



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“TAFONOMÍA Y PALEOECOLOGÍA DE LAS
OSTRAS CRETÁICAS DE LA FORMACIÓN SAN
JUAN RAYA, PUEBLA”**

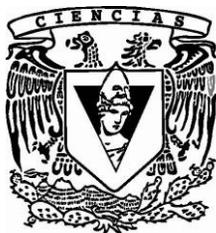
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A:

MARÍA ISABEL HERNÁNDEZ OCAÑA



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. SARA ALICIA QUIROZ BARROSO**

MÉXICO, D.F

2012



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:
Hernández
Ocaña
María Isabel
26 45 05 66
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
304045936
2. Datos del tutor
Dra.
Sara Alicia
Quiroz
Barroso
3. Datos del Sinodal 1
Dr.
Francisco Javier
Vega
Vera
4. Datos del Sinodal 2
Dra.
Ma. Catalina
Gómez
Espinoza
5. Datos del Sinodal 3
Dra.
Silvia Elizabeth
Rivera
Olmos
6. Datos del Sinodal 4
Dr.
Juan Francisco
Sánchez
Beristain
7. Datos del trabajo escrito:
Tafonomía y Paleoecología de las ostras cretácicas de la Formación San Juan Raya,
Puebla
76 p.
2012

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser una excelente institución y por brindarme la oportunidad de pertenecer a ella.

A la Dra. Sara Alicia Quiroz Barroso por todo su apoyo en la realización de este trabajo, por su enorme dedicación, tiempo y sobre todo por su gran paciencia hacia a mí, simplemente por ser una persona increíble.

Al jurado por sus valiosos comentarios, que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Al Dr. Francisco Sánchez Beristain por su asesoría en la realización e interpretación de la técnica de Dickson y también en sus acertados comentarios sobre este escrito.

A la M. en C. Leonora Martín Medrano por su ayuda en los cortes de roca y en el trabajo de campo.

Al M. en C. Daniel Navarro Santillán por su ayuda durante el trabajo de campo y en gabinete.

Al Biól. Héctor Hernández Campos por el trabajo fotográfico de las láminas delgadas.

Al Dr. Francisco Sour Tovar por toda su ayuda en la medición de las secciones, en la recolecta de material y en el apoyo para realizar el trabajo de campo, y también por abrirme las puertas en el Museo de Paleontología.

A los M. en C. Miguel Ángel Torres y Rafael Villanueva, y a la Biol. Karla Castillo por su valiosa ayuda en el trabajo de campo.

A mis queridos compañeros del Taller de Paleobiología Miguel Guerrero, Manet Peña y Paola Flores por su ayuda en el campo, su tiempo compartido, los enojos, las risas y sobre todo por su amistad.

A todo el personal del Museo de Paleontología por su compañía y por permitirme formar parte de este equipo de trabajo.

A mis compañeros de la licenciatura Erika, María, Axel, Berenice, Sebastián y Alfredo mil gracias por todo su cariño y amistad.

A mis padres y a mis hermanas por ser una guía en esta vida y que simplemente sin ellos no sería lo mismo. A ustedes por apoyarme en todo momento.

Gran parte del trabajo de campo que involucró este proyecto se realizó con el apoyo de la DGAPA de la Universidad Nacional Autónoma de México a través del proyecto PAPIIT IN213710.

.....y así es como busco conectarme, con lo que no se ve
con esa dimensión que no sabe de tiempo ni espacio....

LPDA, 2011

GRACIAS

INDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	5
ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
SUPERFAMILIA OSTREOIDEA.....	7
Morfología general del grupo	8
Estructuras internas y concha	10
Ciclo de vida	13
Hábitos de vida.....	14
Registro fósil.....	18
ÁREA DE ESTUDIO.....	20
Ubicación geográfica	20
Geología general de la región Tehuacán-San Juan Raya	21
METODOLOGÍA	30
Trabajo de campo	30
Trabajo de laboratorio	33
RESULTADOS y DUSCUSIÓN	35
Atributos tafonómicos de cada localidad	35
Análisis de láminas delgadas	50
Consideraciones tafonómicas y paleoecológicas.....	52
CONCLUSIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
ANEXO 1.....	75
ANEXO 2.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejes de simetría y órganos internos (modificado de Stenzel, 1971).....	9
Figura 2. Estructura general del borde de la concha de un bivalvo (modificado de Esteban-Delgado, 2006).....	12

Figura 3. Ciclo general de vida en las ostras (modificado de Lippson y Lippson, 1997). Las representaciones no se encuentran a escala.....	14
Figura 4. Arrecife de ostras actual. 1 Ostras; 2 Pez; 3 Mejillones; 4 y 8 Anélidos; 5 Ascidas; 6 Anemonas; 7 Percebes; 9 Cangrejo (tomado de Lippson y Lippson, 1997). Las representaciones no están a escala.....	17
Figura 5. Localización geográfica de la región Tehuacán-San Juan Raya. El cuadro interno representa los límites del área de estudio.....	20
Figura 6. Unidades estratigráficas del área.....	22
Figura 7. Afloramiento en la Barranca San Lucas. Las flechas indican el fallamiento y plegamiento en las rocas de la Formación San Juan Raya.....	23
Figura 8. Estratos delgados de lutita y arenisca intercalados de la Formación San Juan Raya.....	24
Figura 9. Mapa de ubicación de las localidades de estudio.....	25
Figura 10. Localidad 1 en la Barranca Salitrillo. Base en donde se comenzó a medir la sección.....	26
Figura 11. Localidad 2, foto de campo en donde se muestra el contacto entre la formación Agua de Burro y la Formación San Juan Raya, en la Barranca Grande.....	27
Figura 12. Localidad 3, afloramiento en la Barranca San Lucas donde se encuentra el banco de ostras muestreado.....	28
Figura 13. Localidad 4, afloramiento en la Barranca San Lucas.....	29
Figura 14. Localidad 5, talud a un costado de la Barranca San Lucas (tomada de Zárate, 2003).....	30
Figura 15. Columna estratigráfica de la localidad 1, ubicada sobre la Barranca Salitrillo. Se indican los niveles estudiados.....	39
Figura 16. Columna estratigráfica de la localidad 2, ubicada sobre la Barranca Salitrillo. Se indican los niveles estudiados.....	41
Figura 17. Columnas estratigráficas de la localidad 3 y 4, ubicadas sobre la Barranca San Lucas. Se indican los niveles estudiados.....	43
Figura 18. Reconstrucción del banco 1 y 2 de ostras en la localidad 4 (basado en Lazo, 2007).....	44
Figuras 19 y 20. Vista de planta y corte transversal. Se observa una concha de gasterópodo del género <i>Nerinea</i> recubierta parcialmente por ostras.....	46
Figura 21. Modelo de la formación de ostreolitos (tomado de Wilson <i>et al.</i> , 1998).....	46
Figura 22. Columna estratigráfica de la localidad 5, ubicada sobre la Barranca San Lucas. Se indican los niveles estudiados (tomado de Zárate, 2003).....	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 1.....	38
Tabla 2. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 2.....	40
Tabla 3. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 3	43
Tabla 4. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 4	47
Tabla 5. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 5.....	49
Tabla 6. Tafofacies y Biofacies del registro de las ostras en la Formación San Juan Raya.....	59

RESUMEN

La Formación San Juan Raya consiste en rocas del Cretácico Inferior (Aptiano) con una gran diversidad de invertebrados entre los que se encuentran corales, ostrácodos, gasterópodos, bivalvos, amonoides y equinodermos. Varios estratos de esta formación se caracterizan por presentar concentraciones de valvas de *Ostrea alicula* y *Exogyra acuticosta*, ofreciendo una excelente oportunidad para establecer tafofacies y biofacies que permitan realizar interpretaciones paleoecológicas y ambientales. El registro tafonómico de las ostras consiste principalmente en: a) detrito de conchas; b) ostras retrabajadas incluidas en arenisca calcárea y c) agregados de ostras de espesores variables en depósitos fangosos que representan bancos o arrecifes naturales. En estos bancos, las ostras permitieron la coexistencia de una gran variedad de invertebrados como corales, gasterópodos, erizos y otras especies de bivalvos, ya que sus conchas sirvieron desde sustrato hasta refugio contra depredadores; en algunos casos se presentan colonias de briozoarios y serpulidos como epibiontes, rastros de bioerosión por esponjas y por bivalvos litófagos, así como asociaciones que representan claramente relaciones de competencia ecológica entre las ostras y otras especies. Estas tafofacies indican diferencias en la dinámica del depósito, en el origen de las concentraciones formadas tanto por los hábitos gregarios de las ostras como por procesos ambientales y en el tiempo promedio involucrado para su formación.

INTRODUCCIÓN

La Formación San Juan Raya aflora al suroeste de Tehuacán, en el estado de Puebla y consiste en rocas marinas y marino-marginales altamente fosilíferas del Cretácico Inferior. Por esta razón, desde principios del siglo XIX atrajo la atención de geólogos y paleontólogos que han contribuido a su conocimiento, resaltando los estudios de fósiles de invertebrados como corales, braquiópodos, gasterópodos, bivalvos, amonites, artrópodos y equinoideos. Los bivalvos son uno de los grupos mejor representados y dentro de éstos se hallan los ostreoides conocidos comúnmente como ostras, cuya presencia ha sido referida desde las primeras descripciones de la fauna de esta formación: Aguilera (1906) hace una

lista homotáxica en donde incluye a las dos únicas especies reportadas hasta este momento; posteriormente Coquand (1869) es el primero en considerar a la fauna fósil como del Cretácico Inferior (Urgo-Aptiano) basándose en la presencia de bivalvos ostreidos y en 1956, Alencáster hace la descripción taxonómica de las especies *Ostrea alicula* (Hamlin, 1884) y *Exogyra acuticosta* (Nyst y Galeotti, 1840), basándose en el material colectado por Aguilera.

El análisis tafonómico y paleoecológico del contenido fosilífero de la Formación San Juan Raya es relevante para el conocimiento del Cretácico de México, sin embargo es un aspecto que ha sido poco abordado. Por esta razón, en los últimos años se han realizado en el Museo de Paleontología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, tesis en las que se estudiaron las características tafonómicas y la autoecología de diferentes especies de bivalvos de esta formación.

Si bien no existe una gran diversidad de los ostreoides en la Formación San Juan Raya, su abundancia se puede notar a lo largo de la misma. Varios estratos presentan numerosas concentraciones de valvas de ostras, lo que brinda una excelente oportunidad para la caracterización de tafofacies y biofacies que permiten realizar interpretaciones paleoecológicas y ambientales. En este trabajo se plantea conocer cuáles son las características del registro fósil de las ostras dentro de esta formación y cuál fue el papel que desempeñaron estos bivalvos en su comunidad.

OBJETIVOS

General

- Contribuir al conocimiento de la biología y diversidad de los bivalvos del Cretácico de San Juan Raya.

Particulares

- Establecer un control estratigráfico que permita conocer el contexto geológico del registro de las ostras.

- Determinar las características tafonómicas del registro de ostras dentro de la Fm. San Juan Raya, caracterizando las tafofacies y biofacies conformadas por ostras.
- Analizar las implicaciones paleoecológicas y ambientales de este registro.

ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los primeros trabajos de investigación de la región fueron llevados a cabo por Nyst y Galeotti (1840) quienes hicieron una primera descripción de los fósiles del área, asignándoles una edad jurásica.

Posteriormente D'Orbigny (1850), De Loriol (1875-1876), Coutteau (1890), Félix (1891), Félix y Lenk (1891) y Douvillé (1898) realizaron estudios de los equinoideos y pelecípodos, principalmente. Coquand (1869), fue el primero en considerar a esta fauna del Cretácico Inferior, basándose en la presencia de bivalvos ostreidos.

Aguilera (1906), dentro del libro-guía de campo del X Congreso Geológico Internacional, realizó el primer trabajo acerca de la geología de San Juan Raya y denominó a esta unidad formación, junto con una lista homotáctica de fósiles que incluye a especies de la superfamilia Ostreidae, A pesar de lo anterior, las descripciones taxonómicas de las especies colectadas no fueron publicadas, quedando éstas como *nomina nuda*.

Burckhardt (1930), Müllerried (1933, 1934), Lambert (1935) y Maldonado-Koerdell (1953), realizaron trabajos sobre la geología y paleontología del área. Calderón (1956), hizo una mención más completa acerca de la geología y estratigrafía de la región, basándose en descripciones litoestratigráficas dentro de las excursiones de la XX Sesión del Congreso Geológico Internacional.

Alencáster (1956) estudió a los gasterópodos y pelecípodos de la Formación San Juan Raya. Su estudio comprende la descripción de 15 especies de pelecípodos, incluyendo a las dos únicas especies de ostreideos referidas hasta el momento: *Ostrea alicula* (Hamlin, 1884) y *Exogyra acuticosta* (Nyst y Galeotti, 1840) así como 25 especies de gasterópodos

pertenecientes al Cretácico Inferior (Barremiano y Aptiano), utilizando el material previamente colectado por Aguilera.

Reyerros (1963) elaboró una publicación de corales fósiles del Cretácico Inferior. Buitrón (1970), hizo una descripción de los equinoideos del Cretácico Inferior, comprendiendo a la región San Juan Raya-Zapotitlán.

Barceló-Duarte (1978), realizó un estudio sobre Petrografía y Estratigrafía de la Formación San Juan Raya, basándose en la litología, estructura, extensión, ambiente de depósito, relaciones estratigráficas, petrografía, contenido fósil, edad y correlación de las rocas.

Otros estudios de la fauna incluyen a grupos como foraminíferos y ostrácodos (Segura-Vernis y Rodríguez-Torres, 1972); bivalvos y gasterópodos (Buitrón y Barceló-Duarte, 1980; Salmenes, 1994; Zárate, 2003; Escalante-Ruíz, 2006; Ortega-Hernández, 2007); amonites (González-Arreola, 1974); braquiópodos (Hernández-Lascars y Galván-Mendoza, 1990; Navarro-Santillán, 2006); crustáceos decápodos (Feldmann *et al.*, 1995); equinodermos (Maldonado-Koerdell, 1953; Buitrón, 1968, 1970) y dinosaurios (Rodríguez-de la Rosa, *et al.* 2004; Rivera-Sylva *et al.*, 2006). Algunos de estos trabajos incluyen una interpretación paleobiológica, ecológica y tafonómica de bivalvos perforadores de corales y madera (Zárate, 2003; Mora-Almazán, 2008); tafonomía y paleobiología de los bivalvos trigónidos (Escalante-Ruíz, 2006); ontogenia y ecología en la concha de gasterópodos y bivalvos (Salmenes, 1994; Revilla-Ríos, 1995); implicaciones paleoambientales de crustáceos (García-Barrera *et al.*, 1994); consideraciones ambientales de rudistas (Ortega-Hernández, 2007); reconstrucción paleobatimétrica con moluscos (Gómez-Espinosa *et al.*, 2010); consideraciones tafonómicas de los bivalvos (Quiroz-Barroso *et al.*, 2010, 2011; Hernández-Ocaña y Quiroz-Barroso, 2011).

SUPERFAMILIA OSTREOIDEA

Los miembros de este grupo son moluscos bivalvos (o pelecípodos) de concha gruesa, que viven cerca de las costas formando bancos. Corresponden a la Subclase Autobranchia, Superorden Pteriomorpha, Orden Ostreida y Superfamilia Ostreoidea, que incluye a las

familias Chondrodontidae, Gryphaeidae y Ostreidae (Bouchet *et al.*, 2010). Los sistemas existentes de clasificación agrupan a las ostras en pocos géneros dentro de la Superfamilia Ostreoidea (Castillo y García-Cubas, 1986; Higuera-Ruiz y Elorza, 2006).

Este grupo de organismos es difícil de clasificar debido a su estilo de vida que normalmente es gregario, viviendo adheridas unas sobre otras y a su gran plasticidad ecológica, con una concha de notable variación morfológica dentro de sus especies, que además está condicionada por su adaptación al sustrato en donde viven y a las diferencias ambientales que soportan.

A nivel mundial, los estudios sobre ostras han sido vastos debido a que se trata de un grupo biológicamente importante y exitoso desde su aparición, a que tienen importancia alimentaria y a que muchos de sus materiales, principalmente la concha, se utilizan en la industria farmacéutica y de la construcción.

Los trabajos internacionales en donde han sido referidas las ostras se han basado principalmente en especies actuales y en sus caracteres morfológicos, anatómicos y fisiológicos; y en menor proporción en su ecología (Sowerby y Reeve, 1871; Dall, 1880; Vyalov, 1936; Hertlein y Strong, 1946; Ranson, 1948; Hertlein, 1951; Thomson, 1954; Keen, 1958, 1971; Olsson, 1961; Abbott, 1974; Goldsborough y Meritt, 2001, entre otros). Lo mismo sucede en México, en donde la mayoría de los estudios incluyen la descripción taxonómica, distribución e importancia económica de especies actuales (Castillo y García-Cubas, 1986).

Morfología general del grupo

Las ostras se componen de dos interconexiones principales: la masa visceral que contiene a todos los órganos como el aparato digestivo, excretor y reproductor, así como la mayor parte de la musculatura, los nervios y el sistema circulatorio. Por otra parte presentan las branquias, el manto y la concha; esta última constituye la parte dura del organismo y tiene la función de proteger a todos los órganos suaves.

Ejes de simetría.- Los ejes de orientación anatómica de las ostras es problemática, debido a su modo de vida sedentario y a su adherencia al sustrato. Típicamente se han establecido dos ejes: el eje de la charnela o carcinal y el eje boca-ano o antero-posterior (Castillo, 1977).

En los organismos fósiles, el eje de la charnela es usada como guía de orientación anatómica, identificándola con el eje antero-posterior de modo que la charnela y la región umbonal corresponden siempre al dorso (Stenzel, 1971). También se puede localizar el eje aproximado a la boca y el ano. La boca está cerca del músculo de Quenstedt y el ano está en el margen de la impresión del músculo aductor posterior. Sin embargo en muchos casos estas impresiones son difíciles de localizar y sólo se puede observar en ejemplares bien conservados (Figura 1).

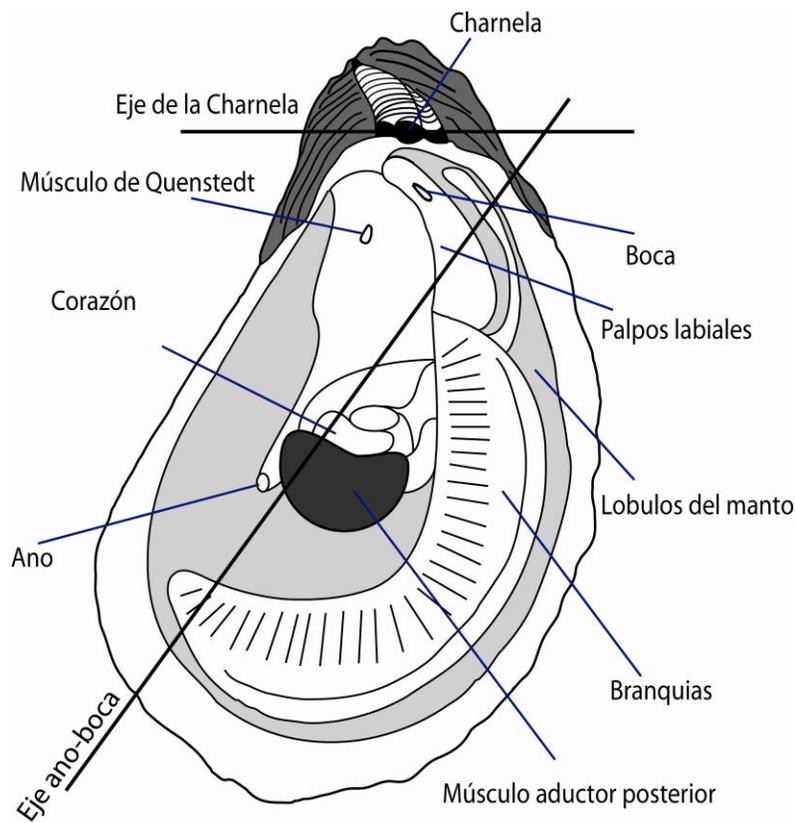


Figura 1. Ejes de simetría y órganos internos (modificado de Stenzel, 1971).

Estructuras internas y concha

Branquias.- Están formadas por dos pares de láminas branquiales. Cada par presenta cuatro laminillas plegadas en forma de W, cuya superficie está cubierta por cilios microscópicos que producen corrientes de agua inhalantes y exhalantes.

Manto.- La estructura del manto es relativamente simple: se compone de tejido conjuntivo que contiene a los músculos, vasos sanguíneos y nervios. Está recubierto en ambas caras por un epitelio unicelular. Su función principal es la formación de la concha y la secreción del ligamento. Los márgenes del manto no están fusionados.

Charnela.- Es disodonta o criptodonta (con dientes muy reducidos o ausentes), y carecen de dentición en estadio adulto, por lo que el ligamento es la única estructura charnelar.

Ligamento.- Es fuerte y flexible, permitiendo la apertura y el cierre de las valvas, actuando en forma conjunta con los músculos aductores (en la apertura estos últimos se relajan). El tipo de ligamento que se presenta en las ostras es alivincular: consta de una parte central (resilifer) y de dos áreas laterales. Cerca del área ligamentaria, algunas formas presentan unas estructuras denominadas comatas que en la valva derecha forman tubérculos y en la izquierda toman la forma de fosetas. Bajo el área ligamentaria puede existir una cavidad umbonal.

Musculatura.- En las ostras adultas la musculatura consiste en tres partes: un músculo aductor posterior grande y solitario; un par de pequeños músculos de Quenstedt y un grupo de varios músculos paleales anteriores ubicados en el manto.

Músculo aductor.- Cuando llegan al estadio adulto, las ostras son generalmente monomiarías, es decir, solo presentan un músculo aductor, aunque en los estadios larvarios se presentan los dos músculos aductores: el anterior y el posterior. El músculo aductor se localiza en la parte posterior, que conecta a las dos valvas y está diferenciado en dos partes denominadas músculo de contracción rápida en su parte anterior y músculo de contracción lenta que compone la parte posterior. Este músculo es de gran importancia para la taxonomía del grupo, pues la posición y forma de su impresión en el interior de las valvas difiere en los géneros de ostras. No obstante, en los géneros fósiles esta impresión

difícilmente se encuentra bien preservada, ya que sólo se conserva en las capas de aragonita y estas capas se alteran durante el proceso de fosilización, quedando únicamente restos de las cavidades; también pueden ser colapsadas por las rocas en donde se conservan o ser reemplazadas por sedimento.

Músculos de Quenstedt.- Son dos músculos pequeños, cada uno se fija al final de las valvas y termina en los extremos adorales de las branquias, en donde se van adelgazando, encontrándose la inserción muy cerca de la boca. Estos músculos se han observado en muchas especies de ostras fósiles y actuales, relacionándose con las inserciones musculares de las branquias en la mayoría de los bivalvos.

Musculatura del manto.- Los lóbulos del manto tienen muchas fibras musculares, organizadas concéntricamente y radialmente desarrollándose en los márgenes de las valvas en forma de pseudosifones. Los filamentos musculares radiales sirven de músculos retractores paleales y se extienden dentro de los lóbulos del manto.

Concha.- Sus conchas son inequivalvas, con valvas de forma asimétrica y de perfil irregular; la valva izquierda se fija al sustrato o a cualquier estructura rígida y la valva derecha es la que se expone. Su forma se ve severamente modificada por los hábitos de vida y por factores ambientales como son: la temperatura, los niveles de oxígeno y la humedad (Nori y Lathuilière, 2003), además de los factores filogenéticos y funcionales.

Al igual que en otros bivalvos, la concha se compone de tres sustancias organogénicas: calcita y aragonita (alomorfos de carbonato de calcio), y conquiolina (sustancia orgánica que contiene una mezcla de mucopolisácaridos, polipéptidos y fracciones de escleroproteína). Estas tres sustancias se encuentran en diferentes proporciones en las conchas de las ostras, siendo la calcita la más abundante. La concha tiene una estructura variada, pero en términos generales se puede dividir en tres capas: el **periostraco**, que está compuesto por materia orgánica y es producida por un repliegue del borde del manto, por lo que se deposita solo a nivel del borde de la concha, donde se produce el crecimiento; el **ostraco**, que está constituido por prismas de sustancias calcáreas incluidos en una matriz orgánica y es producido por el borde del manto, por lo que solo crece en el borde de la concha y a medida que crece el animal; y el **hipostraco**, que es una capa muy brillante

formada por láminas horizontales, producida de forma continua por toda la superficie del manto a lo largo de toda la vida del animal (Figura 2).

La valva derecha, que no se fija al sustrato, presenta modificaciones laminares y escamosas formando a menudo un reborde alrededor del margen de la parte calcárea de la valva.

La concha puede presentar una superficie lisa o formar costillas más o menos anchas y prominentes, dirigidas por lo general en forma radial hacia los bordes; estas costillas se reflejan en el periostraco.

Otro tipo de ornamentación corresponde a estrías dispuestas radial o concéntricamente sobre los espacios delgados entre las bandas de crecimiento.

Un tipo determinado de ornamentación son las espinas hióticas que corresponden a proyecciones tubulares huecas que se levantan periódicamente conforme la concha crece desde sus márgenes, de modo que a medida que el organismo crece se van cerrando en sus bases apareciendo otras nuevas filas radiales (Stenzel, 1971.). Este tipo de espinas se puede encontrar en ejemplares del género *Lopha* y tienen la función de actuar como órganos sensitivos (Rudwick, 1964).

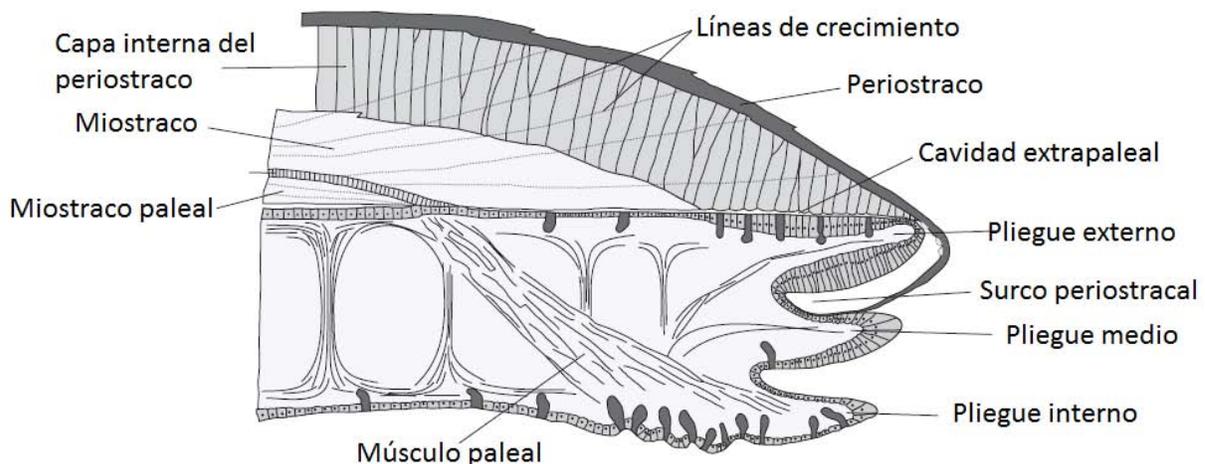


Figura 2. Estructura general del borde de la concha de un bivalvo (modificado de Esteban-Delgado, 2006).

Ciclo de vida

Las ostras, como los demás moluscos bivalvos, pueden cambiar de sexo durante su vida, pudiendo ser hembras o machos alternadamente. Al llevarse a cabo la fecundación, los huevos de las ostras pasan al estadio de larvas y cuando éstas alcanzan la etapa de véliger, son expulsadas al agua. Las fases larvarias tienen una vida pelágica con una duración de tres a cuatro semanas, nutriéndose esencialmente de nanoplancton vegetal (Polanco-Torres y Corral, 2004).

La larva véliger es microscópica y flota formando parte del plancton durante dos o tres semanas, su alimentación se va incrementando al hacer pasar corrientes de agua entre sus valvas y reteniendo a los microorganismos que van en ellas, los cuales digieren y asimilan.

Posteriormente hay dos etapas larvarias más, la de pediveliger en donde se desarrolla un pie, y la de plátigrado en donde el pie está totalmente desarrollado, se hace funcional y aparece el biso, llevando el organismo una vida bentónica. Al término de estos estadios, el pie desaparece y el organismo comienza a fijarse y empieza a secretar la concha.

Los principales factores que influyen en el desarrollo de las ostras son la temperatura, iluminación, salinidad, cantidad de oxígeno disuelto en el agua y disponibilidad de nutrientes (Polanco-Torres y Corral, 2004). Estos factores son importantes, ya que durante estas etapas la mortalidad de las ostras es elevada, debido entre otras causas a la competencia con otras especies por un espacio para fijarse, depredación, enfermedades, cambios en la concentración de sales del agua y variaciones de la temperatura.

El tiempo de desarrollo hasta alcanzar la madurez sexual es, generalmente, de un año y el que necesitan para llegar a la talla adulta, que en la mayoría de las especies es de entre 8 y 9 centímetros, es de 3 a 4 años, pudiendo reducirse a 2 años con el aumento de la temperatura en aguas tropicales (Polanco-Torres y Corral, 2004) (Figura 3).

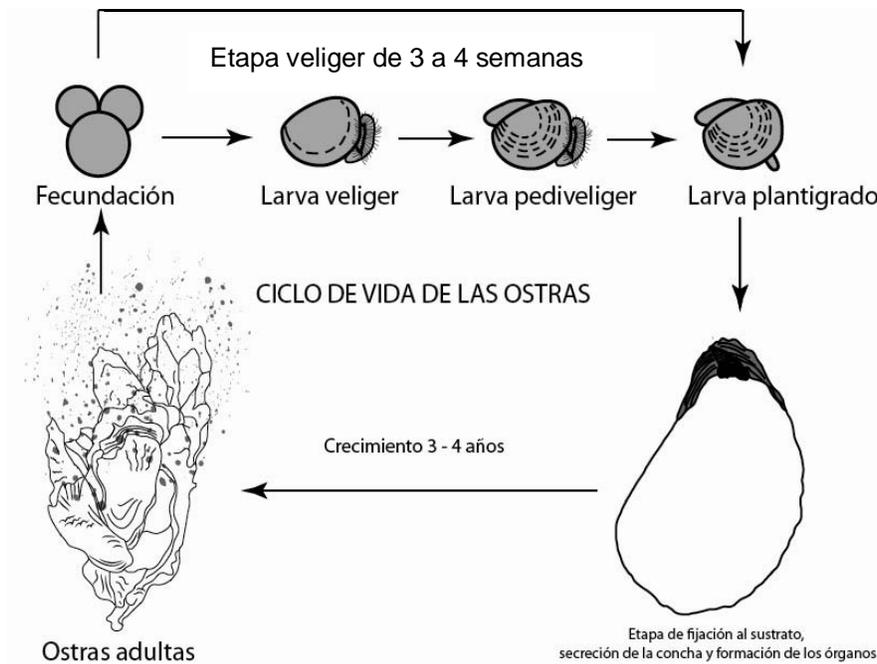


Figura 3. Ciclo general de vida en las ostras (modificado de Lippson y Lippson, 1997). Las representaciones no se encuentran a escala.

Hábitos de vida

Adaptaciones.- En etapas tempranas, las ostras son organismos filtradores epifaunales que viven fijados al sustrato mediante filamentos bisales. En etapas adultas suelen ser cementantes viviendo adheridos a un sustrato duro (como el material esquelético) o bien reclinados sobre sustrato blando, en ambos casos sobre la valva izquierda o inferior. El hábito reclinado fue importante entre las formas mesozoicas (ej.: *Gryphaea*, *Exogyra*), pero el grupo lo abandonó paulatinamente (Martinell *et al.*, 2009). Tanto el hábito como la morfología son adaptaciones a la vida en aguas poco profundas, en donde existe una energía elevada, pero también representan una protección ante la depredación.

Las ostras han desarrollado diversos mecanismos para evitar a los depredadores de fondo (cangrejos, pulpos, caracoles) como el cierre completo de sus valvas, escudos y pliegues en las comisuras y las espinas hióticas.

También han desarrollado un mecanismo llamado *self-closing*, mediante el cual pueden expulsar partículas que penetran en su interior y que son rechazadas al no poder digerirlas.

Muchas de estas partículas pasan de la cámara inhalante hacia las cortinas paleales, donde son acumuladas en grandes masas; una contracción del músculo aductor fuerza al agua desde la cavidad del manto hacia el pseudosifón, llevando a las partículas hacia afuera. Esta adaptación ha permitido a muchos géneros de ostras vivir en aguas turbias, por lo que sin este mecanismo algunos géneros como *Ostrea* y *Cassostrea* no habrían podido invadir las aguas costeras.

Ambientes en que se desarrollan.- Las ostras se desarrollan principalmente en los fondos de aguas marinas poco profundas (Ayyasami, 2006). Batimétricamente, las especies actuales viven confinadas a baja profundidad entre la zona intermareal y los 30 m y se desarrollan en aguas levemente salobres en ambientes marinos restringidos. La temperatura de las aguas es por lo general templado-cálida (Stenzel, 1971). Requieren de un sustrato firme en el cual puedan adherirse unas sobre otras, disponiéndose en forma transversal a la circulación de las aguas y contrarrestando así los efectos de la corriente. Estas condiciones ambientales también se han sugerido para las ostras fósiles.

Las especies de la familia Grypheidæ se caracterizan por vivir cementadas al sustrato durante los estadios juveniles, pero en la edad adulta suelen vivir sobre el sustrato. Algunas especies de *Gryphaea* viven en sustratos blandos, descansando sobre la valva inferior (izquierda), la cual es fuertemente convexa y gruesa a diferencia de la valva superior (derecha), que es plana y lisa. Suelen encontrarse en sedimentos blandos de grano fino (arcillas o margas) en ambientes marinos de baja energía (Ros-Franch, 2009).

En la familia Ostreidae se presentan hábitos cementantes, formando pequeños arrecifes en ambientes marinos, asociados a otros bivalvos, corales, y braquiópodos (Hautmann, 2001).

Stenzel (1971) describe los siguientes hábitos de vida dentro del grupo:

a) Incrustantes.-

- *En rocas:* Las ostras incrustantes de rocas habitan en la zona intermareal; los cambios ambientales en esta zona son drásticos a causa de la exposición durante la marea baja, que las deja expuestas a los animales depredadores, al aire y a la desecación solar.

- *En manglares:* Los manglares están restringidos a climas tropicales y subtropicales, en zonas intermareales someras. Allí crecen protegidas en llanuras de fango, donde la acción de las olas es mínima. Las ostras se incrustan en las raíces del manglar, entre los pantanos abiertos a los canales de mareas y el centro de la laguna. Solo crecen en el fango cuando hay un sustrato fuerte recubierto, como la concha de otros moluscos. Las formas que se presentan son muy variables y tienen varios *ecomorfos*. Tienden a ser de concha frágil y delgada con escamas imbricadas y figuras xenomórficas es decir, la valva inferior que es la que está adherida, forma un negativo del sustrato y la valva superior tiene el correspondiente positivo que es una réplica del mismo.

Las incrustaciones en roca no difieren de las de manglar cuando hay acción del oleaje. La exposición al aire, al sol y al agua de mar corroe las conchas durante la vida de los ostreoides, quedando expuestas a figurarse o fragmentarse por la acción de las olas. Una vez muertas, la acción corrosiva es fuerte y las conchas se desintegran rápidamente.

b) Cementantes formando bancos (arrecifes).-

Los arrecifes de ostras se forman por acumulaciones sucesivas de conchas de múltiples generaciones a través de los años. Las ostras se fijan unas a otras, construyendo montes de conchas. Cuando las ostras del fondo mueren, las larvas se fijan a las conchas viejas, aumentando el tamaño del arrecife. Con la construcción de los montículos, las ostras tienen un mejor acceso a las corrientes que traen comida y llevan los residuos.

Se pueden encontrar formando bancos en las costas, particularmente en los litorales. Constituyen barreras naturales que actúan como rompeolas que protegen de la erosión a las líneas de costa adyacentes y adquieren una importancia notable, ya que constituyen un sustrato para el establecimiento de diversas comunidades (Parras y Casadío, 2005). Proveen de una estructura sólida a los organismos sésiles, sirven de refugio a otros organismos y estabilizan los sedimentos del fondo, permitiendo el establecimiento de organismos bentónicos (Figura 4).



Figura 4. Arrecife de ostras actual. 1) Ostras; 2) Pez; 3) Mejillones; 4) y 8) Anélidos; 5) Ascidas; 6) Anemonas; 7) Percebes; 9) Cangrejo (tomado de Lippson y Lippson, 1997). Las representaciones no están a escala.

Las ostras adultas van formando el arrecife con sus conchas, donde las larvas que crecen se fijan y se hacen adultas. La población de ostras se mantiene baja debido a la depredación natural y a enfermedades. Gran cantidad de organismos marinos como poliquetos, tunicados, esponjas y cirripedios comienzan a crecer sobre sus conchas hasta el punto que las ostras se debilitan y mueren.

Los tipos de bancos que pueden formar las ostras son: franjeantes, cordones o parches (Stenzel, 1971):

- *Franjeantes*: Son adyacentes a la costa y comunes en los brazos de los estuarios. Se pueden encontrar en los canales de mareas a lo largo de los ejes del estuario. Cuando incrementa la corriente en el canal axial alcanzan una profundidad de 3 a 30 metros y una longitud de 370 a 750 m o más. Los arrecifes de ostras en los estuarios tienen una alta productividad.
- *Cordones*: Tienen regularmente crestas angostas que pueden quedar expuestas en un ancho aproximado de 10 m durante la marea baja. Las crestas son rectas o

curvas. Estas formas sólo se encuentran en *lagunas* o como barreras entre el mar y bahías salobres; su forma está determinada por la forma de la laguna y la corriente del mar. En esta zona de intermarea, la exposición alternada al aire mantiene a otras especies al margen. Sin embargo, los arrecifes de ostras en la zona de intermarea no pueden alimentarse por filtración cuando la marea está baja, lo que impide que estos tipos de arrecife crezcan tan rápido.

- *Parches*: Crecen lejos de la costa y tienen irregularidades con contornos tenues. Su tamaño y localización dependen en gran medida del sustrato idóneo. Cuando hay sedimentos fangosos, las ostras suelen ser reemplazadas por otros organismos, mientras que en sustratos firmes tienen ventaja, ya que las larvas encuentran conchas o restos de conchas para fijarse. Una capa de ostras es reemplazada por otra y estas ostras son confinadas a un cinturón de facies específicas. Algunos parches forman biohermas englobadas en diversos materiales como fosforita, matrices de micrita, marga y caliza ricas en materia orgánica (Abdulkader y Sadaqah, 1998). La forma de vida sésil permite que conserven su posición de vida original, la mayoría de estos organismos se pueden encontrar en el campo con sus valvas unidas sin rasgos de desarticulación o fractura, ya que son estructuras resistentes a las olas de alta energía, formándose en aguas poco profundas, lo que implica que se desarrollaron en condiciones salobres o hipersalinas (Abdulkader y Sadaqah, 1998; Higuera-Ruiz y Elorza, 2006). Durante el Cretácico, este tipo de biohermas alcanzaron pocos metros de diámetro hasta varios kilómetros de espesor, desarrollándose en plataformas epicontinentales poco profundas como parte del mar de Tethys (Abdulkader y Sadaqah, 1998).

Registro fósil

El origen de las ostras ha sido controvertido y se han generado varias hipótesis, debido a la gran variedad de especies involucradas, a la diversidad de formas y a la ausencia de características internas perdidas en el proceso de fosilización. Para su estudio se han empleado tanto características estructurales como internas: la microestructura de la concha,

el músculo aductor y sus impresiones o la comisura de la concha. Entre las características que han sido consideradas como primitivas están la forma orbicular de la inserción del músculo aductor y la posición de esta inserción comparativamente más cercana a la charnela (Castillo, 1977).

Las ostras son comunes en el registro fósil debido, entre otros factores, a que sus conchas son muy gruesas y resistentes a la disolución en el medio diagenético, ya que poseen carbonato de calcio en forma no solo de aragonita sino también de calcita, que es un mineral muy estable.

Los fósiles más antiguos pertenecen a la superfamilia Ostreoidea del Kunguriano (Pérmico Temprano).

El registro fósil de la Superfamilia Ostreoidea está bien representado en varios países de todo el mundo, lo cual se ha prestado para diversos estudios con diferentes enfoques. En Norteamérica se han descrito especies del Jurásico y del Cretácico (Stenzel, 1959, 1971; Cussen y Bolton, 1998; Wilson *et al.*, 1998); en Alemania y en África se han realizado estudios relacionados con el origen y evolución del grupo (Dhondt *et al.*, 1999, Hautmann, 2001, 2006; Márquez-Aliaga *et al.*, 2005). En Argentina y Chile ha existido un interés especial sobre su papel en las facies sedimentarias, cuestiones paleoecológicas y tafonómicas (Ferinati y Zavala, 2002; Lazo, 2004, 2006, 2007; Mauna *et al.*, 2005; Lazo *et al.*, 2008; Rubilar, 2008). Al mismo tiempo se han realizado estudios de paleoecología y tafonomía en ostras del Mioceno de Egipto (El-Hedeny, 2005) y de estratigrafía en el Cretácico del sureste de India (Ayyasami, 2006).

Para México, las especies fósiles han sido ampliamente referidas y corresponden a diferentes edades: Pleistoceno (Chace, 1956; Hertlein, 1956, 1968; Valentine, 1957; Addicott y Emerson, 1959; Squires, 1959; Lindberg *et al.*, 1980; Aberhan y Fursich, 1991; Meldahl y Cutler, 1992); Plioceno (Jordan y Hertlein, 1926; Beal, 1948; Durham, 1950; Chace, 1956; Hertlein, 1966, 1968); Mioceno (Hertlein, 1927; Gardner, 1945; Beal, 1948; Perrilliat, 1994); Oligoceno (Gardner, 1945); Eoceno (Gardner, 1945; Vega y Perrilliat, 1989; Squires y Demetron 1990, 1992; Perrilliat y Vega, 1994, 2003); Paleoceno (Gardner, 1945; Beal, 1948; Vega *et al.*, 1999); Cretácico (Böse, 1927; Imlay, 1940; Allison, 1955;

Alencáster, 1956; Murray *et al.*, 1960; Wolleben, 1977; Hernández y Kirkland, 1993; Eberth *et al.*, 2004; González-León *et al.*, 2008); Jurásico (Jaworski, 1929; Omaña y González Arreola, 2008; Vega y Lawton, 2011).

Para la Formación San Juan Raya, del Cretácico de Puebla, Alencáster (1956) describió las especies *Ostrea alicula* (Hamlin, 1884) y *Exogyra acuticosta* (Nyst y Galeotti, 1840) y en años recientes se menciona su papel en la construcción de bancos y de *ostreolitos* (estructuras que se describirán posteriormente) y su relación ecológica y tafonómica con otros organismos fósiles (Zárate, 2003).

ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación geográfica

Los afloramientos estudiados se localizan aproximadamente a 45 km al suroeste de la Ciudad de Tehuacán, Puebla, entre los poblados de Santa Ana Teloxtoc, San Juan Raya y

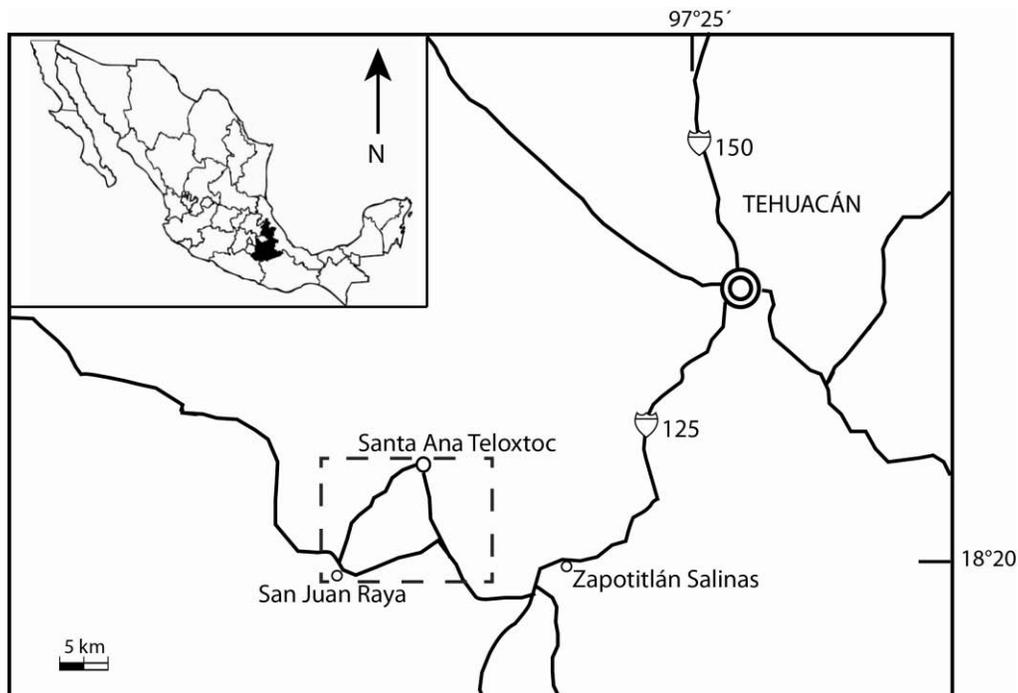


Figura 5. Localización geográfica de la región Tehuacán-San Juan Raya. El cuadro interno representa los límites del área de estudio.

Zapotitlán de las Salinas, pertenecientes al municipio de Zapotitlán. La región San Juan Raya-Tehuacán forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, en la zona noroccidental de la Subprovincia de la Meseta de Oaxaca (Barceló-Duarte, 1978) (Figura 5).

Geología general de la región Tehuacán-San Juan Raya

La región de Tehuacán-San Juan Raya está conformada principalmente por afloramientos de rocas cretácicas, y en menor proporción por afloramientos de rocas del Paleozoico, Paleógeno y Neógeno.

En 1956, Calderón describió las formaciones cretácicas. Posteriormente, Barceló-Duarte (1978) y Buitrón y Barceló-Duarte (1980), elevaron de rango a los miembros Agua del Burro y Agua del Cordero de la Formación Zapotitlán a formaciones independientes, si bien no lo publicaron de manera formal (Figura 6).

Formación Zapotitlán (Barremiano Inferior-Superior). Se conforma por una sucesión de lutita, lutita calcárea, marga y arenisca. Descansa discordantemente sobre la Formación Mapache (Jurásico Tardío) y subyace concordantemente a la Formación San Juan Raya (Aptiano). Existe una gradación en donde se encuentran en mayor abundancia los carbonatos hacia la parte basal y oriental y van disminuyendo hacia la cima y la porción occidental.

Formación Agua del Cordero (Barremiano Superior-Aptiano Inferior). Se encuentra en contacto por la falla de la Formación Mapache. El contacto superior se interdigita con la Fm. San Juan Raya, y el contacto inferior con la Formación Zapotitlán. Se compone litológicamente de conglomerado heterogéneo sublitarenoso de color gris, rojizo y gris verdoso, interstratificado con arenisca de color rojo y gris; con lutita de color gris y gris verdoso; y con capas erráticas de limolita de color gris verdoso y gris negro.

Formación Agua del Burro (Barremiano Inferior-Aptiano Inferior). Su litología en general se compone de caliza compacta de color gris, intercalada con arenisca calcárea.

Esta formación descansa concordantemente sobre la Formación Zapotitlán y sobreyace en forma también concordante con la Formación San Juan Raya.

Formación San Juan Raya (Aptiano Inferior). Esta formación es estructuralmente compleja, mostrando un fuerte plegamiento y fallamiento (Figura 7), razón por la cual no ha podido medirse su espesor total. Barceló-Duarte (1978), midió un sección de 138.60 m a partir del contacto con la Formación Zapotitlán sobre la Barranca Salitrillo hasta el cruce con el camino a Santa Ana Teloxtoc, estimando un espesor total de 800 m. aproximadamente.

Sistema	Serie	Piso	REGIÓN TEHUACÁN			
			Calderón, 1956	Barceló-Duarte, 1978	Mendoza-Rosales, 2010	
CRETÁCICO	Superior	Maastrichtiano				
		Campaniano				
		Santoniano				
		Coniaciano				
		Turoniano				
		Cenomaniano				
	Inferior	Albiano	Formación Cipiapa	Formación Cipiapa	Formación Cipiapa	
		Aptiano	Formación San Juan Raya	Formación Miahuatepec	Formación San Juan Raya	Formación Miahuatepec
		Barremiano	Formación Zapotitlán	formación Agua del Cordero Fm. Agua del Burro	Formación Zapotitlán	formación Agua del Cordero M. Agua del Burro Formación Zapotitlán
		Huateriviano			Fm. Caltepec Fm. La Compañía	
		Valanginiano				
		Berriasiano				

Figura 6. Unidades estratigráficas del área.

La Formación San Juan Raya descansa concordantemente sobre la Formación Zapotitlán; hacia el Este sobreyace con la formación Agua del Burro y hacia el Sureste su contacto es transicional con los conglomerados de la formación Agua del Cordero. El contacto superior es discordante con la Formación Cipiapa y con depósitos de aluvión. Se compone litológicamente de lutita calcárea y arenisca prevaleciendo en mayor cantidad la lutita de color gris verdoso a gris (Figura 8). Entre estas capas de lutita se encuentran estratos

delgados entre 1 y 5 cms de espesor de lutita calcárea, intercaladas con las lutita se encuentran arenisca y arenisca calcárea de color gris a gris verdoso de grano fino a medio de 2 a 50 cms de espesor y con gran cantidad de vetillas de calcita. Entre estas capas se encuentran verdaderas coquinas de ostras (Barceló-Duarte, 1978). Paleontológicamente, esta unidad es la más significativa del área.



Figura 7. Afloramiento en la Barranca San Lucas. Las flechas indican el fallamiento y plegamiento en las rocas de la Formación San Juan Raya.

Formación Miahuatepec (Aptiano). Descansa discordantemente sobre la Formación Zapotitlán y es sobreyacida en forma discordante por la Formación Tehuacán del Paleogeno?. Se conforma litológicamente de caliza color gris-negro con marga en la base, formando interestratos.

Formación Cipiapa (Albiano-Cenomaniano). Se conforma de una secuencia calcárea gris que descansa discordantemente sobre la formación San Juan Raya, la Formación Zapotitlán y la Formación Tehuacán (Terciario). Su litología se compone de una secuencia de caliza color gris claro y gris café, muy fracturada.

Recientemente Mendoza-Rosales (2010), al estudiar la evolución tectonosedimentaria de la región de San Juan Raya-Zapotitlán-Tehuacán, propone de manera informal la redefinición de estas unidades, nombrando dos formaciones nuevas (Caltepec y La Compañía) y considerando a Agua del Burro como el miembro inferior de la Formación San Juan Raya con base en la afinidad que presentan sus asociaciones de facies, todas ellas acumuladas en ambientes costeros o marinos someros durante el lapso Barremiano-Aptiano temprano, restringiendo como formación Zapotitlán a la sucesión arcillo-arenosa y calcárea de edad Hauteriviano (¿?)-Barremiano acumulada en ambientes marinos más distales (turbiditas de aguas someras en una plataforma clástica) (Figura 6). En espera de la publicación formal de esta importante contribución, en el presente estudio se sigue la propuesta de Calderón (1956) y la enmienda de Barceló-Duarte (1978).



Figura 8. Estratos delgados de lutita y arenisca intercalados de la Formación San Juan Raya.

Localidades de estudio

Se trabajó en cinco localidades ubicadas en las barrancas Salitrillo, Grande y San Lucas, entre los poblados de San Juan Raya, San Lucas Teteletitlán y Santa Ana Teloxtoc (Figura 9).

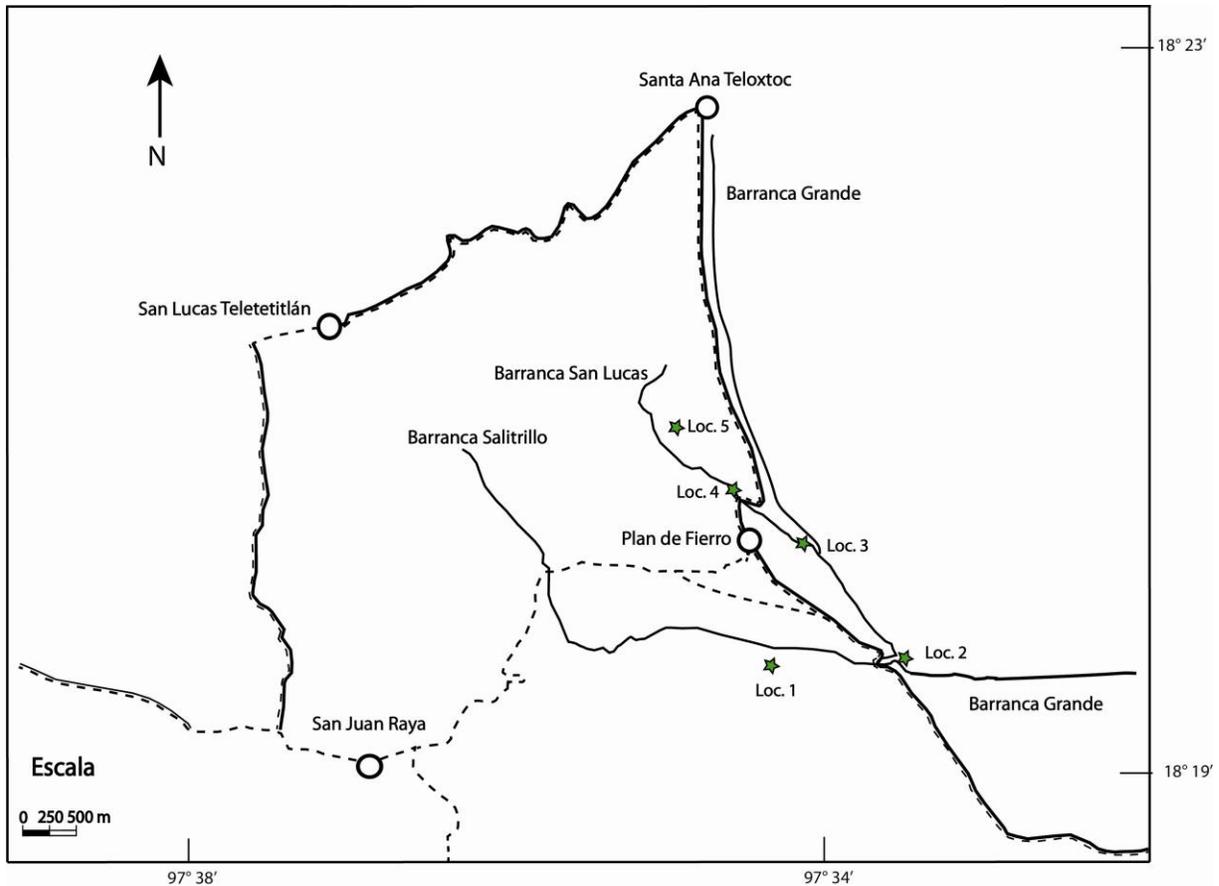


Figura 9. Mapa de ubicación de las localidades de estudio

Localidad 1.- Se encuentra en la Barranca Salitrillo, ubicada geográficamente en las coordenadas $18^{\circ} 19.517' N$ y $97^{\circ} 34.594' W$. Se midió una sección de 43.32 metros a partir de la lutita que presenta huellas de dinosaurios terópodos. Por encima se presenta una arenisca con impresiones de restos vegetales y restos de gasterópodos, bivalvos y corales que resaltan de la roca por los tonos ocre de intemperismo. Sobreyaciendo a estas capas se presentan estratos de lutita y arenisca intercalados; varios estratos presentan ostras, algunas de manera aislada y otras formando capas y parches de un espesor no mayor a los 20 centímetros. Hacia la parte superior de la sección se observó un banco de rudistas recubierto parcialmente por coral y ostras. Se midieron seis niveles con registro de ostras, de los cuales los tres primeros se observan en la Figura 10.

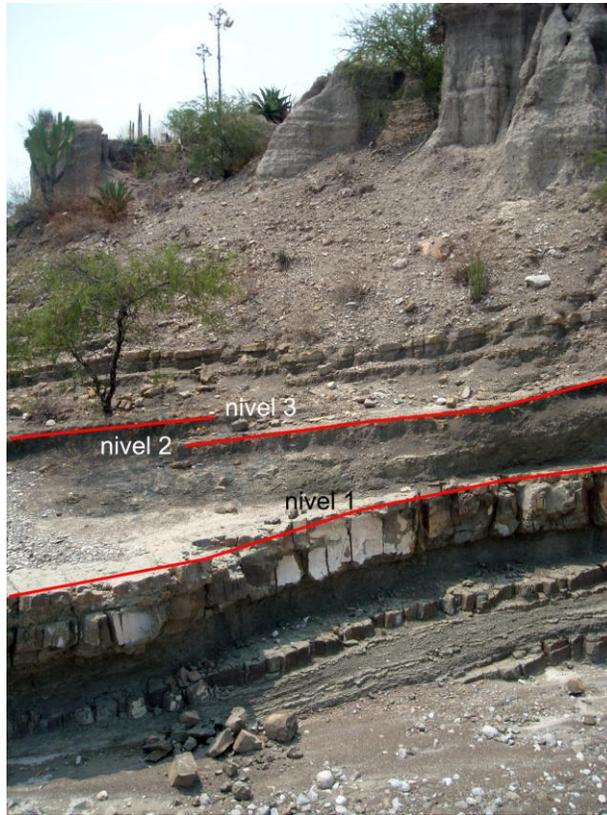


Figura 10. Localidad 1 en la Barranca Salitrillo. Base en donde se comenzó a medir la sección.

Localidad 2.- Se encuentra en la Barranca Grande, en la base de la Formación San Juan Raya, a partir del contacto con la formación Agua del Burro (en el sentido de Barceló, 1978), (Figura 11). Geográficamente se ubica en las coordenadas $18^{\circ} 19.57' N$ y $97^{\circ}33.62' W$.

Se midió una sección total de 45.30 metros. Predominan intercalaciones de arenisca de color café que se alternan con lutita gris sin fósiles; con un espesor aproximado de 80 cm de arenisca a 6 m de estratos calcáreos con gran cantidad de rudistas que van decreciendo paulatimamente en cantidad de la base hacia la superficie. Suprayaciendo a las capas de lutita y arenisca calcárea se encuentra un bloque de 7.40 m de espesor, en donde hay presencia de icnofósiles, ostras, rudistas y gasterópodos. Posteriormente se encuentran estratos de caliza gris oscura con espesor de 1.60 m a 2.60 m con gran cantidad de rudistas

y escasa presencia de bivalvos del género *Cardium*. La sección termina con arenisca y lutita intercaladas. Se observaron dos niveles con registro de ostras.

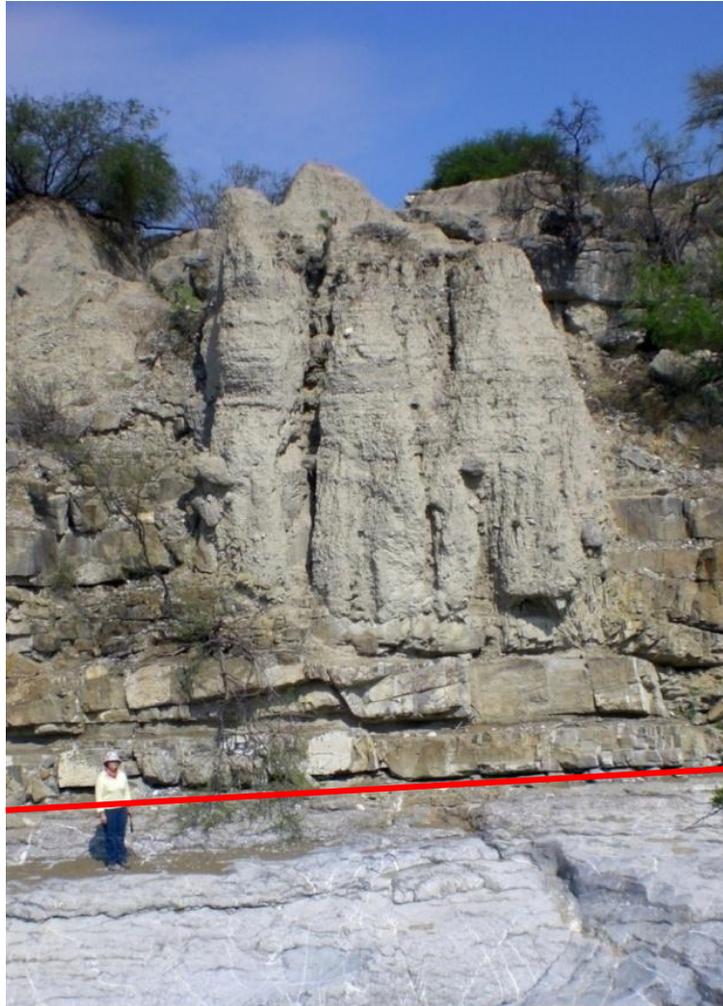


Figura 11. Localidad 2, foto de campo en donde se muestra el contacto entre la formación Agua de Burro y la Formación San Juan Raya, en la Barranca Grande.

Localidad 3.- Se ubica en la Barranca San Lucas, geográficamente en las coordenadas $18^{\circ}20.17' N$ y $97^{\circ}34.22' W$. En esta localidad se presenta un gran banco de ostras de aproximadamente 2.50 metros de espesor incluido en una matriz de arenisca con intercalaciones de lutita color gris de 11 cm de espesor. Se observaron tres niveles con registro de ostras (figura 12).

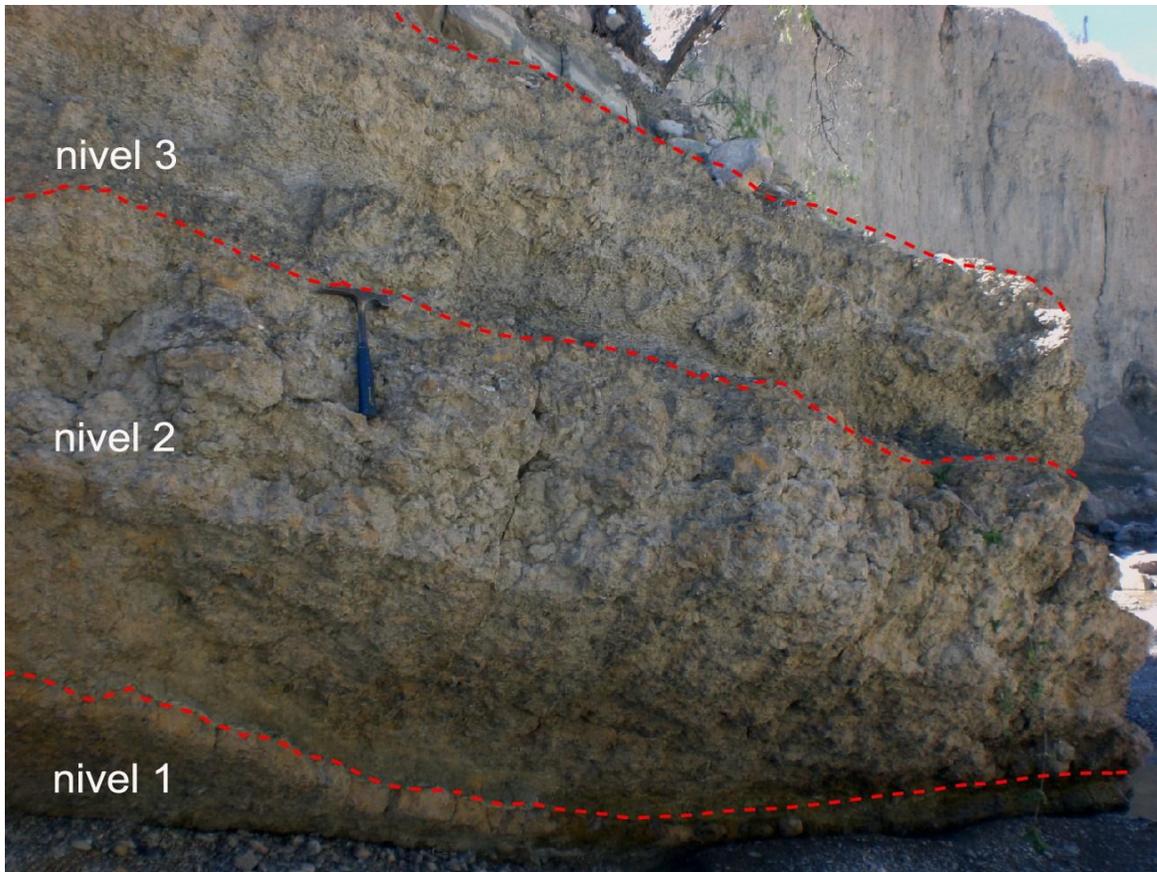


Figura 12. Localidad 3, afloramiento en la Barranca San Lucas donde se encuentra el banco de ostras muestreado.

Localidad 4.- Se ubica en la Barranca San Lucas, geográficamente en las coordenadas $18^{\circ}20.48' N$ y $97^{\circ}34.60' W$. Se midió una sección de 80.6 metros de espesor. Esta sección se compone de intercalaciones de lutita gris y capas delgadas de arenisca color crema. Los estratos tienen un espesor de de 10 a 11cm; dentro de éstos se encuentra un banco de ostras, conchas completas de otros bivalvos, como *Pterotrigonia* e icnofósiles. Sobreyaciendo a esta capa se encuentra un parche de ostreoideos con fragmentos de *Pterotrigonia* sp., fragmentos de corales y gasterópodos. Por encima de estos estratos se encuentra un bloque de 47 m de capas delgadas de arenisca con intercalaciones de lutita; el contenido fosilífero es escaso, encontrándose pequeños lentes aislados de ostras. Por encima de estas capas hay arenisca gris a verde, con lentes aislados de ostras y posteriormente se encuentra una capa de arenisca con pavimentos de bivalvos de diferentes especies. Se observaron cinco niveles con registros de ostras (Figura 13).



Figura 13. Localidad 4, afloramiento en la Barranca San Lucas.

Localidad 5.- Se ubica en la Barranca San Lucas, geográficamente en las coordenadas $18^{\circ}21.55$ y $97^{\circ}35.34$ W. Equivale a la localidad 2 de Zárte (2003). La sección medida tiene un espesor de 98.52 m. Presenta una alternancia de estratos de arenisca color café claro con estratos de lutita de color gris (Figura 14). En uno de los estratos de arenisca calcárea se presenta un banco de ostras con diferentes grados de conservación; también se encuentran corales fragmentados, radiolas de erizos y organismos epibiontes (serpúlidos y briozoarios). Este estrato de arenisca está cubierto por un estrato de lutita gris clara y sobreyaciéndole se presenta una arenisca café claro con presencia del bivalvo *Isognomon lamberti* y radiolas de erizos; por encima se presenta una lutita gris intercalada con capas delgadas de arenisca calcárea de color crema con corales solitarios y nuevamente radiolas de erizos (Zárte, 2003). El banco de ostras fue el único nivel con ostras en esta sucesión.



Figura 14. Localidad 5, talud a un costado de la Barranca San Lucas (tomada de Zárate, 2003).

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en dos partes:

Trabajo de campo

Consistió en cuatro visitas al área de estudio, en la primera se reconocieron los afloramientos y se establecieron las localidades a estudiar y en las salidas posteriores se tomaron los datos de cada localidad y se recolectó el material fósil.

La posición geográfica de las localidades se obtuvo con la ayuda de un GPS (Global Positioning System: sistema de posicionamiento global), asimismo se ubicaron las localidades en la carta topográfica a escala 1:50 000 del INEGI, hoja Tehuacán.

Para obtener los datos de las localidades, se midieron las secciones correspondientes, ubicando los niveles en donde se presentan las ostras. Para el registro del material en el campo se colectaron bloques de los estratos portadores de ostras y se elaboró una bitácora fotográfica, que incluye el material colectado y el que no se pudo colectar, con el fin de complementar el análisis del registro de las ostras. Del mismo modo se tomaron datos de campo a partir de las observaciones realizadas, con el fin de efectuar el análisis tafonómico posteriormente.

Atributos tafonómicos.-

Los índices o atributos biostratinómicos que se usaron fueron modificados de Brett y Baird (1986) y de Fernández-López (2000).

- *Reorientación*: Un enterramiento *in situ* indica que los restos están en posición de vida y hubo un enterramiento rápido, sin sufrir transporte o reorientación. El grado de reorientación se relaciona directamente con la energía del medio ambiente, la densidad y la forma de los elementos fósiles. En algunos bivalvos las reorientaciones más comunes son cóncavo-convexo hacia abajo y cóncavo-convexo hacia arriba; también se han distinguido varios patrones de reorientación preferente de los restos esqueléticos.
- *Desarticulación*: Es un proceso que ocurre rápidamente en los bivalvos después de su muerte ya que la separación de las dos valvas se suele dar cuando los ligamentos que las unen dejan de funcionar. Por lo tanto, los elementos que se encuentran articulados generalmente indican un enterramiento *in situ*. Sin embargo, el grado de desarticulación no es necesariamente proporcional a la energía mecánica del medio (Fernández-López, 2000).
- *Fragmentación*: Es un proceso que generalmente se presenta después de la muerte de los organismos. En esqueletos frágiles las fracturas suelen ser comunes y se puede inferir peculiaridades sobre los hábitos de vida de los organismos y de su sepultamiento, mientras que en esqueletos resistentes a las fracturas, éstas pueden indicar un reabajado constante y prolongado por la acción de la energía del

ambiente. La fragmentación de las partes esqueléticas también puede producirse por organismos depredadores.

Los atributos anteriores se estimaron de acuerdo a la siguiente proporción:

Muy alta: > 75%

Alta: 50 - 75%

Baja: 25 - 50 %

Muy baja: < 25%

- *Selección de tamaños y formas*: Están representados los elementos de un determinado tamaño dentro de la variabilidad propia de cada especie (p.ej. los más pequeños o los más grandes). La selección puede ser el resultado de transporte y la energía del medio, tomándose en cuenta el tamaño más frecuente. El registro estudiado no presenta una selección de formas (valvas derechas, valvas izquierdas, entre otras).
- *Desgaste*.- Combinación de abrasión mecánica (AM) y corrosión biogeoquímica (CBG). Se refiere al desgaste de materiales sólidos, abrasivos, transporte por agua, viento y otros agentes en movimiento, produciendo la pérdida de ornamentación de los organismos.

Con estos atributos se estableció posteriormente una evaluación de la calidad de preservación de los restos:

1. Buena preservación sin alteración.
2. Buena preservación con mínima alteración.
3. Mala preservación con moderada alteración.
4. Pobre preservación con alta alteración.

La observación de los atributos tafonómicos se completó considerando otras características que permiten las interpretaciones tafonómicas (*bioerosión, incrustación* de organismos epibiontes) y ecológicas (*organismos asociados*).

Trabajo de laboratorio

Para detectar el efecto de procesos diagenéticos como disolución de las conchas, relleno por sedimento o mineralización, se examinaron secciones delgadas de las muestras de ostras por métodos petrográficos convencionales (elaboración de láminas delgadas) y mediante tinción con Rojo de Alizarina (0.2 g para 100 ml de HCl al 1.5%) y $K_3[Fe(CN)_6]$ y hexacianoferrato de potasio o ferrocianuro potásico (2 g para 100 ml de HCl al 1.5%), siguiendo el método de Dickson (1965) en Sánchez-Beristain (2010) (Anexos 1 y 2). La preservación de las valvas de ostras se comparó con las de *Isognomon*, grupo que se observa asociado al registro de ostras en algunos bancos.

Para la descripción de las concentraciones fósiles que no están relacionadas con arrecifes de ostras se siguió la clasificación de Kidwell *et al.* (1986) y Fürsich (1990) utilizando la *composición taxonómica* (organismos monotípicos y politípicos, monoespecíficos, y poliespecíficos), la *biofábrica* (empaquetamiento de los bioclastos), la geometría y la *estructura interna* (simple o compleja), considerando que variaciones laterales y verticales en la composición taxonómica, biofábrica y matriz del depósito provee evidencias importantes de la complejidad de la historia de la acumulación de los restos duros.

Para describir el origen o causa de las concentraciones observadas en el campo se utilizó la clasificación propuesta por Kidwell *et al.*, 1986 que las distingue en:

- Biogénica.- Originada por los hábitos de vida de los organismos y puede ser intrínseca o extrínseca, formando asociaciones autóctonas o bien parautóctonas o alóctonas, respectivamente.
- Sedimentológica.- Originada por procesos hidrodinámicos, en los cuales los restos orgánicos se comportan como partículas sedimentarias; como resultado los organismos pueden sufrir selección de tamaños, reorientación y/o mezcla de diferentes organismos provenientes de distintos ambientes.

- Diagenética.- Se origina por procesos post-enterramiento continuos que producen un aumento en la concentración de esqueletos, como la compactación y la disolución.

Para establecer el *time-averaging* (tiempo promediado), que es el tiempo transcurrido durante el cual se produce la concentración fósil, se sigue la propuesta de Kidwell y Bosence (1991), Flessa *et al.* (1993), Kidwell (1998), Flessa (2001), quienes clasifican los conjuntos fósiles en relación a la magnitud del tiempo durante la cual se formaron:

Census.- Se caracterizan por tener poco o nada de tiempo promediado y ofrecen la mayor resolución posible de la comunidad. Refleja una mezcla temporal de días o años y en general son producto típicamente de la muerte súbita debido a un enterramiento rápido, o mortalidad en masa. Se reconocen por una alta proporción de ejemplares articulados y muchos de ellos en posición de vida.

Dentro del hábitat.- Se caracterizan por reflejar generaciones de organismos con o sin un cambio ambiental respectivamente y su mezcla temporal es mayor a la de una asociación *censu*. El tiempo promedio estimado va desde unos años hasta unos pocos miles de años. Posee modificaciones tafonómicamente significativas debido a la respuesta que tiene la comunidad a los cambios ambientales, pero sin registrar evidencias de organismos de diferentes ambientes y/o tiempos.

Ambientalmente condensados.- Se caracterizan por ser comunidades que se mezclan en períodos de cambios físicos significativos en el ambiente y en el lugar de la concentración. Estas asociaciones derivan de dos o más comunidades sucesivas y reflejan la sobreposición tafonómica de dos o más ambientes. El tiempo promedio para su formación es de miles de años a decenas de miles de años.

Biostratigraficamente condensados.- La concentración se compone de taxones de diferentes biozonas que se mezclan en un solo ambiente y que se producen en tiempos geológicos muy largos. En estos depósitos se reconocen tanto ambientes someros como profundos y se

idealizan como registros relativamente completos con tasas bajas de sedimentación. El tiempo promedio para su formación va de acumulaciones de cientos de años a miles de años o más.

Para relacionar el registro fósil de las ostras con el ambiente en el cual se formó, se establecieron diferentes tafofacies y biofacies, siguiendo la propuesta de Lazo (2006); y Kietzmann y Palma (2009). A continuación se describen en qué consiste cada una:

Tafofacies. Las tafofacies o facies tafonómicas son un conjunto de rocas sedimentarias caracterizadas por los rasgos de preservación del contenido fósil. El estudio de las tafofacies refleja información acerca de las características ambientales, permitiendo así las reconstrucciones paleoambientales y su relación con las facies. Su estudio permite reconocer algunos parámetros que influyen en la preservación del registro fósil, como la frecuencia relativa de los episodios de tormenta y otros disturbios, tasas relativas de la sedimentación de fondo, la energía ambiental (incluyendo la intensidad y dirección de las corrientes), la geoquímica y el nivel de oxigenación de la columna de agua y el sedimento (Brett y Speyer, 1990).

Biofacies. Las biofacies se refieren a las características biológicas de un cuerpo de roca. Este término se ha empleado con dos connotaciones: en un sentido estratigráfico para referirse a un cuerpo de roca caracterizado por su contenido fosilífero y que se distingue de los demás cuerpos de roca; y en un sentido ecológico-ambiental, se utiliza para expresar la variación vertical y lateral de la biota con relación en las diferencias ambientales, también se usa para definir el tipo de comunidad o asociación de fósiles que caracterizan una región o cuerpo de roca (Brenchley, 1990).

RESULTADOS y DUSCUSIÓN

Atributos tafonómicos de cada localidad

Localidad 1.-

Nivel 1.

Descripción:

Litología constituida de lutita gris-verde de 60 cms de espesor con conchas de ostras aisladas y reorientadas en pequeños grupos, algunas de las conchas se encuentran articuladas y más de la mitad están fragmentadas. Se aprecia un desgaste mecánico y asociadas a ellas se observaron impresiones de huellas de dinosaurios terópodos.

Interpretación:

La concentración es politípica. Los bajos rasgos tafonómicos que presentan las conchas pudieron ser resultado de la acción mecánica del ambiente, que dio lugar a una concentración de tipo mixto. Las huellas de dinosaurios se formaron *in situ*, mientras que las ostras se acumularon por procesos sedimentológicos, sin salir de su ambiente original.

Nivel 2.

Descripción:

Litología constituida de lutita de 10 cms de espesor, presentando un pavimento de ostras con conchas desarticuladas, fragmentadas y con selección por tamaños. No hay evidencias de bioerosión e incrustación. Asociado al pavimento de ostras se encuentran escasos gasterópodos del género *Cerithium*.

Interpretación:

La concentración es politípica por la presencia de ostras y gasterópodos. Su origen es sedimentológico, ya que los rasgos tafonómicos que presentan permiten inferir que los restos estuvieron expuestos permanentemente en el medio ambiente y hubo un cierto retrabajo físico previo a su depósito final.

Nivel 3.

Descripción:

Litología constituida de lutita de 10 cms de espesor con grupos de ostras desarticuladas y fragmentadas, sin presencia de selección de tamaños y sin evidencias de bioerosión e incrustación. Asociados a los grupos de ostras se presentan gasterópodos del género *Cerithium* y restos de bivalvos del género *Isognomon*.

Interpretación:

La concentración es politípica por la presencia de ostras, gasterópodos y restos de *Isognomon* y de origen mixto. Pudo haberse formado por una colonización temprana de las ostras sobre un sustrato duro, en este caso alrededor de los gasterópodos, formando grupos que quedaron ahí sepultados. Estos grupos tuvieron cierto grado de retrabajo previo al sepultamiento final, e incluso en algunos casos hubo un desarrollo incipiente de ostreolitos. Las conchas de *Isognomon* se concentraron sedimentológicamente, pudiendo inferirse que se depositaron ahí después de sufrir un cierto transporte.

Nivel 4.

Descripción:

Litología constituida de arenisca de 16 cms de espesor con impresiones de plantas que resaltan por su tono café-óxido debido al intemperismo. Asociado a ellas se presentan valvas aisladas de ostras desarticuladas y fragmentadas. Se observa abrasión mecánica en la superficie de las ostras. Se presentan fragmentos de corales y gasterópodos del género *Cerithium*.

Interpretación:

La concentración es politípica, asociándose plantas, ostras, corales y gasterópodos. Su origen es sedimentológico. Los restos de plantas se depositaron fuera del hábitat. Los rasgos tafonómicos de las ostras indican que éstas al igual que los gasterópodos, estuvieron expuestas en el medio antes de ser enterradas.

Nivel 5.

Descripción:

La litología consiste en una coquina de rudistas y ostras, que se encuentran en posición de vida. No muestran fragmentación, selección de tamaños, ni desgaste. Tampoco tienen evidencia de bierosión o incrustación (Lámina 1E). Se observa un fragmento de coral asociado.

Interpretación:

Se trata de una concentración politípica asociándose rudistas, ostras y un fragmento de coral. El origen es mixto, ya que los rudistas y ostras se depositaron *in-situ*, mientras que el fragmento de coral pudo ser resultado del desprendimiento de un arrecife de coral cercano, ya que no presenta evidencias de transporte prolongado.

Nivel 6.

Descripción:

Litología constituida de arenisca de 30 cms de espesor, con lentes de grupos de ostras. Los rasgos tafonómicos no pudieron observarse ya que su afloramiento es parcial.

Interpretación:

La concentración es monotípica y de origen biogénico. Se trata de parches de ostras que se pudieron haber formado por un sobrecrecimiento sobre estructuras duras (restos de otros organismos) constituyendo ocasionalmente ostreolitos (Tabla 1, Figura 14 y Lámina 1).

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6
Reorientación	BAJA	BAJA	---	BAJA	---	BAJA
Desarticulación	BAJA	MUY ALTA	MUY BAJA	ALTA	MUY BAJA	BAJA
Fragmentación	BAJA	BAJA	MUY BAJA	ALTA	MUY BAJA	BAJA
Selección	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Desgaste	AM	AM	NO	AM	NO	AM
Bioerosión	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Incrustación	NO	NO	NO	NO	SI *	NO
Organismos asociados	Huellas de dinosaurios	Conchas aisladas de gasterópodo (<i>Cerithium</i>)	Otros bivalvos y abundantes gasterópodos (<i>Cerithium</i>)	Restos de plantas, fragmentos de coral y gasterópodos	Rudistas y corales	NO

Tabla 1. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 1. *poliquetos y briozoarios

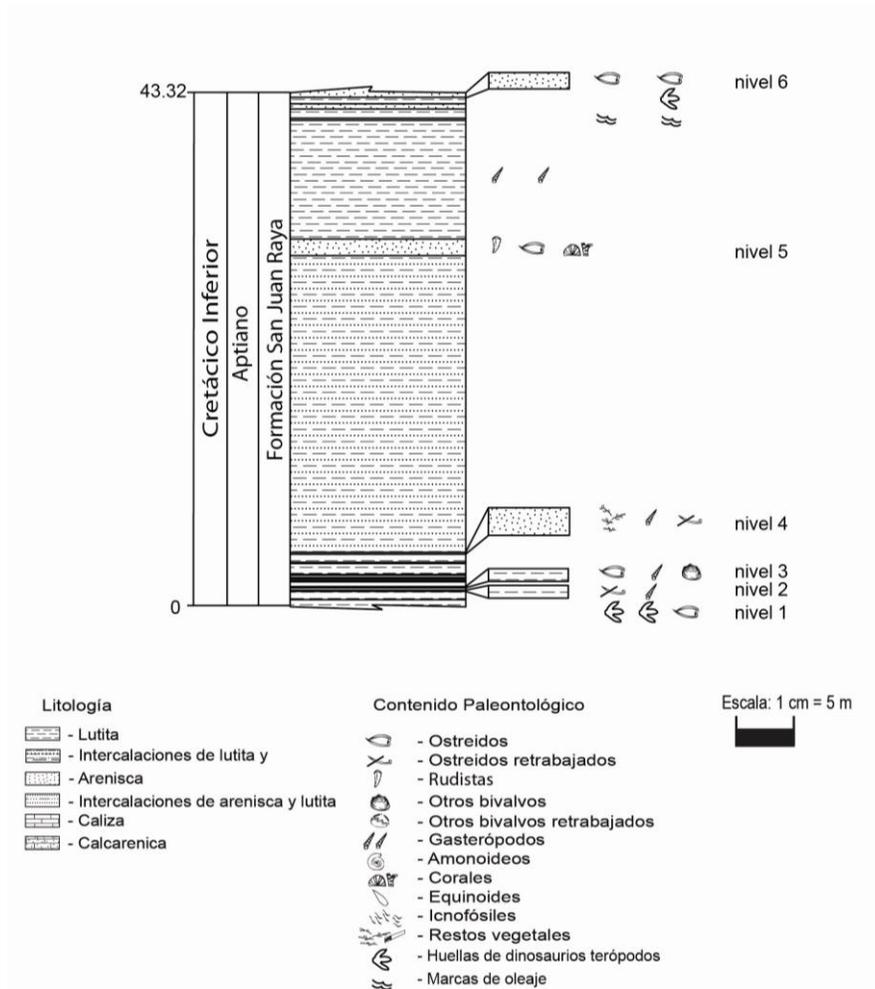


Figura 15. Columna estratigráfica de la localidad 1, ubicada sobre la Barranca Salitrillo. Se indican los niveles estudiados.

Localidad 2.-

Nivel 1.

Descripción:

Litología constituida de arenisca de 2.70 m de espesor. En la base del nivel hay icnofósiles de tipo *Thalassinoides* (Lámina 1A) y escasos gasterópodos y bivalvos, predominando las ostras sobre las demás especies. Hacia la parte superior se presenta una coquina de rudistas con ostras asociadas en menor proporción (Lámina 2B). Las ostras presentan un bajo grado de fragmentación, desarticulación y disolución.

Interpretación:

La concentración es politípica y de origen biogénico por la presencia de icnofósiles en la base y de rudistas y ostras hacia la parte superior. La presencia de icnofósiles y de las ostras indica un ambiente con buena disponibilidad de oxígeno, aguas calmadas y someras (Armella *et al.*, 2008). Hacia la parte superior, la buena conservación de los rudistas sugiere que quedaron sepultados *in situ* junto con las ostras, formando un banco.

Nivel 2.

Descripción:

Litología constituida de arenisca incluida en una matriz de 0.50 m de espesor con ostras y detrito de conchas. Las ostras se encuentran reorientadas y presentan desarticulación y fragmentación, con un tamaño de clastos menor a 5 mm. Hay corrosión biogeoquímica por lo que las conchas han perdido por completo su ornamentación. No hay presencia de bioerosión e incrustación. Asociadas a los restos de ostras se encuentran restos de rudistas y gasterópodos en menor proporción.

Interpretación:

Este tipo de concentración es politípica por la asociación de ostras, rudistas y gasterópodos y de origen sedimentológico, ya que las características tafonómicas de las ostras permiten inferir que hubo procesos post-enterramiento continuos que dejaron al descubierto las ostras para volver a ser transportadas y por la presencia de gasterópodos y de rudistas retrabajados (Tabla 2, Figura 16 y Lámina 2).

	NIVEL 1	NIVEL 2
Orientación	BAJA	ALTA
Desarticulación	BAJA	ALTA
Fragmentación	BAJA	ALTA
Selección	NO	NO
Desgaste	AM	CBG
Bioerosión	NO	NO
Incrustación	NO	NO
Organismos asociados	<i>Thalassinoides</i> rudistas, otros bi- valvos y gasteró- podos	Rudistas y gasterópodos

Tabla 2. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 2.

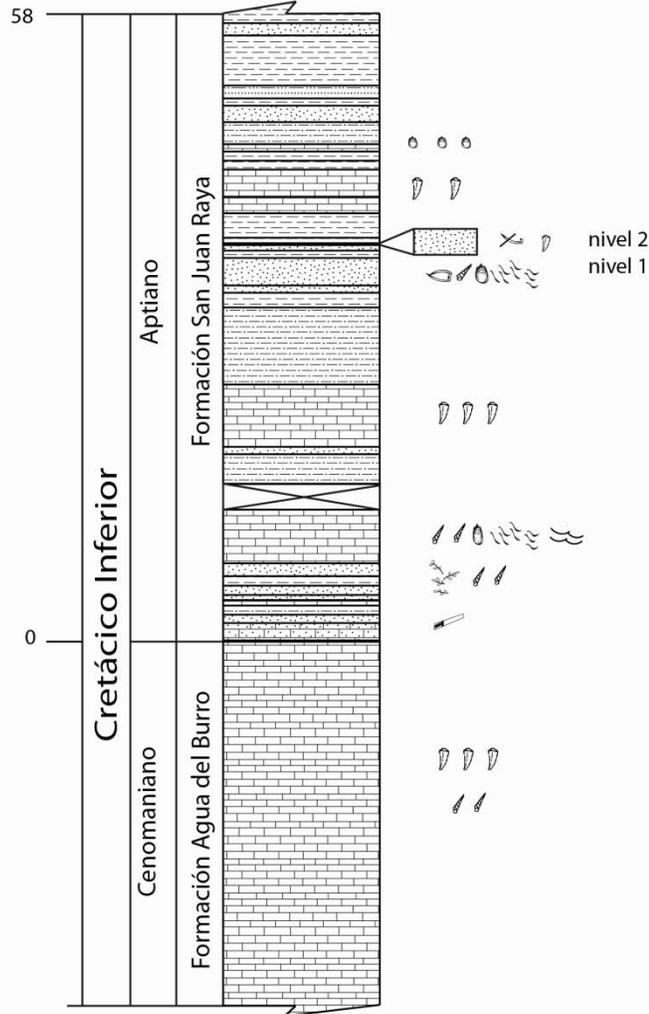


Figura 16. Columna estratigráfica de la localidad 2, ubicada sobre la Barranca Salitrillo. Se indican los niveles estudiados.

Localidad 3.-

Nivel 1.

Descripción:

Se trata de una concentración de más de un metro de espesor de las especies *Exogyra acuticosta* y *Ostrea alicula*, constituida por tres capas gruesas de ostras (niveles 1-3) separadas por depósitos finos de arenisca y lutita.

Asociados a este banco se presentan formas epibiontes (colonias de briozoarios y poríferos), escasos gasterópodos, radiolas de erizo y fragmentos de corales sin aparente

bioerosión. El grado de conservación de estos organismos es variable, presentándose principalmente fragmentación.

En la parte superior de esta bioconstrucción (nivel 3) se observan conchas de *Isognomon* en posición de vida con ambas valvas completas y articuladas. Otros ejemplares de la misma especie presentan las valvas desarticuladas (con menos de un centímetro de separación entre sí) y parcialmente rellenas con el mismo tipo de sedimento que constituye la matriz, sin mostrar un desplazamiento lateral de las valvas.

Interpretación:

Se trata de una bioconstrucción de ostras monoespecíficas de origen biogénico, en la que están representadas etapas sucesivas del establecimiento de las ostras. Los epibiontes debieron haberse desarrollado sobre la superficie de las conchas de las ostras cuando éstas estaban vivas, ya que únicamente se observan sobre la superficie exterior, que representó un buen sustrato para poder establecerse.

El registro de los bivalvos pterioideos indica que el banco de ostras pudo servir como sustrato para que se establecieran y, al igual que ocurrió con las ostras, quedaron cubiertos por sedimento durante un sepultamiento rápido, dado que quedaron *in situ* y el sedimento del relleno y de la matriz es el mismo. Es muy probable que hayan quedado sepultados mientras estaban vivos. La relación entre estas especies es claramente de competencia ecológica, favorecida por cambios en las condiciones del medio (posiblemente a una salinidad normal). Una vez reestablecidas las condiciones de salinidad, las formas eurihalinas (ostras) colonizaron la superficie del arrecife y se desarrollaron, recubriendo parcialmente a los individuos de la especie *Isognomon*.

El bajo grado de conservación de los restos alóctonos asociados como las conchas de gasterópodos, los fragmentos de corales y las radiolas de erizos, indica que éstos fueron arrastrados por corrientes, depositándose en el banco de ostras (Tabla 3, Figura 17 y Lámina 3).

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Reorientación	---	---	---
Desarticulación	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO
Fragmentación	BAJA	BAJA	BAJA
Selección	NO	NO	NO
Desgaste	AM	AM	AM
Bioerosión	NO	NO	NO
Incrustación	SI*	SI*	SI*
Organismos asociados	Corales y gasterópodos	Corales y gasterópodos	Radiolas de erizos, bivalvos

Tabla 3. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 3. *briozoarios

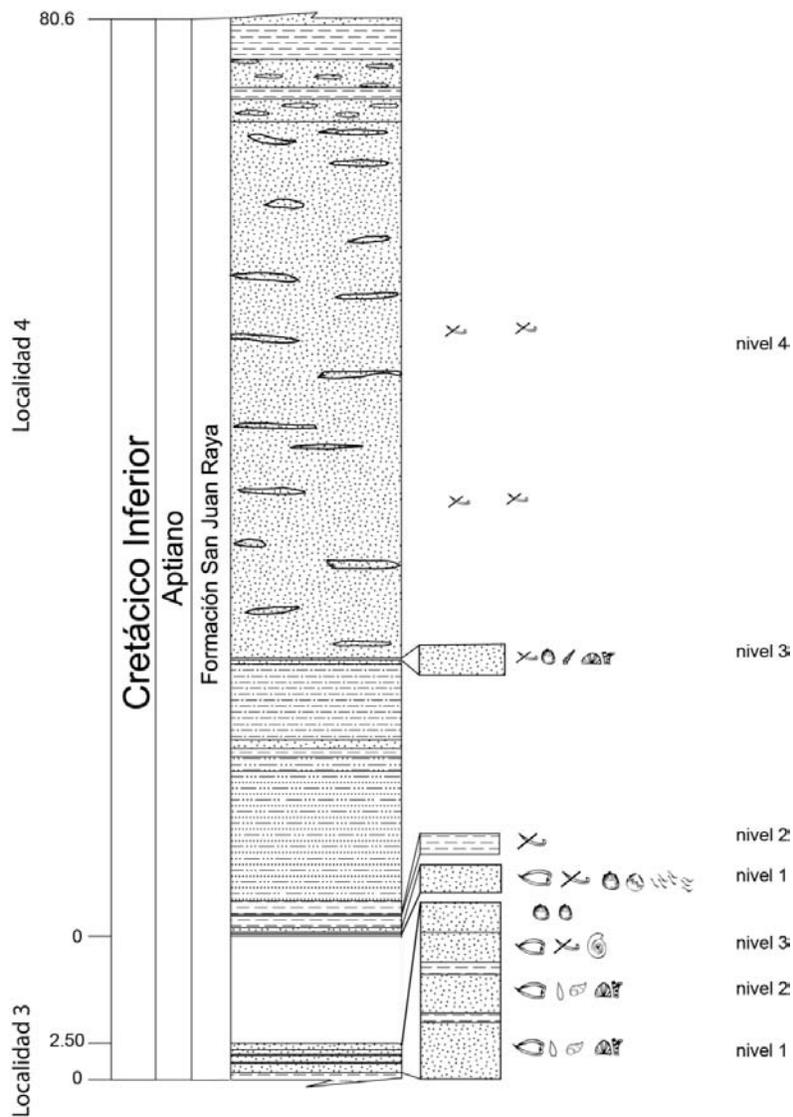


Figura 17. Columnas estratigráficas de las localidades 3 y 4, ubicadas sobre la Barranca San Lucas. Se indican los niveles estudiados.

Localidad 4.-

Nivel 1.

Descripción:

Hay presencia de dos lentes de ostras con diferente extensión lateral: la primera de 29.1 m y la segunda de 28.87 m. Cada lente tiene un núcleo constituido por conchas de ostras y hacia la periferia de los mismos se observan tubos de poliquetos. Se presentan asociados escasos gasterópodos, corales solitarios y coloniales, otros bivalvos y amonites, todos ellos incompletos y con desgaste superficial.

Las concentraciones de ostras van disminuyendo desde el núcleo hacia la periferia, haciéndose cada vez más visibles formas aisladas, desarticuladas y fragmentadas. Entre los bancos de ostras se observan depósitos de lutita con fragmentos de ostras menores a 5 mm, constituyendo un detrito de conchas (Figura 18).

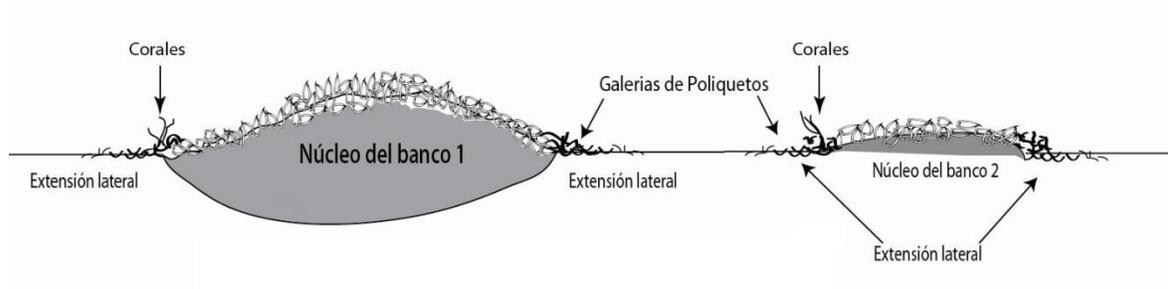


Figura 18. Reconstrucción del banco 1 y 2 de ostras en la localidad 4 (basado en Lazo, 2007).

Interpretación:

El tipo de concentración que se presenta es mixta, formada por agentes biogénicos y sedimentológicos. El gregarismo que se observa en las ostras de estas dos concentraciones indica que el enterramiento fue *in situ* y que las formas fragmentadas fueron retrabajadas y depositadas dentro de su mismo ambiente por corrientes o tormentas, depositándose finalmente alrededor de las concentraciones. La presencia de los poliquetos en la periferia de los bancos indica un reemplazamiento lateral por parte de éstos, en donde las ostras ya no pudieron colonizar.

Nivel 2.

Descripción:

La litología se compone de lutita gris con un espesor 40 cm, que contiene valvas de ostras retrabajadas, desarticuladas y fragmentadas. Los tamaños de los clastos son menores a 5 mm y se presenta desgaste mecánico. No hay evidencia de bioerosión e incrustación. Asociados a este registro se encuentran escasos tubos de poliquetos.

Interpretación:

El tipo de concentración que se presenta es politípica por la presencia de ostras y de los tubos de poliquetos. El origen de la concentración es sedimentológico, provocado probablemente por la acción de eventos de tormentas que arrastraron a este material, y que pueden ser fragmentos de bancos de ostras similares a los que se presentan en el nivel inferior.

Nivel 3.

Descripción:

Litología compuesta de arenisca de 80 cms de espesor que contiene grupos y restos aislados de ostras; en mucho menor número se presentan otros bivalvos (*Pterotrigonia*), gasterópodos (*Nerinea*) y fragmentos de corales. Algunos de ellos presentan ostras cementadas tanto en su superficie superior como inferior o en ambas, lo que representa diferentes etapas de la formación de ostreolitos. El desarrollo de ostras sobre la superficie de corales y conchas de gasterópodos no se observa siempre, pero puede ser detectado mediante cortes realizados en el laboratorio (figuras 19 y 20).

Wilson *et al.* (1998), propone que la formación de los ostreolitos se da por la colonización de ostras en su estadio larval que se cementan en un sustrato duro, recubriendo toda su superficie debido a la remoción ocasional de esta estructura sobre el fondo marino (Figura 21).

Interpretación:

Se trata de una concentración politípica por la asociación de ostras, otros bivalvos, fragmentos de gasterópodos y fragmentos de corales. Su origen es sedimentológico, ya que

la presencia de restos alóctonos como los fragmentos de corales indica que provienen de un arrecife. Lo mismo sucedió con las valvas desarticuladas de ostras y los restos de gasterópodos con ostras cementadas en su superficie



Figuras 19 y 20. Vista de planta y corte transversal. Se observa una concha de gasterópodo del género *Nerinea* recubierta parcialmente por ostras.

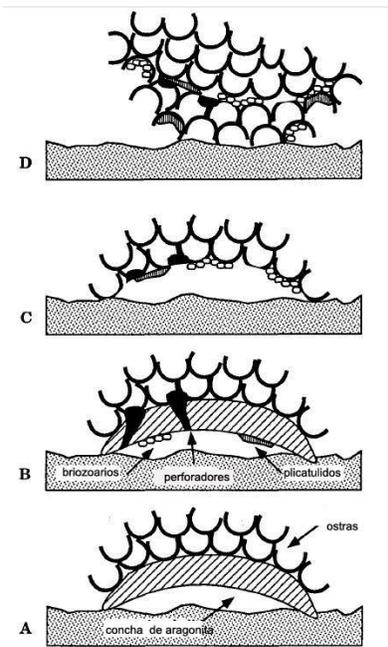


Figura 21. Modelo de la formación de ostreolitos (tomado de Wilson *et al.*, 1998).

Nivel 4.

Descripción:

Litología constituida de lutita con un espesor de 47 m en la que se intercalan lentes de arenisca de 5 a 20 cms de espesor que contienen restos de conchas de ostras y de otros organismos. Las concentraciones de ostras se presentan desarticuladas y muy fragmentadas, al grado de constituir pequeños lentes de detrito de conchas. Se presentan ondulitas como estructuras sedimentarias. Los rasgos tafonómicos en el campo no son visibles, ya que se encuentran totalmente recubiertos por el sedimento (Tabla 4, Figura 17 y Lámina 4).

Interpretación:

La presencia de los lentes con restos de ostras indica condiciones ambientales que arrastraron los restos de las conchas fuera del banco original, posiblemente durante eventos de tormentas.

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Reorientación	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA
Desarticulación	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA
Fragmentación	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA
Selección	NO	POR TAMAÑO	NO	POR TAMAÑO
Desgaste	AM Y CBG	AM	NO	AM
Bioerosión	NO	NO	NO	NO
Incrustación	NO	NO	NO	NO
Organismos asociados	Tubos de poliquetos, corales, otros bivalvos, amonites, gasterópodos	Tubos de poliquetos	Fragmentos de corales	Otros bivalvos, gasterópodos y corales

Tabla 4. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 4.

Localidad 5.-

Nivel 1

Descripción:

Se trata de una coquina muy intemperizada, formada por una alta concentración de ostras. Su forma es lenticular, con poco más de un metro de espesor y una extensión lateral de más de un metro. Las ostras presentan una orientación variable: algunas con el plano de

comisura casi horizontal y otras en posición de vida. Las ostras son pequeñas y en la superficie de sus valvas tienen marcas de bioerosión y epibiontes; las ostras presentan fragmentación, desarticulación y disolución (Zárate, 2003). Además de esta fauna, se presentan restos de otros organismos, como fragmentos de corales, gasterópodos retrabajados y radiolas de erizos.

Interpretación:

La concentración es monoespecífica, constituida por la especie *Ostrea alicula* y su origen es mixto (biogénico-sedimentológico). Por las características que presenta el banco de ostras se infiere que se desarrolló en un fondo limo-arenoso. Los bajos grados de desarticulación, fragmentación y disolución sugieren que se trata de registro *in situ*, donde valvas de las ostras sirvieron como sustrato para el establecimiento de otros organismos como los briozoarios y serpulidos que formaron pequeñas colonias. Por otro lado hay presencia de bivalvos del género *Lithophaga* que perforaron las conchas de las ostras, utilizándolas como sustrato en el que formaron sus galerías.

Los restos alóctonos como las radiolas de erizos, los fragmentos de corales, las valvas de otros bivalvos y los restos de gasterópodos, fueron transportados posiblemente por tormentas con bajo grado de intensidad (Zárate, 2003). Existen afloramientos cenozoicos con registros de arrecifes que muestran de arrecifes que muestran características similares (Rivas *et al.*, 1999).

Asociados a este banco se encontraron ostreolitos como lo refiere Zárate (2003), los cuales se desarrollaron a partir del recubrimiento de clastos, de fragmentos de coral o de conchas de otros moluscos. Las ostras de los ostreolitos también presentan en su superficie organismos epibiontes (briozoarios y serpulidos), al igual que perforaciones sobre las valvas realizadas por bivalvos litófagos (Tabla 5, Figura 22 y Lámina 5).

Orientación	NIVEL 1 BAJA
Desarticulación	BAJA
Fragmentación	BAJA
Selección	NO
Desgaste	NO
Bioerosión	+
Incrustación	*
Organismos asociados	Corales, gasterópodos, radiolas de erizos

Tabla 5. Atributos tafonómicos del registro de ostras en la localidad 5. + bivalvos litófagos y esponjas; * tubos de serpúlidos y colonias de briozoarios.

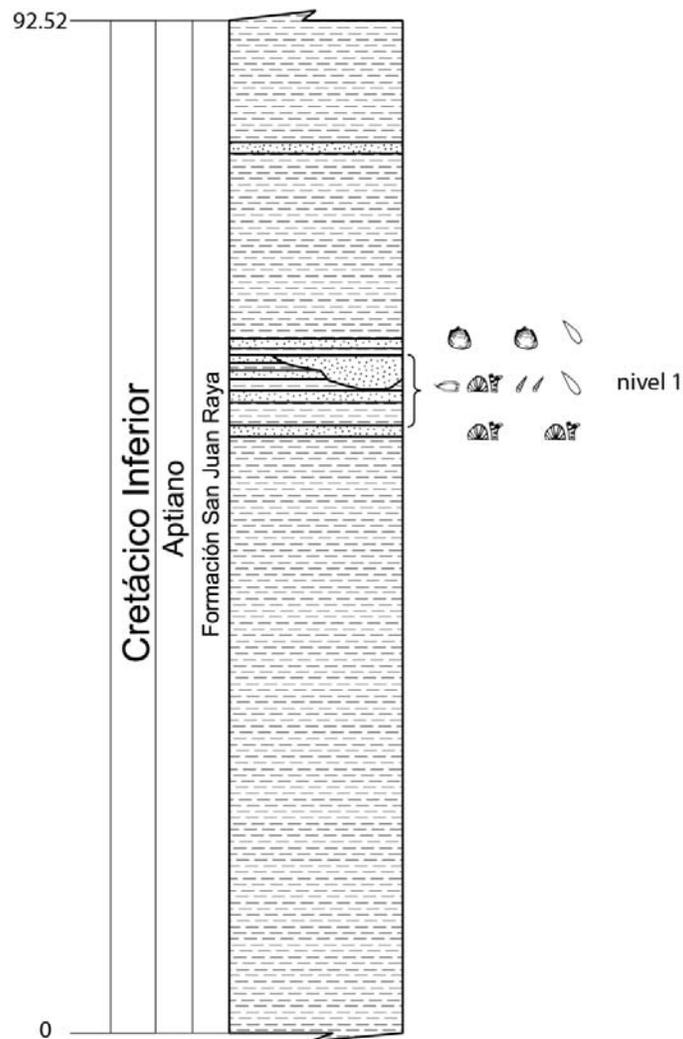


Figura 22. Columna estratigráfica de la localidad 5, ubicada sobre la Barranca San Lucas. Se indican los niveles estudiados (tomado de Zárate, 2003).

Análisis de láminas delgadas

Las observaciones de las láminas delgadas, antes y después de la tinción de Dickson (1965), demuestran que tanto el interior de las conchas como el material en que están contenidas tienen diferentes grados de alteración diagenética. Al realizarse la tinción en las láminas delgadas, la calcita no ferrosa y la aragonita se tiñen de color rosa pálido, la calcita rica en hierro se tiñe de azul, mientras que la dolomita no se tiñe.

La concha original de las ostras presenta una capa externa con microestructura prismática de calcita bien desarrollada (Martinell *et al.*, 2009). Las capas internas presentan una microestructura laminar calcítica en mayor proporción y es frecuente encontrar capas de “chalk” (agregados irregulares de hojas de calcita dispuestas casi perpendicularmente a la superficie de la concha, lo que produce una apariencia esponjosa), así como láminas de conquiolina (Esteban-Delgado, 2006; Ibisate y Elorza, 2007).

Las zonas que se tiñeron de rosa demuestran que la microestructura laminar original de las ostras se conserva sin sufrir alteraciones mayores. El material en que están contenidas las ostras y el material que rellena las cavidades de las conchas se tiñeron de azul, indicando la presencia de calcita rica en Fe (Lámina 6 A, B).

La presencia de Fe puede ser provocada por la disolución química en ambientes reductores (Higuera-Ruiz y Elorza, 2006). Sin embargo, debido a que las rocas de la Formación San Juan Raya se asocian a condiciones ambientales de aguas bien oxigenadas y poco profundas, la alteración de la concha y del material circundante (micrita) que le da el color amarillo-rojizo, puede deberse a oxidación al quedar expuestas subsecuentemente al sepultamiento, o a que hubo un periodo de descomposición de materia orgánica que generó la precipitación de óxido de hierro dentro y fuera de la concha, como ha sido referido para otros restos encontrados en la misma formación (Escalante-Ruiz, 2006; García-Barrera *et al.*, 1994).

En la lámina de una muestra de la localidad 3 (nivel 1), se presentan numerosos estilolitos en las conchas de las ostras. Se trata de estructuras columnares que se forman cuando una roca está sometida a fuertes presiones, principalmente de origen sedimentario y tectónico,

lo que propicia la disolución en las partes más débiles de la roca (Flügel, 2010). Antes de la tinción de las láminas, estas estructuras no fueron visibles, por lo que las conchas parecían estar bien conservadas, pero al aplicar la tinción se hacen evidentes (Lámina 6 C, D). Aún así, la microestructura prismática de la capa externa de la concha y la estructura laminar de las capas internas se conserva.

La dolomita euhedral, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, puede distinguirse de la calcita por la forma de sus cristales, que comúnmente son rombohedríticos y por su estructura fuertemente ordenada. La sustitución con el Fe y el Mn es muy común y se puede detectar en las láminas delgadas mediante difracción de rayos X, o con la tinción con Rojo de Alizarina y hexacianoferrato de potasio, pues pequeñas cantidades de Fe en la dolomita producen colores café o canela (Flügel, 2010).

Isognomon, al igual que otros pterioideos, tiene una concha con una microestructura que consiste en una capa externa de calcita prismática y capas internas de nácar de aragonita laminar, cementadas por material proteínico (Esteban-Delgado, 2006; Martinell *et al.*, 2009).

Al analizar las láminas delgadas de conchas de *Isognomon* se puede apreciar un reemplazamiento de la aragonita por dolomita, ya que se observan cristales en forma de rombos bien definidos (Lámina 6 D, E). En la otra valva del mismo ejemplar, la diagénesis se manifiesta por la recristalización que presentan los cristales de aragonita.

Las muestras de las ostras y de *Isognomon* presentan diferencias importantes en la alteración diagenética y esto se debe a la naturaleza de su microestructura original. La presencia de calcita en las ostras permite que se conserve la estructura de sus conchas al estar sometidas en el agua marina, porque las capas de calcita actúan como una barrera protectora contra la disolución, ya que son menos solubles que las capas aragoníticas que están presentes en *Isognomon* (Esteban-Delgado, 2006).

Consideraciones tafonómicas y paleoecológicas

El registro de ostras de la Formación San Juan Raya forma parte de la mayoría de las tafofacies que han sido reconocidas previamente (Quiroz-Barroso *et al.*, 2010, 2011). De ellas, las que predominan son:

- a) detrito de conchas que consiste en conchas de ostras retrabajadas, con un alto grado de fragmentación y desgaste. Representa un registro con preservación pobre y alteración alta.
- b) ostras retrabajadas incluidas en arenisca calcárea, en donde se presentan otros organismos que también fueron removidos. Las ostras pueden presentarse en grupos pequeños y corresponden a la especie *Ostrea alicula* o *Exogyra acuticosta*. Representa un registro con preservación de buena a moderada y con alteración de mínima a moderada.
- c) agregados de ostras de espesores variables en depósitos fangosos que representan bancos o arrecifes naturales de tipo franjeante o parche de acuerdo a la clasificación de Stenzel (1971). La preservación es buena y sin mayor alteración. Las ostras son de tamaño pequeño y están cementadas una a otra formando masas monoespecíficas de la especie *Ostrea alicula*, muy similares a los arrecifes de ostras actuales. En estos bancos, las ostras permitieron la coexistencia de una gran variedad de invertebrados como corales, gasterópodos, erizos y especies de otros bivalvos, ya que sus conchas sirvieron desde sustrato hasta refugio contra depredadores; en algunos casos se presentan colonias de briozoarios y serpulidos como epibiontes; rastros de bioerosión por esponjas y por bivalvos litófagos, así como asociaciones que representan claramente relaciones de competencia ecológica entre las ostras y otras especies.

Algunos bancos presentan una intensa bioerosión e incrustación y asociados a ellos se llegan a presentar ostreolitos.

Las diferencias en la calidad del registro fósil de las ostras de la Formación San Juan Raya indican diferentes grados tafonómicos en el sentido de Brandt (1989), según lo cual grados tafonómicos altos (equiparable a las asociaciones fósiles estudiadas bien preservadas) indican un tiempo de acumulación reducida. Por otra parte, capas de grados tafonómicos iguales indican historias tafonómicas similares.

El tiempo promediado estimado para las tafofacies analizadas se puede interpretar como: *census* para aquellas asociaciones en donde los individuos se presentan en posición de vida, los grados tafonómicos son altos y su transporte es mínimo o nulo; *dentro del hábitat* para las acumulaciones que tienen modificaciones tafonómicas significativas y el grado de transporte es mayor que en una asociación *census* (Tabla 6).

Existen asociaciones que representan claramente relaciones de competencia ecológica entre las ostras y otras especies; en la localidad 1 (Lámina 1 E) se puede observar la competencia entre ostras, rudistas y corales, ya que estas especies requieren de los mismos recursos para subsistir (sustrato, espacio, condiciones ambientales). En otros casos, al cambiar las condiciones ambientales o al aporte súbito de sedimento que sepultó parcialmente el banco de ostras, se propició el desarrollo de otros organismos como *Isognomon*, como queda representado en la localidad 3 (Lámina 3 F).

LOCALIDAD	NIVEL	LITOLOGÍA	TAFOCIAS	BIOFACIES	TIEMPO PROMEDIADO	AMBIENTE	
5	1	Coquina	IV	Ostras en posición de vida, bioconstructores, Bioerosionadores y ostreolitos asociados	Banco de ostras.	Census	Arrecife franjeante
4	4	Lutita	X	Lentes de detrito de conchas			Dentro del hábitat
	3	Arenisca	III	Corales y ostras retrabajados			Dentro del hábitat
	2	Lutita	X	Cuñas de detrito de conchas			Dentro del hábitat
	1	Lutita	IX	Lentes de ostras en posición de vida.	Bancos aislados de ostras.	Census	Pequeños parches de ostras
3	3	Coquina	VIII	Ostras en posición de vida	Banco de ostras	Census	Arrecife de ostras (parches)
	2	Coquina	VIII	Ostras en posición de vida	Banco de ostras	Census	Arrecife de ostras (parches)
	1	Coquina	VIII	Ostras en posición de vida	Banco de ostras	Census	Arrecife de ostras (parches)
2	2	Coquina	VII	Conchas retrabajadas			Dentro del hábitat
	1	Coquina-arenisca	VI	Rudistas y escasas ostras en posición de vida	Banco de rudistas y ostras.	Census	Arrecife de rudistas
1	6	Arenisca	V	Lentes de grupos de ostras			Dentro del hábitat
	5	Coquina-arenisca	IV	Ostras, rudistas y corales en posición de vida.	Banco de ostras, rudistas y corales.	Census	Pequeños parches de ostras
	4	Arenisca	III	Restos vegetales y de invertebrados retrabajados.			Arrecife franjeante
	3	Lutita	II	Grupos de ostras con gasterópodos e <i>Isognomon</i>			Dentro del hábitat
	2	Lutita	II	Pavimentos de ostras y gasterópodos			Dentro del hábitat
	1	Lutita	I	Huellas de dinosaurios y grupos de ostras aisladas	Huellas de dinosaurios.		Dentro del hábitat

Tabla 6. Tafofacies y Biofacies que contienen registro de ostras en la Formación San Juan Raya.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de ostras de la Formación San Juan Raya tienen un origen biogénico debido al hábito gregario de estos organismos, ó sedimentológico debido a las corrientes y eventos episódicos de sedimentación durante las tormentas y la descarga de sedimentos provenientes del continente. En algunos casos su origen es mixto.
- Las tafofacies de las concentraciones que se presentan en esta formación se pueden interpretar como depósitos en donde los flujos de energía son bajos y no alcanzaron a desplazar de su ambiente significativamente a las ostras y refleja procesos diagenéticos y/o bioestratinómicos activos en un ambiente de plataforma.
- El registro de las ostras se presenta en extensiones considerables en toda la formación, indicando que formaron bancos o verdaderos arrecifes de tipo franjeante y de parche, los cuales varían en extensión, geometría e intensidad de bioerosión.
- En este ecosistema, los ostreoideos coexistieron con una gran variedad de invertebrados como corales, gasterópodos, equinodermos y especies de otros bivalvos y sus conchas sirvieron como sustrato o como refugio contra depredadores. Estas asociaciones con otros organismos fósiles, indican que el ambiente en el que se desarrollaron tenía un elevado nivel de nutrientes.
- El tipo de organismos asociados y su abundancia relativa indica la existencia de complejas relaciones ecológicas, principalmente de competencia con rudistas y corales, así como sucesiones ecológicas al variar las condiciones ambientales, como en el caso de bivalvos pterioideos del género *Isognomon*.
- La tinción con Rojo de Alizarina y hexocianoferrato de potasio permitió determinar la presencia de dolomita en las conchas de *Isognomon* y calcita rica en Fe^{2+} en los materiales que rodean a las conchas y rellenan las cámaras de las ostras, indicando que las conchas fueron afectadas por la acción de fluidos meteóricos.

- La conservación de la microestructura de la concha de las ostras se debe en gran medida a su constitución calcítica, más resistente a los procesos de disolución.
- El sedimento en el que quedaron incluidos los organismos después de su enterramiento final, estuvo sujeto a la acción de compresión y disolución química indicada por la presencia de estilolitos.
- Debido a que el material de las conchas analizado mediante láminas delgadas y tinción indica la preservación sin alteración diagenética importante en varias zonas de las conchas, parece factible extraer suficiente carbonato que permita realizar futuros análisis geoquímicos como el estudio de isótopos estables para conocer la variación de rasgos paleoambientales tales como la paleotemperatura. Esta información puede ayudar a detectar variaciones en el ambiente que incidieron en las relaciones ecológicas o en las sucesiones ecológicas observadas en los arrecifes estudiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abbott, R.T. 1974. American Seashells: The marine Mollusca of the Atlantic and Pacific coasts of North America: II edit. Van Nostrand, New York, 663 pp.
- Abdulkader, A.M., Sadaqah, R. 1998. Role of Upper Cretaceous oyster bioherms in the deposition and accumulation of high-grade phosphorites in central Jordan: *Journal of Sedimentary Research*, 69: 1009-1020.
- Aberhan, M., Fursich, F.T. 1991. Paleoecology and paleoenvironments of the Pleistocene deposits of Bahia la Choya (Gulf of California, Sonora, México). In Fursich F.T., Flessa, K.W. (eds.), Ecology, Taphonomy and Paleoecology of Recent and Pleistocene Molluscan Faunas of Bahia la Choya, Northern Gulf of California: *Zitteliana*, 18: 135-164.
- Addicott, W.O., Emerson, K.W. 1959. Late Pleistocene Invertebrates from Punta Cabras, Baja California, Mexico: *American Museum Novitates*, 1925: 1-33.
- Aguilera, J.G. 1906. Excursión de Tehuacán a Zapotitlán y San Juan Raya. X Congreso Geológico Internacional. 10ª sesión. México, 1906: Libroto-Guía de la Excursión (7): 27.
- Alencáster, G. 1956. Pelecípodos y gasterópodos del Cretácico inferior de la región San Juan Raya- Zapotitlán, Estado de Puebla: *Paleontología Mexicana*, (2): 1-47.
- Allison, E.C. 1955. Middle Cretaceous gastropoda from Punta China, Baja California, Mexico: *Journal of Paleontology* 29(3): 400-432.
- Armella, C., Cabaleri N., Leanza H.A. 2008. Facies de patchs reefs en la Formación Picún Leufú (límite Jurásico/Cretácico) en la región de Zapala, Cuenca Neuquina: *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 10(1): 63-70.
- Ayyasami, K. 2006. Role of oysters in biostratigraphy: A case study from the Cretaceous of the Ariyalur area, southern India: *Geoscience Journal*, 10(3): 237-247.
- Barceló-Duarte, J. 1978. Estratigrafía y petrografía del área de Tehuacán San Juan Raya, Estado de Puebla: Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 143 pp.
- Beal, C.H. 1948. Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, Mexico: *Geological Society of America Memoir*, 31: 138 pp.
- Böse, E. 1927-1928. Cretaceous ammonites from Texas and northern Mexico: *University of Texas Bulletin*, 2748: 143-357.

- Bouchet, P., Rocroi J.P., Bieler, R., Carter, J.G., Coan, E.V. 2010. Nomenclator of bivalve families with a classification of bivalve families: *Malacologia*, 52(2): 184.
- Brandt, D.S. 1989. Taphonomic grades a classification for fossiliferous assemblages and implications for paleoecology: *Palaios*, 4:303-309.
- Brenchley, P.J. 1990. Biofacies. In Briggs D.E.G., Crowther P.R. (eds.), *Paleobiology: A synthesis*: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 394-400.
- Brett, C.E., Baird G.C. 1986. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation: *Palaios* 1: 207-227.
- Brett, C.E., Speyer, S.E. 1990. Taphofacies. In Briggs, D.E.G., Crowther P.R. (eds.), *Paleobiology: A synthesis*: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 258-262.
- Buitrón, B.E. 1968. Catálogo de Equinoides: *Paleontología Mexicana*, 26: 1-50.
- Buitrón, B.E. 1970. Equinoides del Cretácico Inferior de la Región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla: *Paleontología Mexicana*, 30: 1-65.
- Buitrón, B.E., Barceló-Duarte, J. 1980. Nerinéidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la Región San Juan Raya: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 4(1): 46-55.
- Burckhardt, C. 1930. Étude synthétique sur le Mézoïque mexicain: Mémoires de la Société Paléontologique Suisse, 49-50: 1-280.
- Calderón, G.A. 1956. Bosquejo Geológico de la Región San Juan Raya, Puebla: México, D.F. XX Congreso Geológico Internacional, Libreto-Guía de la excursión, 11: 9-27.
- Castillo, Z. 1977. Contribución al estudio taxonómico de algunas especies mexicanas de la familia Ostreidae: Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 108 pp.
- Castillo, Z., García-Cubas, A. 1986. Taxonomía y anatomía comparada de las ostras en las costas de México: Universidad Nacional Autónoma de México, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 13(2): 249-314.
- Chace, E.P. 1956. Additional notes on the Pliocene and Pleistocene fauna of the Turtle Bay area, Baja California, Mexico: *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 12(9): 177-180.
- Coquand, H. 1869. Monographie du genre *Ostrea*: *Terrain Cretacé*, 215 pp.
- Coutteau, G. 1890. Note sur quelques Echinides do terrain Crétacé du Mexique: *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3(18): 292-299.

- Cussen, D., Bolton, M.A. 1998. An analysis of ostreoliths ("Oyster Balls") from the Carmel Formation (Jurassic), southwestern Utah: Carleton College (inédito), 209-212.
- Dall, W.H. 1880. Reports on the results of dredging, under the supervision of Alexander Agassiz, in the Gulf of Mexico and in the Caribbean Sea by the U. S. Coast Survey Steamer "Blake", Lieut.-Commander C.D. Sigsbee, U.S.N., Commander J.R. Bartlett, U.S.N., commanding XV. Preliminary report on the Mollusca: *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 9(2): 33–144.
- De Loriol, P. 1875-1876. Note sur quelques espèces nouvelles appartenant a la classe des Échinodermes: *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, 24: 659-673.
- Dhondt, A.V., Malchus, N., Boumaza, L., Laillard, E. 1999. Cretaceous oysters from North Africa: origin and distribution: *Bulletin de la Société Géologique de France*, 170(1): 67-76.
- Dickson, J.A.D. 1965. A modified staining technique for carbonates in thin section: *Nature*, 205: 587.
- Douvillé, H. 1898. Sur quelques fossiles du Perou: *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3(26): 386.
- Durham, J.W. 1950. 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California. Part II - Megascopic paleontology and marine stratigraphy: *Geological Society of America Memoir*, 43(2): 1-216.
- Eberth, D.A., Delgado-de Jesús, C.R., Lerbekmo, J.F., Brinkman, D.R., Rodríguez-de Rosa R.A., Sampson S.D. 2004. Cerro del Pueblo Fm. (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(3): 335-352.
- El-Hedeny, M.M. 2005. Taphonomy and paleoecology of the Middle Miocene oysters from Wadi Sudr, Gulf of Suez, Egypt: *Revue de Paléobiologie*, 24(2): 719-733.
- Escalante-Ruiz, A.R. 2006. Estudio paleobiológico de las trigonías de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior de Puebla: Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 49 pp.
- Esteban-Delgado, F.J. 2006. Caracterización microestructural y cristalográfica de la concha prismatofoliada de pectinoidea, anomioidea y ostreoidea (Pteriomorphia: Bivalvia), Implicaciones evolutivas: Tesis doctoral, Universidad de Granada, Departamento de Estratigrafía y Paleontología, 186 pp.
- Feldmann, R.M., Vega, F.J., García-Barrera, P., Rico-Montiel R., Martínez-López, 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. 1891. Versteinerungen aus der mexikanischen Jura und Kreideformation: *Palaeontographica*. 37: 117-139.
- Felix, J., Lenk, M. 1891. Uebersicht über die geologischen Verhältnisse des mexicanischen Staates Puebla: *Palaeontographica*, 37:140-199.
- Ferinati, E., Zavala, C. 2002. Trace fossils on shelly substrate. An example from the Miocene of Patagonia, Argentina: *Acta Geológica Hispana*, 37: 29-36.
- Fernández-López, S. 2000. Temas de Tafonomía: Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, España, 167 pp.
- Flessa, K.W. 2001. Time-averaging. In Briggs D.E.G., Crowther P.R. (eds.), *Paleobiology: A synthesis*: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 292-296.
- Flessa, K.W., Cutler, A.H., Meldahl, K.H. 1993. Time and taphonomy: Quantitative estimates of time-averaging and stratigraphic disorder in a shallow marine habitat: *Paleobiology*, 19: 266-286.
- Flügel, E. 2010. Microfacies of carbonate rocks, analysis, interpretation, and application: Springer, 2da ed. Springer, Berlin-Heidelberg-New York. 984 pp.
- Fürsich, F.T. 1990. Fossil concentrations and life and death assemblages. In Briggs D.E.G., Crowther P.R. (eds.), *Paleobiology: A synthesis*: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 235-239.
- García-Barrera, P., Vega, F.J. Rico-Montiel, R., Martínez-López, L., Castillo-Cerón J. 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.
- Gardner, J. 1945. Mollusca of the Tertiary formations of Northeastern Mexico: *Geological Society of American Memoir*, 11: 1-332.
- Goldsborough, W., Meritt D. 2001. Oyster gardening guide for restoration and education: Maryland Sea Grant College Program for the Oyster Alliance, USA, 12 pp.
- Gómez-Espinosa, C., Gío-Argaéz, R., Buitrón-Sánchez, B. 2010. Capítulo 10. Reconstrucción paleobatimétrica basada en la presencia de moluscos en un depósito cretácico, San Juan Raya, Puebla. In Rangel-Ruiz, L.J., Gamboa-Aguilar J., Arriaga-Weiss, S.L., Contreras-Sánchez, W.M. (eds.), *Perspectivas en Malacología Mexicana*: UJAT, Villahermosa, 169-184.

- González-Arreola, C. 1974. *Phylloceras* del Cretácico Inferior de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 35: 29-37.
- González-Léon, C.M., Scott, R.W., Löser, H., Lawton, T.F., Robert, E., Valencia, V.A. 2008. Upper Aptian-Lower Albian Mural Formation: stratigraphy, biostratigraphy and depositional cycles on the Sonoran shelf, northern Mexico: *Cretaceous Research*, 29: 249-266.
- Hamlin, C.E. 1884. Results of an examination of Syrian molluscan fossils chiefly from Mount Lebanon: *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology*, Harvard, 3: 1-68.
- Hautmann, M. 2001. Taxonomy and phylogeny of cementing Triassic Bivalves (Families Prospondylidae, Plicatulidae, Dimyidae and Ostreidae): *Palaeontology*, 44(2): 339-373.
- Hautmann, M. 2006. Shell morphology and phylogenetic origin of oysters: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240: 668-671.
- Hernández-Láscares, D., 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.
- Hernández-Ocaña, M.I. y Quiróz-Barroso, S.A. 2011. Análisis tafonómico preliminar de las ostras del Cretácico Inferior de la Formación San Juan Raya, Puebla: XII Congreso Nacional de Paleontología, Puebla, México, libro de resúmenes, p. 82.
- Hernández R., Kirkland J.I. 1993. The rediscovery of a rich uppermost Campanian dinosaur locality in the Cerro del Pueblo Fm., Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 13(3, suppl.):41^a.
- Hertlein, L.G. 1927. Paleontology of the Miocene of Lower California: *Proceedings of the Academy of Sciences*, 16(19): 605-647.
- Hertlein, L.G. 1951. Description of two new species of marine pelecypods from West Mexico: *Bulletin, Southern California Academy of Sciences*, 50(2): 68-75.
- Hertlein, L.G. 1956. Marine Pleistocene Invertebrates from near Puerto Penasco, Sonora, Mexico: *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 12(8): 154-176.
- Hertlein, L.G. 1966. Pliocene fossils from Rancho El Refugio, Baja California and Cerralvo Island, Mexico: *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 30(14): 265-284.
- Hertlein, L.G. 1968. Three late Cenozoic molluscan faunules from Baja California. with a note on diatomite from west of San Felipe: *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 30(19): 401-405.

- Hertlein, L.G., Strong, A.M. 1946. Zoologica Mollusks of México and Central America: *New York Zoological Society*, 54-55.
- Higuera-Ruiz, R., Elorza, J. 2006. Perfiles geoquímicos y luminiscencia en las cámaras y concha de *Cassostrea* sp. de la Formación Zufía, Navarra (Albiense superior-Cenomaniense inferior): *Geogaceta*, 40: 203-206.
- Ibisate, R., Elorza, J. 2007. Estudio morfológico y microestructural de *Cassostrea gigas* en estuarios y puertos deportivos del oeste de la costa de Bizkaia: *Geogaceta*, 43: 99-102.
- Imlay, R.W. 1940. Neocomian Faunas of Northern Mexico: *Bulletin of the Geological Society of America*, 51(1): 117-190.
- Jaworski, E. 1929. Eine Lias-Fauna aus Nordwest-Mexico: *Abhandlungen der Schweizerischen Palaeontologischen Gesellschaft*, 48: 1-12.
- Jordan E.K., Hertlein L.G. 1926. Expedition to the Revillagigedo Islands, Mexico, in 1925, VII. Contribution to the geology and paleontology of the Tertiary of Cedros Island and adjacent parts of Lower California: *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 15(14): 409-464.
- Keen, A.M. 1958. Sea Shells of Tropical West America: Stanford University Press, USA., 624 pp.
- Keen, A.M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Marine Mollusks from Baja California, Mexico to Peru: Stanford University Press, Second Ed. USA, 82-84.
- Kidwell, S.M. 1998. Time-averaging in the marine fossil record: overview of strategies and uncertainties: *Geobios*, 30: 977-995.
- Kidwell, S.M., Bosence D.W.J. 1991. Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. In Alliso, P.A., Briggs, D.E.G. (eds.), Taphonomy, Releasing the Data Locked in the Fossil Record: Plenum Press, New York, 115-209 p.
- Kidwell, S.M., Furisch F.T., Aigner, T. 1986. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations: *Palaios*, 1: 228-238.
- Kietzmann, D.A., Palma, R.M. 2009. Tafofacies y biofacies de Formación Vaca Muerta en el sector surmendocino de la Cuenca Neuquina: implicancias paleoecológicas, sedimentológicas y estratigráficas: *Ameghiniana*, 46(2): 321-343.
- Lambert, J. 1935. Note sur quelques Échinides fossiles, Part 3, Échinides du Mexique: *Bulletin de la Société Géologique de France*, 5(4-5): 365-368.

- Lazo, D.G. 2004. Bivalve taphonomy: Testing the effect of life habits on the shell condition of the Littleneck Clam *Protothaca (Protothaca) staminea* (Mollusca: Bivalvia): *Palaios*, 19(5): 451-459.
- Lazo, D.G. 2006. Análisis tafonómico e inferencia del grado de mezcla temporal y espacial de la macrofauna del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio, Cretácico Inferior de cuenca Neuquina, Argentina: *Ameghiniana*, 43: 311-326.
- Lazo, D.G. 2007. Análisis de biofacies y cambios relativos del nivel del mar en el Miembro Pilmatué de la Formación Agrio, Cretácico Inferior de cuenca Neuquina, Argentina: *Ameghiniana*, 44(1): 73-89.
- Lazo, D.G., Aguirre-Urreta M., Price G.D., Rawson P.F., Ruffell A.H., Ogle, N. 2008. Paleosalinity variations in the Early Cretaceous on the Neuquén Basin Argentina: Evidencia from oxygen isotopes and palaeoecological analysis: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 260: 477-493.
- Lindberg, D.R., Roth B., Kellogg, M.G., Hubbs, C.L. 1980. Invertebrate megafossils of Pleistocene (Sangamon Interglacial) age from Isla de Guadalupe, Baja California, Mexico: *The California Islands*, 41-62.
- Lippson, A.J., Lippson, R.L. 1997. Life in the Chesapeake Bay: The Johns Hopkins University Press. Baltimore, MD, USA., 360 pp.
- Maldonado-Koerdell, M. 1953. Los equinoides regulares del Mesozoico de México: *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 7(1-4): 15-53.
- Márquez-Aliaga, A., Jiménez-Jiménez, A.P., Checa, A.G., Hagdorn, H. 2005. Early oysters and their supposed Permian ancestors. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229(1-2): 127-136.
- Martinell, J., Checa, A., Domenech, R., Gili, C., Olóriz, F., Rodríguez-Tovar, F.J. 2009. Moluscos. En Martínez-Chacón, M.L., Rivas P. (eds.), Paleontología de Invertebrados: Sociedad Española de Paleontología, Instituto Geológico y Minero de España, Universidad de Oviedo, Universidad de Granada, 227-376.
- Mauna, C., Casadío S., Parras A., Pascual, M. 2005. Abundance and distribution of Lithophaga (Mytilidae) in extant and fossil oysters: taphonomic and paleobiological implications: *Ameghiniana*, 42(2): 395-405.
- Meldahl K.H., Cutler A.H. 1992. Neotectonics and taphonomy: pleistocene molluscan shell accumulations in the northern Gulf of California: *Palaios*, 7: 187-197.
- Mendoza-Rosales, C. 2010. Estructura y facies de las cuencas cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico: Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciencias de la Tierra, 208 pp.

- Mora-Almazán, E.R. 2008. Bivalvos perforadores de madera de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior de Puebla: Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 44 p.
- 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 de la región de Tehuacán, Puebla, Partes 1, 2 y 3: *Anales del Instituto de Biología*, 5(4): 55-80.
- Murray, G.E., Boyd, D.R., Wolleben, J.A., Wilson, J.A. 1960. Late Cretaceous fossil locality, eastern Parras Basin, Coahuila, Mexico: *Journal of Paleontology*, 34(2): 368-370.
- Navarro-Santillán, D. 2006. Revisión taxonómica de los braquiópodos articulados del Cretácico Inferior. Implicaciones paleobiogeográficas: Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 142 pp.
- Nori, L., Lathuilière, B. 2003. Form and environment of *Gryphaea arcuata*: *Lethaia*, 36: 83-96.
- Nyst, H., Galeotti, H. 1840. Sur quelques fossiles du Calcaire Jurassique de Tehuacán, au Mexique: *Bulletin Royal Academie Bruxelles*, 7: 218-221.
- Olsson, A.A. 1961. Mollusks of the Tropical Eastern Pacific, particularly from the southern half of the Panamic-Pacific Faunal Province (Panama to Peru). Part I: Panamic-Pacific Pelecypoda: *Paleontological Research Institution*, 1-574.
- Omaña, L., González-Arreola, C. 2008. Late Jurassic (Kimmeridgian) larger benthic Foraminifera from Santiago Coatepec, SE Puebla, Mexico: *Geobios*, 41(6): 799-817.
- Orbigny, A. d'. 1850. Prodrome de Paléontologie Stratigraphique Tunisiene, Gasteropodes et Lamellibranches: Paris, 352 pp.
- Ortega-Hernández, J. 2007. Rudistas (bivalvia-hippuritoida) del Barremiano-Aptiano Inferior del área de Tehuacán, Estado de Puebla: Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, 75 pp.
- Parras, A., Casadío, S. 2005. Stratigraphy, taphonomy and sequence stratigraphic significance of oyster-dominated concentrations from the San Julián Formation, Oligocene of Patagonia, Argentina: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (1766), 217: 47-66.
- Perrilliat, M.C. 1994. Bivalvos de la Formación Tuxpan (Mioceno Medio), Estado de Veracruz, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2): 232-242.

- Perrilliat, M.C. y Vega F.J. 1994. Early Eocene Ostreids from the Adjuntas Formation, Difunta Group, northeastern Mexico: *Tulane Studies in Geology and Paleontology*, 26: 15-25.
- Perrilliat, M.C. y Vega F.J. 2003. Lower Eocene large ostreids from the Viento Formation; stratigraphic and paleoecologic implications for the La Popa Basin, Nuevo León, México. In Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J. (eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics*: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 79, 419-426.
- Polanco-Torres, E., Corral, M.L. 2004. Bioecología: Análisis del desarrollo biológico. En Polanco-Torres, E. (ed.), *Bioecología en impulso, desarrollo y potenciación de la ostricultura en España*: Fundación Alfonso Martín Escudero, Madrid, España, 34-45.
- Quiroz-Barroso, S.A., Escalante-Ruiz, A.R., Mora-Almazán, E., Zárate-Villanueva, R.E., Hernández-Ocaña, M.I. 2010. Análisis tafonómico de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior en el Estado de Puebla, México: VII Congreso Latinoamericano de Paleontología, La Plata, Argentina, Libro de resúmenes, p. 203.
- Quiroz-Barroso, S.A., Mora-Almazán, E., Zárate-Villanueva, R.E., Hernández-Ocaña, M.I., Escalante-Ruiz, A.R., Sour-Tovar, F. 2011. Tafofacies de la Formación San Juan Raya, Cretácico Inferior de Puebla, México: XII Congreso Nacional de Paleontología, Puebla, México, Libro de resúmenes, p. 115.
- Ranson, G. 1948. Prodissoconques et classification des Ostréides vivants: *Bulletin du Musée Royal de Belgique*, 24: 1-112.
- Revilla-Ríos, C.E. 1995. Estudio paleoecológico de los nerinéidos (gastropoda-Mollusca) del Cretácico Inferior de la Formación San Juan Raya, extremo suroriental del estado de Puebla: Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. 23 pp.
- Reyerros, N.M. 1963. Corales del Cretácico Inferior de Sn Juan Raya, Estado de Puebla. Instituto de Geología: *Paleontología Mexicana*, 17: 1-21.
- Rivas, P., Braga, J.C., Sánchez-Almazo, I.M. 1999. Arrecifes del Tortonense inferior en la cuenca de Granada, Cordillera Bética, España: *Trabajos de Geología*, 21:309-320.
- Rivera-Sylva, H.E., Rodríguez-de la Rosa, R., Ortiz-Mendieta, J.A. 2006. A Review of the Dinosaurian Record from Mexico. En Vega, F. J., Nyborg, T.G., Perrilliat, M.C., Montellano-Ballesteros, M., Cevallos-Ferriz, S.R.S., y Quiroz-Barroso, S.A. (eds.), *Studies on Mexican Paleontology*: Springer, Netherlands, 233-248.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., Bravo-Cuevas, V.M., Carrillo-Montiell, E., Ortiz-Ubilla, A. 2004. Sucesión icnofaunística en un sitio con huellas de dinosaurios del Cretácico

- inferior de Puebla, México: IX Congreso Nacional de Paleontología. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Libro de Resúmenes, p. 52.
- Ros-Franch, S. 2009. Dinámica de la paleodiversidad de los bivalvos del Triásico y Jurásico Inferior: Tesis doctoral, Universidad de Valencia, Facultad de Ciencias Biológicas, 586 p.
- Rubilar, A. 2008. Ostras fósiles del Jurásico Superior (Oxfordiano) en la Cordillera de la Costa de Iquique (I Región): Breve caracterización e implicancias de su registro: XII Congreso Geológico Chileno, Santiago de Chile, Libro de resúmenes, 22-26.
- Rudwick, M.J.S. 1964. The functions of zig-zag deflexions in the commissure of fossil brachiopods: *Palaeontology*, 7(1): 135-171.
- 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.
- Sánchez-Beristain, J.F. 2010. Paleocological and geochemical studies on sponge/microencruster bearing communities contained in selected Cipit Boulders from the St. Cassian Formation (Lower Carnian, Upper Triassic) of the Dolomites, Northeastern Italy. Göttingen: Ph. D. Thesis, Geowissenschaftliches Zentrum Göttingen, 146 pp.
- Segura-Vernis, L., Rodríguez-Torres, R. 1972. Foraminíferos del Aptiano de San Juan Raya, México y sus inferencias geológicas: II Convención Nacional, Sociedad Geológica Mexicana, Memorias, p. 236.
- Sowerby, G. G., Reeve, Jr. 1871. *Conchologia Iconica*. Monograph of the genus *Ostrea*: London, 18 p.
- Squires, D.F. 1959. Results of the Puritan-American Museum of Natural History expedition to western Mexico. Part 7: Corals and coral reefs in the Gulf of California: *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 118: 367-432.
- Squires, R.L., Demetron R. 1990. New Eocene Marine Bivalves from Baja California Sur, Mexico: *Journal of Paleontology*, 64(3): 382-391.
- Squires, R.L., Demetron R.A. 1992. Paleontology of the Eocene Bateque Formation, Baja California Sur, Mexico. Natural History Museum of Los Angeles County; *Contributions in Science*, 434: 1-55.
- Stenzel, H.B. 1959. Cretaceous oysters of south-western North America. *In* International Geological Congress. 20th Session, Symposium del Cretácico, Mexico, 15-38.

- Stenzel, H.B. 1971. Oysters. In Moore, R.C. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Geological Society of America, University of Kansas, Part N, Mollusca 6, Bivalvia 3, N953-N1224.
- Thomson, J.M. 1954. The genera of oysters and the Australian species: *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 132-168.
- Valentine, J.W. 1957. Late Pleistocene faunas from the northwestern coast of Baja California, Mexico: *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 12(16): 298-308.
- Vega, F.J., Lawton T.F. 2011. Upper Jurassic (Lower Kimmeridgian-Olvido) carbonate strata from the La Popa Basin diapirs, NE Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2): 313-321.
- Vega, F.J., Perrilliat, M.C. 1989. On a new species of *Venericardia* from the lower Eocene in northeastern Mexico (Difunta Group): *Tulane Studies in Geology and Paleontology*, 22: 101-106.
- Vega, F.J., Perrilliat M.C., Mitre-Salazar, L.M. 1999. Paleocene ostreids from the Las Encinas Formation (Parras basin, Difunta Group), northeastern Mexico; stratigraphic implications: *Geological Society of America Special Paper*, 340: 105-110.
- Vyalov, O.S. 1936. Sur la classification des huîtres: Russian Academy of Sciences, *Comptes rendus (Doklady)*, 4(13): 17-20.
- Wilson, M.A., Ozanne, C.R., Palmer, T.J. 1998. Origin and paleoecology of free-rolling oyster accumulations (ostreoliths) in the Middle Jurassic of southwestern Utah, USA. *Palaios*, 13:70-78.
- Wolleben, J. A. 1977. Paleontology of the Difunta Group (Upper Cretaceous-Tertiary) in northern Mexico: *Journal of Paleontology*, 51(2): 373-398.
- Zárate, V.R. 2003. Presencia de *Litophaga* en la formación San Juan Raya, Puebla. Implicaciones paleoecológicas y taxonómicas: Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 81 p.

LÁMINAS



Lámina 1. Localidad 1.- A) Restos de ostras aisladas o agrupadas, asociadas a impresiones de huellas de dinosaurios terópodos (nivel 1); B) Pavimento de valvas de ostras (b-1) y gasterópodos (b-2) (nivel 2); C) Acumulación biogénica de ostras (nivel 6); D) Impresiones de plantas (d-1) asociadas a restos de valvas de ostras (d-2) (nivel 4); E) Concentración de corales (e-1), ostras (e-2) y rudistas (e-3) asociados (nivel 5); F) Grupos de ostras cubiertos parcialmente por sedimento, sólo se observa la superficie (nivel 3).

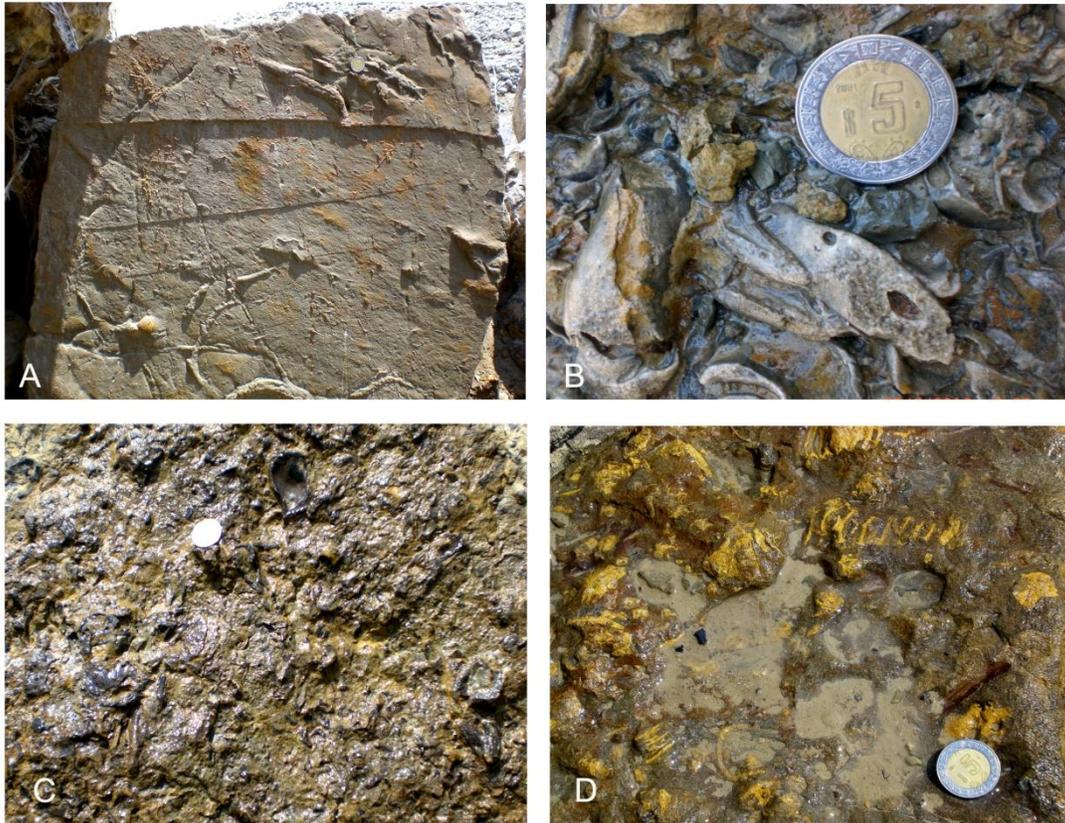


Lámina 2. Localidad 2.- A) Icnofósiles *Thalassinoides* por debajo de la caliza con ostras; B) Banco de rudistas (nivel 1); C) Coquina de ostras, se observan algunas características tafonómicas como fragmentación y desarticulación (nivel 2); D) Gasterópodos y ostras retrabajadas (nivel 1).

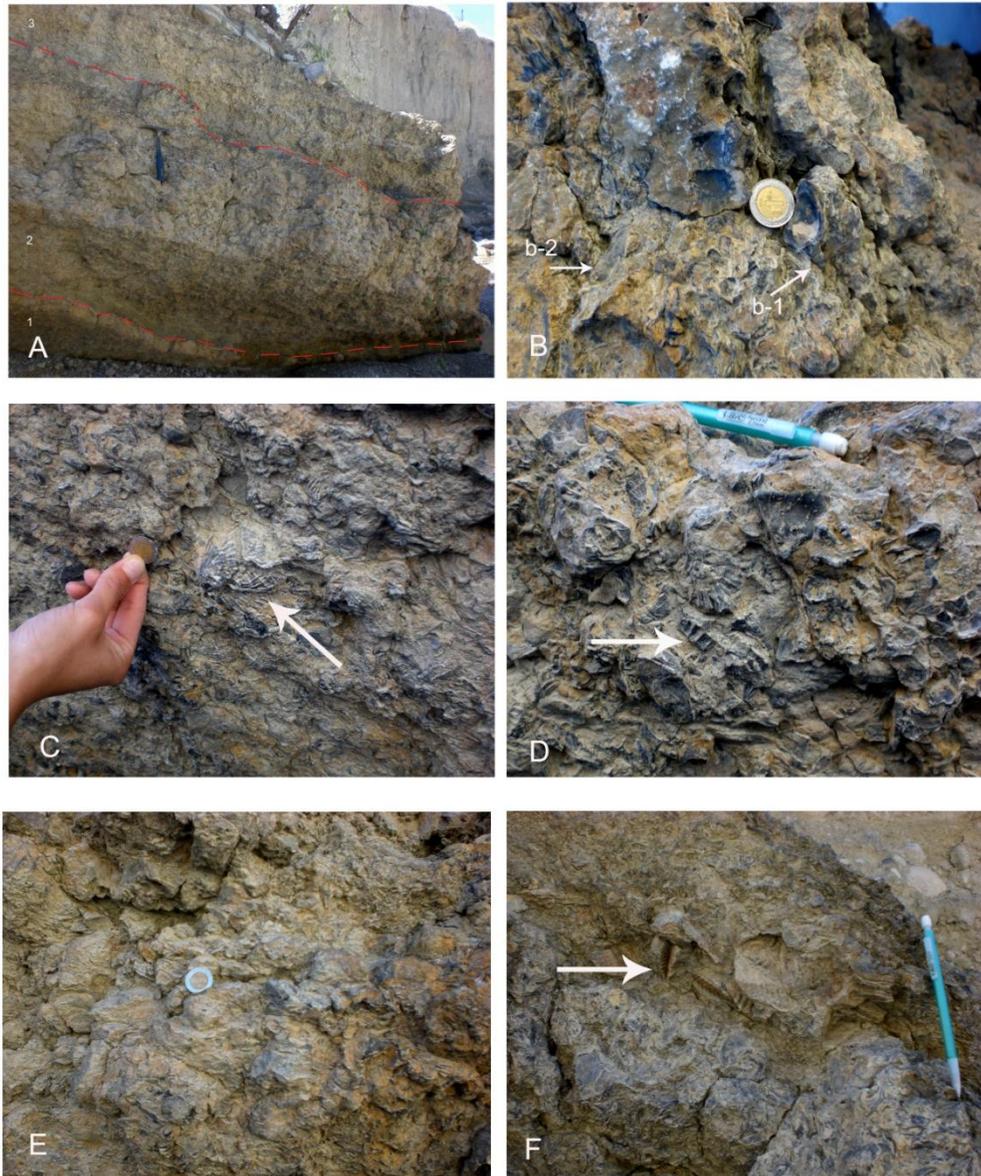


Lámina 3. Localidad 3.- A) Ostras en posición de vida formando un banco dividido en tres niveles, cada uno separado por depósitos de arenisca o lutita; B) Se observa el gregarismo en las ostras (b-1) y radiolas de equinoideos asociadas (b-2) (nivel 1); C) *Ostrea alicula* (nivel 2); D) *Exogyra acuticosta* (nivel 2); E) nivel 3 del banco; F) Parte superior del banco en donde se observa una capa con ejemplares de *Isognomon*, la flecha indica la charnela de estos bivalvos, que si bien está desarticulada, conserva su posición de vida.

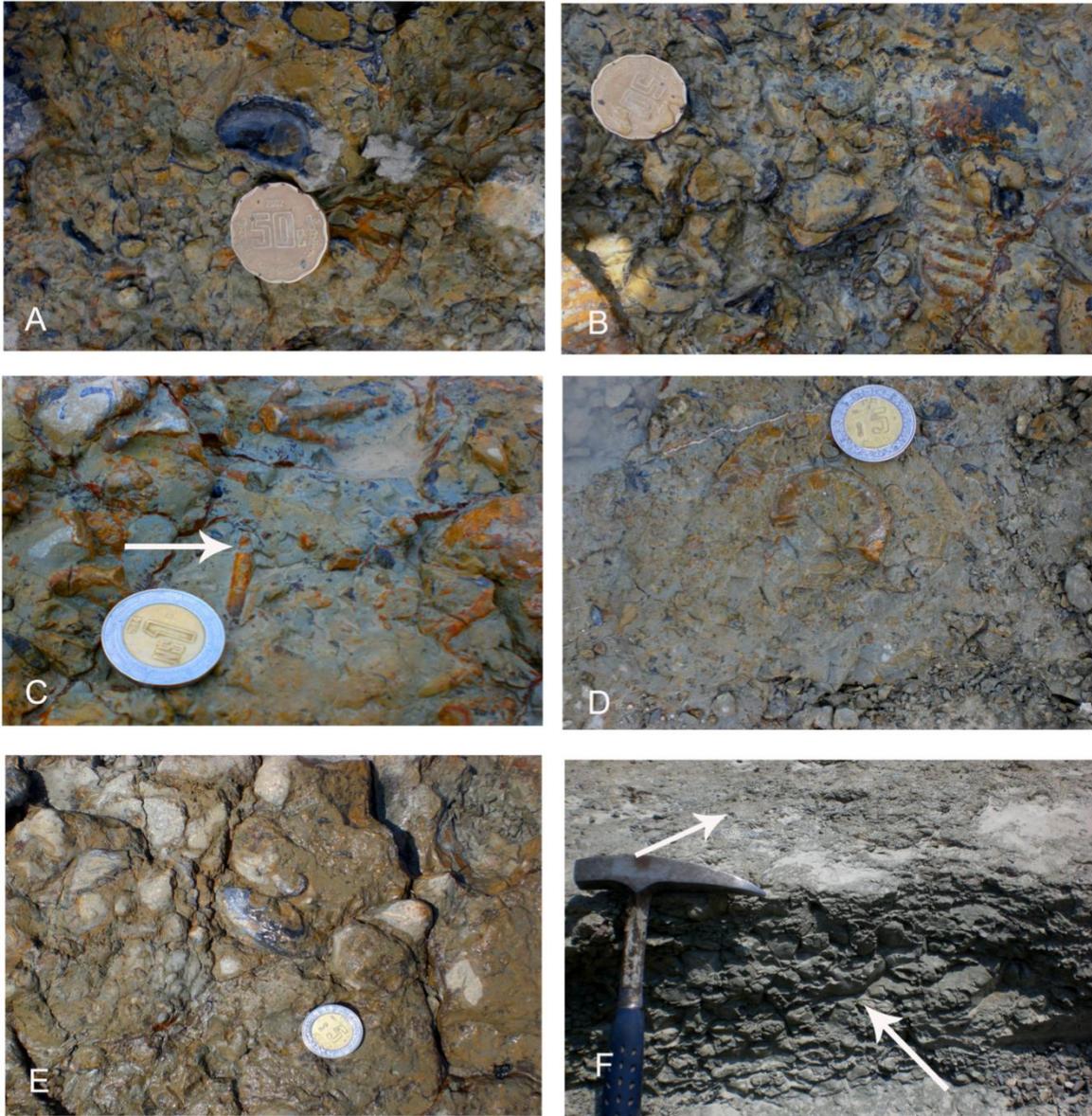


Lámina 4. Localidad 4.- A) y B) Núcleo del banco 1 y 2, respectivamente; C) Tubos de poliquetos asociados a la periferia de los bancos de ostras; D) Amonite muy desgastado, ubicado en la periferia del banco 1; E) Conchas de otros bivalvos asociados a los dos bancos; F) Detrito de conchas entre un banco y otro, vista lateral (nivel 1).

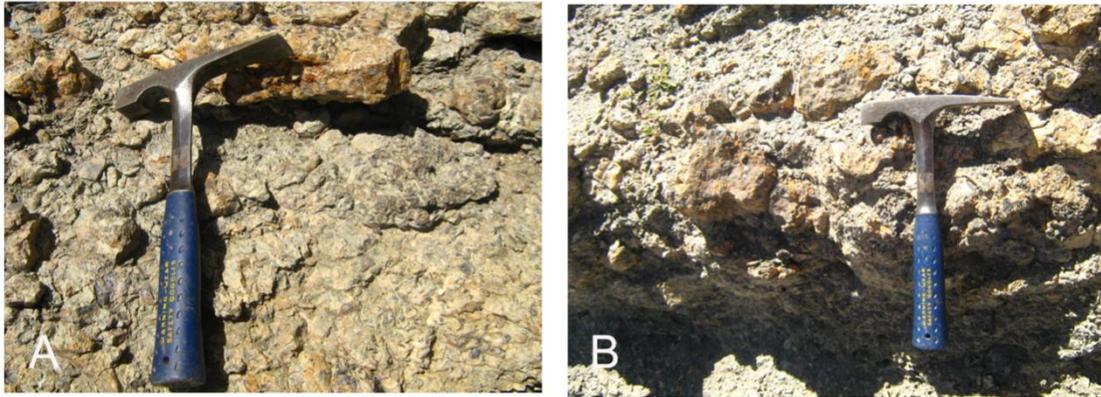


Lámina 5. Localidad 5.- A) y B) Vista lateral del banco de ostras de la especie *Ostrea alicula*.

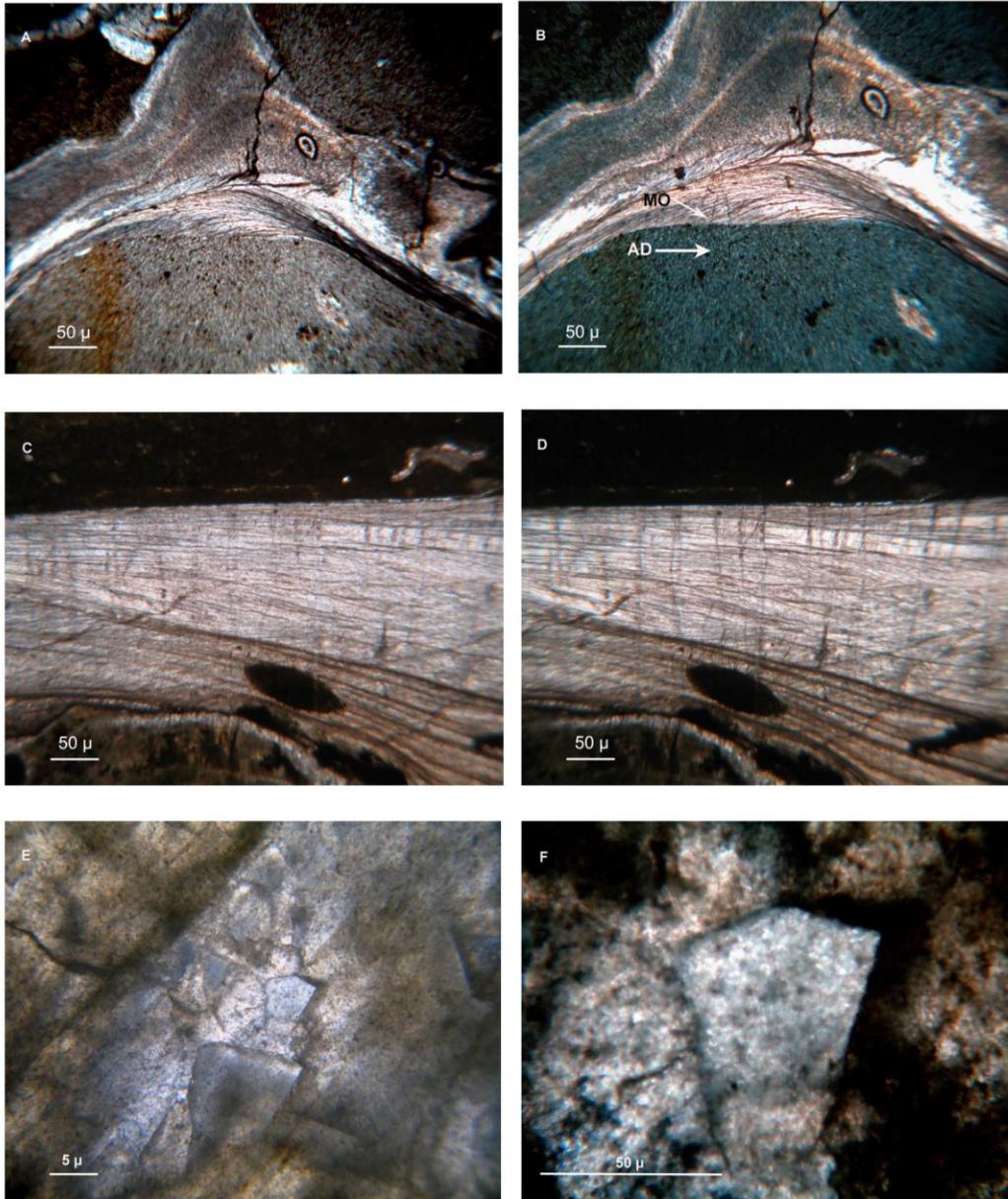


Lámina 6. A) y B) Secciones longitudinales de ostras (ejemplar 09/724). A) sin teñir, B) teñido, el color rosa muestra la conservación de la microestructura laminar foliada calcítica original en la concha, mientras que el color azul indica la presencia de Fe^{2+} en el cemento calcáreo que rellena a las cámaras (flechas) y que rodea a la concha. C) y D) Sección longitudinal de una ostra (ejemplar 10/230), en donde se conserva la microestructura calcítica de la concha. Con la tinción, el cambio a color rosa indica la presencia de calcita; se hacen evidentes numerosos estilolitos. E) Corte longitudinal de una valva de *Isognomon lamberti* (10/244). Se observa la alteración de la microestructura por desarrollo secundario de dolomita que destruye la textura original F) Detalle de mosaico de reemplazamiento hipidiotópico con cristales subhedrales de contactos rectos y curvos.

ANEXO 1

TÉCNICA PARA ELABORAR UNA LÁMINA DELGADA

1. Se cortan y pulen previamente las muestras que se van a laminar, de tal modo que queden lisas y sin relieves.
2. Sobre una parrilla, se coloca un portaobjetos esmerilado y se calienta. Se pone un poco de resina sobre el portaobjetos caliente y se espera a que la resina tenga una consistencia líquida.
3. Se coloca la muestra sobre el portaobjetos ejerciendo suficiente presión para que no queden burbujas, para evitar que se desprenda al momento en que la muestra tenga contacto con la laminadora.
4. Cuando la muestra ya está pegada sobre el portaobjetos, se sujeta entre los pernos de la laminadora.
5. Se aplica una ligera presión y se arranca la bomba de vacío oprimiendo el interruptor de vacío.
6. El medidor tiene que registrar entre 12 y 15 pulgadas de mercurio, para poder operar la cortadora. Si el medidor no registra el vacío se repiten los pasos 3 y 4.
7. Para seccionar la muestra, se levanta el brazo dejándolo en posición superior, empujándolo hacia la izquierda completamente y se baja con cuidado de tal modo que quede en línea con el disco de corte.
8. Se ajusta el espesor deseado con el micrómetro izquierdo, a manera que sea el espesor mínimo.
9. Se sube el brazo y se abre el flujo del agua usando la perilla de control de agua en el panel frontal.
10. Se arranca el motor y se baja lentamente el brazo hasta que la muestra haga contacto con el disco de corte, se aplica una presión moderada.
11. Al terminar el corte, se levanta el brazo lentamente mientras se aplica una ligera presión hacia la izquierda.
12. Una vez que la muestra está cortada, se determina el espesor del esmerilado (en micras) y se fija con el micrómetro derecho.
13. Se ajusta el micrómetro a 900 μ y se esmerila la muestra moviendo el brazo de la cortadora hacia arriba y hacia abajo con cuidado, se va disminuyendo el espesor del micrómetro a 200 μ y posteriormente a 100 μ aproximadamente.
14. Se eleva el brazo, se apaga el motor y se cierra el flujo de agua. Se apaga la bomba de vacío y se libera. Se retira el portaobjetos colocando el pulgar en la muesca y jalando hacia afuera.
15. Se pule la muestra para poder obtener el espesor deseado y ser observada con el microscopio.

ANEXO 2

METODO DE DICKSON

Dickson (1965), desarrolló un método para reconocer las diferentes fases mineralógicas de una muestra con carbonatos, en donde la presencia de Fe se reconoce a través de la tinción azul combinado con los efectos de hexacianoferrato de potasio y Rojo de Alizarina. Este método cuantitativo ha demostrado ser útil para reconocer la presencia de cementos diagenéticos y para determinar cualitativamente el estado de preservación de las muestras (si la tinción se torna rosa hay presencia de aragonita). Este método se lleva a cabo como sigue:

Solución I: 0.2 de Rojo de Alizarina disuelta en 100 ml de HCl al 1.5%.

Solución II: 2.0 de $K_3[Fe(CN)_6]$ (hexacianoferrato de potasio) disuelto en 100 ml de HCl al 1.5%.

1. Grabar por 10 segundos en HCl al 1.5%.
2. Previamente preparadas las soluciones I y II se debe obtener una mezcla en proporción de 3:2. Esta mezcla puede ser usada máximo 2 días después de su preparación. Dejar grabar las muestras de 30 a 45 segundos, se produce una tinción diferencial dando color rosa pálido/rojo cuando hay presencia de calcita, el color azul para ferrocianocalcita y cuando hay presencia de dolomita es incolora la tinción.
3. Grabar con la solución I, produce un aumento en las coloraciones anteriores.

Después de cada etapa, las muestras deben ser lavadas con agua destilada y secadas con una pistola de aire a una distancia mínima de 50 cm. Finalmente las secciones delgadas se deben cubrir con Buhler Spray.

Tomado de Sánchez-Beristain (2010, p. 14-15).