



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“ESTUDIO PALEOBIOLÓGICO DE LAS TRIGONIAS  
DE LA FORMACIÓN SAN JUAN RAYA,  
CRETÁCICO INFERIOR DE PUEBLA”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I O L O G A

P R E S E N T A :

**ANA ROBERTA ESCALANTE RUIZ**

DIRECTOR DE TESIS: DRA. SARA ALICIA QUIROZ BARROSO



MÉXICO, D.F.

2006



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  
Escalante  
Ruiz  
Ana Roberta  
56 80 40 27  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
098012145
2. Datos del tutor  
Dra.  
Sara Alicia  
Quiroz  
Barroso
3. Datos del sinodal 1  
Dra.  
Gloria  
Alencáster  
Ybarra
4. Datos del sinodal 2  
Dr.  
Francisco  
Sour  
Tovar
5. Datos del sinodal 3  
Biól.  
Luis  
Chávez  
García
6. Datos del sinodal 4  
Leonora  
Martín  
Medrano
7. Datos del trabajo escrito  
Estudio paleobiológico de las trigonias de la Formación San Juan Raya, Cretácico  
Inferior de Puebla  
49 p, 3 il  
2006

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado una excelente educación desde la Preparatoria y por abrirme sus puertas en la Facultad de Ciencias.

Un agradecimiento especial para la Dra. Sara A. Quiroz B. por su valiosa confianza y su infinita paciencia. Gracias por haberme hecho parte de este proyecto tan importante y por ser mi guía y mi apoyo.

A la Dra. Gloria Alencáster Y. por sus importantes opiniones y por el apoyo brindado a este trabajo.

Al Dr. Francisco Sour T. por su ayuda brindada en el campo, por la revisión del manuscrito y los acertados comentarios para el mismo.

Al Biól. Luis Chávez G. por la revisión y las valiosas sugerencias que me permitieron enriquecer este trabajo.

A la M. en C. Leonora Martín M. por sus comentarios tan importantes y por la asesoría en el corte de ejemplares y la elaboración de láminas delgadas que son parte fundamental de este trabajo.

A la M. en C. Itzia Nieto por la asesoría en la elaboración de peels y por la ayuda brindada en el campo.

Al Biól. Héctor Hernández C. por las fotografías y a Rosendo Martínez por la elaboración de dibujos que forman parte de esta tesis. Muchas gracias a ambos por su magnífico trabajo.

A la M. en C. Mayumi Rodríguez del Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería por el análisis mineralógico de las láminas delgadas.

Al Act. Francisco Delgado por la ayuda brindada para realizar los análisis estadísticos que forman parte de esta tesis.

A mi madre, Mercedes Ruiz, y a mi hermano, Rodrigo Escalante, por apoyarme en todos los proyectos importantes de mi vida.

A la DGAPA de la UNAM a través del proyecto PAPIIT IN228803-2, por el apoyo económico para llevar a cabo el trabajo de campo.

A todo el personal del Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias, por ayudarme a resolver mis innumerables dudas y por haberme formado en la disciplina de la Paleontología.

Infinitas gracias a todos.

Ustedes me dicen, entonces, que tengo que perecer  
como también las flores que cultivé perecerán.  
¿De mi nombre nada quedará,  
nadie mi fama recordará?  
Pero los jardines que planté, son jóvenes y crecerán...  
Las canciones que canté, ¡cantándose seguirán!

Huexotzíncantzin  
Príncipe de Texcoco, 1484

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
Hipótesis.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Particulares.....	3
<b>ANTECEDENTES</b> .....	3
Superfamilia Trigoniacea.....	3
Familia Trigoniidae .....	7
Trigonias de la Formación San Juan Raya .....	7
<b>MORFOLOGÍA GENERAL DEL GRUPO</b> .....	9
Charnela.....	9
Modificaciones del manto.....	12
Pie.....	14
Músculos.....	14
Forma de la concha.....	15
<b>MODO DE VIDA</b> .....	16
Forma de enterramiento.....	17
<b>PALEOBIOGEOGRAFÍA</b> .....	20
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	21
Ubicación Geográfica.....	21
Marco Geológico.....	22
Formación San Juan Raya.....	22
Localidad de estudio.....	24

<b>METODOLOGÍA</b> .....	26
Trabajo de campo.....	26
Trabajo de laboratorio.....	26
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	27
Análisis paleobiológico.....	28
Excavadores semi-infaunales.....	28
Dentición.....	28
Estructura superficial de la concha.....	29
Hábitos de vida.....	29
Adaptaciones al hábito excavador.....	29
Tipo y distribución de epibiontes.....	30
Fauna asociada.....	32
Análisis tafonómico .....	33
Análisis mineralógico.....	35
Implicaciones ambientales.....	37
<b>CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	41
<b>ANEXOS</b> .....	48
I. Técnica para elaborar un <i>peel</i> .....	48
II. Técnica para elaborar una lámina delgada.....	49

## **LÁMINAS**

## RESUMEN

Este trabajo comprende el estudio del bivalvo *Pterotrignia plicatocostata* (Nyst y Galeotti, 1840) de la Formación San Juan Raya (Aptiano), en el estado de Puebla. Incluye el análisis paleobiológico sobre los hábitos de vida, las adaptaciones adquiridas para el hábito excavador, las relaciones con otros fósiles (epibiontes) y la morfología tan característica de la especie.

Los análisis paleobiológico, tafonómico y mineralógico proveen de información elemental sobre el lugar de depósito y las condiciones bajo las que se dieron el sepultamiento y la preservación de las trigonias; el análisis sobre el ambiente indica que fueron habitantes de un mar poco profundo y de aguas bien oxigenadas.

Este trabajo es un aporte para el estudio y conocimiento de la fauna de la Formación San Juan Raya, el cual se espera que sea de gran utilidad para trabajos posteriores.



## INTRODUCCIÓN

Las trigonias son un grupo de moluscos bivalvos que están bien representadas en el registro geológico, ya que durante la Era Mesozoica tuvieron una amplia distribución geográfica y sus poblaciones fueron muy numerosas. Como parte de este registro se encuentra una gran cantidad de trigonias en la Formación San Juan Raya, lo cual representa un excelente objeto de estudio para contribuir al conocimiento sobre la paleobiología del grupo.

Existen numerosos trabajos sobre los fósiles de la Formación San Juan Raya, pero hasta mediados del siglo pasado las contribuciones consistieron en listados que no habían sido formalizados y que fueron considerados como *nomina nuda* (Alencáster, 1956). Las trigonias fueron descritas brevemente por Nyst y Galeotti (1840). Posteriormente Müllerried (1934) amplió la descripción de la especie presente en la Formación San Juan Raya y más tarde Alencáster (1956) realizó una descripción completa de la especie, como parte de una monografía de los bivalvos y gasterópodos de esta formación. Sin embargo, no existen trabajos posteriores en los que se profundice su estudio.

Debido a esto, y gracias a la óptima preservación y a la abundancia de ejemplares de trigonias conservadas en el área comprendida entre San Juan Raya y Santa Ana Teloxtoc en el estado de Puebla, en este trabajo se plantea la posibilidad de realizar un estudio más detallado sobre los aspectos paleobiológicos que incluyeran el análisis de la morfología funcional y el modo de vida de dichos bivalvos, lo que permitirá comprender su relación con el ambiente en que se desarrollaron.

Cabe mencionar que las trigonias presentan buen estado de conservación, son sumamente abundantes y se encuentran articuladas, con las valvas cerradas, sin señales de erosión ni de transporte. Estos organismos presentan epibiontes y su análisis será de suma importancia para determinar si las relaciones que mantuvieron fueron en vida o después de la muerte de las trigonias. Asimismo, este estudio permitirá comprender la causa de la abundancia y del estado de conservación, así como los hábitos de vida de estos organismos.

### Hipótesis

La abundancia, buena conservación y articulación de las valvas de los ejemplares de trigonias de la Formación San Juan Raya, indican que estos organismos fueron sepultados durante eventos rápidos de sedimentación, lo que evitó el retrabajo de las valvas y facilitó a su vez la conservación de otros organismos que formaron parte de la

misma comunidad, hipótesis que se corroborará o no en este trabajo con el análisis paleobiológico y tafonómico.

### **Objetivo General**

Comprender las implicaciones tafonómicas, paleobiológicas y ambientales de la presencia de trigonias en la Formación San Juan Raya.

### **Objetivos Particulares**

- Realizar interpretaciones paleobiológicas de las trigonias a partir de su morfología funcional, haciendo comparaciones con los representantes actuales de este grupo.
- Establecer la relación de los epibiontes asociados a las trigonias.
- Analizar algunos aspectos tafonómicos relacionados con la conservación de las conchas como son: el grado de retrabajo, el tipo de asociación y las alteraciones diagenéticas.
- Conocer, aprender y aplicar los conceptos, técnicas y metodologías relacionadas con el estudio de estos fósiles.

## ANTECEDENTES

### Superfamilia Trigoniacea

Los Trigoniacea constituyen un grupo que ha permanecido aislado morfológica y filogenéticamente al menos desde el Silúrico Tardío. Durante el Devónico y el Carbonífero presentaron una estabilidad en el medio que habitaban, seguida de una radiación que ocurrió durante el Pérmico Temprano (Leonardiano-Artinskiano) con el origen de varias líneas evolutivas que desarrollaron ornamentación y rasgos charnelares bien definidos. La diversidad de este grupo disminuyó en el Pérmico Tardío y su radiación aumentó durante la Era Mesozoica, decayendo abruptamente al final del Cretácico Tardío (Maastrichtiano), lo que coincidió con la extinción masiva de gran parte de la biota del planeta (Newell y Boyd, 1975) (Figura 1). Ambas extinciones disminuyeron el número de Trigoniacea, quedando solamente dos géneros vivos.

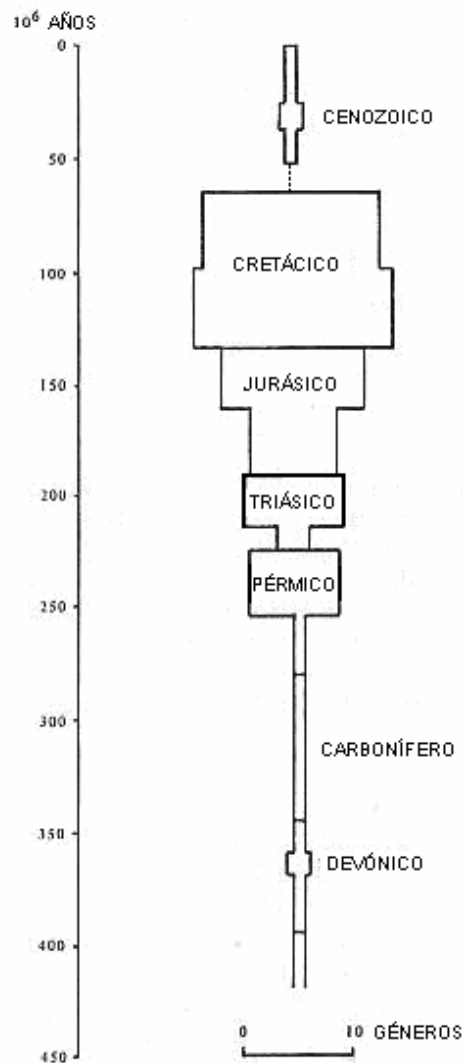


Fig. 1. Diversidad genérica de los Trigoniacea a través de su historia. Nótese el declive al término del Cretácico, sobreviviendo únicamente dos grupos a esta extinción masiva. Modificado de Newell y Boyd, 1975.

De acuerdo con Newell y Boyd (1975), los miembros de la Superfamilia Trigoniacea se caracterizan porque:

- Son libres, en su mayoría vágiles.
- Presentan simetría bilateral y son isomiaros.
- Tienden a ser de forma trigonal u ovoide con una extremidad posterior relativamente angosta y la anterior semicircular.
- La mayoría, excepto algunas formas del Paleozoico Superior, son asifonados, con los márgenes del manto completamente libres bajo el istmo dorsal.
- Los representantes actuales son filtradores filibranquiados.
- El ligamento es externo, parivincular y opistodético.
- Los dientes charnelares son fuertes, estables y se componen de dos o tres elementos radiales en cada valva.
- La constitución calcárea original de la concha, hasta donde se sabe, es completamente de aragonita y comúnmente prismática-nacarada.

La clasificación tradicional (Cox *et al.*, 1969) reconoce dos familias principales de trigonáceos: los Myophoriidae (Silúrico Superior-Jurásico Superior) y sus descendientes los Trigoniidae (Triásico Medio-Reciente). En su clasificación, Newell y Boyd (1975) sitúan al género paleozoico dominante *Schizodus* (Silúrico Superior-Pérmico Superior) en una nueva familia monogenérica, Schizodiidae, y también separan a otros taxa de los Myophoriidae. En ésta última clasificación los Myophoriidae y los Trigoniidae se remontan al Pérmico (Figura 2).

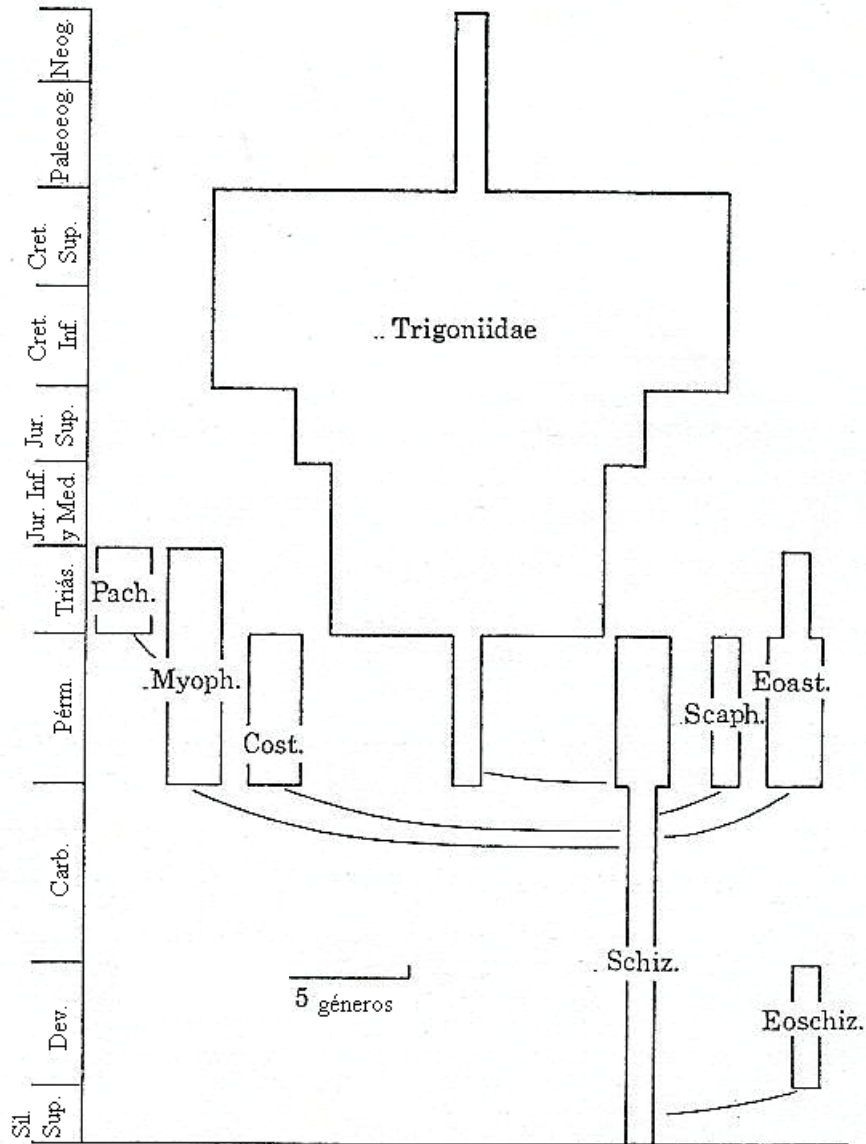


Fig. 2 Diversidad genérica de las familias de los Trigoniacea. Las familias se encuentran representadas por abreviaturas: Pachycardiidae (Pach.), Myophoriidae (Myoph.), Costatoriidae (Cost.), Schizodiidae (Schiz.), Scaphellinidae (Scaph.), Eoastartidae (Eoast.), Eoschizodidae (Eoschiz.). La taxonomía es de Newell y Boyd (1975) y los datos genéricos son de Cox *et al.* (1969) y Newell y Boyd (1975). Tomado de Stanley, 1977.

### Familia Trigoniidae

Los trigónidos no solamente presentan gran abundancia en el registro fósil, sino que también se caracterizan por poseer un tamaño corporal grande (casi 70 mm de altura), una dentición compleja y una ornamentación pronunciada en la superficie de la concha. Aparecieron en las etapas primarias del mar de Tethys y fueron los bivalvos excavadores de aguas someras más diversos y conspicuos del Jurásico y del Cretácico Temprano (Stanley, 1977).

Durante el Cenozoico, pocos trigónidos sobrevivieron en aguas templadas de la plataforma continental de Australia, quedando representados por los géneros *Eotrigonia* (Eoceno Inferior-Mioceno) y el género sobreviviente *Neotrigonia* (Mioceno-Reciente) con siete especies actuales (*N. margaritacea* Lamarck, *N. lamarckii* Gray, *N. uniophora* Gray, *N. strangei* Adams, *N. gemma* Iredale, *N. bednalli* Verco, *N. sp.*) que se conocen para Australia, Nueva Zelanda y Nueva Guinea (Skwarko, 1967; Gould y Jones, 1974; Darragh, 1986).

Los estudios sobre trigónidos comenzaron desde el siglo XVII a nivel mundial. Desde entonces han sobresalido estudios taxonómicos y sólo recientemente algunos autores han trabajado aspectos sobre su ecología y evolución, entre los que desatacan Tevesz (1975), Stanley (1977), Saul (1978), Tashiro y Matsuda (1988), Kelly (1995) y Francis y Hallam (2003).

### **Trigonias de la Formación San Juan Raya**

La especie presente en la Formación San Juan Raya es *Pterotrigonia plicatocostata* Nyst y Galeotti, 1840 (Figura 3). El género *Pterotrigonia* tiene un alcance estratigráfico del Jurásico Superior al Cretácico Superior. A continuación se transcribe la descripción de esta especie, de acuerdo a Alencáster (1956), tomando como base la clasificación de Newell (1965):

Phylum MOLLUSCA  
Clase BIVALVIA Linnaeus, 1758  
Subclase PALEOHETERODONTA Newell, 1965  
Orden TRIGONIOIDA Dall, 1889  
Superfamilia TRIGONIACEA Lamarck, 1819  
Familia TRIGONIIDAE Lamarck, 1819  
Género PTEROTRIGONIA van Hoepen, 1929

*Pterotrigonia plicatocostata* (Nyst y Galeotti, 1840)

*Trigonia plicatocostata* Nyst y Galeotti, 1840, p. 212, fig. 1; Buch, 1850, p. 385; d'Orbigny, 1850, p. 240; Deshayes, 1853, p. 261; Meek, 1864, p. 9; Boyle, 1893, p. 288; Douvillé, 1898, p. 386; Aguilera, 1906, (Tabla); Decke, 1925, p. 222; Müllerried, 1934, p. 56, figs. 30-32; Alencáster, 1956, p. 14. figs. 1 y 2.

*Lyrodon plicatocostata* (Nyst y Galeotti), Bronn, 1848, p. 688, 1281.

“Concha grande inequilateral, equivalva, en forma de media luna con la mitad anterior muy inflada, comprimida gradualmente hacia la mitad posterior; margen dorsal cóncavo ligeramente, margen antero-ventral redondeado, margen posterior truncado, margen ventral convexo. Umbones en el extremo anterior, prominentes, elevados, con ápice agudo inclinado hacia atrás. Escudo ancho y cóncavo ligeramente, carina marginal y carina del escudo salientes en la región umbonal y muy bajas en la región posterior, con un surco profundo y estrecho entre ellas; área muy angosta, lisa, sólo con líneas de crecimiento. Ornamentación de costillas salientes, angulares, variando en número de 27 a 32, subconcéntricas en la región umbonal y ligeramente sigmoidales en los flancos, la curvatura inferior, que ocupa la mayor parte del flanco, es cóncava hacia al región anterior. Escudo cubierto por costillas angostas y redondeadas, de 20 a 25, con curvatura cóncava hacia adelante. Costillas atravesadas por bandas transversales salientes, angostas, que en la cresta de la costilla forman nudos. Un ejemplar promedio mide 69.5 mm de altura, 98.0 mm de anchura y 59.0 mm de biconvexidad.”

En el mismo trabajo de Alencáster (1956) se hacen varias consideraciones importantes con relación a la sistemática de esta especie: “von Buch (1850, p. 385) consideró a *Trigonia plicatocostata*, *T. crenulata* Lamarck, *T. thoracica* Morton y *T. toayama*. Lea como sinónimos de *T. alaeformis* Sowerby. Lycett (1879) demostró que la forma mexicana pertenece a una especie distinta, y señaló las diferencias, colocándola en el grupo “scabrae” de Agassiz (Lycett, 1879, p. 131, 229). Se resalta la semejanza de *T. plicatocostata* con la especie *T. scabricola* del Cretácico Inferior de Inglaterra (op. cit., p. 130, lám. 27, figs. 4. 5)”.

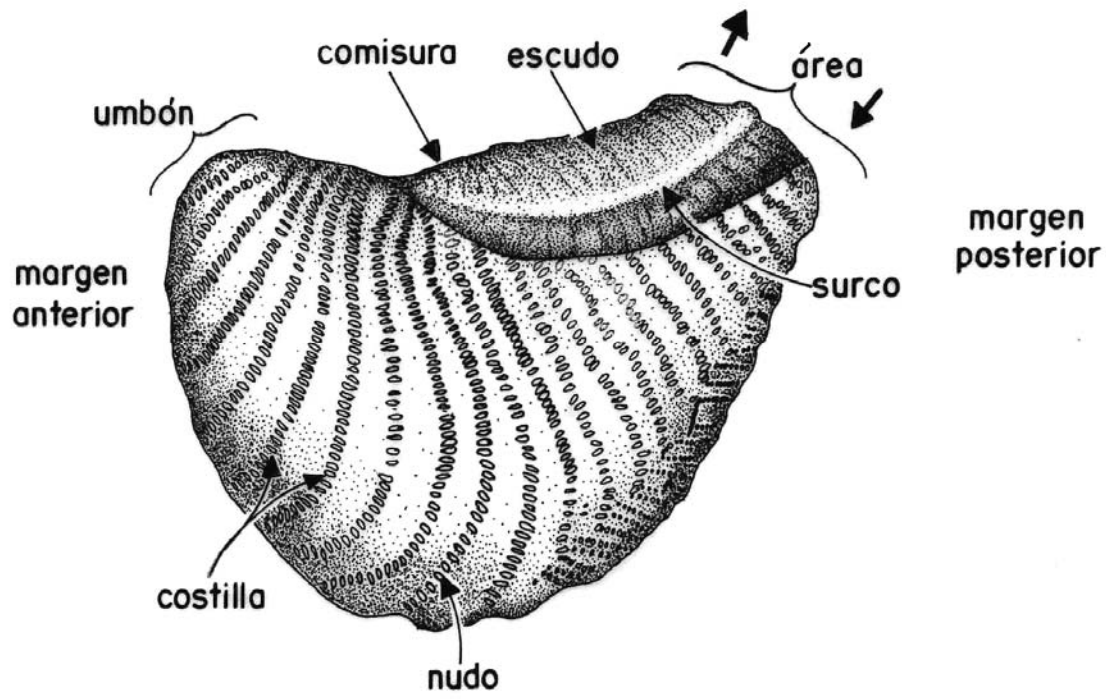


Fig. 3. Morfología externa de *Pterotrigonia plicatocostata* (1X).



## MORFOLOGÍA GENERAL DEL GRUPO

### Charnela

La charnela de estos organismos se compone de un mecanismo de apertura, un ligamento y los dientes. El ligamento se sitúa entre las ninfas detrás de los umbones (opistodético) y su forma es similar a una C encorvada (parivincular) (Figura 4). En algunas especies las ninfas son muy cortas y otras son relativamente largas. El largo de las ninfas en restos fósiles proporciona información sobre el tamaño del ligamento y también puede ser un indicador de la fuerza del movimiento de apertura.

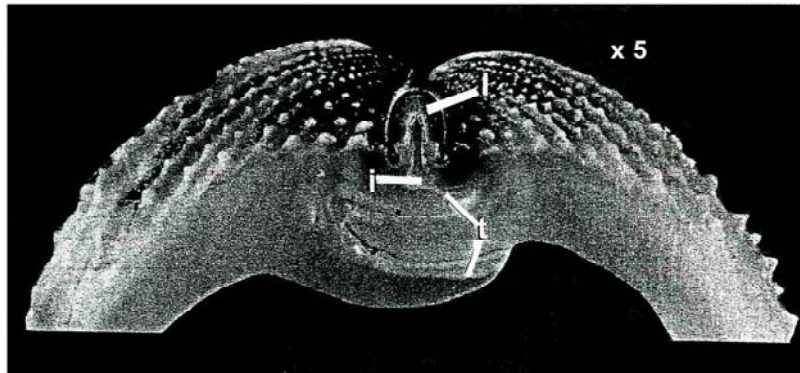


Fig. 4. Valva de *Neotrigonia margaritacea* (Lamarck). Sección vertical detrás de los umbones mostrando la relación del ligamento (l) hacia el istmo del manto (i) y los dientes (t). Tomado de Newell y Boyd, 1975.

Dentro de la charnela se ubican dos o tres dientes en cada valva, generalmente dos en la derecha y tres en la izquierda y los grados de organización entre ellos se dan de acuerdo al arreglo que tienen en los umbones. Los dientes laterales pueden o no estar bien diferenciados, y en algunos casos son dientes cardinales modificados. Incluso, estos dientes tienden a extenderse por debajo del ligamento y se unen a otro diente de la carina, formando un borde. El diente mediano de la valva derecha es grande y en todos los trigónidos post-Triásicos se divide de manera notoria en dos elementos divergentes, por eso estos bivalvos se conocen como esquizodontos.

Los dientes son proporcionalmente más alargados y van adquiriendo características dependiendo del tiempo geológico en el que se sitúan (Newell y Boyd, 1975). De los tres **grados charnelares** principales de los Trigoniacea (trigónido, miofórido y esquizodonte), el grado más avanzado es el de trigónido, que posee estriaciones que se conocen como pectinadas (en forma de peine), y es el que se presenta en los Myophoriidae, los Costatoriidae y los Trigoniidae (Figura 5).

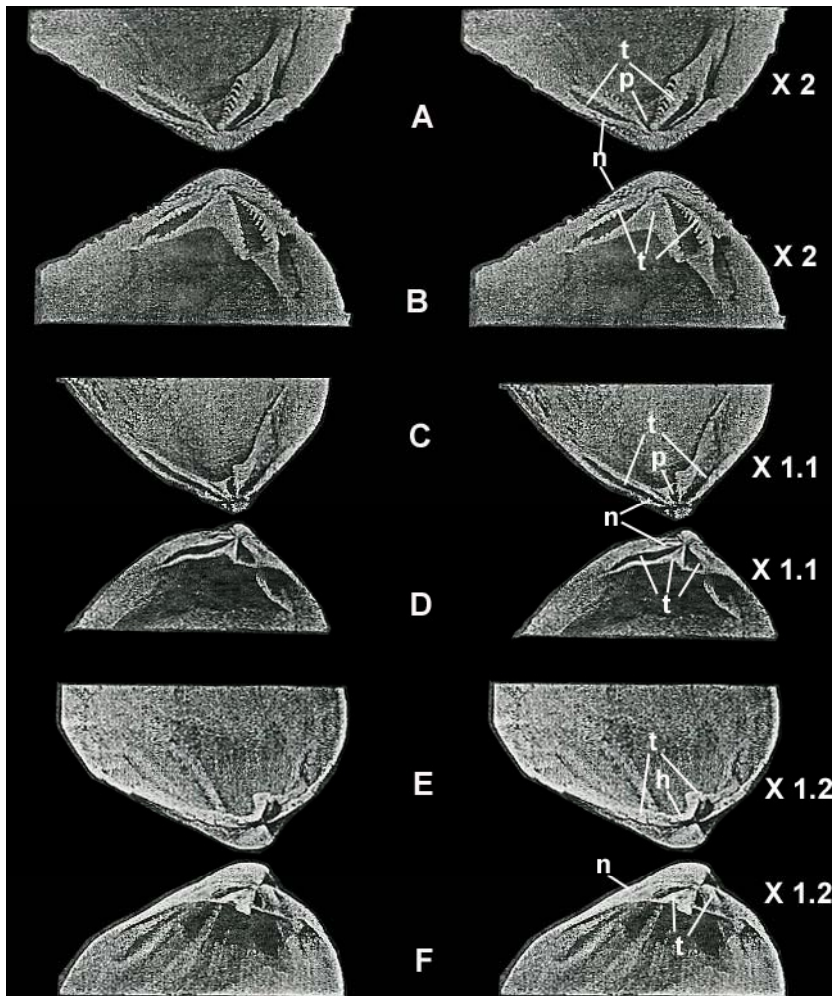


Fig. 5. Morfología comparativa de los tres grados charnelares en los Trigoniacea. A, B. Grado trigónido; dientes estriados o pectinados (en géneros post-triásicos). C, D. Grado miofórido; dientes generalmente sin estriaciones (en géneros del Pérmico y Triásico). E, F. Grado esquizodonte (en géneros del Carbonífero y Pérmico). Abreviaturas: h, hiatus en la placa charnelar; n, ninfa; p, plataforma umbonal; t, dientes. Tomado de Newell y Boyd, 1975.

Newell y Boyd (1975) proponen una fórmula para resaltar los atributos de las charnelas de los trigónidos, en donde las letras mayúsculas son para los elementos dentales mayores y las minúsculas para indicar elementos menores pero persistentes. La valva derecha se denota como RV, la izquierda como LV y la ninfa como n. En la mayoría de los casos, el diente medio izquierdo deja un valle profundo o canal en la superficie umbonal, esto se indica como una V invertida. Por lo tanto, la notación para un trigónido queda como:

	RV	n o   0   0	
Posterior	LV	n i 0 Λ 0	Anterior

La charnela de los trigónidos tiene dos dientes principales en la valva derecha y tres en la izquierda. El diente más grande de la valva izquierda es ancho y conspicuo y tiene la forma de techo de dos aguas o chevron, con dos bordes separados por un canal más bajo. A la par de estos dientes se encuentran los alvéolos en los que embonan y éstos también tienen estriaciones. Lo anterior provoca que el cierre de las valvas sea muy fuerte y, por lo tanto, si se ejerce mucha presión al momento de querer separarlas, éstas llegan a romperse.

En muchas especies y géneros, el alvéolo central de la valva derecha y los dientes adyacentes están parcialmente ligados por una plataforma inferior de la placa charnelar en el umbón, o la plataforma puede estar ausente (hiatus) y los dientes están unidos directamente al piso de la valva (Newell y Boyd, 1975).

La evidencia fósil indica que la dentición de tipo trigónido surgió en el Mesozoico (Newell y Boyd, 1975), y una vez que este carácter se estableció, casi no ha sufrido cambios hasta la actualidad.

### **Modificaciones del manto**

Tomando en cuenta a los representantes actuales, se han hecho estudios que describen las partes blandas de los trigónidos (Tevesz, 1975; Villamil *et al.*, 1998).

Las trigonias carecen de sifones y el paso de corrientes inhalantes y exhalantes se efectúa únicamente por la fusión parcial del margen del manto, por lo que son organismos excavadores poco profundos.

La separación de las corrientes inhalante y exhalante en *Neotrigonia* es realizada por un par de canales radiales opuestos de los lóbulos del manto, en conjunto con el canal palial que se encuentra detrás y debajo de las branquias. Cuando los dos canales paliales se comprimen juntos, dividen la cámara del manto en dos compartimentos: el branquial y el efluente (Newell y Boyd, 1975). La formación de estos compartimentos permite el intercambio respiratorio en las trigonias (Figura 6).

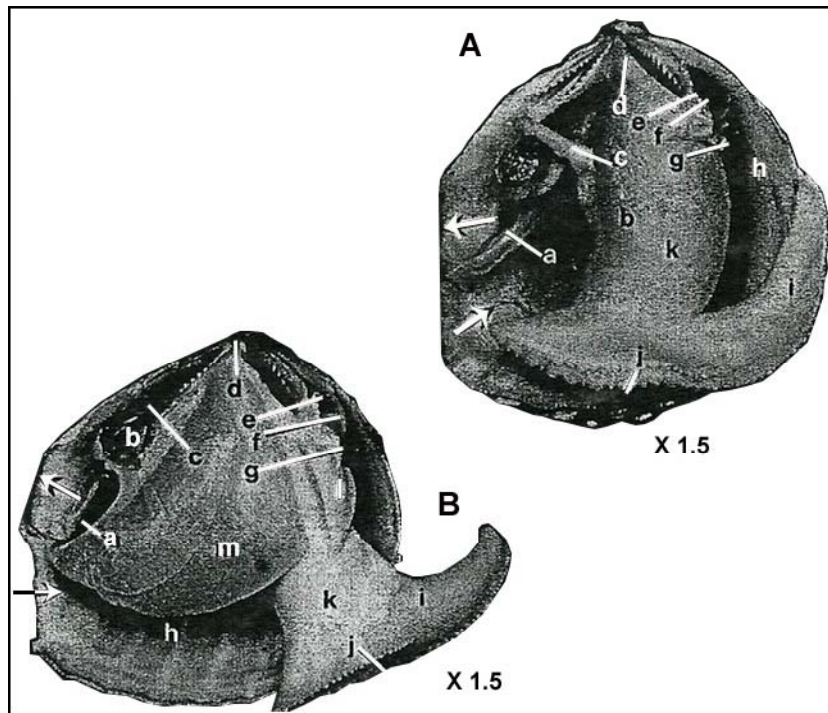


Fig. 6. *Neotrignia margaritacea* (Lamarck). Dos individuos sin la valva derecha. A. El ejemplar sin branquias ni palpos. B. El ejemplar se muestra intacto. Las flechas indican la dirección de las corrientes respiratorias. Abreviaturas: a, eje de las placas branquiales; b, músculo posterior abductor por debajo del recto; c, músculo posterior retractor; d, elevador; e, músculo anterior retractor; f, músculo anterior abductor; g, músculo protractor; h, manto; i, porción anterior del pie; j, planta del pie; k, tronco del pie con los órganos viscerales; l, palpo labial; m, placas branquiales; n, canal palial del manto que separa las corrientes de agua inhalante y exhalante. Tomado de Newell y Boyd, 1975.

Los trigónidos son organismos filtradores, y además son filibranquiados con dos demibranquias: la interior que es pequeña y la exterior que es un poco más extensa; el margen ventral de cada demibranquia está acanalado. Las lamelas descendentes están unidas dorsalmente por un eje, mientras que las ascendentes se encuentran libres (Newell y Boyd, 1975).

## Pie

El pie tiene forma de T asimétrica (Stanley, 1977). La función principal de esta estructura es proveer al bivalvo de una herramienta útil para enterrarse en el sedimento. Newell y Boyd (1975), así como Stanley (1977), sugieren que la forma particular del pie le confiere al bivalvo la capacidad de “saltar”. Tevesz (1975) explica que el pie de los trigónidos le da un movimiento especial que puede ser considerado como un salto, sin embargo, aclara que a pesar de la gran masa muscular que representa el pie y la fuerza

que puede adjudicársele, no es posible que se realice este movimiento a menos que el bivalvo se encuentre en un sustrato firme, lo cual no ocurre.

## Músculos

El músculo abductor posterior es un poco más largo y más circular que el músculo abductor anterior. Los dos se ubican cerca del margen de la concha y el anterior está cerca del umbón (Figuras 6 y 7). En formas primitivas ambos músculos tienen forma de riñón. Los músculos protractores son los que se utilizan para extender el pie y se localizan bajo el músculo abductor posterior.

Las trigonias poseen cuatro pares de músculos pedales insertados en cavidades que se encuentran en el interior de la parte dorsal de la concha: dos se encuentran en posición anterior, uno en posición media y el restante en posición posterior. Los músculos pedales retractores se utilizan para extender al pie, son relativamente grandes y planos y se insertan por arriba del músculo abductor anterior (Newell y Boyd, 1975).

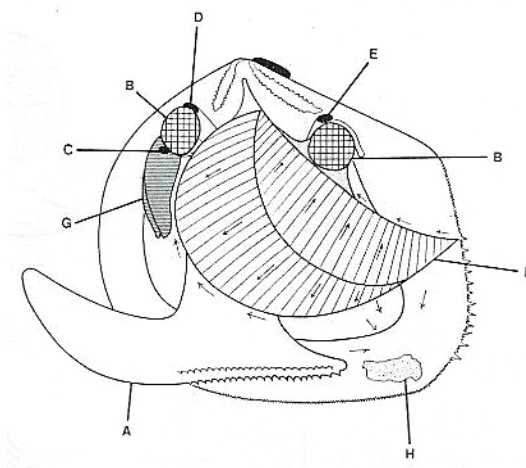


Fig. 7. Caracteres internos de *Neotrigonia gemma*: A, pie; B, músculos abductores; C, D, músculos pedales anteriores; E, músculo pedal posterior; F, ctenidios; G, palpos; H, pseudoheces. Las flechas indican la dirección de los tractos ciliares. Tomado de Tevez, 1975.

## Forma de la concha

Si bien los trigónidos adquirieron su nombre gracias a la forma de su concha, ésta puede describirse como subovoide, con el margen anterior semicircular, con el cuerpo levemente alargado y en forma cónica y por lo general truncada oblicuamente en el margen posterior. En algunas especies la concha está inflada. Las conchas son opistogiras; con lúnula poco desarrollada o ausente; con escudete amplio delimitado por una carina, que está bien definida por el canal diagonal (Newell y Boyd, 1975).

Las conchas de los trigónidos tienen ornamentaciones distintivas que pueden diferenciarlas de otros bivalvos dependiendo del tiempo geológico en el que se sitúen, ya que van desde ornamentaciones radiales, plicadas y tangenciales, hasta la combinación entre éstas, produciendo así diferentes esculturas. También cuentan con arreglos de nudos, tubérculos, espinas cortas y canales, los cuales forman diferentes patrones que caracterizan a cada género.

Sin, embargo, puede haber especies que presenten discordancias con el crecimiento concéntrico radial o algunas que ni siquiera se acerquen a este tipo de crecimiento. Las ornamentaciones discordantes sólo pueden formarse por la migración tangencial de sitios de secreción hacia el margen del manto (Stanley, 1977). Asimismo, este autor propone que la ornamentación discordante puede estar ligada a la forma opistogira, la cual se presenta comúnmente en trigónidos del Mesozoico.

En el caso de *Pterotrignia*, se encuentran ornamentaciones concéntricas en organismos juveniles. que después cambian a costillas tangenciales u oblicuamente radiales en individuos maduros (Newell y Boyd, 1975).

## MODO DE VIDA

Por ser asifonados, los trigónidos son excavadores poco profundos y de sustrato suave. La especie *Neotrigonia margaritacea* de Western Port, Australia se encuentra en fondos marinos ocupando un intervalo de 10 a 20 m de profundidad, en donde las corrientes marinas alcanzan una velocidad de hasta 9 km/h, por lo que es de energía media. El sustrato en el que se encuentra *N. margaritacea* es de arena fina y lodosa, la cual está sujeta a movimiento frecuente, por lo que casi siempre quedan expuestas algunas conchas (Francis y Hallam, 2003).

La evidencia fósil permite asegurar que, a lo largo de su historia, las trigonias no ocuparon un mismo ambiente y fueron capaces de adaptarse a zonas con características sedimentarias diferentes. Stanley (1977) pone de manifiesto que actualmente las trigonias son habitantes de aguas someras con sedimentos de grano grueso, incluyendo ambientes oolíticos y ambientes de energía media a alta. Pero en el pasado algunas especies también se adaptaron a vivir en ambientes de baja energía, como sustratos lodosos o arcillosos (Francis y Hallam, 2003).

El registro paleontológico de este grupo indica que muchas especies son capaces de ocupar diferentes ambientes con características variadas. Stanley (1977) estudió *Pterotrigonia* sp. en la Formación Oeste de Austin, Texas del Albiano. Los fósiles se encontraron en una calcarenita subyacente a una limolita oolítica. Las dos facies han sido interpretadas como un ambiente somero muy agitado (Moore, 1964). Además de estos fósiles, otros de la misma superfamilia han sido encontrados en facies oolíticas, en facies de areniscas y areniscas calcáreas, así como en sustratos lodosos (Stanley, 1977).

### Forma de enterramiento

Para entender la locomoción, o la manera en la que una trigonia se entierra, Tevesz (1975) estudió a *Neotrigonia gemma*. Él observó que al cabo de 2-3 minutos en un tanque de laboratorio, el bivalvo seguía la siguiente secuencia de enterramiento (Figura 8):

- (1) El pie se extiende anteriormente y se mete hacia abajo, la punta se expande para anclarse al sedimento.
- (2) Fuertes contracciones de los músculos del pie jalan al animal verticalmente; la concha entra al sedimento.
- (3) El enterramiento procede diagonalmente y sigue hacia abajo por tres o cuatro movimientos del pie.

- (4) El enterramiento para y el pie se retrae cuando el margen posterior está aproximadamente al nivel de la superficie del sedimento.

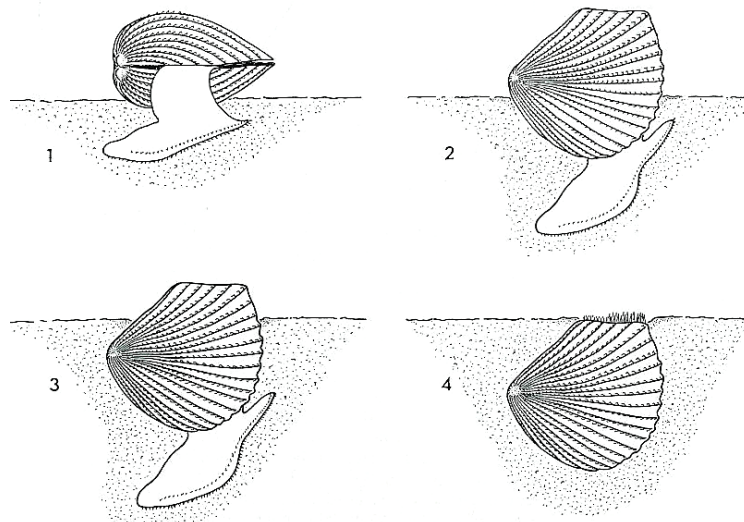


Fig. 8. Cuatro etapas de la secuencia de enterramiento de *Neotrigonia gemma*. Tomado de Tevesz, 1975.

Se observó que el pie actúa de manera muy eficiente durante el enterramiento, ya que es el que inicia esta secuencia. Además, la fuerte dentición es la que permite mantener las valvas alineadas al momento de que la trigonia comienza a excavar, y resiste las fuerzas de torsión que se generan en el movimiento y que se crean por amplios ángulos de apertura con el sedimento, debido a la proyección del pie (Francis y Hallam, 2003).

Antes de que Tevesz (1975) estudiara la manera en que los trigónidos se enterraban tomando como modelo a *Neotrigonia margaritacea* y *N. gemma*, Stanley (1970) estudió este mecanismo de enterramiento con *Mercenaria mercenaria* y otros bivalvos, llegando ambos a la misma conclusión, es decir, los bivalvos enterradores utilizan el pie para abrirse camino en el sedimento y las ornamentaciones de la concha son indispensables para facilitar la introducción del organismo al sedimento. Stanley (1977) estudió, además, la relación de la ornamentación con el enterramiento y llegó a la conclusión de que hay mayor eficiencia cuando existe asimetría en las costillas individuales.

La presencia de un pie en forma de T, la fuerte dentición y la ornamentación externa tan marcada, son adaptaciones eficaces para la colonización de ambientes inestables. Además, el grado de funcionalidad y la eficiencia del enterramiento se ven afectados por factores como la forma de los granos, el grado de compactación del sedimento y la profundidad de enterramiento (Francis y Hallam, 2003) (Figura 9).



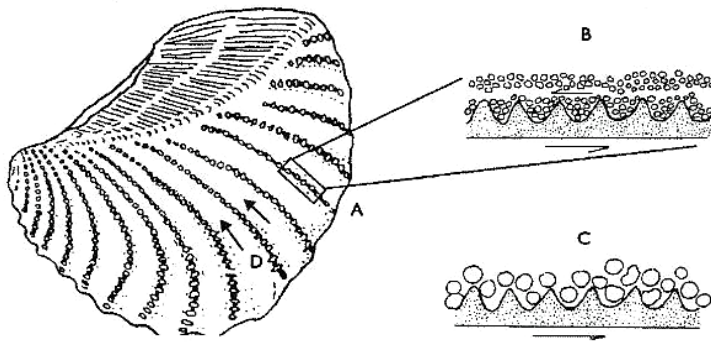


Fig. 9. Comparación de enterramiento de *Myophorella* (A) en sedimento fino (B) o grueso (C). En arena fina, los granos de sedimento se acomodan entre las costas individuales, formando rasgos en forma de costillas, lo que aumenta la eficiencia de enterramiento durante la rotación hacia adelante. El canal intercostal (D) permite que el sedimento se concentre y se mueva libremente durante la rotación hacia adelante. En sedimento grueso los granos son muy grandes para incrementar la eficiencia de costillas tuberculadas. Tomado de Francis y Hallam, 2003.

La posición de vida que adopta un trigónido después de haberse enterrado es en dirección posterior-anterior, con el margen posterior de la concha aproximadamente al nivel de la interfase sedimento-agua (ISA).

Se han inferido diferentes posiciones de vida para los trigónidos, los principales son los siguientes: infaunal con las aperturas inhalante y exhalante enterradas someramente (Kennedy, 1978; Wignall, 1990); marginalmente infaunal con las aperturas paralelas o elevadas muy poco sobre la interfase sedimento-agua (Tashiro y Matsuda, 1988; Stanley, 1977) y semi-infaunales y con 20-50% de la concha y ambas aperturas elevadas sobre la interfase sedimento-agua (Stanley, 1977; Saul, 1978; Kelly, 1995, Villamil *et al.*, 1998) (Figura 10).

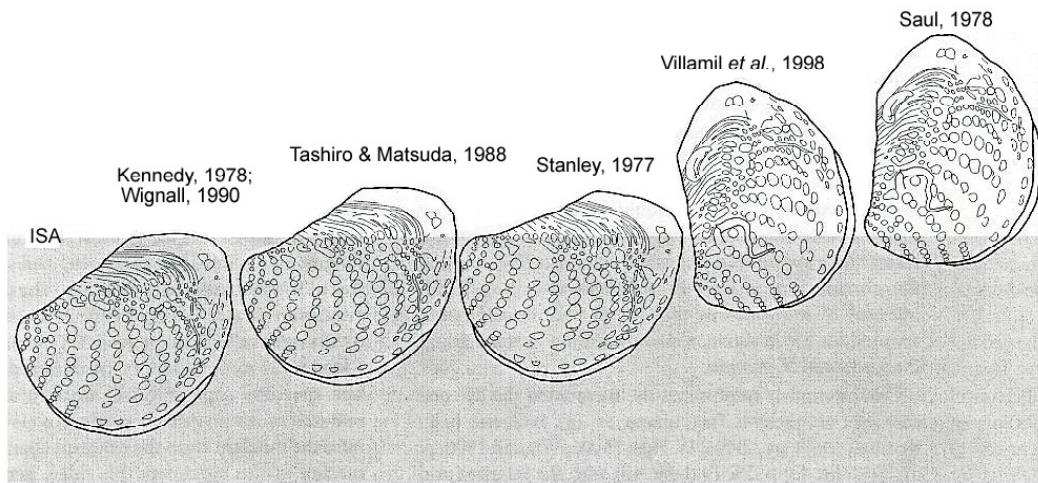


Fig. 10. *Steinmanella* (*Transitotrigonia*) *steinmani*, interpretación por diferentes autores con relación al modo de vida y el grado de enterramiento. Modificado de Villamil et al., 1998.

Tevesz (1975) notó que en ejemplares de *Neotrigonia margaritacea*, un tercio de la parte posterior de las valvas estaba colonizado por algas verdes y otros epibiontes, denotando un modo de vida semi-infaunal. Por su parte, Stanley (1977) confirma estas relaciones, añadiendo esponjas, hidrozoarios, pólipos y serpúlidos a la lista de epibiontes sobre *Neotrigonia margaritacea*.

## PALEOBIOGEOGRAFÍA

En el Cretácico Temprano (Aptiano), el territorio mexicano se encontraba en la parte occidental del dominio de Tethys. Este fue un tiempo en el que se desarrolló un gran número de plataformas continentales (Kauffman, 1973) y en el que la distribución de bivalvos predominó en el dominio de Tethys.

Si bien el género *Pterotrigonia* fue abundante en el mar de Tethys, su distribución geográfica abarcó otras regiones, y Kauffman (1973) lo considera como uno de los más importantes durante el Cretácico, por lo que en los listados del *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N, Bivalvia* (Moore, 1969) se encuentra dentro de los 86 géneros que son considerados cosmopolitas para su tiempo. Actualmente, el género vivo de los Trigoniidae se encuentra restringido a las costas de Australia y Nueva Zelanda.

## **ÁREA DE ESTUDIO**

### **Ubicación Geográfica**

El área de estudio está comprendida entre los poblados de San Juan Raya y Santa Ana Teloxtoc, al Oeste del municipio de Zapotitlán, Estado de Puebla. Forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur; en la zona noroccidental de la Subprovincia de la Meseta de Oaxaca (Barceló, 1978).

Para acceder al área de estudio se toma la carretera Federal 125 partiendo de la ciudad de Tehuacán en dirección a Huajuapán de León. Pasando el poblado de Zapotitlán de las Salinas se toma el camino de brecha que conecta a los poblados de San Juan Raya, Santa Ana Teloxtoc y San Lucas Teteletitlán (Figura 11).

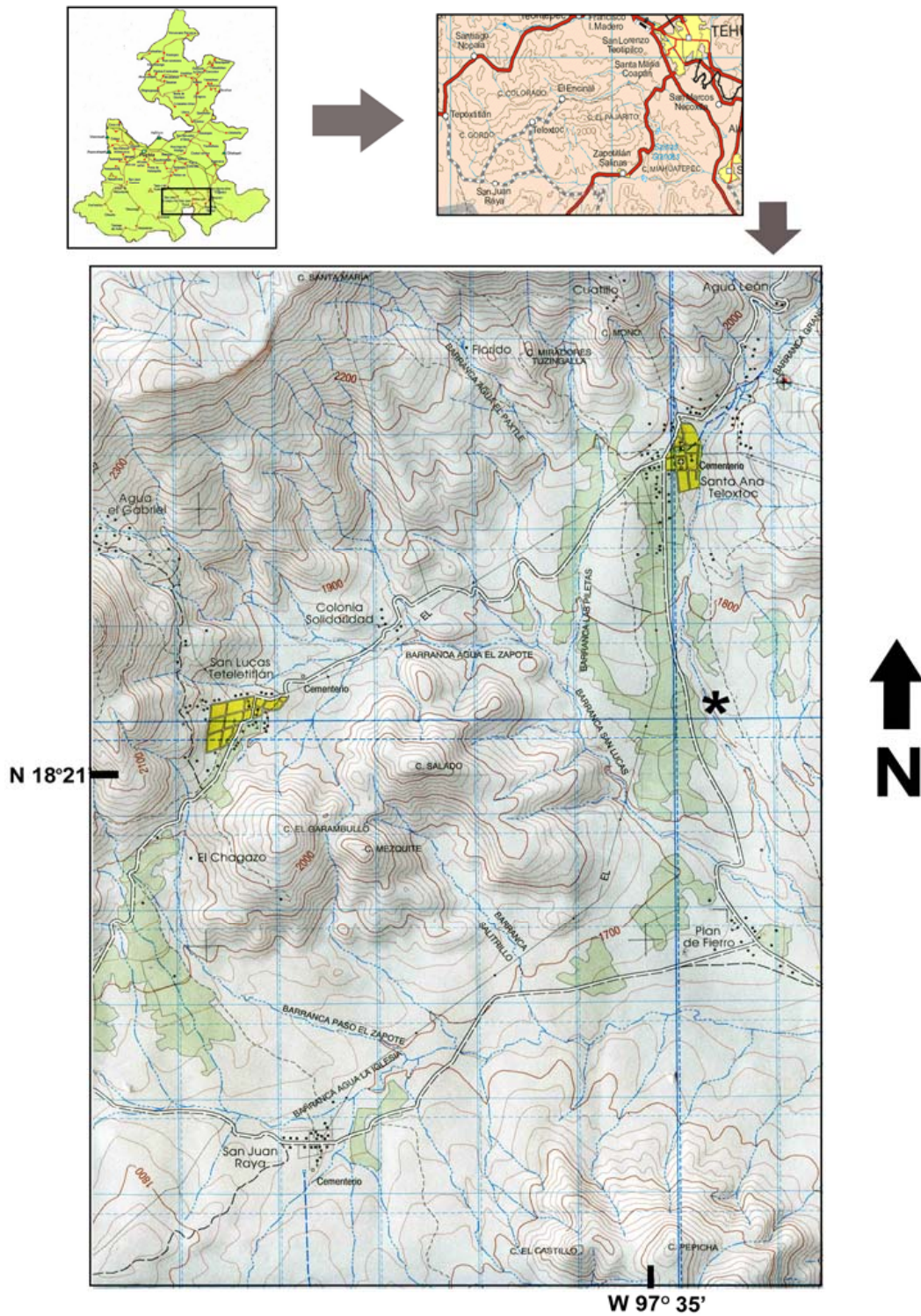


Fig. 11. Mapa del área de estudio. El asterisco indica la ubicación de la localidad. Escala 1:50,000.

### Marco Geológico

Geológicamente, el material estudiado proviene de la Formación San Juan Raya a la que se le ha asignado una edad Aptiana (Aguilera, 1906; Alencáster, 1956, Calderón-García, 1956).

La Formación San Juan Raya subyace discordantemente a la Formación Cipiapa del Albiano-Cenomaniano y sobreyace concordantemente a la Formación Zapotitlán, a la Formación Agua de Burro y a la Formación Agua de Cordero del Barremiano-Aptiano (Navarro-Santillán, 2006).

Barceló (1978) describe las características litológicas de la Formación San Juan Raya, la cual consta de lutita, lutita calcárea y arenisca. 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 encuentran estratos delgados de entre 1 y 5 cm de espesor de lutita calcárea que contiene una gran cantidad de tubos de anélidos. Intercalada con la lutita se encuentra arenisca y arenisca calcárea de color gris y gris verdoso de grano fino a medio, en estratos de 2 a 50 cm de espesor, muy fracturados y con gran cantidad de vetillas de calcita. En ocasiones se presentan bancos de ostras y de corales.

La Formación San Juan Raya se encuentra sumamente plegada y fallada, por lo que es difícil medir una sección en ella, debido a esto, no existe ninguna sección tipo. En el trabajo de Barceló (1978) se describe una sección medida de 138.6 m, a partir de la cual este autor estimó el espesor total de la formación en 800 m. Los datos se tomaron desde la Barranca del Salitrillo hasta el contacto con la Formación Zapotitlán, la cual quedó asentada informalmente como Formación Agua de Burro en el mismo trabajo.

### **Formación San Juan Raya**

La Formación San Juan Raya ha sido objeto de múltiples estudios basados en los fósiles que la caracterizan. Las investigaciones comenzaron en el siglo XIX con Nyst y Galeotti (1840), quienes asignaron una edad Jurásica basándose en los fósiles que encontraron. En 1896, Coquand reasignó una edad del Cretácico Temprano (Aptiano) con base en el estudio de bivalvos ostreidos. Después de estas investigaciones, Aguilera (1906) realizó un estudio geológico y paleontológico del área de Zapotitlán-San Juan Raya entre los años 1882 y 1883 y dio a conocer sus investigaciones en el X Congreso Geológico Internacional. En este trabajo se describen géneros y especies nuevas. Sin embargo, el trabajo no fue formalizado y todas estas especies quedaron como *nomina nuda* (Alencáster, 1956). Además, Aguilera (1906) describe una secuencia de lutita y arenisca de edad Cretácico Temprano a la que denomina San Juan Raya, debido a que aflora en los alrededores de la rancharía que lleva este nombre. A finales del siglo XIX,

Felix y Lenk (1891), realizaron un estudio de la región de Tehuacán y hacen referencia de nuevas especies.

En el siglo XX, Müllerried (1933, 1934) describe la estratigrafía y enlista y describe algunos fósiles como amonites, bivalvos, gasterópodos, corales, equinoides, fragmentos de madera y galerías de anélidos del área de Tehuacán-San Juan Raya.

En 1956 Calderón-García enmendó la propuesta original de Aguilera (1906) y nombró formalmente a las rocas cretácicas del área, incluyendo a la Formación San Juan Raya.

Barceló (1978) estudió la litología, fisiografía, extensión, estructura, relaciones estratigráficas, petrografía, ambientes de depósito, edad y correlación de las rocas, así como la paleontología, para establecer la estratigrafía del área.

Para la segunda mitad del siglo XX, los trabajos relacionados con la paleontología de la Formación San Juan Raya se siguieron desarrollando. Los diferentes restos fosilizados que se encuentran en las rocas que afloran en esta formación han sido una herramienta útil para comprender sus relaciones estratigráficas. Algunos de los grupos estudiados son: bivalvos y gasterópodos (Alencáster, 1956; Buitrón y Barceló-Duarte, 1980); amonites (González-Arreola, 1974); braquiópodos (Hernández-Lascares y Galván-Mendoza, 1990); corales (Reyeros, 1963); equinodermos (Maldonado-Koerdell, 1953; Buitrón, 1968; 1970); foraminíferos y ostrácodos (Segura-Vernis y Rodríguez-Torres, 1972). Feldmann *et al.*, 1995 describen una especie de crustáceo decápodo; Salmones (1994) analizó conchas de bivalvos y gasterópodos juveniles e interpretó aspectos sobre su ontogenia y su ecología, incluyendo cuatro fragmentos de trigonias; García-Barrera *et al.* (1994) estudian las implicaciones paleoambientales de la fauna de crustáceos; Zárte (2003) analizó las implicaciones paleoecológicas y tafonómicas de los bivalvos perforadores de coral; más recientemente Navarro-Santillán (2006) realizó una revisión taxonómica de braquiópodos articulados cretácicos del área y Mora-Almazán (2006) estudió los bivalvos perforadores de madera.

### **Localidad de estudio**

Debido a que la distribución de trigonias en el área es muy amplia y las capas se encuentran plegadas y falladas, se ubicó una localidad en donde la superficie de las capas portadoras se encontrara expuesta, permitiendo observar la disposición vertical y horizontal de los bivalvos estudiados en este trabajo.

La sección estudiada se encuentra en la Barranca Grande, cerca del poblado Santa Ana Teloxtoc, en las coordenadas N 18° 21.426' y W 97° 34.634' (Figura 11). En esa sección, se midió el espesor de las capas y se describieron las mismas. La sección tiene un espesor total de 23.66 m; su base está constituida por lutita gris que intemperiza a verde de 3.70 m de espesor, con bivalvos (predominando las trigonias), escasos corales, tubos de poliquetos, crustáceos, equinoideos irregulares y restos aislados de impresiones de madera; la sobreyace arenisca calcárea de color gris claro que intemperiza a ocre y verde claro de 7.58 m de espesor, en paquetes que miden de 30 cm a 1 metro, en ella se encuentran restos de impresiones de madera; por encima se presenta una lutita poco fósilfera de 12.38 m de espesor que intemperiza a tonos verdes, gris y violáceo (Mora-Almazán, 2006) (Figura 12).



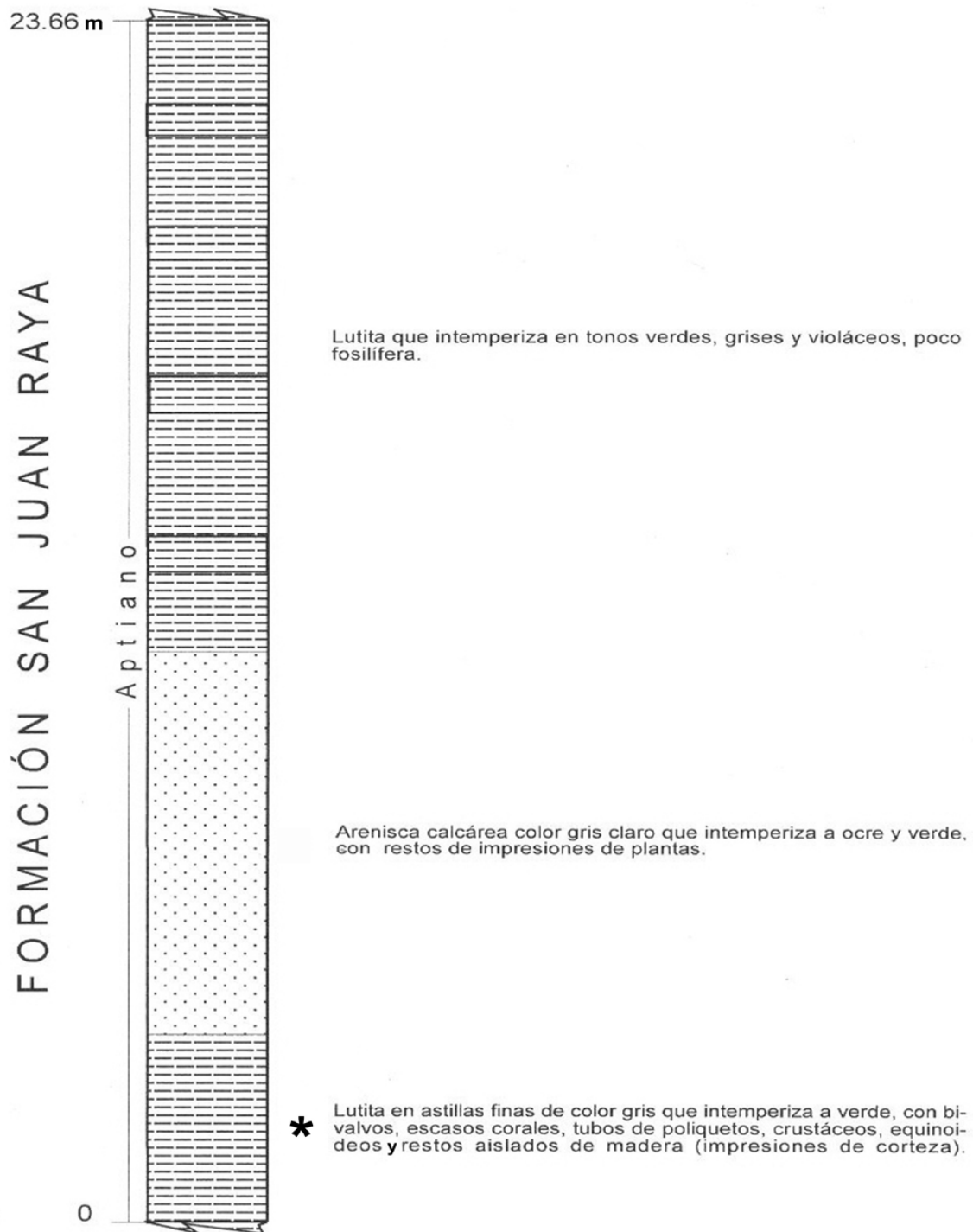


Fig. 12. Columna estratigráfica de la localidad de estudio, en la Formación San Juan Raya. Modificado de Mora-Almazán (2006). El asterisco indica el nivel del que se extrajeron las trigonias.

## **METODOLOGÍA**

La metodología realizada consta de dos partes principales: trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

### **Trabajo de Campo**

Una vez que se encontraron los estratos deseados, se tomó la lectura de las coordenadas del área de trabajo con la ayuda de un geoposicionador global (GPS).

En la sección estudiada se tomaron los datos acerca de la ubicación y características de los estratos, los rasgos tafonómicos que presentan las trigonias, como articulación y fragmentación de las valvas, abrasión, selección, orientación, posición dentro de los estratos y organismos asociados. También se observó la abundancia, distribución y posición de las conchas por m<sup>2</sup>.

Se tomó una muestra de la roca portadora para hacer análisis de laboratorio sobre sus características sedimentológicas y mineralógicas.

### **Trabajo de laboratorio**

Esta parte consistió en registrar 20 ejemplares completos y 5 fragmentos de trigonias recolectados en el campo, en la libreta de entradas del Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCMP), en donde se le asignó un número de entrada a cada ejemplar. En la misma libreta quedaron registrados los datos de campo que le corresponden a cada ejemplar como número de entrada, grupo biológico, colector, fecha de colecta, localidad, formación, edad y observaciones generales. Además, se utilizaron 344 ejemplares provenientes de recolectas anteriores que forman parte de la colección del Museo.

Los ejemplares recolectados en el campo, así como los ejemplares de la colección, se limpiaron para obtener información más detallada sobre la forma y composición de los fósiles. Los fósiles se lavaron con agua corriente para suavizar el sedimento. Sin embargo, el sedimento calcáreo que recubre a los restos dificultó la limpieza, por lo que se utilizó un percutor mecánico. No se llevó a cabo limpieza por medio de ácidos débiles (HCl 10%) debido a la composición de la concha de los ejemplares fósiles, ya que ésta se disolvía (comenzando por las ornamentaciones) y la capa de sedimento persistía.

Se eligieron cinco ejemplares cubiertos por una capa gruesa de sedimento, algunas veces recristalizado, y se cortaron por la mitad en dirección posterior-anterior para la elaboración de *peels*. Esta técnica fue utilizada para conocer la forma de la ornamentación (costillas) y la diferencia de sedimento dentro y fuera del ejemplar.

De los cinco ejemplares cortados, se utilizaron sus valvas izquierdas para elaborar 12 láminas delgadas. Esta técnica consiste en cortar rocas o conchas en pedazos más pequeños y pulirlas hasta que quede una capa muy delgada de sedimento, misma que pueda ser observada al microscopio petrográfico para conocer la composición de minerales dentro y fuera de los fósiles. A partir de las láminas se hicieron análisis sedimentológicos y mineralógicos con algunas trigonias para conocer de qué materiales están compuestas; ambos análisis se realizaron en el Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Las técnicas completas para elaborar *peels* y láminas delgadas se encuentran en los Anexos I y II respectivamente.

También se observó la cantidad y diversidad de epibiontes encontrados en la superficie de las conchas de las trigonias. De igual manera se analizó el patrón de su distribución sobre las conchas de 30 ejemplares, mismo que consistió en realizar una prueba estadística (*t* de Student) para conocer la preferencia de colonización.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en estudios previamente realizados con los representantes actuales de los trigónidos, *Neotrigonia margaritacea* y *N. gemma* (Tevesz, 1975; Stanley, 1977; Saul, 1978; Tashiro y Matsuda, 1988; Kelly, 1995 y Francis y Hallam, 2003) y con los datos obtenidos de *Pterotrigonia plicatocostata* en el campo y en el laboratorio, fue posible llegar a las siguientes aseveraciones:

### Análisis paleobiológico

**Excavadores semi-infaunales.** En los cortes longitudinales de las trigonias y en los *peels* de los mismos, se puede observar un PLIEGUE corto y radial a manera de tabique en la parte posterior interna de las valvas, que debió constreñir al manto en esta zona, separando las corrientes inhalante y exhalante (Lámina 1.1-1.2).

La ubicación del tabique interno produce una división en el margen posterior, que coincide con el surco que divide el área en la superficie externa de la concha (Figuras 3 y 13). Este tabique es característico del género *Pterotrigonia* y su presencia en *P. plicatocostata* sugiere que en vida fue una especie no sifonada y, por lo tanto, sólo pudo excavar a poca profundidad por debajo de la interfase sedimento-agua, y que las aberturas formadas en el margen posterior debieron dejar expuestas a las trigonias a la remoción del sedimento, por lo que éstas debieron elevarse significativamente por arriba de la interfase sedimento-agua (ISA), como sucede con los representantes actuales de este grupo (Figura 13).

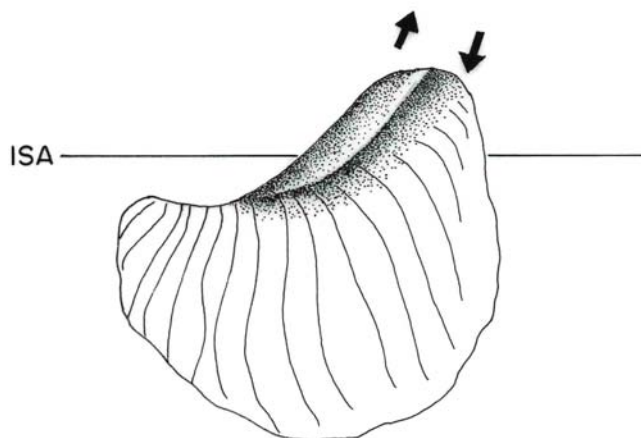


Fig. 13. Diagrama de una trigonia en posición de vida con respecto a la interfase sedimento-agua (ISA). Las flechas indican la dirección de las corrientes (1X).

**Dentición.** Otra estructura interna que puede observarse en cortes y *peels* es la dentición trigónida, con sus características superficies estriadas que le dan firmeza al cierre de las valvas, evitando que fueran desarticuladas después de la muerte (Lámina 1.1).

**Estructura superficial de la concha.** Un aspecto importante de la arquitectura de las conchas es la textura superficial, que se observa en las valvas de los restos fósiles mejor conservadas (Lámina 1.3). Las conchas de las trigonias son aragoníticas y están constituidas principalmente de una capa nacarada y una capa externa prismática. De acuerdo a Newell y Boyd (1975) en las costillas y tubérculos los prismas pierden su regularidad y la estructura prismática puede pasar desapercibida, pero en varios ejemplares de *P. plicatocostata* puede observarse el aspecto granuloso de la superficie de los prismas en toda esta área.

**Hábitos de vida.** A diferencia de lo que ocurre con la mayoría de los bivalvos excavadores, las trigonias no presentan lúnula y el umbo no es prosogiro, es decir, no está dirigido anteriormente. Stanley (1977) señala que la morfología primitiva de la familia Trigoniidae dificultó que evolucionara la forma prosogira a partir de la forma ortogira de los Myophoriidae ancestrales, ya que el músculo aductor anterior de los trigónidos descansa usualmente junto a los umbones (Figura 7), además, en los trigónidos tempranos las inserciones de los músculos en cada valva están localizadas en un soporte miofórico que sirvió para reforzar el diente anterior alargado, por lo que se requirió un aumento del espacio umbonal. La ausencia de la forma prosogira para una excavación eficiente fue subsanada durante la evolución mesozoica del grupo al desarrollar patrones de ornamentación muy especiales; así, la evolución de una forma marcadamente opistogira pudo haber estado asociada con la evolución de esta ornamentación (Stanley, 1977); lo mismo ocurre con el género *Neotrigonia*, ya que conserva la forma opistogira y la ornamentación marcada. De acuerdo a la evolución del grupo y a las características de los representantes actuales, *P. plicatocostata* fue un excavador exitoso, no obstante que presenta una forma atípica para la mayoría de los bivalvos excavadores. Esto puede explicarse si analizamos las adaptaciones que tuvo para desarrollar su hábito excavador.

**Adaptaciones al hábito excavador.** Los rasgos más distintivos de *Pterotrigonia plicatocostata* son las costillas angostas con su peculiar ornamentación, y la región posterior comprimida; estas características han sido previamente descritas (Müllerried, 1934; Alencáster, 1956). Con los ejemplares recolectados y estudiados en este trabajo se pudo llevar a cabo un análisis más detallado, resultando evidente que en conjunto, todos los rasgos anteriores son necesarios para tener un enterramiento más eficaz en sustratos poco estables.

El margen de la carina corresponde en vida al margen ventral de la apertura de la corriente inhalante (Gould y Jones, 1974). Las carinas de ambas valvas pudieron ayudar en la alineación al cierre, tal como lo plantea Stanley (1977) (Lámina 1.4).

Las costillas sigmoidales, con bandas transversales que forman nudos diagonales en su cresta y que se continúan hacia los espacios intercostales en donde se presentan COSTILLITAS finas perpendiculares a ellas, forman CANALETAS que permiten el libre movimiento del sedimento entre las costillas (Láminas 1.5; 2.1, 2.2).

Los nudos que se presentan a lo largo de las costillas tienen una forma dentada que ayuda al enterramiento, realizando la función de una “sierra” para tener la menor fricción posible (Lámina 2.3).

La compresión de la parte posterior de la concha (Lámina 2.4) permitió que sólo una pequeña parte del organismo quedara expuesta, ya que la masa visceral se encontraba hacia abajo, más profunda en el sedimento, reduciendo el peligro de que fueran depredadas en vida por peces, equinodermos y algunos gasterópodos perforadores. Stanley (1977) señala que esta compresión también evita que las corrientes de sedimento del fondo marino impacten la superficie de la concha y así ésta sea removida, alterando la vorticidad o movimiento rotacional del flujo de sedimento al encontrarse un obstáculo o barrera (que en este caso es el borde atenuado de la concha). Esta misma compresión evita que el movimiento del flujo de agua impacte la superficie de la concha y así ésta sea removida del fondo marino.

**Tipo y distribución de epibiontes.** La superficie externa de las conchas de algunos ejemplares de *P. plicatocostata* está cubierta por epibiontes. Se trata de tubos de poliquetos muy delgados, de 1 a 5 mm de circunferencia y hasta 60 mm de longitud, que pertenecen a *Serpula* sp., mencionada para la Formación San Juan Raya en trabajos anteriores (Müllerried, 1933-1934; Barceló, 1978). La mayoría de los epibiontes se encuentra en la región posterior de las valvas (Lámina 2.5-2.7; 3.1).

Para comprobar la preferencia de los epibiontes por ocupar un área determinada en la superficie de las conchas de las trigonias se hizo una prueba estadística (*t* de Student). De los 369 ejemplares con los que se realizó este estudio, 30 ejemplares estaban colonizados por tubos de poliquetos. El análisis de la *t* de Student reveló una dominancia estadística significativa ( $p \geq 0.05$ ) de la colonización de serpúlidos en la región posterior en contra de la región anterior de las valvas de las trigonias (22/8) (Figura 14).

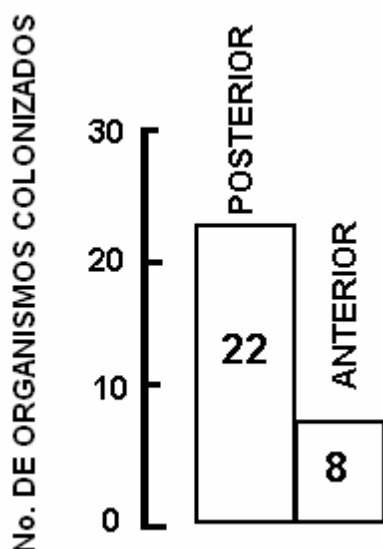


Fig. 14. Gráfica que muestra la relación entre la preferencia de colonización en las regiones posterior/anterior y el número de organismos colonizados.

Como se mencionó anteriormente, el patrón de distribución de los epibiontes ha sido utilizado por diferentes autores para interpretar la posición de vida de las trigonias dentro del sedimento (Stanley, 1977; Kennedy, 1978; Saul, 1978; Tashiro y Matsuda, 1988; Wignall, 1990; Kelly, 1995; Villamil *et al.*, 1998). Considerando estas observaciones, *P. plicatocostata* debió ser una especie que vivió con la parte posterior de la concha dirigida hacia arriba, quedando el margen posterior de la concha elevado de la interfase sedimento-agua, por arriba de la zona de formación de las ondulitas, que generalmente es de 3 cm (Kelly, 1995), lo que evitó que los sedimentos finos del fondo cubrieran las aberturas de los canales inhalante y exhalante (Figura 13).

Los tubos de poliquetos que se observan en el margen anterior de algunos individuos (Lámina 3.2, 3.3) pueden indicar que si bien la posición de vida inferida en el párrafo anterior fue la que prevaleció en la mayoría de los individuos de estas poblaciones, algunos pudieron permanecer con el margen anterior semi-expuesto.

La colonización de los serpúlidos en la parte posterior de las conchas sugiere también que se estableció una relación ecológica de tipo comensalismo, es decir, los serpúlidos se beneficiaban de las corrientes de agua que generaban las trigonias en la región posterior, mientras que éstas no se beneficiaban ni resultaban perjudicadas. Debido a que las trigonias son organismos filtradores, concentraban grandes cantidades de materiales nutritivos que compartieron con otros organismos que ocupaban estos recursos. La generación de grandes concentraciones de nutrientes en los lugares donde habitaban las trigonias, provocó que los serpúlidos hayan encontrado un sustrato muy apropiado, proliferando y formando en el fondo marino "jardines de serpúlidos", similares a

los que crecían sobre las conchas de otros organismos, como braquiópodos (Radwanska, 2004).

Cabe mencionar que algunos ejemplares observados en el campo presentan tubos de poliquetos en toda la concha e incluso dichos tubos atraviesan la línea de cierre de las valvas. Pero evidentemente en estos casos se trata de conchas que después de la muerte de los organismos quedaron expuestas, susceptibles a la colonización de serpúlidos, quienes las utilizaron como sustrato (Mayoral y Reguant, 1995).

**Fauna asociada.** En las capas portadoras de trigonias de la Formación San Juan Raya se observaron bivalvos de los géneros *Corbis* y *Neithea*, así como ostreas. También están asociados amonites, fragmentos de hexacorales, equinoideos irregulares, radiolas de equinoideos regulares y fragmentos de madera. Barceló (1978) reporta la presencia de las trigonias asociadas a los bivalvos *Cardium* e *Isognomon* y al gasterópodo *Cerithium*.

### Análisis tafonómico

Se midieron dos cuadrantes al azar sobre la superficie horizontal expuesta de un estrato en la sección estudiada: el primero de 4 m<sup>2</sup> y el segundo de 1 m<sup>2</sup>. De ambos cuadrantes se obtuvieron datos como número de trigonias por m<sup>2</sup>, posición de las conchas dentro del estrato, articulación, desgaste y/o rotura y alteraciones diagenéticas.

En el primer cuadrante se contaron 23 trigonias, de las cuales 17 estaban volcadas, 6 se encontraron de costado y ninguna en posición de vida. En el segundo cuadrante se contaron 27 trigonias y se encontraron 12 volcadas, 15 de costado y ninguna en posición de vida (Figura 15).

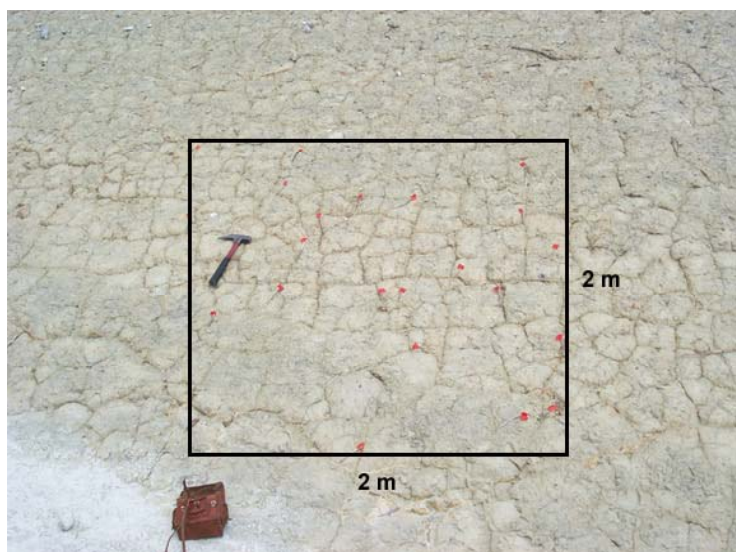


Fig. 15. Cuadrante en el que se observa la distribución de trigonias en el estrato en 4 m<sup>2</sup>.



De acuerdo a las observaciones de campo, la distribución de las trigonias dentro de los estratos portadores es heterogénea, encontrándose concentraciones de ellas en algunas partes, pero sin estar amontonadas ; esto se refleja en los cuadrantes estudiados, pues en el menor se encontró un mayor número de ejemplares. El número de individuos por cuadrante es alto, pero los representantes actuales de este grupo pueden incluso ser más numerosos, reportándose hasta un número mayor a 60 individuos por m<sup>2</sup> (Stanley, 1977).

Los resultados de su orientación dentro del estrato indican que no se encuentran en posición de vida, lo cual coincide con observaciones anteriores (Mayoral y Reguant, 1995; Francis y Hallam, 2003) ya que después de la muerte, estos organismos quedan parcialmente expuestos y son removidos por las corrientes. Sin embargo, fuera de los cuadrantes se llegaron a observar varios restos en posición de vida (Figura 16).



Fig. 16. Trigonia en posición de vida dentro de un estrato (0.3X).

### **Análisis mineralógico**

Las trigonias observadas en el campo se encuentran normalmente en lutita y lutita calcárea. Con las cinco valvas de los ejemplares que no se utilizaron para *peels*, se hicieron 12 láminas delgadas para el análisis mineralógico. El principal objetivo del análisis consistió en realizar una caracterización petrográfica del sedimento que se encontraba en el interior de las conchas a partir de los ejemplares cortados y laminados. El estudio petrográfico es necesario para reconocer los minerales de una muestra con base en las características ópticas que presentan. Para identificarlos, se observaron las láminas delgadas en un microscopio petrográfico con nícoles cruzados y luz paralela, con

objetivos de 2.5X y 10X. Las observaciones demostraron que el interior de las trigonias está compuesto por material no clástico constituido por dos minerales principales: crecimientos de micrita de coloración oscura (gris) y esparita en menor proporción (Figura 17).

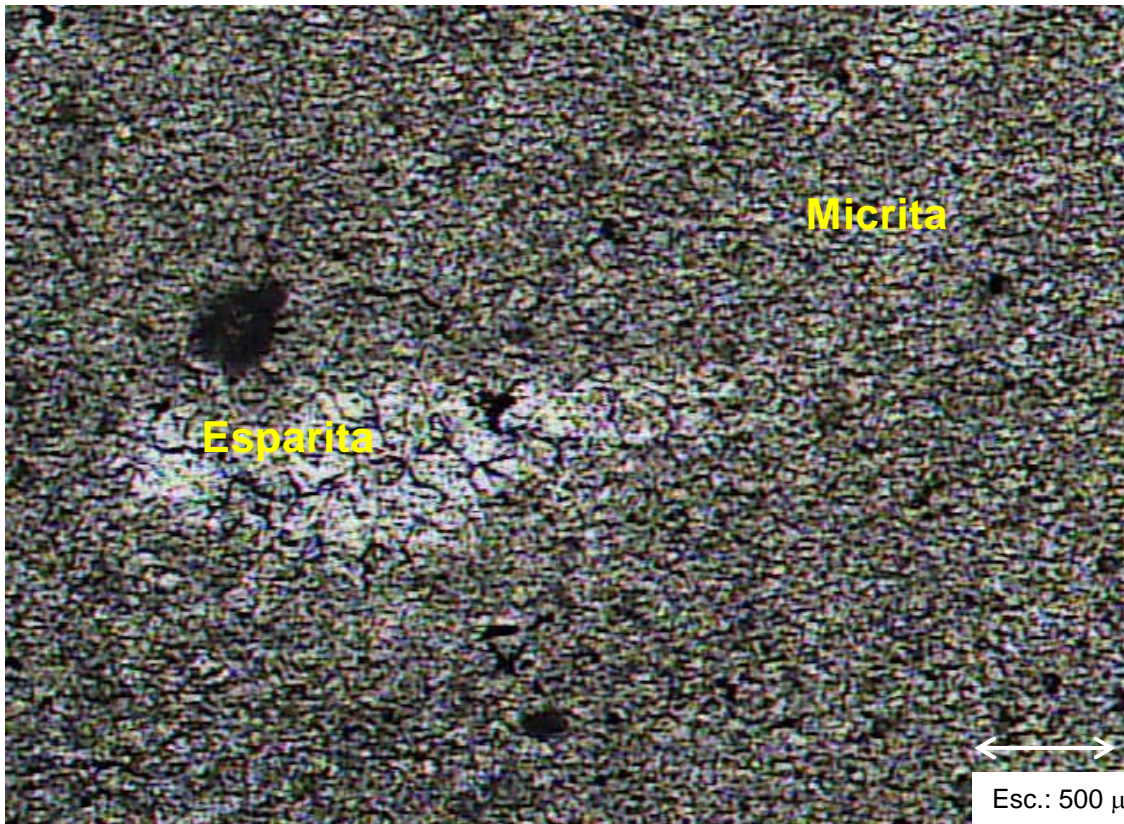
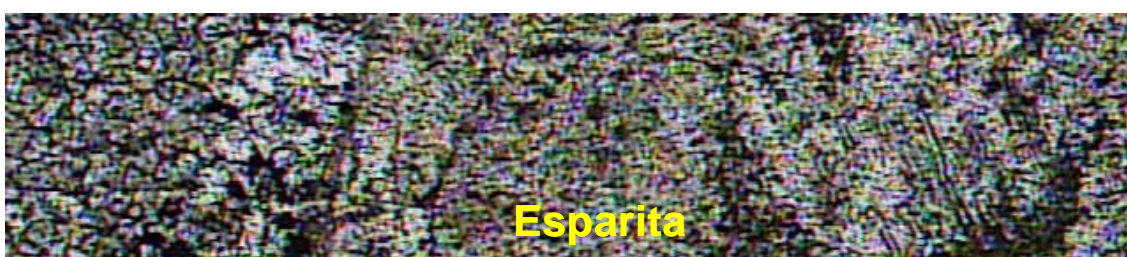


Fig. 17. Microfotografía de la muestra tomada con nícoles cruzados con el objetivo de 2.5X, en donde se observa la esparita incluida en una matriz de micrita.

Como pudo observarse en los cortes y en los *peels* de los ejemplares parcialmente recubiertos por sedimento, las conchas están rellenas de minerales con coloraciones que van del gris oscuro en la parte antero-ventral de la concha, a amarillo-rojizo hacia la parte posterior de la concha, es decir, hacia la abertura. La misma coloración amarillo-rojiza se observa al corte en el sedimento que recubre a las conchas (Figura 18, Lámina 1.1). La tabla 1 indica el porcentaje de los minerales encontrados en la muestra.

MINERAL	PORCENTAJE	DESCRIPCIÓN
Micrita	80	Carbonato de calcio con cristales menores a 62μ.
Esparita	17	Carbonato de calcio con cristales mayores a 62μ.
Óxidos de Fe	3	Producto de la alteración de la roca.

Tabla 1. Porcentajes de los minerales que fueron encontrados en la muestra.



Esc.: 500 $\mu$

Fig. 18. Microfotografía de la muestra tomada con nicoles cruzados con el objetivo de 2.5X, en donde se observa la esparita, micrita y la micrita con óxidos de Fe.

El cambio en la coloración hacia amarillo rojizo se debe a la oxidación de la roca, es decir, se presentan alteraciones diagenéticas, lo que puede indicar que las conchas estuvieron semiexpuestas casi inmediatamente después de que fueron cubiertas y rellenas de sedimento o que hubo un periodo de descomposición de materia orgánica que generó la precipitación de materiales dentro y fuera de la concha, como ha sido referido para otros restos encontrados en la misma formación (García-Barrera *et al.*, 1994).

### **Implicaciones ambientales**

La Formación San Juan Raya ha sido interpretada como una secuencia marina que se formó en un ambiente de plataforma, en el que se pueden reconocer diferentes facies comprendidas en su mayoría entre una zona arrecifal y la línea de costa (Alencáster, 1956; Salmones, 1994; Feldmann *et al.*, 1995; Zárata, 2003).

Las trigonias de la Formación San Juan Raya se encuentran en lutita calcárea, generalmente tumbadas o reclinadas y algunas conchas conservan su posición de vida; además, son abundantes y presentan una concha completa y sin evidencia de transporte. La fauna acompañante consiste en equinoideos irregulares y moluscos que formaron parte de la infauna y epifauna; respecto al resto, está representado por madera, hexacorales y equinoideos regulares que generalmente son escasos, lo que indica que

proceden de otras zonas y que quedaron incorporados en el registro fósil junto a las trigonias.

La diferencia de coloración rojiza del sedimento que recubre y rellena parcialmente a las conchas puede indicar un tiempo de exposición subsecuente al sepultamiento o bien un periodo de descomposición de materia orgánica. La precipitación de óxido de hierro está asociada a condiciones ambientales de aguas bien oxigenadas y poco profundas (García-Barrera *et al.*, 1994; Feldmann *et al.*, 1995). La fauna asociada demuestra que las trigonias habitaron un ambiente lagunar de poca profundidad.

Probablemente la abundancia de trigonias se deba a eventos transgresivos, ya que éstos crean un incremento en el área de plataforma bajo el agua en depósitos someros, creando así un ambiente más extenso para las trigonias, por lo tanto, puede asumirse que los ambientes transgresivos proveen condiciones óptimas, como ambientes de moderada energía, con aguas someras, claras y bien oxigenadas (Francis y Hallam, 2003).

## CONCLUSIONES

- Los ejemplares de *Pterotrignia plicatocostata* estudiados en este trabajo fueron organismos excavadores semi-infaunales, carentes de sifones y con una fuerte dentición, ocupando la interfase sedimento-agua (ISA), y con una posición de vida con el margen anterior dirigido hacia abajo en el sedimento.
- La forma opistogira, presente en *P. plicatocostata* no concuerda con la forma que presentan la mayoría de bivalvos excavadores fósiles y recientes; sin embargo sus características morfológicas externas como la fuerte ornamentación de las costillas y la presencia de canaletas, facilitaron que estos organismos excavarán eficientemente en sedimentos finos poco estables como lodos.
- La compresión del organismo hacia la región posterior le sirvió para disminuir el ataque de depredadores como peces, equinodermos y gasterópodos perforadores, ya que las partes blandas quedaban en la parte anterior, que se dirigía hacia lo más profundo del sedimento.
- De igual manera, la compresión de la región posterior disminuyó la fricción con las corrientes de agua y esto evita que los organismos sean exhumados del sedimento.
- La mayoría de los epibiontes se encuentran en la región posterior de las valvas en las trigonias, indicando una relación de comensalismo en vida. Cuando los epibiontes se encuentran en otra área de la valva, la colonización debió ocurrir después de la muerte y después de que fueron exhumadas del sedimento.
- La cantidad de trigonias por m<sup>2</sup>, su disposición dentro de los estratos y la completa preservación de todas sus estructuras externas, indican que

formaron grandes poblaciones y que los restos no fueron transportados antes ni después del enterramiento.

- Los componentes principales de la roca portadora y del sedimento en el interior de los organismos son micrita y esparita. La presencia de óxidos de fierro se produjo por la oxidación de la roca debido al intemperismo y/o por un periodo de descomposición de materia orgánica.
- Las poblaciones de *P. plicatocostata* fueron habitantes de una laguna post-arrefical, de aguas claras, someras, templadas y bien oxigenadas.
- De acuerdo con los análisis paleobiológico y tafonómico, los bivalvos de la especie *Pterotrignia plicatocostata* de la Formación San Juan Raya (Aptiano) fueron sepultados *in situ*, mediante eventos lentos de sedimentación, asociados probablemente a etapas transgresivas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J. G. 1906. Excursión de Tehuacán a Zapotitlán y San Juan Raya. X Congreso Geológico Internacional. 10ª sesión. México 1906. Libreto-Guía de la Excursión núm. VII, 27 p, 1 mapa, 1 tabla.
- Alencáster, G. 1956. Pelecípodos y gasterópodos del Cretácico Inferior de la región San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana* no. 2, 47 p.
- Barceló, J. 1978. Estratigrafía y petrografía del área de Tehuacán San Juan Raya, Estado de Puebla. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. 143 p.
- Bronn, H. G. 1848. Index paleonologicus oder Übersicht der bis jetzt bekannten fossilen Organismen, vol. 1, 1381 p.
- Boyle, C. B. 1893. A catalogue and bibliography of North American Mesozoic Invertebrata. *United States Geological Survey Bulletin* 102, 315 p.
- Buitrón, B. E. 1968. Catálogo de Equinoides. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana*. No. 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*. No. 30, 45 p. 9 lám.
- Buitrón, B. E. y J. Barceló-Duarte. 1980. Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la Región San Juan Raya. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. *Revista*, 4(1): 46-55.

- Calderón-García, A. 1956. Bosquejo Geológico de la Región de San Juan Raya, Puebla: México, D.F. XX Congreso Geológico Internacional, Libreto-guía de la excursión A-11: 9-27.
- Coquand, H. 1896. Monographie du genre *Ostrea*. *Terrain Cretacé*, 215 pp., 75 láms.
- Cox, L. R., N. D. Newell, D. W. Boyd, C. C. Branson, R. Casey, A. Chavan, A. H. Coogan, C. Dechaseaux, C. A. Flemimng, F. Haas, L. G Hertlein, E. G. Kauffman, A. Myrakeen, A. LaRocque, A. L. MacAlester, R. C. Moore, C. P. Nutall, B. F. Perkins, H. S. Puri, L. A. Smith, T. Soot-Ryen, H. B. Stenzel, E. R. Trueman, R. D. Turner & J. Weir. 1969. Superfamily Trigoniacea. P N471-N489 in R. C. Moore (ed), *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Pt. N Mollusca 6(1). The Geological Society of America and the University Kansas Press, Lawrence, Kansas.
- Dall, W.H. 1889. On the hinge of pelecypods and its development, with an attempt toward a better subdivision of the group. *American Journal of Science*. 38(3): 445-462.
- Darragh, T.A. 1986. The Cainozoic Trigoniidae of Australia. *Alcheringa* 10: 1-34.
- Decke, W. 1925 Trigoniidae Mesozoicae. *Fossilium Catalogue*. 1. Animalia, pars 30, p. 1-306.
- Deshayes, G. P. 1853. *Traité élémentaire de Conchyliologie avec les applications de cette science á la Géologie*. vol. 2, Paris.
- Douvillé, H. 1898. Sur quelques fósiles du Perou. *Bulletin Society Géologique France*. Ser. 3, vol. 26, p. 386.



- Feldmann, R. M., F. J. Vega, P. García-Barrera, R. Rico-Montiel & L. Martínez-López. 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. & H. Lenk. 1891. Uebersicht über die geologischen Verhältnisse des mexicanischen Staates Puebla. *Palaeontographica* 37: 16-139.
- Francis, A. O. & A. Hallam. 2003. Ecology and evolution of Jurassic trigoniid bivalves in Europe. *Lethaia* 36: 287-304.
- García-Barrera, P., F. J. Vega, R. Rico-Montiel, L. Martínez-López, J. Castillo-Cerón. 1994. Implicaciones paleoambientales de la fauna de crustáceos en la Formación San Juan Raya, Puebla. XII Convención Geológica Nacional, Sociedad Geológica Mexicana, México. p. 58.
- González-Arreola, C. 1974. *Phylloceras* del Cretácico Inferior de San Juan Raya-Zapotitlán, estado de Puebla, México. Sociedad Geológica Mexicana, Boletín XXXV. p. 29-37.
- Gould, S. J. & C. Jones. 1974. The pallial ridge of *Neotrigonia*, functional siphons without mantle fusion. *Veliger* 17: 1-7.
- Hernández-Lascares, D: y E. Galván-Mendoza. 1990. *Lamellaerhynchia* cf. *renauxiana* (D'Orbigny) (Brachiopoda-Rhynchonellidae) del Cretácico Inferior de la región de San Lucas Teteletitlán, estado de Puebla, Centro Sur de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología* 2(2):47-55.
- Kauffman, E. G. 1973. Cretaceous Bivalvia in A. Hallam (ed), Atlas of Paleobiogeography, p. 353-384. Elsevier Scientific Publishing Company. University of Oxford.

- Kelly, S. R. A. 1995. New trigonioid bivalves from the Albian (Early Cretaceous) of Alexander Island, Antarctic Peninsula: systematics, paleoecology, and Austral Cretaceous paleobiogeography. *Journal of Paleontology* 69(2): 264-269.
- Kennedy, W. J. 1978. Cretaceous. In McKerrow, W. S. (ed.). *The Ecology of fossils. An Illustrated Guide*, 280-322. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Lamarck; J. B. de 1819. Histoire Naturelle des Animaux sans Vertèbres, 6(1). Vèrdiere, Paris, 343 p.
- Linnaeus, C. 1758. Systema Naturae per regna tria naturae. Edition 10 reformata. Volume 1, Regnum animale. L. Salvii, Holmiae, 824 p.
- Lycett, J. 1879. A monograph of the British fossil Trigonidae, *Paleontogr. Soc. London*, Vols 26-37, p. 1-215, pls. 1-42 (1872-1879).
- Maldonado-Koerdell, M. 1953. Los equinoides regulares del Mesozoico de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 7 (1-4): 15-53.
- Mayoral, E. & S. Reguant. 1995. Paleoecology and taphonomy of bivalves, mainly *Glycimeris insubrica* (Brocchi), and bryozoans from the Huelva Sand Fm. (Lower Pleistocene, SW Spain). *Revista Española de Paleontología*. Número homenaje al Dr. Guillermo Colón, 31-47.
- Meek, F. B. 1864. Check list of the invertebrate fossils of North America, Cretaceous and Jurassic. *Smithsonian Miscellaneous Collection* No. 177, p. 1-40.
- Moore, C. H., 1964, Stratigraphy of the Fredericksburg Division, south-central Texas: Austin, Texas, *University of Texas Bureau of Economic Geology, Report of Investigations* (52): 1-48.

- Moore, R. C. 1969. Treatise on Invertebrate Paleontology. Parte N, vols, 1-3, Mollusca 6, Bivalvia. *The Geological Society of America, Inc. & The University of Kansas Press*.
- Mora-Almazán, E. R. 2006. Bivalvos perforadores de madera de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior de Puebla. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. En proceso.
- Müllerried, F. K. G. 1933. Estudios paleontológicos y estratigráficos de la Región de Tehuacán, Puebla. Partes 1, 2, y 3. *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. *Anales del Instituto de Biología* 5(4): 55-80.
- Navarro-Santillán, D. 2006. Revisión taxonómica de los braquiópodos articulados del Cretácico Inferior de México. Implicaciones paleobiogeográficas. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 142 p.
- Newell, N. D. 1965. Classification of Bivalvia. parte N205 - N222, in R. C. Moore (ed), Treatise on Invertebrate Paleontology, Pt. N Mollusca 6(1). Geological Society of America and the University Kansas Press, Lawrence, Kansas.
- Newell, N. D. & D. W. Boyd. 1975. Parallel evolution in early trigoniacean bivalves. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 154: 53-165.
- Nyst, H. & H. G. Galeotti. 1840. Description de quelques fossiles du calcaire Jurassique de Tehuacán, Mexique. *Academie Scientifique de Bruxelles*, 7 (2ª parte): 218-221.

- Orbigny, A. d' 1850. Prodrôme de Paléontologie Stratigraphique Tunisiene, Gasteropodes et Lamellibranches. Paris, 352 p., 23 láms.
- Phillips, T. L., M. J. Acvin & D. Berggren. 1976. Fossil peat of the Illinois Basin. A guide to the study of coal balls of Pennsylvanian Age. *Educational series* 11. Illinois State Geological Survey.
- Radwanska, U. 2004. Tube-dwelling polychaetes from the Upper Oxfordian of Wapienno/Bielawy, Couiavia region, north-central Poland. *Acta Geologica Polonica* 54(1): 35-52.
- Reyerros. M. 1963. Corales del Cretácico Inferior de San Juan Raya, Estado de Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana* no. 17, 21 p.
- Salmones, J. M. 1994. Los moluscos juveniles de la Formación San Juan Raya, Puebla. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 153 p.
- Saul, L. 1978. The north Pacific trigoniid genus *Yaadia*. *University of California, Publications in Geological Sciences* 119: 1-65.
- Segura-Vernis, L. y R. Rodríguez-Torres. 1972. Foraminíferos del Aptiano de San Juan Raya, México y sus inferencias geológicas (resúmenes). Sociedad Geológica Mexicana. Memorias II Convención Nacional. p. 236.
- Skwarko, S. K. 1967. The first report of *Neotrigonia* from New Guinea. *Bulletin, Department of Natural Resources, Bureau of Mines* 92: 192-194.
- Stanley, S. M. 1977. Coadaptation in the Trigoniidae, a remarkable family of burrowing bivalves. *Palaeontology* 20: 869-899.

- Tashiro, M. & T. Matsuda. 1988. Mode of life in Cretaceous trigonians. *Fossils* 45: 9-21.
- Tevesz, M. J. S. 1975. Structure and habits of the "living fossil" pelecypod *Neotrigonia*. *Lethaia* 8:321-327.
- van Hoepen, E. C. N. 1929. Die Krytfauna van Soeloeland. 1 Trigoniidae. *Paleontologiese Nvorsing van die Nasionale Museum Bloemfontein* 1: 1-38.
- von Buch, L. 1850. On the characteristic fossils of the Chalk formation (Communicated by J. Nicol), *Annual Magazine of Natural History Ser. 2* , vol. 5, p. 381-387.
- Villamil, T., E. G. Kauffman & H. A. Leanza. 1998. Epibiont habitation patterns and their implications for life habits and orientations among trigoniid bivalves. *Lethaia* 31: 43-56.
- Wignall, P. B. 1990. Benthic paleoecology of the late Jurassic Kimmeridge Clay of England. *Palaeontological Society, Special Paper in Palaeontology* 43:1-74.
- Zárate, R. 2003. Presencia de *Litophaga* en la Formación San Juan Raya, Puebla. Implicaciones paleoecológicas y tafonómicas. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 81 p.

## ANEXOS

### I. Técnica para elaborar un *peel*.

1. Sobre una placa de vidrio, se pule la superficie deseada del ejemplar con abrasivo del número 2 (óxido de sílice "carborundum"), humedeciendo con un poco de agua destilada.
2. Sobre la placa, se frota aproximadamente durante cinco minutos con movimientos circulares y en el mismo sentido.
3. Se enjuagan el ejemplar y la placa de vidrio con agua destilada y se repite la misma operación pero con abrasivo del número 1. Enseguida se enjuaga de nuevo y se deja secar perfectamente.
4. La superficie pulida se sumerge en ácido clorhídrico al 10% por espacio de 10 segundos sin dejar que ésta toque el fondo del recipiente que contiene el ácido.
5. Se saca el ejemplar, se enjuaga con agua destilada y se deja secar completamente. Después de este paso, no debe tocarse la superficie pulida.
6. Una vez que el ejemplar está seco, con ayuda de una pipeta se impregna acetona en la superficie pulida y se deja evaporar. Enseguida se le añade más acetona y se le coloca de manera rápida una hoja de acetato evitando que se formen burbujas o que se evapore la acetona.
7. El ejemplar se coloca en una superficie lisa y se deja secar por espacio de 15 a 20 minutos.
8. Ya que está seco, la hoja de acetato se desprende con mucho cuidado y se coloca entre dos superficies planas (p. e. un libro) para evitar el abarquillamiento del acetato.
9. Si el acetato queda con burbujas o incompleto, tiene que repetirse la técnica comenzando con el pulido de la superficie del ejemplar.

(Modificado de Phillips *et al.*, 1976)

## II. Técnica para elaborar una lámina delgada.

1. En una parrilla, se coloca un portaobjetos previamente esmerilado de 27 x 46 mm y se calienta. Se pone un poco de termoplástico sobre el portaobjetos caliente y se espera a que la resina tenga una consistencia líquida.
2. Se coloca la muestra sobre el portaobjetos ejerciendo presión para que quede bien pegada y sin burbujas, esto con la finalidad de evitar desprendimientos al momento en que la muestra tiene contacto con la laminadora y durante el proceso de corte.
3. Ya que la roca está pegada, la parte posterior del portaobjetos se limpia y se humedece un poco. Después se sujeta entre los pernos de la laminadora.
4. Se aplica una ligera presión y se arranca la bomba de vacío oprimiendo el interruptor de vacío ubicado en el panel frontal de control.
5. El medidor tiene que registrar entre 12 – 15 pulgadas de mercurio, para poder operar la cortadora. Si el medidor no registra el vacío deseado se repiten los pasos 3 y 4.
6. Para seccionar la muestra montada, se levanta el brazo dejándolo en posición superior, empujándolo hacia la izquierda completamente y se baja con cuidado a manera que quede en línea con el disco de corte.
7. Se ajusta el espesor deseado con el micrómetro izquierdo, a manera que sea el espesor mínimo para reducir el tiempo de esmerilado.
8. Se sube de nuevo el brazo y se abre el flujo del agua usando la perilla de control de agua en panel frontal.
9. Se arranca el motor y se baja suavemente el brazo hasta que la muestra haga contacto con el disco diamantado de corte. Se aplica presión moderada, ya que el exceso de esta puede dañar la muestra, el disco o ambos.
10. Al concluir el corte, se levanta el brazo suavemente mientras se aplica una ligera presión hacia la izquierda, ya que el brazo cuenta con un resorte que la regresa hacia la derecha.
11. Una vez que la pieza está cortada, se determina el espesor de esmerilado (en micras) y se fija con el micrómetro derecho.
12. El micrómetro se ajusta a 900  $\mu$  aproximadamente y se esmerila la muestra moviendo el brazo de la cortadora hacia arriba y hacia abajo con cuidado. Después se disminuye a 200  $\mu$  ajustando el micrómetro en dirección de las manecillas del reloj y se repite el procedimiento hasta llegar a 100  $\mu$  aproximadamente.
13. Se eleva el brazo, se apaga el motor y se cierra el flujo de agua. Se apaga la bomba de vacío y se libera el vacío en "Vac Release Valve". Se retira el portaobjetos colocando el pulgar en la muesca y jalándolo hacia fuera.

(Modificado de Manual de Sistema para Secciones Delgadas PETROTHIN, Marca BUEHLER, Mod. 38-1450-160.)

# LÁMINAS



## LÁMINA 1

**Figura 1.** Ejemplar FCMP 05/537 Corte transversal de *Pterotrignia plicatocostata*. Superficie pulida de la valva derecha donde se distingue el tabique y los dientes (1X).

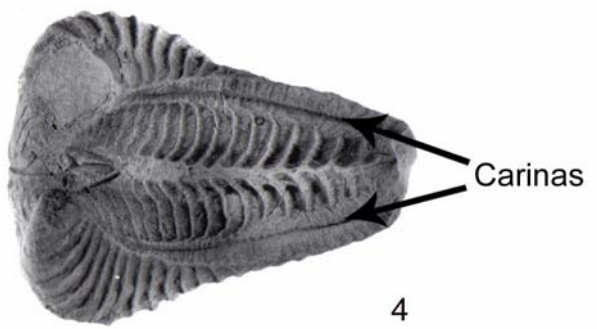
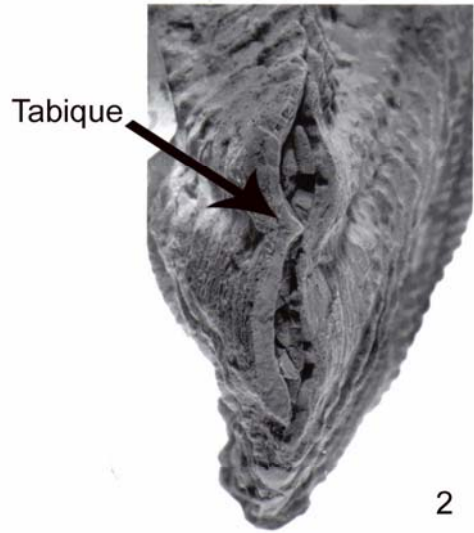
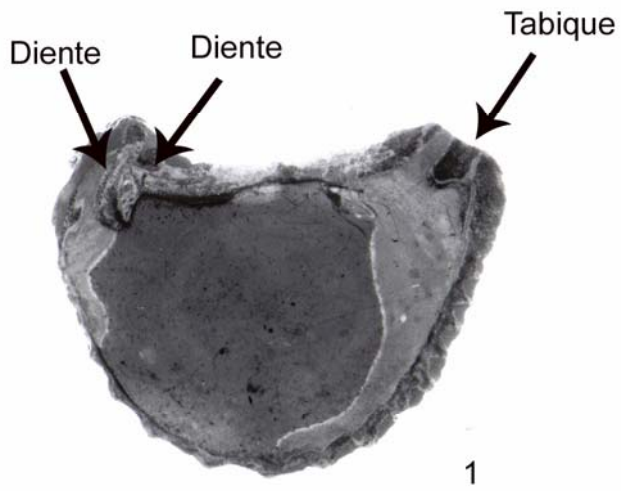
**Figura 2.** Ejemplar FCMP 05/531. Vista posterior en donde se aprecia el tabique interno(3X).

**Figura 3.** Ejemplar FCMP 04/770. Acercamiento de los nudos. Se nota la textura superficial de la concha que da un efecto de gránulos.

**Figura 4.** Ejemplar FCMP F<sub>1</sub>-33. Vista dorsal del ejemplar. Se nota la alineación e las valvas y la presencia de carinas (1X).

**Figura 5.** Ejemplar FCMP 04/759. Costillas sigmoidales de la valva derecha (1X).

LÁMINA 1



1

2

3

4

5

3 mm

## LÁMINA 2

**Figura 1.** Ejemplar FCMP 04/759. Acercamiento del umbón de la valva derecha, mostrando los nudos de las costillas (2X).

**Figura 2.** Ejemplar FCMP F1-42. Acercamiento de la concha. Se muestra el detalle de las canaletas (3X).

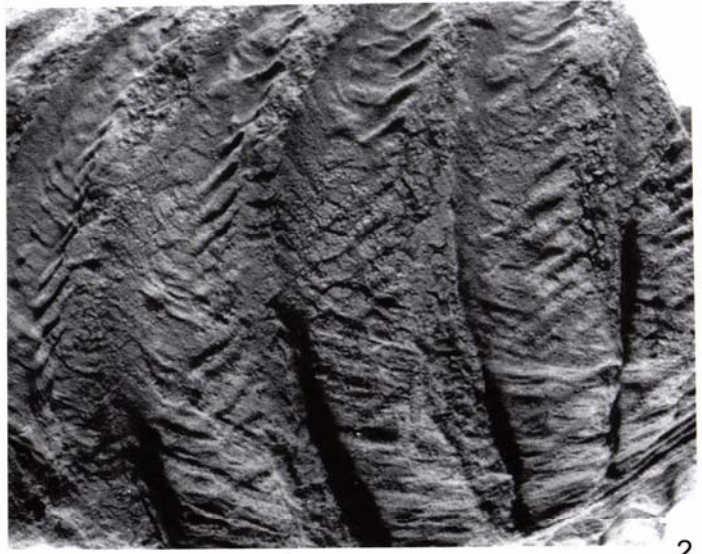
**Figura 3.** Ejemplar FCMP 04/759. Vista anterior de *P. plicatocostata*. En ambas valvas se distingue la forma dentada provocada por los nudos (1X).

**Figura 4.** Ejemplar FCMP 04/759. Vista ventral de *P. plicatocostata* que muestra la compresión hacia la región posterior del organismo (1X).

**Figura 5.** Ejemplar FCMP 04/759. Valva derecha con un epibionte sobre la región posterior (1X).

**Figura 6.** Ejemplar FCMP 04/762. Valva derecha con más de un epibionte en la región posterior (1X).

**Figura 7.** Ejemplar FCMP 04/762. Acercamiento de la región posterior de la valva derecha (2X).



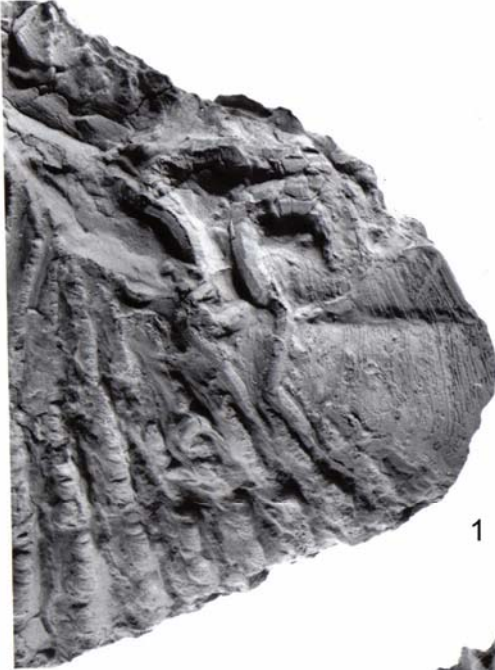
### LÁMINA 3

**Figura 1.** Ejemplar FCMP 04/762. Acercamiento de la región posterior de la valva izquierda (2X).

**Figura 2.** Ejemplar FCMP F/42. Imagen de la vista dorsal. Se aprecia la colonización de epibiontes (1X).

**Figura 3.** Ejemplar FCMP F/42. Acercamiento de los umbones con epibiontes (2X).

LÁMINA 3



1



3



2