceno (Kennedy, 1974). El fósil del género *Teredina*, asignado a la subfamilia Martesiinae aparece en madera fosilizada en el Eoceno Inferior de Europa (Wrigley, 1929).

El registro de teredos cretácicos está ampliamente distribuido; se han reportado en India (Stoliczka, 1871), Japón (Hatai, 1951) y Norte América (Stephenson, 1952). De cualquier modo se conocen desde el Paleoceno teredos con paletas preservadas (estructuras calcáreas ubicadas al final de los sifones que regulan su apertura y cierre) y por tanto de géneros identificables.

Paletas de *Bankia* y *Nototeredo* se pueden datar desde el Paleoceno (Elliot, 1963; Cvancara, 1966). Las dos ramas principales de Teredinidae; Teredininae y Bankiinae, que se distinguen por los tipos de paletas, pudieron diversificarse en el Eoceno (Wrigley, 1929). En depósitos del Eoceno se encontraron paletas atribuibles a los géneros *Nausitoria*, *Bankia*, *Neobankia*, *Teredo*, *Psiloteredo* y *Teredina* (Elliot, 1963). *Nototeredo* y *Teredora* son géneros conocidos desde el Eoceno en Francia y Bélgica (Vincent, 1925).

Muchos foládidos del Cretácico que formalmente habían sido asignados al género *Martesia*, fueron posteriormente referidos al género *Opertochasma*. El primer registro fósil de *Martesia* es del Paleoceno (Speden, 1970; Kennedy, 1974; Kelly, 1988). *Opertochasma* es también perforador de madera, con el primer registro en el Jurásico Tardío (Kelly, 1988).

- **Registro icnológico.**

Una parte importante del registro geológico de los bivalvos perforadores de madera consiste en las galerías formadas por estos organismos. Las galerías, al igual que otras marcas de actividad dejadas por los organismos dentro o sobre el sustrato, se conocen como icnofósiles y se clasifican de acuerdo a su morfología o la actividad que pudieron estar realizando los organismos en el momento de su formación. Las galerías de los bivalvos que perforan la madera fueron denominadas como el icnogénero *Teredolites* por Leymerie (1842). Kelly y Bromley, 1984 distinguen a la icnoespecie *T. clavatus* Leymerie como perforaciones cortas y generalmente perpendiculares a la veta de la madera, y a *T. longissimus* Kelly y Bromley, como perforaciones alargadas que se extienden en el sentido de la veta de la madera, por lo que corresponden a la actividad de las familias Pholadidae y Teredinidae, respectivamente. El sustrato de madera en el que se encuentra este registro icnológico es muy variado y comprende troncos a la deriva, raíces de mangle e incluso parte de bosques que han quedado sepultados durante eventos transgresivos.

- **Trabajos previos.**

Investigadores en diferentes partes del mundo se han dado a la tarea de estudiar diversos aspectos de los bivalvos perforadores de madera, tanto fósiles como actuales. Estos trabajos incluyen el análisis de los caracteres taxonómicos de Pholadacea (Purchon, 1941; Turner, 1954, 1955, 1956, 1962, 1965, 1966, 1971, 1972a, 1972b, 1973a; Knudsen, 1961; Kelly, 1988; Crampton, 1990); estudios en mar profundo con especies oportunistas (Turner, 1973a); la dinámica de poblaciones con teredos (Hoagland y Turner, 1980); aspectos evolutivos y radiación adaptativa de perforadores de madera de la superfamilia Pholadacea (Hoagland y Turner, 1981); y el análisis de icnofacies de Teredolites (Bromley *et al.*, 1984). Estudios con organismos recientes incluyen la relación entre el sustrato de madera y la dinámica del nivel marino (Savrda, 1991).

IV. ÁREA DE ESTUDIO

1. Localización geográfica.

El material estudiado proviene de dos localidades ubicadas en los alrededores de los poblados de San Juan Raya y Santa Ana Teloxtoc, pertenecientes al Municipio de Tehuacán en el estado de Puebla. El área está situada hacia el suroeste de la ciudad de Tehuacán, en el sureste del estado de Puebla, cerca de los 18°20' y 18°25' de latitud N y entre los 97°25' y 97°40' de longitud W (Figura 1). El área forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur y ocupa la zona noroccidental de la subprovincia Meseta de Oaxaca.

2. Geología

En la zona existen dos cuencas hidrográficas, la del Papaloapan, que vierte sus aguas hacia el Golfo de México y la del Balsas, que vierte sus aguas hacia el Océano Pacífico. El parte-aguas tiene una dirección aproximada Norte-Sur. La

IV. ÁREA DE ESTUDIO

1. Localización geográfica.

El material estudiado proviene de dos localidades ubicadas en los alrededores de los poblados de San Juan Raya y Santa Ana Teloxtoc, pertenecientes al Municipio de Tehuacán en el estado de Puebla. El área está situada hacia el suroeste de la ciudad de Tehuacán, en el sureste del estado de Puebla, cerca de los 18°20' y 18°25' de latitud N y entre los 97°25' y 97°40' de longitud W (Figura 1). El área forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur y ocupa la zona noroccidental de la subprovincia Meseta de Oaxaca.

2. Geología

En la zona existen dos cuencas hidrográficas, la del Papaloapan, que vierte sus aguas hacia el Golfo de México y la del Balsas, que vierte sus aguas hacia el Océano Pacífico. El parte-aguas tiene una dirección aproximada Norte-Sur. La

principal corriente fluvial pertenece a la cuenca del Papaloapan, y se trata del río Zapotitlán, el cual drena en dirección Oeste-Este (Barceló-Duarte, 1978).

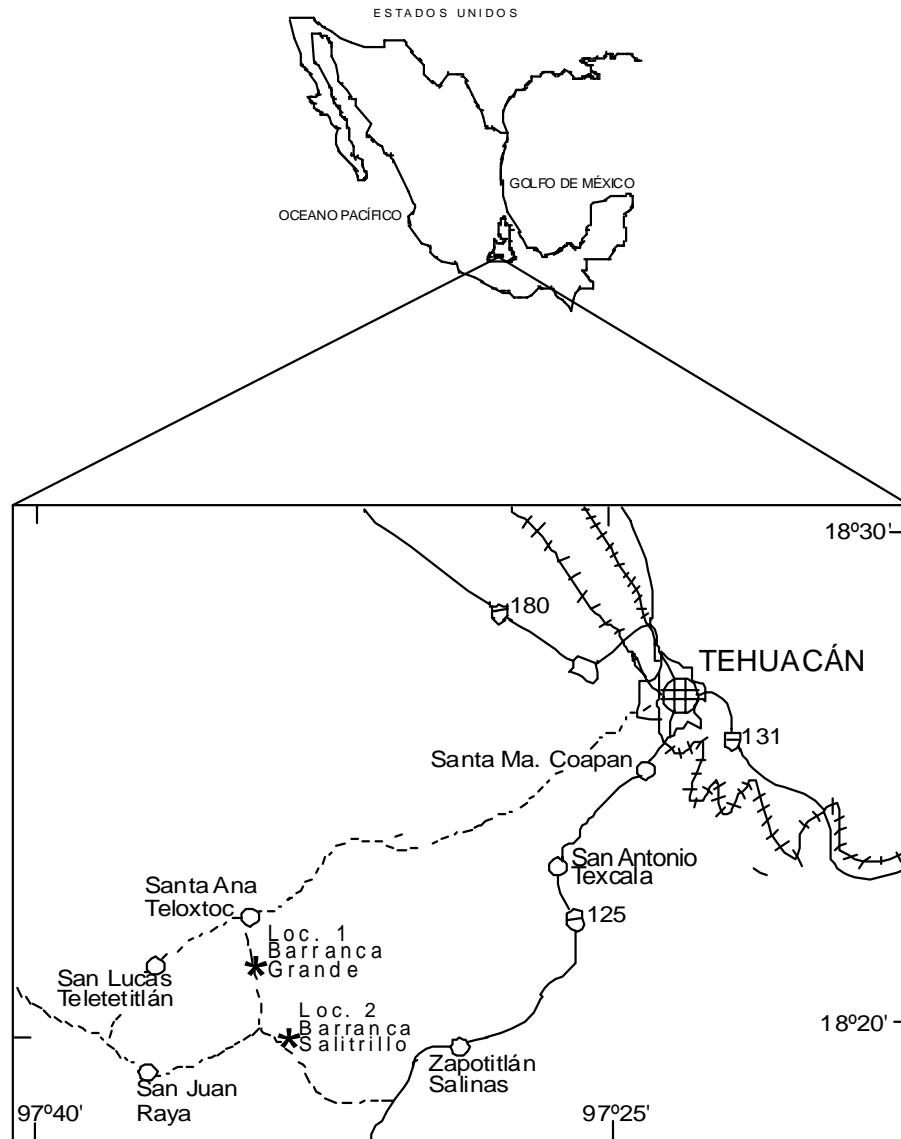


Figura 1.- Mapa de localización geográfica del área de estudio.

En la región afloran rocas continentales del Paleozoico Superior incluidas en la Formación Matzitzi; rocas marinas del Jurásico, posiblemente de la Formación Mapache; rocas del Cretácico de las Formaciones Zapotitlán, San Juan Raya, Miahuatepec y Cipiapa; rocas del Terciario de las Formaciones Tehuacán y Acatepec y depósitos de aluvión y suelos del Cuaternario (Barceló-Duarte, 1978; Buitrón y Barceló, 1980). En estos trabajos se propone el cambio de rango estratigráfico de los miembros Agua del Cordero y Agua del Burro pertenecientes

a la Formación Zapotitlán de Calderón (1956), colocándolas en la categoría de Formación, sin embargo éstas no han sido descritas formalmente (Figura 2).

SISTEMA	SERIE	PISO EUROPEO	REGION DE TEHUACÁN		
			CALDERÓN-GARCÍA (1956)	BARCELÓ-DUARTE (1978)	
CRETÁCICO	SUPERIOR	MAASTRICHTIANO			
		CAMPANIANO			
		SANTONIANO			
		CONACIANO			
		TURONIANO			
		CENOMANIANO	?	?	
	INFERIOR	ALBIANO	FORMACIÓN C I P I A P A	FORMACIÓN C I P I A P A	
		NEOCENO	APTIANO	FORMACIÓN SAN JUAN RAYA	FORMACIÓN MIAHUATEPEC
			BARREMIANO	FORMACIÓN ZAPOTITLÁN	FORMACIÓN ZAPOTITLÁN
		MIOCENO	HAUTERIVIANO		
			VALANGINIANO		
			BERRIASIANO		

Figura 2. Unidades estratigráficas cretácicas de la Región de Tehuacán, Puebla (Tomado de Buitrón y Barceló, 1980).

De las formaciones cretácicas, la Formación Zapotitlán de edad barremiana está compuesta principalmente por lutita calcárea gris, micacífera, de estratificación delgada, con intercalaciones de margas grises y areniscas calcáreas de grano fino, micacífera, de color gris y por bancos gruesos de caliza gris con abundantes monopleuras y nerineas. La Formación Miahuatepec del Aptiano, presenta hacia la parte basal una alternancia rítmica de caliza en bancos delgados y bandas de pedernal negro, desapareciendo prácticamente el pedernal o encontrándose únicamente en forma de nódulos hacia la parte superior, donde la sección presenta interestratificaciones de capas delgadas de margas de color crema. La Formación San Juan Raya se encuentra sumamente plegada y fallada, por lo que es difícil medir la sección completa; en 1978, Barceló-Duarte midió una sección de 138.60 m sobre la Barranca Salitrillo, a partir del contacto con la Formación Zapotitlán del Barremiano tardío, hasta poco después de cruzar el camino que va a Santa Ana Teloxtoc, y estimó el espesor total de la Formación San Juan Raya en 800 m aproximadamente. La Formación Cipiapa del Albiano-Cenomaniano, está constituida por caliza compacta de color gris crema, que se

presenta en bancos de 6 metros de espesor y ocasionalmente de 20 centímetros, con nódulos esparcidos de pedernal color gris humo y delgadas intercalaciones de marga color amarillento, de 5 a 10 centímetros de espesor (Calderón,1956).

Formación San Juan Raya

La litología dominante está constituida por lutita de color gris verdoso y gris, en estratos de 2 a 30 cm de espesor. Erráticamente se encuentra lutita de color gris violáceo en capas de 10 a 20 cm de espesor. Entre las capas de lutita se presentan estratos delgados, de entre 1 y 5 centímetros de espesor, de lutita calcárea que contiene una gran cantidad de huellas de vermes. Intercaladas con la lutita se encuentran arenisca y arenisca calcárea de color gris y gris verdoso de grano fino a medio, en estratos de 2 a 50 centímetros de espesor, muy fracturadas y con gran cantidad de vetillas de calcita. Cerca del contacto con la Formación Cipiapa (del Albiano-Cenomaniano), se encontró arenisca que fue clasificada como wacka-arcósica de grano fino y medio que contiene cuarzo (70%), carbonatos (10%), minerales arcillosos (10%), albita (5%), fragmentos de roca (4%), y otros minerales no identificados. Los clastos varían en forma de subredondeados a subangulosos. En el resto de la secuencia predomina una grauvaca de grano fino a medio, con clastos de subredondeados a subangulosos, que constan de cuarzo (60%), fragmentos de roca (20%), minerales arcillosos (7%), oligoclasa (7%), carbonatos (5%) y otros minerales no identificados. Dentro de esta litología existen capas en donde los carbonatos aumentan hasta el 25% ó 30%, las que corresponden a los bancos fosilíferos (Barceló-Duarte, 1978).

Siguiendo la nomenclatura de Calderón (1956), la Formación San Juan Raya descansa concordantemente sobre la Formación Zapotitlán; aunque al este sobreyace al Miembro Agua del Burro y hacia el SW su contacto es transicional con los conglomerados del Miembro Agua del Cordero. Su límite superior no se

conoce por estar descansando discordantemente sobre ésta las calizas de la Formación Cipiapa (Albiano-Cenomaniano).

3. Localidades estudiadas

- **Localidad 1**

Esta localidad se encuentra en la Barranca Grande, rasgo topográfico que corre paralelo al camino que une la carretera federal Tehuacán - Huajuapán de León con el poblado de Santa Ana Teloxtoc. Está situada geográficamente en las coordenadas 18° 21.4' de latitud N, y a los 97° 34.6' de longitud W (Figuras 1, 3 y 4). La sección está constituida en su base por un estrato de lutita color gris que intemperiza a verde en astillas finas, con un espesor de 3.70 m; aquí se observa una gran variedad de fósiles de organismos como bivalvos, corales, tubos de poliquetos, crustáceos, equinoideos y restos aislados de impresiones de madera. Sobre esta capa descansa un estrato compuesto de arenisca calcárea color gris claro que intemperiza a ocre y verde. Se presenta en paquetes que miden de 30 cm a 1 m de espesor; se encuentran impresiones de plantas que intemperizan a ocre, entre las que se encontró un fragmento grande de tronco mal conservado que presentaba perforaciones de bivalvos. El estrato tiene un espesor de 7.58 m, y en la parte más alta se encuentra un estrato de lutita con alternancia en su coloración que va de tonos verdes a grises y violáceos, poco fosilífera, con un espesor de 12.38 m. En esta sección el espesor total es de 23.66 m; la capa portadora de madera perforada tiene un espesor de 7.58 m. Es una arenisca calcárea color gris claro que intemperiza a ocre y verde en paquetes de 30 cm a 1m de espesor, presenta restos de impresiones de plantas que intemperizan a color ocre. Como fauna asociada se encontraron bivalvos, escasos corales, tubos de poliquetos, crustáceos, equinoideos y restos aislados de impresiones de madera (Figura 5). En esta localidad se recolectó material de un bloque de arenisca desprendido de la capa portadora, que presentaba impresiones superficiales de corteza de madera con fondos de galerías.



Figura 3: Afloramiento de la Formación San Juan Raya en la localidad 1, ubicada en la Barranca Grande.



Figura 4: En la localidad 1 Barranca Grande, se observan estratos de lutita con alternancia de tonos verdes, grises y violáceos.

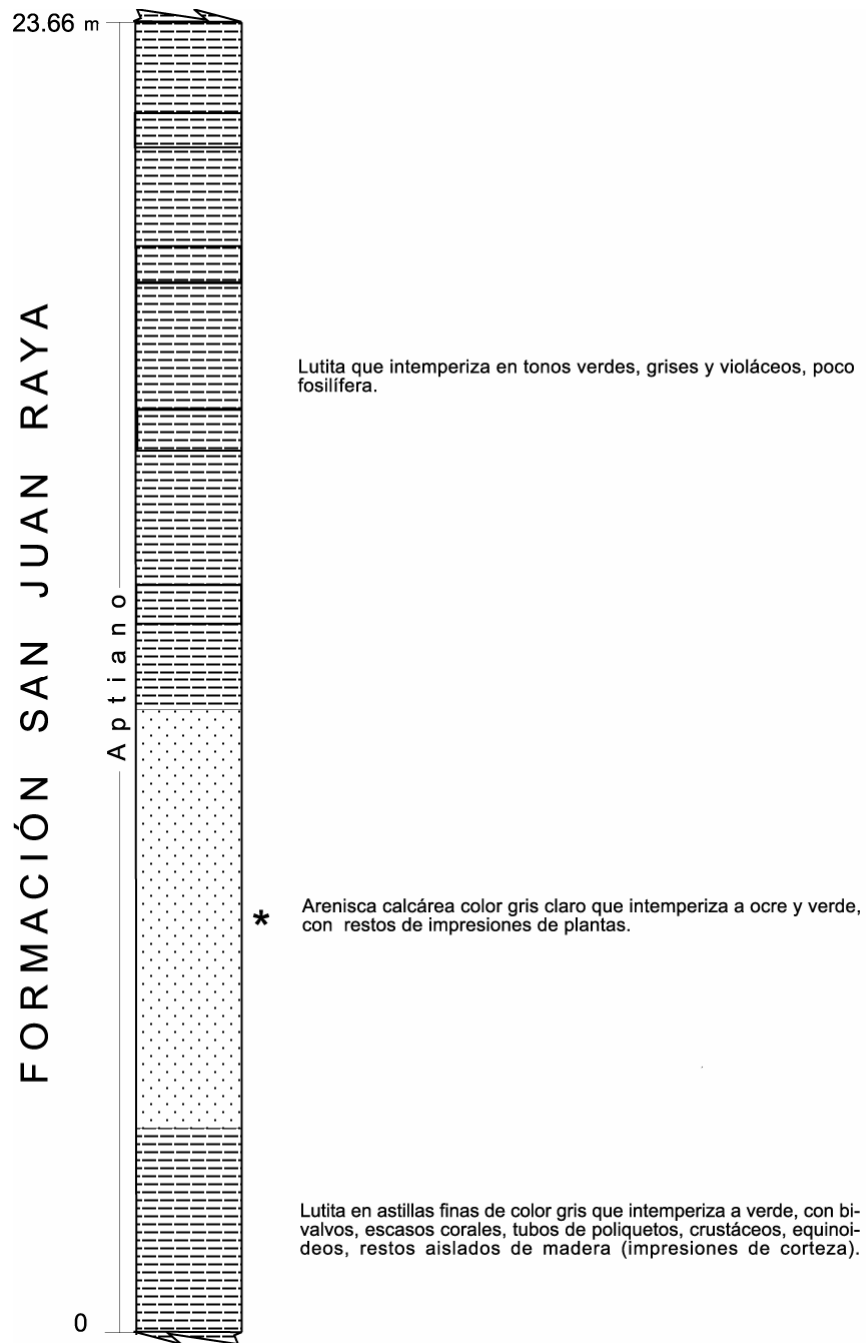


Figura 5: Sección estratigráfica medida en la localidad 1, en la Barranca Grande. El asterisco indica el nivel en el que se muestreó el fragmento de tronco fosilizado con perforaciones de bivalvos.

- **Localidad 2**

Esta localidad se encuentra en la Barranca Salitrillo, situada geográficamente en las coordenadas 18°19.6' de latitud N, y a los 97°33.5' de longitud W. En este punto se localiza una zona de contacto entre las formaciones Zapotitlán y San Juan Raya, la primera caracterizada por presentar rocas calizas masivas recrystalizadas, con abundantes nerineas y rudistas (Figuras 1, 6 y 7).

La sección medida tiene un espesor total de 12.70 m. Está formada por estratos de diferentes características; en la base se encuentra un estrato de calcarenita gris de 1.80 m de espesor; sobre éste se presenta una capa de arenisca de grano medio, con un espesor de 70 cm, en la cual se aprecia un color ocre debido al intemperismo; en este estrato se recolectó un fragmento de tronco con perforaciones de bivalvos; por encima se presenta una arenisca grisácea de 90 cm de espesor, en estratos de 10 a 30 cm de espesor, en ella se encuentran impresiones de restos vegetales que intemperizan a tonos color ocre con intercalaciones muy delgadas de lutita. Suprayaciéndola se encuentra un estrato de arenisca calcárea de 50 cm de espesor, en color gris que intemperiza a ocre. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca verdosa de 60 cm de espesor, que presenta intercalaciones de bancos de gasterópodos con lutita. Sobre esta capa se aprecia un estrato de arenisca de 90 cm de espesor con impresiones de vegetales y escasos moluscos; seguido de una capa de lutita gris de 90 cm de espesor; por encima se presenta una arenisca de 1.20 m de espesor; con intercalaciones de bancos de moluscos. En la parte superior se presenta un estrato de caliza masiva recrystalizada con nerineas y rudistas con un espesor de 5.20 m (Figura 8). En esta localidad se recolectó un tronco fósil, en el que se conservan fragmentos de tejido vegetal aislado, con abundantes perforaciones de bivalvos bien conservadas, rellenas de sedimento arenoso o recrystalizadas. El fragmento de tronco presentaba un área de superficie expuesta de 1.55 m de longitud X 40 cm de ancho. La fauna fósil asociada consiste en corales y nerineas.

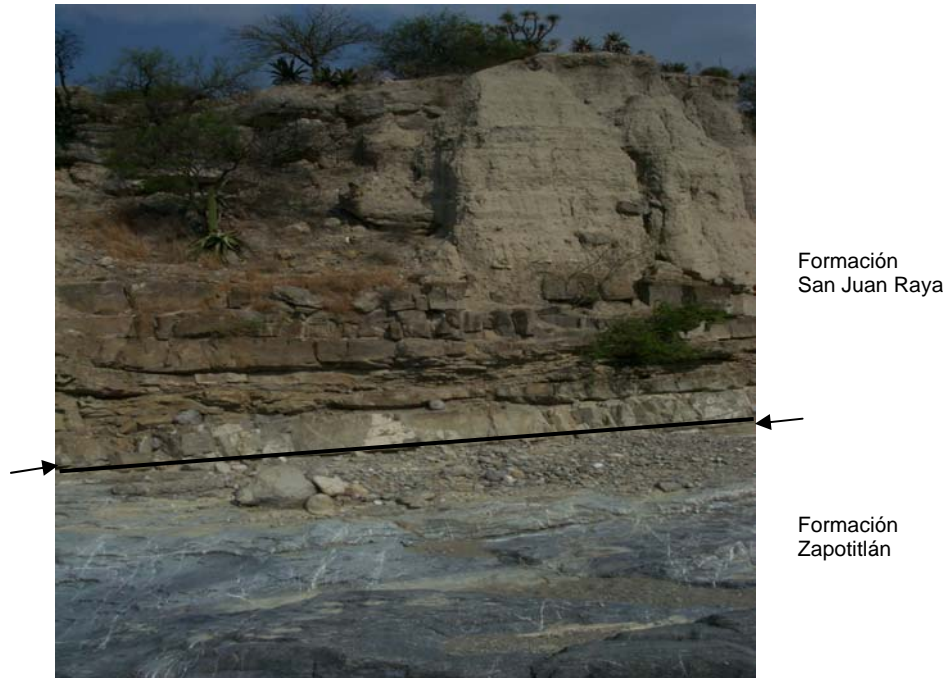


Figura 6: Afloramiento en la localidad 2, situada en la Barranca Salitrillo. La línea indica el contacto entre las formaciones Zapotitlán y San Juan Raya.



Figura 7: Localidad 2. Estratos de arenisca con impresiones de restos vegetales.

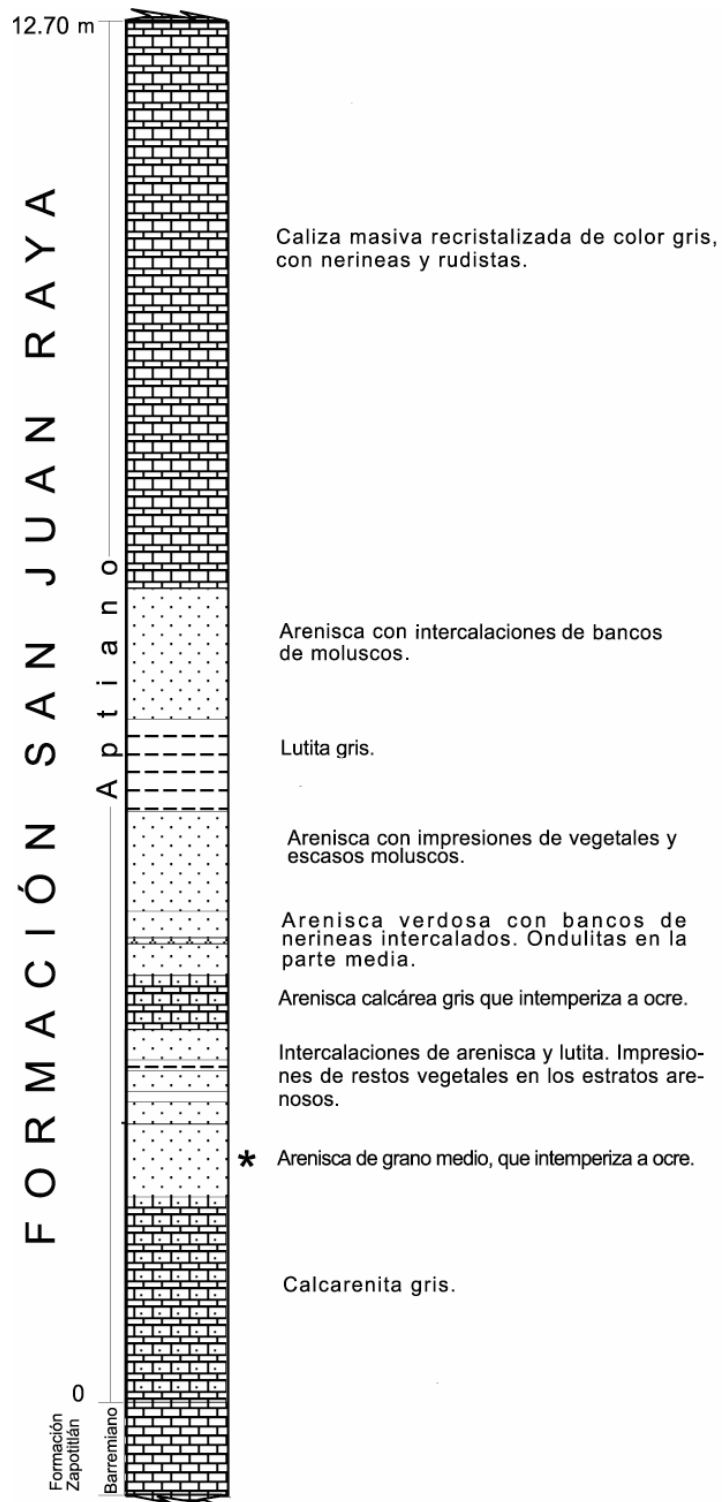


Figura 8: Sección estratigráfica medida en la localidad 2. El asterisco indica el nivel en el que se muestreó el fragmento de tronco fosilizado con perforaciones de bivalvos.

V. METODOLOGÍA

Técnicas para limpieza y observación de las muestras

Los fragmentos de los dos ejemplares de madera perforada se limpiaron con brocha, pincel y agua. Se registraron en la libreta de entradas del Museo de Paleontología y se les asignó un número provisional de entrada para mantener su control estratigráfico. Posteriormente los fragmentos fueron analizados mediante diferentes técnicas con el fin de extraer la mayor información posible, tanto del registro fósil como de las rocas portadoras.

Para disgregar el sedimento y liberar las galerías se emplearon técnicas de disolución en ácido y ultrasonido.

Para la observación del patrón de perforación en cuanto a su orientación y longitud, se realizaron observaciones con rayos X.

Para detectar la posible presencia de conchas de bivalvos en el interior de las galerías se realizó el corte y pulido de las muestras y se elaboraron peels.

Para la remoción de sedimento de las conchas recuperadas, se utilizó un percutor eléctrico.

Finalmente para conocer la constitución mineralógica del material y las alteraciones diagenéticas, se realizaron láminas delgadas.

VI. RESULTADOS

1. Información obtenida de cada técnica.

- Disolución en ácido acético.

Para esta técnica se seleccionó un ejemplar de la localidad 2, repleto de galerías de bivalvos. De éste se tomó un fragmento de aproximadamente 5 cm³, el cual se colocó en un vaso de precipitado con ácido acético glacial al 99.7% durante una

semana. Pasado el tiempo, se retiró la muestra del ácido y se lavó con agua destilada. Con este método se logró disgregar la madera y liberar las galerías.

➤ Ultrasonido.

Esta técnica se realizó con un aparato Ultrasonic Cleaner, marca Branson, Mod. 2510R-MTH. El contenedor se llenó con agua hasta el nivel que se indica en el aparato y se colocó en el interior un fragmento de madera con perforaciones, de 8x8x3 cm durante una hora. Con esta técnica se separó la madera liberando las galerías y abriéndolas en corte transversal siguiendo las líneas de fractura del material. Se observaron los rellenos de las galerías en corte transversal.

➤ Rayos X.

En esta técnica se tomaron de 2 a 3 placas de la misma cara de tres fragmentos de madera perforada, variando la penetración del rayo y la potencia del aparato. De esta manera se obtuvieron series de placas que permitieron observar el patrón de galerías dejado por los bivalvos, donde se aprecia que éstas mantienen una dirección en sentido transversal al veteado de la madera (Figura 9).

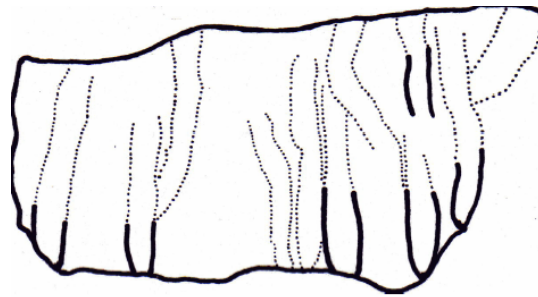


Figura 9: Galerías vistas a través de rayos X. x 0.68.

➤ Corte y pulido de superficies transversales y longitudinales.

Se seleccionaron fragmentos de madera perforada de la primera localidad, en los cuales se incluyeran perforaciones y estuvieran lo menos fracturados posible. Para el pulido fino se utilizó óxido de silicio de diferentes grosores. Se observaron las conchas de bivalvos dentro de las galerías, tanto en corte transversal como longitudinal. En corte transversal se observaron conchas inmersas en rellenos de sedimento y/o cristales; mientras que en los cortes longitudinales se observaron

conchas desarticuladas tanto en los fondos como en el centro de las galerías. En este último caso, las valvas se desplazaron por efecto mecánico al introducirse el sedimento o bien al formarse cristales de calcita en el interior de las galerías (Figura 10).

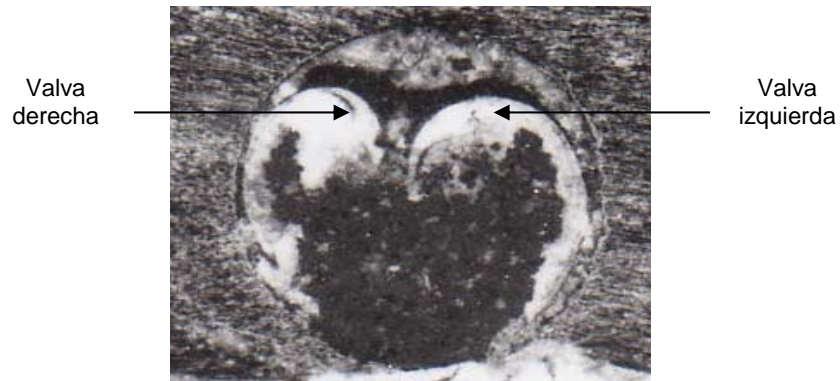
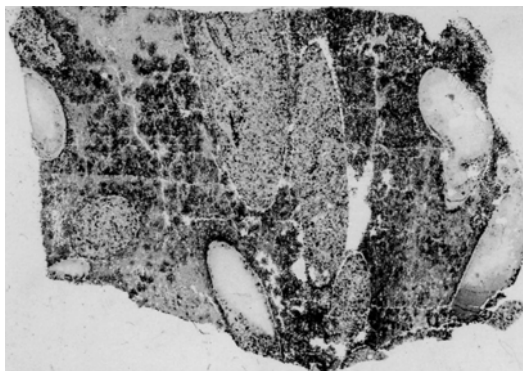


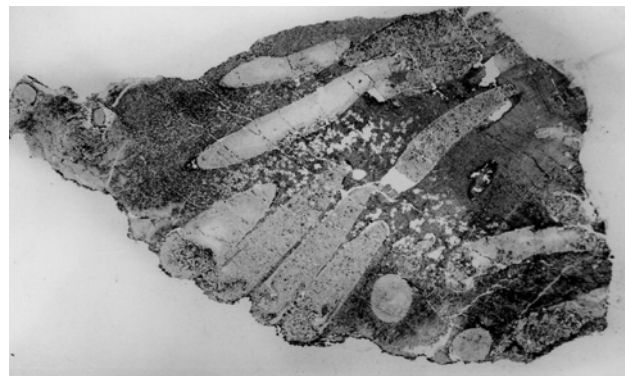
Figura 10: Superficie pulida de una muestra en la que se observa el corte transversal de la región anterior de las valvas derecha e izquierda. x10.

➤ Peels.

Se seleccionaron dos fragmentos de roca cortados y pulidos, con ellos se elaboraron peels. Como resultado de esta técnica se observó en el interior de las galerías una matriz de cristales combinados con arena color café, en la periferia del corte de galería se puede observar un espacio que correspondía a la ubicación de las conchas que por la técnica se pierden. En el exterior se observa un sedimento arenoso con cristales, así como madera que es el tipo de sustrato que contiene a las galerías (Figuras 11 a y b).



a



b

Figuras 11 a y b: Peels, donde se observan galerías en cortes longitudinal y oblicuo, rellenas de sedimento y/o recristalizadas, inmersas en una matriz arenosa y en residuos de madera. Ejemplares 03/96 y 03/100b, escalas x 1.7 y x1, respectivamente.

- Técnica del percutor eléctrico.

Para esta técnica se empleó un percutor eléctrico marca Dremel Mod. 290. Con esta técnica se eliminó el sedimento que cubría las conchas, quedando expuestas las características morfológicas de las valvas de dos ejemplares.

- Láminas delgadas y análisis petrográfico de las muestras.

Para la elaboración de las láminas delgadas se seleccionaron cinco fragmentos de tronco, tres de la segunda localidad y dos de la primera. Utilizando el microscopio petrográfico, se observaron con mayor detalle las características que presentan la matriz arenosa y los cristales que rellenan las galerías de los fragmentos sometidos a esta técnica. A continuación se mencionan las observaciones realizadas:

Lámina del ejemplar 03/98 (Localidad 1)

En esta lámina se observa una matriz ocre homogénea con una gran variedad de cristales que bajo el microscopio petrográfico con luz polarizada se observan en una gama de colores que va del rosa, amarillo, naranja, azul, lila, morado y verde, con agrupaciones de cristales iguales en coloración, pero de menor tamaño (objetivos 2.5x y 10x) (Figura 12).



Figura 12: Lámina delgada en la que se observa la matriz arenosa y un fragmento de galería conservada como molde. x 2.4.

Lámina del ejemplar 03/109 (Localidad 1)

En esta lámina se observa una matriz arenosa muy homogénea con cristales subredondeados, que bajo polarización adquieren tonalidades en rosa, naranja, azul, verde y amarillo (objetivos 2.5x y 10x) (Figura 13).

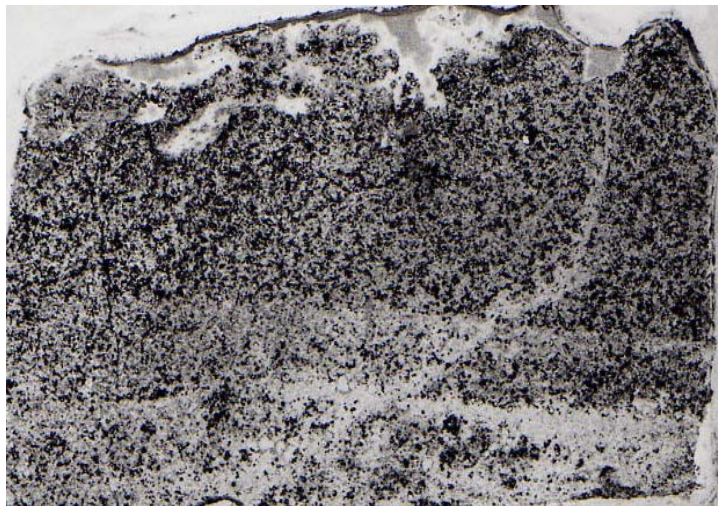


Figura 13: Lámina delgada en la que se observa la matriz arenosa. X 2.7.

Lámina del ejemplar 03/78 (Localidad 2)

Se observan galerías rellenas de cristales que bajo luz polarizada aparecen en tonalidades rosa, naranja, azul, lila, morado, inmersos en una matriz ocre. En los alrededores de las perforaciones se observan restos de madera con depósitos de probable material ferroso por su coloración rojiza oscura y moldes de bivalvos rellenos de cristales (objetivos 2.5x y 10x).

Lámina del ejemplar 03/89 (Localidad 2)

Se observan galerías de bivalvos en corte oblicuo, con rellenos de cristales inmersos en una matriz calcárea. Alrededor de las galerías se aprecian pequeñas porciones de madera (objetivos 2.5x y 10x) (Figura 14).

Lámina del ejemplar 03/138 (Localidad 2)

En esta lámina se presentan cortes oblicuos de galerías de bivalvos con conchas en el interior, con rellenos de cristales angulosos, que al microscopio petrográfico con el filtro toman coloraciones en tonos verdosos, diferentes tonos de rosa y una gama de tonos que varía del azul al morado. En algunas partes hay tonalidades en ocre y café, debido a las características de los minerales que los forman (objetivos 2.5x y 10x) (Figura 15).

Los detalles del análisis petrográfico se presentan en el anexo 1.

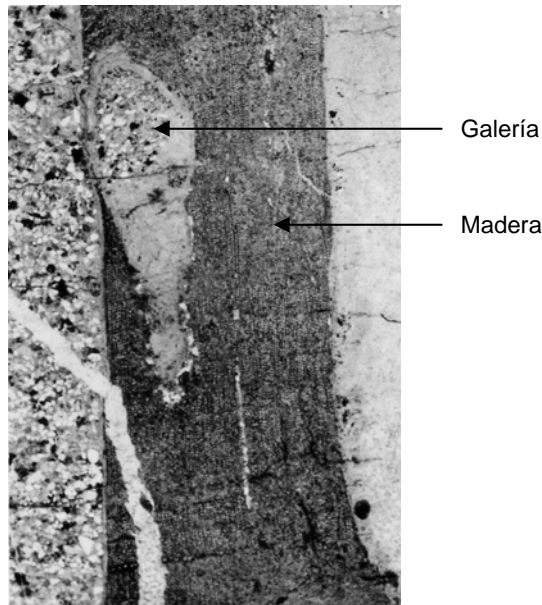


Figura 14: Lámina delgada en la que se observa una galería de bivalvo en corte oblicuo y restos de madera. x 5.



Figura 15: Lámina delgada en la que se observan cortes oblicuos y longitudinales de tres galerías. x 2.5.

➤ **Análisis palinológico.**

Debido a que los fragmentos de madera presentan una mala conservación, es difícil saber qué tipo de planta fue perforada, por lo que se llevó a cabo un análisis palinológico con el fin de conocer su identidad. Sin embargo el polen encontrado en las muestras de madera estudiadas no corresponde a la especie perforada. Se

trata de monocotiledóneas herbáceas no identificables que vivían en el interior del continente, lo que indica el carácter alóctono de la madera.

La técnica de rayos X se efectuó en el Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina; el laminado de las muestras y el análisis petrográfico se llevaron a cabo en el Departamento de Geología de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería; y el análisis palinológico se realizó en el Laboratorio de Palinología del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM. El resto de las técnicas se efectuaron en el Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

2. Registro icnológico

En las localidades estudiadas se recolectaron dos fragmentos de troncos densamente perforados por bivalvos que presentan diferentes tipos de preservación.

En la localidad 1, se dio la completa descomposición del sustrato xílico y el fragmento de tronco que se recolectó quedó preservado como una silueta sobre el sedimento, que resalta por el color ocre, debido al intemperismo. Sobre la superficie de esta silueta se observa como única evidencia de la actividad de bivalvos perforadores de madera, un conjunto de abultamientos redondeados muy apiñados, que por su disposición y la forma redondeada de cada una de estas estructuras, se puede interpretar como el fondo de perforaciones del icnogénero *Teredolites* (Leymerie, 1842).

Por el contrario, en la localidad 2 se recolectó un fragmento de tronco en el que se conservan residuos de madera alterados diagenéticamente. En este caso, se presentan las galerías completas que tienen una forma recta y alargada, ligeramente sinuosa, y que están orientadas perpendicularmente con respecto a la superficie del tronco, con una abertura circular hacia la superficie del mismo. La parte distal, en donde se alojaba el bivalvo, termina en forma cóncava. Este tipo de perforación pertenece a la icnoespecie *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842.

3. Bivalvos perforadores

En los fondos de las perforaciones se encontraron valvas desarticuladas y/o desplazadas hacia la parte media de la perforación, tanto rellenas de sedimento arenoso fino con pequeños cristales, como totalmente recristalizadas (Figuras 16 y 17). Al retirar parte del sedimento que cubría a dos conchas, se pudo observar su forma, el patrón de ornamentación y la presencia del surco umbo-ventral.



Figura 16: Dos galerías rellenas de sedimento en corte transversal, en su interior se observan dos conchas desplazadas, ejemplar 03/135. x3.

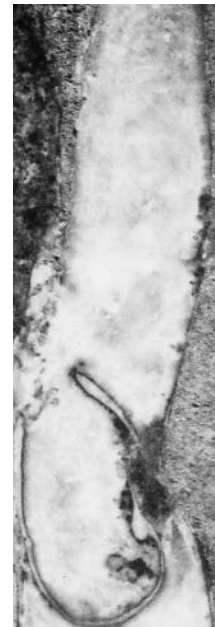


Figura 17: Galería recristalizada en corte transversal, en el fondo de la perforación se observan las conchas del bivalvo en posición de vida, ejemplar 03/135. x3.9.

Con las observaciones derivadas de las técnicas aplicadas, considerando el alcance estratigráfico de los grupos perforadores de madera y tomando en cuenta que la Formación San Juan Raya pertenece al Cretácico Temprano, es posible plantear que se trata de registros de la subfamilia Martesiinae, la cual entra en ese intervalo de tiempo (Ver anexo 2).

En cuanto a la forma de perforar de los tres grupos, las especies de la familia Teredinidae y la subfamilia Xylophaginae perforan en el sentido de la veta de la

madera, penetran y dan vuelta para seguir la dirección del veteado; en el caso de las especies de la subfamilia Martesiinae, éstas perforan en sentido perpendicular al veteado de la madera (Morris, 1975), tal como se observa en los ejemplares estudiados, lo cual permite confirmar que bivalvos miembros de la subfamilia Martesiinae elaboraron las perforaciones presentes en el material recolectado.

Haciendo una comparación entre los ejemplares aislados provenientes de la Formación San Juan Raya, y los 16 géneros pertenecientes a la subfamilia Martesiinae, se tiene que sólo cinco géneros de esa subfamilia son perforadores de madera (*Lignopholas*, *Xylophomia*, *Goniochasma*, *Martesia*, y *Opertochasma*). De ellos, el género *Lignopholas* es de agua dulce y salobre, y ha sido reportado como del Reciente. El género *Xylophomya* tiene una concha parecida a la del género *Xylophaga* perteneciente a la subfamilia *Xylophaginae* del Cretácico Tardío, y muy distinta a la que presenta la especie de la localidad estudiada; *Goniochasma* es un género que tiene parecido a *Martesia* en estadio juvenil y su registro ubica al género en el Cretácico Tardío, además Meek (1864 in Moore 1969), describe este género y menciona que posiblemente se haya descrito una forma juvenil de *Martesia*; por el contrario, *Opertochasma* es un género que ha sido referido para el Cretácico Temprano y que perfora de manera perpendicular al veteado de la madera.

4. Sistemática

Los ejemplares descritos en este estudio se encuentran depositados en el Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

- **Iconología sistemática.**

Iconogénero *Teredolites* Leymerie, 1842

Especie tipo.- *Teredolites clavatus* Leymerie 1842. Por designación original. Cretácico Inferior (Hauteriviano). Aube, Francia.

Diagnosis.- Perforación en forma de clava en sustrato leñoso, alargada o corta y ensanchada ligeramente desde la apertura hasta la base de la cámara principal; región del cuello no separada de la cámara principal; corte en todos los niveles más o menos circular.

Alcance estratigráfico.- Jurásico a Reciente (Kelly y Bromley, 1984).

Iconoespecie *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842

(Lámina 1, figuras 1 y 2)

La sinonimia completa de esta iconoespecie se encuentra referida en Kelly y Bromley, 1984.

Diagnosis.- *Teredolites* en forma de clava (de sustrato leñoso), predominantemente perpendicular a la veta de la madera, con una relación longitud / anchura usualmente menor que 5.

Descripción.- Los fósiles traza son moldes de galerías en forma de clava orientadas perpendicularmente a la veta de la madera. Tienen una apertura circular y una sección al corte también circular. Esta forma puede alterarse por la proximidad con otras galerías vecinas. El eje de la perforación es recto o ligeramente sinuoso por la proximidad con otras. El diámetro incrementa a su máximo en el extremo distal, que es hemisférico, mientras que la parte proximal es cilíndrica. El ejemplar 03/139a tiene 51.2 mm de longitud; 3 mm de diámetro en la abertura; 6.6 mm de diámetro en la porción distal.

Ocurrencia.- Localidad 2, en la Barranca Salitrillo. Formación San Juan Raya, perteneciente al Cretácico Inferior (Aptiano), en el estado de Puebla, México.

Observaciones.- El ejemplar medido presenta una relación longitud/diámetro de 7.7, pero esta relación varía entre las numerosas galerías observadas. Estas perforaciones son hechas actualmente por especies de *Martesia*; en material fósilizado, los ocupantes incluyen a *Martesia* y a *Opertochasma* (Kelly y Bromley, 1984). En algunas galerías de la Formación San Juan Raya se encontraron restos de conchas asignables a ?*Opertochasma*. Se tienen registros de esta icnoespecie en Nueva Zelanda, Washington, y República Checa entre otros, lo que permite reconocer su distribución cosmopolita.

El alcance estratigráfico de la icnoespecie *Teredolites clavatus* va del Jurásico al Reciente (Kelly y Bromley 1984).

Teredolites isp.

(Lámina 1, figura 3)

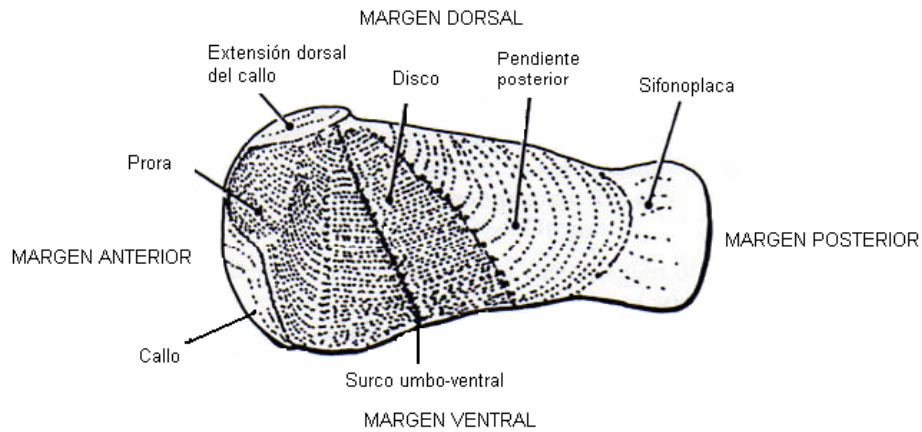
Descripción.- Conjunto de abultamientos redondeados, sobre la superficie arenosa. Su contorno varía por la proximidad de las galerías. El nivel de los cortes es diferente en cada galería, por lo que el diámetro varía entre 5.4 y 10 mm en las perforaciones de la muestra 03/112.

Ocurrencia.- Localidad 1, en la Barranca Grande. Formación San Juan Raya, perteneciente al Cretácico Inferior (Aptiano), en el estado de Puebla, México.

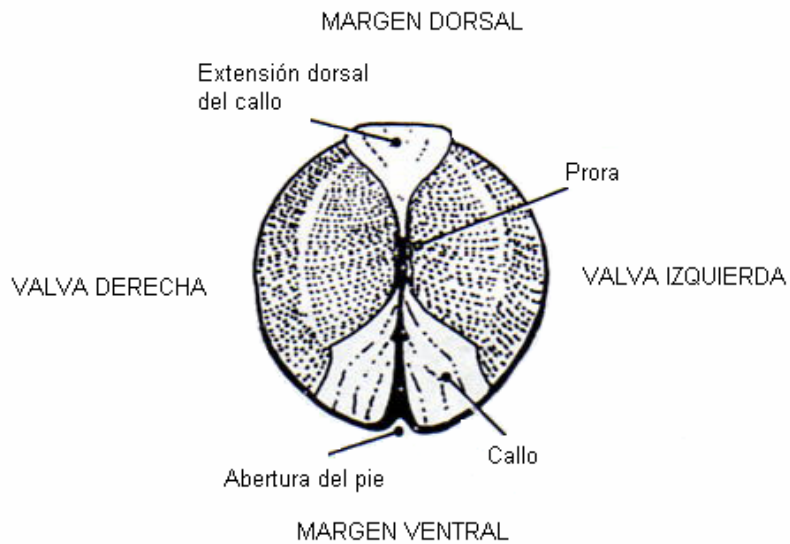
Observaciones.- Debido a que la madera original se degradó totalmente, el registro de las galerías se conserva en un solo plano.

- **Paleontología Sistemática.**

Se empleó la clasificación propuesta por Newell, 1969 y la terminología utilizada por Kelly, 1988 (Figura 18).



A



B

Figura 18: Morfología del género *Opertochasma*. A: Vista lateral de la valva izquierda; B: Vista anterior. Tomado y modificado de Kelly (1988).

Clase **BIVALVIA** Linnaeus, 1758

Subclase **HETERODONTA** Neumayr, 1884

Orden **MYOIDA** Stoliczka, 1870

Suborden **PHOLADINA** Adams y Adams, 1856

Superfamilia **PHOLADACEA** Lamarck, 1809

Familia **PHOLADIDAE** Lamarck, 1809

Subfamilia **MARTESIINAE** Grant y Gale, 1931

Género ***Opertochasma*** Stephenson, 1952

Especie Tipo: (por designación original) *Opertochasma venustum* Stephenson, 1952, Formación Woodbine, Cenomaniano de Texas, E.U.

Diagnosis.- Concha con dos surcos radiales que se extienden desde el ápice hacia el margen ventral; pendiente posterior esculpida con pequeñas laminillas de periostraco. Mesoplaca larga y angosta, dividida longitudinalmente y extendida anteriormente en el adulto en dos lóbulos sobre el umbo; hipoplaca ausente.

?*Opertochasma* sp.

(Lámina 2, figuras 1 y 2; Lámina 3, figuras 1-3)

Descripción.- La concha es muy pequeña, de 6 mm de longitud y 4.5 mm de altura en el ejemplar mejor conservado, equivalva e inequilateral. Su aspecto es piriforme, globosa hacia el margen anterior y subtrigonal hacia el margen posterior.

La prora está bien definida y presenta líneas de crecimiento muy finas, crenuladas, muy próximas entre sí y ligeramente inclinadas en dirección anteroposterior hasta antes del surco umbo-ventral, posterior a éste se continúan con una inflexión tenue que cambia su dirección, como líneas finas comarginales con interespacios irregulares. La ornamentación sobre la pendiente posterior no es visible. En corte transversal se observan la apófisis como una pequeña sección alargada, el umbo, el condróforo en forma circular, la abertura de la extensión dorsal del callo con una longitud de aproximadamente la mitad de la abertura del callo, el cordón postero-dorsal en ambas valvas y la mesoplaca. No se observan la sifonoplaca, ni el margen dorsal.

Ocurrencia: Localidad 2, en la Barranca Salitrillo. Formación San Juan Raya, perteneciente al Cretácico Inferior (Aptiano), en el estado de Puebla, México. Ejemplares: Dos fragmentos de conchas 03/74, 03/75a y tres cortes transversales 03/94a, 03/94b y 03/95a.

Observaciones: La especie de San Juan Raya está relacionada con los géneros *Martesia* y *Opertochasma*, con los que comparte su aspecto general y sus hábitos como perforadores de madera. El ejemplar de San Juan Raya que puede observarse en vista lateral presenta un solo surco umbo-ventral, típico del género *Martesia*; sin embargo existe una alta variabilidad intrapoblacional en las especies de *Opertochasma*, ya que no siempre se observan los dos surcos característicos de este género (Stephenson, 1952). Por otra parte, muchas especies cretácicas previamente relacionadas con el género *Martesia* han sido reasignadas al género *Opertochasma* y recientemente el registro más temprano de *Martesia* ha sido considerado como Paleoceno (Speden, 1970; Kennedy, 1974; Kelly, 1988), con representantes actuales. De acuerdo a lo anterior, la morfología y la edad geológica permiten relacionarla con el género *Opertochasma*, sin embargo la imposibilidad de observar en los ejemplares estudiados la región de la pendiente

posterodorsal y su característica ornamentación, impide confirmar su identidad, por lo que se asignan con duda al género *Opertochasma*.

Los ejemplares de ?*Opertochasma* sp. de la Formación San Juan Raya, Puebla, se compararon con *Opertochasma psyche* (Kelly, 1988); *Opertochasma venustum* y *Opertochasma subconicum* (Stephenson, 1952), especies muy parecidas entre sí. *Opertochasma psyche* es una especie descrita para el Cretácico Inferior de la Formación Bluff de la Isla Alexander de la Antártica (Kelly, 1988); presenta semejanza con el material descrito por su concha globosa, la abertura amplia del pie y la ornamentación fina en la pendiente posterior; se diferencia en el tamaño mayor de la concha, que es de 20 mm de largo y 10 mm de alto, por la presencia de dos surcos umbo-ventrales claramente definidos y por presentar la ornamentación en forma horizontal entre los dos surcos umbo-ventrales. *Opertochasma venustum* (Stephenson, 1952), especie descrita para el Cenomaniano (Cretácico Superior) de Texas, tiene semejanza con el material descrito por la ornamentación fina en la concha y por la amplia abertura del callo; se diferencia en el tamaño mayor de la concha que es de 12.8 mm de largo y 7.7 mm de alto en el holotipo, y por la presencia de dos surcos umbo-ventrales bien definidos. *Opertochasma subconicum* (Stephenson, 1952), especie descrita para el Cenomaniano (Cretácico Superior) de Texas, tiene semejanza con el material descrito por la presencia de una concha alargada y una ornamentación fina, crenulada hacia la parte anterior; se diferencia en el tamaño mayor de la concha que es de 12 mm de largo y 6.5 mm de alto, presenta forma cónica en el extremo posterior y dos surcos umbo-ventrales.

Si bien la asignación genérica no puede establecerse con precisión, el tamaño tan pequeño de la concha y lo alargado de la galería con una relación longitud/diámetro igual a 7.7, lo distingue definitivamente de otras especies previamente referidas, por lo que el material de San Juan Raya probablemente representa una especie nueva.

VII. DISCUSIÓN

1. Consideraciones paleobiológicas

Los fragmentos de madera recolectados en la Formación San Juan Raya se encuentran densamente perforados por los bivalvos, lo que indica que los troncos fueron atacados por poblaciones numerosas de bivalvos y que la especie oportunista degradó rápidamente la madera.

Las galerías están dispuestas en sentido perpendicular a la veta de la madera y no presentan un recubrimiento calcáreo en su interior, lo que permite considerar que se trata de un registro del icnogénero *Teredolites*, como resultado de la actividad de individuos de la Familia Pholadidae.

En las muestras estudiadas es posible reconocer diferentes estadios de crecimiento de los bivalvos, debido a la presencia de galerías con diferentes diámetros. La forma de clava de las galerías y la extensión de las mismas, indican que los bivalvos vivieron encerrados en estas galerías, utilizándolas como habitación permanente y alimentándose por filtración, al igual que lo hacen los representantes actuales de la Familia Pholadidae. Esto representa una estrategia evolutiva que les ha permitido protegerse de los depredadores y del medio ambiente.

2. Consideraciones paleoambientales

El análisis petrográfico de la roca portadora en las localidades 1 y 2, dio como resultado la presencia de minerales de origen típicamente sedimentario. Si bien la naturaleza de la roca madre es el factor principal que determina la composición de la arenisca (Pettijohn, 1975), los minerales de cuarzo, feldespato, plagioclasa y piroxeno presentes en las muestras de roca analizadas son componentes

comunes de las areniscas actuales. Por otra parte, las areniscas actuales se encuentran libres de matriz, lo que sugiere que tanto la matriz calcárea como el cemento de calcita de las muestras estudiadas se formaron por la disolución y precipitación local de carbonatos. Entre los productos de alteración posterior se encuentran los óxidos de hierro y la clorita. La presencia de todos estos minerales indica que el depósito final se realizó en un ambiente marino de poca profundidad, en el que temperaturas altas, un pH básico y buena oxigenación, permitieron la precipitación de los carbonatos. Lo anterior es confirmado al encontrarse ondulitas y restos fósiles de bivalvos y gasterópodos, así como fragmentos de corales, crustáceos y equinoideos en las mismas capas de arenisca en que estaban los troncos (Figura 19).



Figura 19: Fauna asociada, constituida por corales, gasterópodos y madera perforada por bivalvos; ejemplar 04/180. x 0.5.

Los fragmentos de troncos provenían del continente y debieron ser arrastrados por corrientes fluviales hasta llegar al mar, como lo confirma el polen asociado a los fragmentos de madera recolectada en la localidad 2. Los troncos debieron haber permanecido como madera flotante cerca de la costa, en donde finalmente se depositaron y fosilizaron (Figura 20). Durante el tiempo que permanecieron a la deriva, constituyeron un sustrato propicio para el establecimiento de los bivalvos perforadores.

A pesar de que el registro de madera perforada es muy esporádico en la Formación San Juan Raya y por lo tanto no puede hablarse de una “icnofacies *Teredolites*” (en el sentido de Bromley *et al.*, 1984), su presencia en esta formación indica condiciones de depósito similares, es decir, una zona costera, de aguas poco profundas y cálidas, en un ambiente tropical o subtropical.

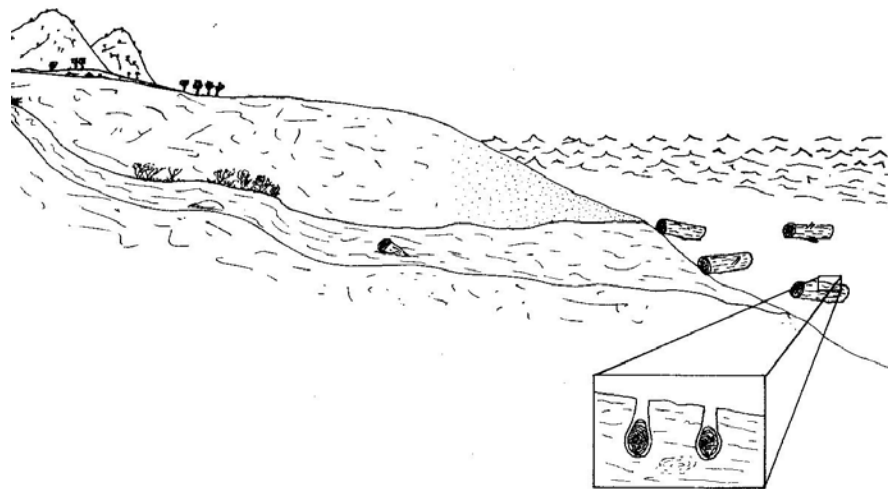


Figura 20: Modelo tafonómico del proceso de fosilización de bivalvos perforadores de madera.

VIII. CONCLUSIONES

-Este trabajo constituye el primer estudio de bivalvos perforadores de madera para la Formación San Juan Raya y para México.

-El registro de bivalvos perforadores de la Formación San Juan Raya se encuentra en troncos aislados y su preservación es variable: desde galerías de *Teredolites clavatus* Leymerie preservadas tridimensionalmente, en muchas de las cuales aún se conserva la concha de los bivalvos de la especie ?*Opertochasma* sp., hasta impresiones externas de las perforaciones en forma de pequeñas protuberancias muy apiñadas sobre el sedimento, con un patrón definido y resaltadas por el color de intemperismo ocre que delimita la silueta del tronco, las cuales representan los fondos de las galerías de *Teredolites* isp.

-El tamaño tan pequeño de la concha y lo alargado de la galería, que es perpendicular a la veta de la madera y a la superficie del tronco, permiten considerar que se trata de una especie que no ha sido previamente descrita.

-Lo esporádico de las muestras de madera indica que debió ser un aporte intermitente y que posiblemente fueron acarreadas por la desembocadura de ríos hacia el mar.

- La presencia de los bivalvos perforadores de madera y de la fauna asociada constituida por escasos gasterópodos y fragmentos de corales (Lámina 3, figura 1), así como la presencia de ondulitas y de palinomorfos asociados a una vegetación herbácea continental, se relacionan con el desarrollo de facies próximas a la línea de costa, en un ambiente tropical o subtropical.

IX. LÁMINAS

LÁMINA 1

Figura 1.- *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842. Galerías pulidas en corte longitudinal; ejemplar 03/136 x 1.3

Figura 2.- *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842. Galerías en corte transversal; ejemplar 03/86 x 1

Figura 3.- *Teredolites* isp. Fondos de perforaciones en un fragmento de madera; ejemplar 03/112 x 0.25

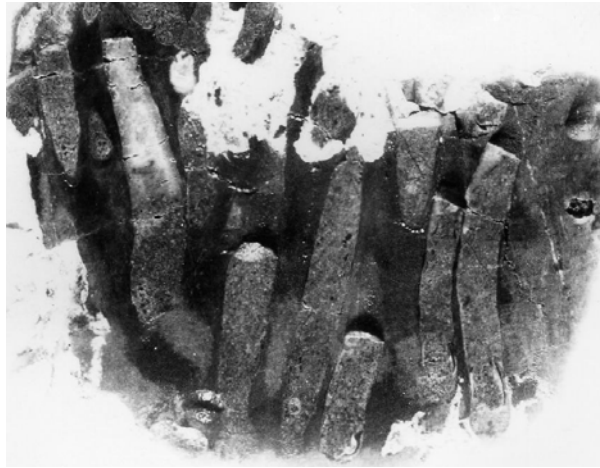


Figura 1



Figura 2



Figura 3

LÁMINA 2

Figura 1.- ?*Opertochasma* sp. a. Valva izquierda en la que se observa el surco umbo-ventral (su-v).; ejemplar 03/75a; x 9.5. b. Esquema del mismo ejemplar.

Figura 2.- ?*Opertochasma* sp. a. Vista anterior de valva derecha en la que se observan líneas de crecimiento (c) crenuladas, muy finas. La línea punteada indica las partes no visibles; ejemplar 03/74; x 14.6. b. Esquema del mismo ejemplar.



Figura 1. a

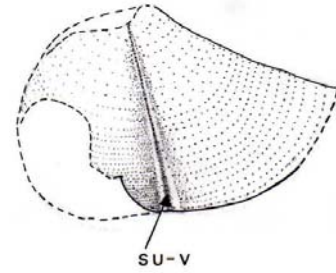


Figura 1. b

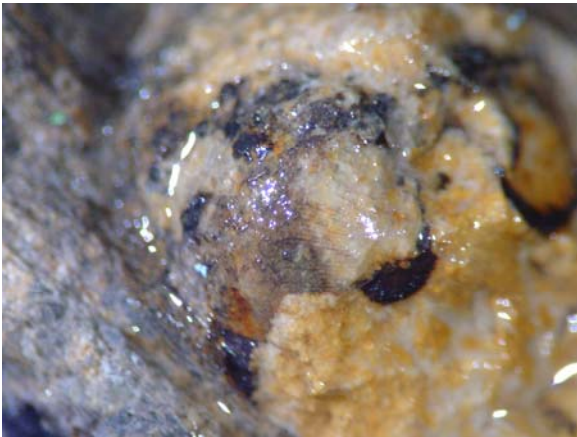


Figura 2. a

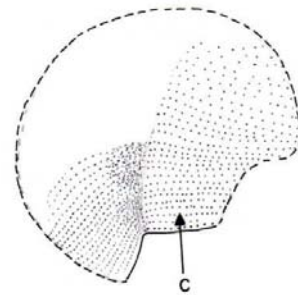


Figura 2. b

LÁMINA 3

Figura 1.- ?*Opertochasma* sp. a. Corte transversal a nivel del umbo. b. El esquema indica la ubicación del umbo (u), la apófisis (a) y el condróforo (c); ejemplar 03/94 a x 6.

Figura 2.- ?*Opertochasma* sp. a. Corte transversal a nivel anterior. b. Esquema donde se observan el cordón postero-dorsal (cpd) y la abertura del callo (ac); ejemplar 03/94 b x 6.

Figura 3.- ?*Opertochasma* sp. a. Corte transversal a nivel anterior. b. esquema donde se observan la mesoplaca (m) y el cordón umbo-ventral (cu-v); ejemplar 03/95 a x 16.



Figura 1. a

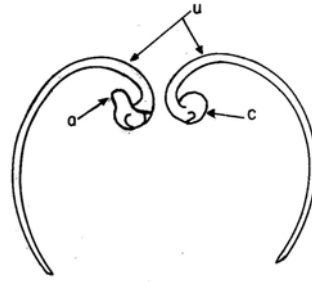


Figura 1. b



Figura 2. a

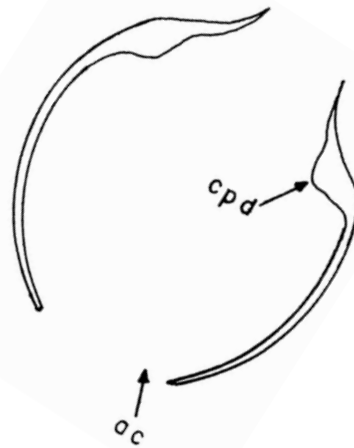


Figura 2. b

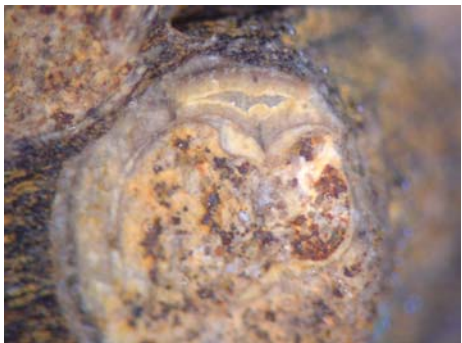


Figura 3. a

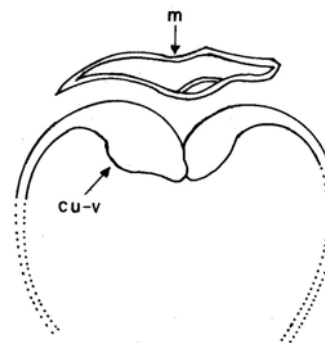


Figura 3. b

X. ANEXO 1

ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Resultados:

EJEMPLAR: 03/98 (Localidad 1)
FELSARENITA LÍTICA

Roca clástica de color amarillo rojizo al intemperismo y gris amarillento al fresco, de textura clástica de grano medio, constituida por fragmentos de feldespatos, plagioclasas, pedernal, calcita, cuarzo y restos de bivalvos incluidos en una matriz calcárea. Se presentan óxidos de Fe y clorita como productos de alteración.

EJEMPLAR: 03/109 (Localidad 1)
FELSARENITA CALCÁREA

Roca de color amarillento con algunas zonas oxidadas al intemperismo y amarillo al fresco, de textura clástica de grano medio a grueso. Se observan algunas galerías, textura clástica, constituida por fragmentos de cuarzo, plagioclasas, pedernal y como productos de alteración se tiene epidota, clorita y óxidos de Fe. Incluidos en una matriz calcárea y de óxidos de Fe.

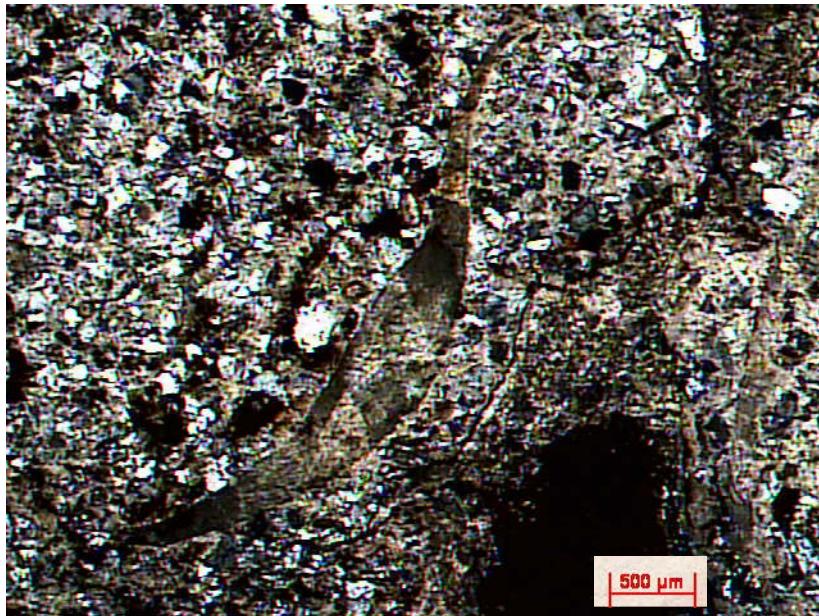
EJEMPLAR 03/78 (Localidad 2)
ARENISCA CALCÁREA

Roca de color blanco amarillento al intemperismo con algunas tonalidades pardas y amarillo grisáceo al fresco, presenta una textura clástica de grano medio a grueso en donde se observan huellas de bioturbación y moldes de bivalvos rellenos de material clástico.

Se observa un mosaico mineral constituido por fragmentos de bioclastos (bivalvos y madera) con bordes de alteración a óxidos de Fe. Se observan también moldes de bivalvos rellenos de material clástico; dentro de este material se encuentran fragmentos de cuarzo, plagioclasas, feldespatos y piroxeno incluidos en una matriz calcárea. (Fotomicrografías 1 y 2).



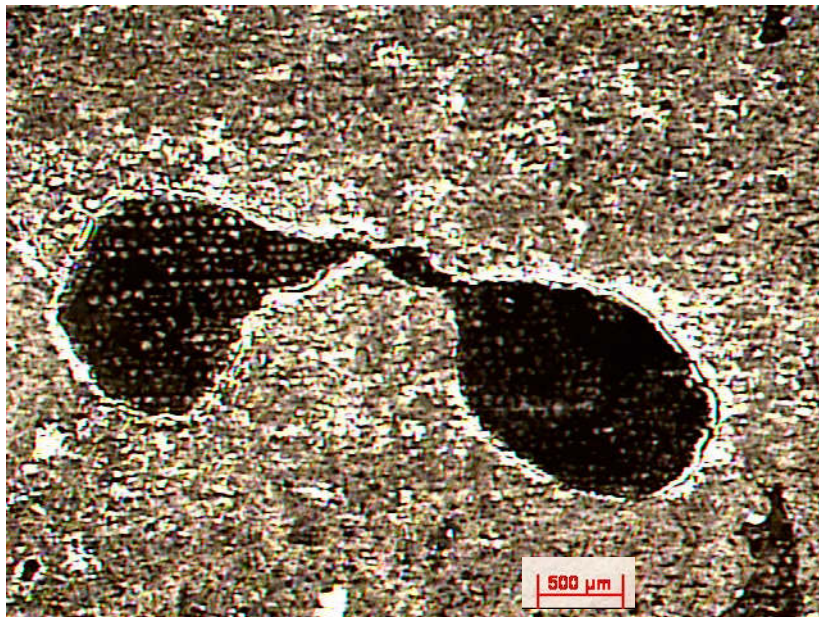
Fotomicrografía 1: Campo de la muestra 03/78, tomada con el objetivo de 2.5X con luz paralela, al centro se observa un fragmento de madera.



Fotomicrografía 2: Campo de la muestra 03/78, tomada con el objetivo de 2.5X y con nicols cruzados, se observa como parte del relleno del molde de un bivalvo al centro un fragmento de bivalvo y material clástico en el que abundan los fragmentos de cuarzo y feldespatos. Se presentan bordes de alteración a óxidos de Fe.

EJEMPLAR: 03/138 (Localidad 2)
ARENISCA CALCÁREA

Roca de color rosa claro al intemperismo y gris amarillento al fresco, presenta laminación y rastros de bioturbación, en donde se observan galerías perpendiculares a la laminación, estas galerías se presentan rellenas de material clástico. Constituida por fragmentos de bivalvos cuyas dimensiones de eje mayor varían entre los 2 mm y los 30 mm, también se tienen fragmentos de madera con dimensiones menores a 1 mm con bordes de óxidos de Fe incluidos en una matriz de micrita (Fotomicrografía 3).

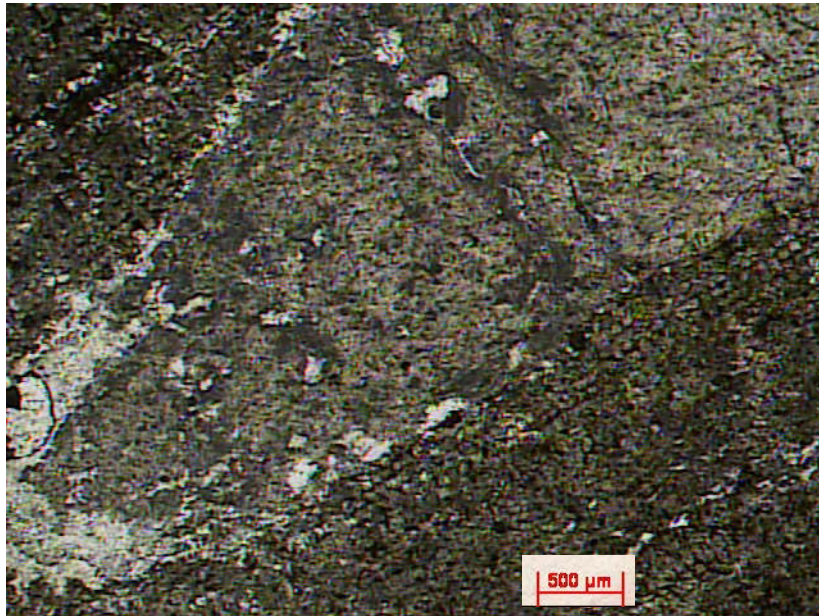


Fotomicrografía 3: Campo de la muestra 03/138, tomada con el objetivo de 2.5X y con luz paralela en donde se observan al centro fragmentos de madera incluidos en una matriz de micrita.

EJEMPLAR: 03/89 (Localidad 2)
ARENISCA CALCÁREA

Roca de color amarillo grisáceo al intemperismo y al fresco de textura clástica de grano medio a fino, presenta algunas galerías rellenas de material clástico.

Presenta un mosaico mineral constituido por fragmentos de bivalvos rellenos de material clástico entre los que se encuentran fragmentos de cuarzo, feldspatos y pedernal; algunos de estos bivalvos se presentan lixiviados observándose únicamente las sombras de los cristales que lo rellenaban, los bordes de estas sombras presentan óxidos de Fe incluidos en una matriz calcárea. Se observan fragmentos de madera (Fotomicrografía 4).



Fotomicrografía 4: Campo de la muestra 03/89, tomada con el objetivo de 2.5X y con luz paralela, en donde se observa un gran fragmento de bivalvo en contacto con madera.

Continúa...

<i>Goniochasma</i>	Concha similar a <i>Martesia</i> , de ovalada a oblonga con ápice truncado en ángulo agudo; surco umbo-ventral y acanalado oblicuo, crenulado (plegado); canales posteriores oblicuos, anchos, redondeados y sin extenderse hasta el margen. Mesoplaca presente (Probablemente es una forma juvenil de <i>Martesia</i>).	Perforador de madera	N. de América, India	Cretácico Tardío
<i>Heteropholas</i>	Concha similar a <i>Martesia</i> pero con ápices oblicuos o trancos sinuosamente; surco umbo-ventral oblicuo y con dos canales adicionales en la superficie externa, uno anterior y otra media	-----	Europa	Eoceno
<i>Lignopholas</i>	Concha similar a <i>Martesia</i> , pendiente posterior alargado y con series de laminillas orladas sobrepuestas; mesoplaca dividida longitudinalmente; otras placas accesorias ausentes; apófisis larga y delgada, condróforo prominente.	Perforador de madera de agua salobre y dulce	W. del atlántico-Indo Pacífico	Reciente
<i>Opertochasma</i>	Concha similar a <i>Martesia</i> , pero con dos canales radiales que se extienden desde el ápice hacia el margen ventral en el área del surco umbo-ventral; pendiente posterior esculpida. Mesoplaca larga y angosta, dividida longitudinalmente y extendida anteriormente en el adulto en dos lóbulos sobre el umbo, hipoplaca ausente.	Perforador de madera (2)	N. de América	Jurásico Superior (2) al Oligoceno (3)
<i>Parapholas</i>	Concha dividida en tres áreas, pendiente anterior, disco y pendiente posterior; la pendiente posterior tiene series de placas de periostraco sobrepuestas; las placas accesorias consisten en mesoplaca oval, metaplaca alargada e hipoplaca que puede estar o no bifurcada posteriormente, sifonoplaca ausente.	Perforador de roca	E. del Pacífico W. de África	Cretácico al Reciente
<i>Penitella</i>	Concha de contorno oval, picuda anteriormente en estadio juvenil con un marcado surco umbo-ventral, callo parcial o completo. Mesoplaca similar a <i>Zirfaea</i> en jóvenes pero extendido dorsalmente en adulto: sifonoplaca variable, presente o ausente; sin otras placas accesorias.	Perforador de roca	N. y E. del Pacífico	Cretácico al Reciente
<i>Ramsetia</i>	Concha similar a <i>Martesia</i> , picuda anteriormente y abierta en juveniles pero cerrada por el callo en adultos; ápices diagonalmente truncados; canal umbo-ventral y surco presente. La escultura consiste en canales concéntricos cruzados en pendiente anterior por costillas radiales tenues.	-----	N. de América	Cretácico Superior
<i>Teredina</i>	Concha similar a <i>Teredo</i> , particularmente en estadio juvenil, abertura anterior cerrada por el callo en adulto; umbos cubiertos por cuatro lóbulos, mesoplaca larga que se extiende anteriormente; apófisis presente; tubo calcáreo grueso y largo fusionado a las valvas anteriormente y en algunas conchas dividido posteriormente en particiones longitudinales; tubo calcáreo probablemente homólogo con el encontrado en Pholadidea, al cual parece estar íntimamente relacionado.	-----	Europa	Cretácico Superior al Mioceno

Continúa...

<i>Pholadidea</i>	Concha picuda anteriormente en juveniles, cerrada por el callo, el cual se extiende dorsalmente sobre los ápices en adultos; redondeada a truncada posteriormente, dividida en dos áreas por un surco umbo-ventral prominente; pendiente posterior no claramente definida. Mesoplaca variable dividida longitudinalmente en las formas juveniles, pero puede estar ampliamente extendida en los adultos; metaplaca incipiente e hipoplaca presente o ausente, no existiendo como placas separadas sino resultando a partir del depósito de calcio en el periostraco en la parte posterior de los umbos; sifonoplaca comúnmente tubular, compuesta ampliamente de periostraco y fusionada; tubo sifonal presente en la mayoría de las especies. Apófisis corta, frágil y no ensanchada en el extremo libre.		Perforador de roca suave y coral	E. del Pacífico Indo-pacífico y E. del Atlántico	Eoceno al Reciente
	SUB-GENEROS:	Reflexión umbonal elevada por arriba de los umbos; mesoplaca pequeña, porción basal ausente; sifonoplaca en forma de copa; tubo sifonal ausente.	Perforador de roca suave y coral	E. del Atlántico-Indo-pacífico	Eoceno al Reciente
	<i>P. (Hatasia)</i>	Reflexión umbonal fuertemente cerrada, mesoplaca plana en estadio juvenil, semicircular y de una pieza en estado adulto, dividida longitudinalmente, parte juvenil basal extendiéndose más allá de esta, sifonoplaca compuesta enteramente de periostraco, variable en forma y tamaño. Tubo sifonal adherido a la sifonoplaca.	Perforador de roca suave y coral	E. del Pacífico	Reciente
<i>Xylophomya</i>	Concha de contorno algo similar a <i>Xylophaga</i> , abertura anterior cerrada por el callo en adulto; ampliamente abierta en parte posterior, margen posterior de las valvas prolongado por extensiones delgadas, lisas y en forma de lengua, que probablemente se fusionan con el revestimiento del tubo. Con surco umbo-ventral angosto. El margen dorsal de la valva derecha con cuatro pequeños dentículos anteriores al umbo.		Perforador de madera	Estados Unidos	Cretácico

Fuente: Cox *et al.*, in Moore (1969).

(1): Speden, 1970; Kenedy 1974 y Kelly, 1988 in Crampton, 1990.

(2): Crampton, 1990.

(3): Kelly, 1988.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, H, and Adams, A. 1856. The genera of Recent Mollusca: arranged according to their organization. 2(1854-1858). John Van Vorst, v. 1 (1853-54), 484 p.; v. 2 (1854-58), 661 p.; v. 3(1858), 136 pl. London, 661 p.
- Aguilera, J.G. 1906. Excursión de Tehuacán a Zapotitlán y San Juan Raya. X Congreso Geológico Internacional, 10ª Sesión. México. Libro-Guía de la Excursión núm. VII, 27 p.
- Alencáster, G. 1956. Pelecípodos y gasterópodos del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, Paleontología Mexicana, 2, 47 p.
- Barceló-Duarte, J. 1978. Estratigrafía y petrografía detallada del área de Tehuacán-San Juan Raya, Estado de Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, 143 p.
- Barnes, R.D. 1977. Zoología de los Invertebrados. Interamericana, México, 826 p.
- Blásquez, L.L. 1957. Hidrogeología de una parte del valle de Tehuacán, Estado de Puebla. *In*: Estudios hidrogeológicos, Universidad Nacional Autónoma de México, Anales del Instituto de Geofísica. T.12, p. 9-55.
- Bromley, R.G., Pemberton, S.G. and Rahmani, R.A. 1984. A Cretaceous woodground: the *Teredolites* ichnofacies. *Journal of Paleontology*, 58 (2): 488-498.

- Buitrón, B.E. 1968. Catálogo de Equinoides. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana, 26, 50 p.
- Buitrón, B.E. 1970. Equinoides del Cretácico Inferior de la Región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana. 30, 45 p. 9 láms.
- Buitrón, B.E. y Barceló, D.J. 1980. Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la Región de San Juan Raya, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología, 4(1): 46-55.
- Calderón, G.A. 1956. Bosquejo Geológico de la Región de San Juan Raya, Puebla. Congreso Geológico Internacional, Vigésima Sesión, Libreto-guía de la Excursión A-11, p. 9-27.
- Clarkson, E.N.K. 1986. Paleontología de Invertebrados y su evolución. Paraninfo, Madrid, España, 434 p.
- Coquand, H. 1865. Monographie paléontologique de l'étage Aptien de l'Espagne, 221 p. 28 láms.
- Cox, L.R., N.D. Newell, D.W. Boyd, C.C. Branson, Raymond Casey, André Chavan, A.H. Coogan, Colette Dechaseaux, C.A. Fleming, Fritz Haas, L.G. Hertlein, E.G. Kauffman, A. Myra Keen, Aurèle La Rocque, A.L. McAlester, R.C. Moore, C.P. Nuttall, B.F. Perkins, H.S. Puri, L.A. Smith, T. Soot-Ryen, H.B. Stenzel, E.R. Trueman, Ruth D. Turner y John Weir. 1969. In R.C. Moore (editor), Treatise on Invertebrate Paleontology. Parte N, Mollusca 6.

The Geological Society of America, Inc. and The University of Kansas Press, Vol. 1 y 2, 953p.

- Crampton, J.S. 1990. A new species of Late Cretaceous wood-boring bivalve from New Zealand. *Palaeontology*, 33(4):981-992.
- Cvancara, A.M. 1966. Revision of the fauna of the Cannonball Formation (Paleocene) of North and South Dakota. University of Michigan Contribution of Museum of Paleontology, 20:277-370.
- Elliot, G.F. 1963. A Palaeocene teredinid (Mollusca) from Iraq. *Palaeontology*, 6(2):315-317.
- Escalante, A.R. 2006. Estudio paleobiológico de las trigonias de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior de Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 49 p.
- Feldmann, R.M., Vega, F.J., García-Barrera, P., Rico-Montiel, R. and Martínez, L.L. 1995. A new species of *Meyeria* (Decapoda: Mecochiridae) from the San Juan Raya Formation (Aptian: Cretaceous), Puebla State, Mexico. *Journal of Paleontology*, 69(2): 402-406.
- Felix, J. y Lenk, M. 1891. Uebersicht über die geologischen Verhältnisse des mexicanischen Staates Puebla. *Palaeontographica*, 37:117-139.
- Filkorn, H.F. 2003. The Cretaceous corals of Mexico: occurrences and history of research. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(1):52-78.

- Fischer, R. 1990. Significado paleoecológico y geológico de perforadores fósiles de bivalvos. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 3(1):79-95.
- González-Arreola, C. 1974. *Phylloceras* del Cretácico Inferior de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 35, p. 29-37.
- Grant, U.S. and Gale, H.R. 1931. Catalogue of the marine Pliocene and Pleistocene Mollusca of California. *Memories of San Diego Society of Natural History*, 1: 1-1036, pls. 1-32.
- Hatai, K.M., 1951. A Lower Cretaceous Teredo. *Short Papers from the Institute of Geology and Paleontology, Tôhoku University, Sendai* (3):29-32.
- Hernández-Láscaraes, D. y Galván-Mendoza, E. 1990. Lamellaerhynchia cf. renauxiana (D'Orbigny) (Brachiopoda: Rhynchonellidae) del Cretácico Inferior de la Región de San Lucas Teletitlán, Estado de Puebla, Centro Sur de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*. 2(2):47-55.
- Hoagland, K.E. and Turner, R.D. 1980. Range extensions of teredinids (shipworms) and polychaetes in the vicinity of a temperate-zone nuclear generation station. *Marine Biology*, 58:55-64.
- Hoagland, K.E. and Turner, R.D. 1981. Evolution and adaptative radiation of wood-boring bivalves (Pholadacea). *Malacología*, 21(1-2):111-148.
- Kelly, S.R.A. 1988. Cretaceous wood-boring bivalves from western Antarctica with a review of the Mesozoic Pholadidae. *Palaeontology*, 31(2):341-372.

- Kelly, S.R.A. and Bromley, R.G. 1984. Ichnological nomenclature of clavate borings: *Palaeontology*. 27:793-807.
- Kennedy, G.L. 1974. West American Cenozoic Pholadidae (Mollusca: Bivalvia). *Memories of the San Diego Society of Natural History*. 8:1-127.
- Knudsen, J. 1961. The bathyal and abyssal *Xylophaga* (Pholadidae Bivalvia). *Galathea Report*, 5:163-209.
- Lamarck, J.B.P.A. DE M. DE. 1809. Philosophie zoologique, ou exposition des considerations relatives à l'histoire naturelle des animaux, la diversité de leur organisation et des facultés qu'ils en obtiennent, aux causes physiques qui maintiennent en eux la vie, et donnent lieu aux mouvements qu'ils exécutent; enfin à celles qui produisent les unes les sentiments, et les autres l'intelligence de ceux qui en sont doués, Paris. 2 vols. 1-442, 1-463
- Leymerie, M.A. 1842. Suite du mémoire sur le terrain Crétacé du Département de l'Aube. *Mémoires de la Société Géologique France*, 5:1-34
- Linnaeus, C. 1758. *Systema naturae per regna tria nature*. Edition 10 reformata. Tomus 1, Regnum animale. L. Salvii, Holmiae, 824 p.
- Maldonado-Koerdell, M. 1953. Los equinoides regulares del Mesozoico de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 7(1-4):15-44.
- Morris, P.A. 1975. A field guide to shells of the Atlantic and Gulf Coasts and the West Indies. The Peterson Field Guide Series, William J. Clench. U.S.A., 330 p.

- Müllerried, F.K.G. 1933. Estudios paleontológicos y estratigráficos en la Región de Tehuacán, Puebla. Partes 1, 2 y 3. Universidad Nacional Autónoma de México, Anales del Instituto de Biología, 4(1-4):33-46, 79-93, 309-334.
- Müllerried, F.K.G. 1934. Estudios paleontológicos y estratigráficos en la Región de Tehuacán, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. Anales del Instituto de Biología, 5(4):55-80.
- Navarro, S.D. 2006. Revisión taxonómica de los braquiópodos articulados del Cretácico Inferior de México. Implicaciones paleobiogeográficas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 142 p.
- Neumayr, M. 1884. Zur Morphologie des Bivalvenschlosses. Akademie der Wissenschaften, Wien. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Sitzungsberichte der Kaiserlichen Abtheilung 1, 88(2): 385-419. Pls. 1-2.
- Newell, N.D. 1969. Classification of Bivalvia *In* R.C. Moore (ed.). Treatise on Invertebrate Paleontology, Pt. N. Mollusca 6(1). Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence, p. N 205 – N 224.
- Nyst, H. y Galleotti, H. 1840. Sur quelques fossiles du calcaire jurassique de Tehuacan au Mexique. Bulletin of the Royal Academy of Bruxelles, 7:212-221.
- Pettijohn, E.J. 1975. Sedimentary Rocks. Harper International Edition, New York. 3ª ed., 628 p.

- Purchon, R.D. 1941. On the biology and relationships of the lamellibranch *Xylophaga dorsalis* Turton. *Journal of the Marine Biologist Association*, 25: 1-39.
- Reyes, M.M. 1963. Corales del Cretácico Inferior de San Juan Raya, Estado de Puebla. *Universidad Nacional Autónoma de México. Paleontología Mexicana*, 17, 21 p., 5 láms.
- Salas, G.P. 1949. Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 1:79-156.
- Salmones, J.M. 1994. Los moluscos juveniles de la Formación San Juan Raya, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 153 p.
- Savrda, C.E. 1991. Teredolites, wood substrates, and sea-level dynamics. *Geology*, 19(9):905-908.
- Segura-Vernis, L. y Rodríguez-Torres. 1972. Foraminíferos del Aptiano de San Juan Raya Puebla, México y sus inferencias geológicas. *Sociedad Geológica Mexicana. Memorias de la II Convención Nacional*, p. 236.
- Speden, I.G. 1970. The type Fox Hills Formation, Cretaceous (Maestrichtian), South Dakota. Part 2. Systematics of the Bivalvia. *Bulletin of the Peabody Museum Natural History*. vi+1-222, 42 Pls.
- Stephenson, L.W. 1952. Larger invertebrate fossils of the Woodbine Formation (Cenomanian) of Texas. *United States Professional Paper of Geological Survey*, 242 :1-226.

- Stoliczka, F. 1870. Cretaceous fauna of southern India. The Pelecypoda, with a review of all known genera of this class, fossil and Recent. Memoir of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica, Series 6, 3 [for 1870-1], 1-222.
- Stoliczka, F. 1871. Cretaceous fauna of southern India; Pelecypoda. Palaeontologia Indica, 3:9-25, 2 pls.
- Turner, R.D. 1954. The family Pholadidae in the Western Atlantic and the Eastern Pacific. Part 1-Pholadinae. Johnsonia, 3: 1-63, pls. 1-34.
- Turner, R.D. 1955. The family Pholadidae in the Western Atlantic and the Eastern Pacific. Part II-Martesiinae, Jounnetiinae and Xylophaginae. Johnsonia, 3: 65-160, pls. 35-93.
- Turner, R.D. 1956. Notes on *Xylophaga washingtona* Bartsch and on the genus. Nautilus, 70:10-12.
- Turner, R.D. 1962. *Nettastomella japonica* Yokoyama in North America and notes on the Pholadidae. Occasional Papers on Mollusks, Museum of Comparative Zoology, 2: 289-308, Pls. 47-53.
- Turner, R.D. 1965. Anatomical relationships in the Teredinidae. American Malacological Union Annual Reports, 1964: 16-17.
- Turner, R.D. 1966. A survey and illustrated catalogue of the Teredinidae. Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 265 p.
- Turner, R.D. 1971. Australian Shipworms. Australian Natural History, 17: 139-145.

- Turner, R.D. 1972a. A new genus and species of deep water wood-boring bivalve (Mollusca, Pholadidae, Xylophaginae). *Basteria*, 36: 97-104.
- Turner, R.D. 1972b. *Xyloredo*, a new teredinidlike abyssal wood-borer (Mollusca, Pholadidae, Xylophaginae). *Breviora*, 397: 1-19.
- Turner, R.D. 1973a. Wood-Boring Bivalves, Opportunistic Species in the Deep Sea. *Science*, 18: 1377-1379.
- Turner, R.D. 1973b . Deep water wood-boring molluscs. Proceedings of the Third International Congress on Marine Corrosion and Fouling, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, U.S.A. pp. 836-841.
- Villada, M.M. 1905. Una exploración a la cuenca fosilífera de San Juan Raya, Estado de Puebla. Conferencias del Museo Nacional, Sección Historia Natural México, D.F. 44 p., láminas. A-K.
- Vincent, E. 1925. Le taret des sables de Wemmel. *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*, 55:21-23.
- Wrigley, A. 1929. Notes on English Eocene boring mollusca, with descriptions of new species. *Proceedings of the Geological Association*, 40:376-386.
- Zárate, V.R.E. 2003. Presencia de *Lithophaga* en la Formación San Juan Raya, Puebla. Implicaciones paleoecológicas y tafonómicas. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, 81 p.
- <http://mangrove.nus.edu.sg/pub/seashore/text/261.htm> (imagen *Martesia*)

- www.geocities.com/submergefestival/teredos.htm (imagen *Teredo* en galería).
- <http://fossilesboulonnais.free.fr/ichnofossiles/html/dir/jich008.html> (imagen de una galería de xilófago).