



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Equinoides (Irregularia-Spatangoida
Claus, 1876) del Paleógeno-Neógeno del
Estado de Veracruz: Consideraciones
paleoecológicas y paleogeográficas**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Adriana Itzel Cortés Sánchez

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez

Ciudad Universitaria, CDMX, 2020



RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por los conocimientos adquiridos y el apoyo brindado para llevar a cabo mis estudios de licenciatura.

Al Dr. Ricardo Barragán Manzo, director del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, el haber permitido la realización del trabajo de tesis en las instalaciones del Departamento de Paleontología.

A la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez quien propuso el tema de tesis, asesoró y proporcionó el material fósil que sirvió de base para esta investigación y obtención del título de Ingeniero Geólogo de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, UNAM.

La autora agradece también, al Honorable Jurado integrado por la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, la Dra. Silvia Rivera Olmos, el M. en C. Emiliano Campos Madrigal, el M. en C. Noé Santillán Piña, y al Dr. Enrique González Torres por haber revisado críticamente el manuscrito y por sus valiosos consejos, comentarios y sugerencias que enriquecieron este trabajo. Asimismo, expresa su agradecimiento al M. en C. Carlos Jiménez López quien realizó la edición de las imágenes.

Agradecimientos

A mi madre Rocío Cortés por ser un ejemplo de vida, te debo todo lo que tengo y lo que soy, gracias por siempre estar a mi lado apoyándome y darme tu cariño.

A mi padre Luis Gerardo Ochoa porque a pesar de la distancia siempre me has apoyado.

A mis abuelos Ana María Sánchez y Luis Cortés por enseñarme muchas cosas sobre la vida, compartir muchas anécdotas y darme todo su cariño.

A mis tíos Xochitl Cortés y Raúl Flores por enseñarme el mundo de la ciencia e invitarme a conocer hermosos lugares.

A mis primos Mariana y Emiliano Flores por estar a mi lado, compartir grandes momentos y muchos conocimientos.

A mis tíos y primos de la Familia Cortés Sánchez y al resto de la familia Sánchez por compartir momentos de mucha felicidad y diversión.

A mis amigos geológicos por enseñarme a conocer el mundo de muchas maneras, compartir sus conocimientos, apoyarme durante la carrera y por todos los momentos de diversión.

INDICE	
INDICE DE FIGURAS	5
I. RESUMEN	6
II. ABSTRACT	7
III. INTRODUCCIÓN	8
IV. OBJETIVOS GENERALES	11
V. OBJETIVOS PARTICULARES	11
VI. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PHYLUM ECHINODERMATA BRUGIERE 1791	11
VII.I. Clase Echinoidea. Ordovícico-Reciente	14
VII.I.I. Consideraciones evolutivas	17
VII. Localización del área de estudio	18
VII.I. Fisiografía	18
VII.II. Clima	19
VIII. METODOLOGÍA	19
VIII.I. Trabajo de campo	19
VIII.II. Trabajo de laboratorio	19
VIII.III. Trabajo de gabinete	20
IX. MARCO GEOLÓGICO	20
IX.I. Cuenca Tampico-Misantla	20
IX.I. I. Geología estructural	22
IX.I. II. Estratigrafía de la Cuenca Tampico-Misantla	22
IX.II. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	27
X. CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS	27
X.I. Formación Mesón (Oligoceno Medio – Mioceno Temprano)	27
X.II. Formación Tantoyuca (Paleógeno, Eoceno Tardío)	29
X.III. Formación Chapopote (Paleógeno, Eoceno Medio-Tardío)	30
XI. RESULTADOS	32

XI.I. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA.....	32
XI.II. CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS.....	44
XI.III. CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.....	49
XII. CONCLUSIONES.....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la anatomía de un equinoide.	13
Figura 2. Las cinco clases de equinodermos actuales.	14
Figura 3. Diagrama del sistema ambulacral del género <i>Schizaster</i>	15
Figura 4. Características morfológicas de equinoides irregulares.	17
Figura 5. Localización geográfica del área de estudio.	18
Figura 6. Fisiografía del área de estudio.	18
Figura 7. Clima del área de estudio.	19
Figura 8. Mapa de localización de la Cuenca Tampico-Misantla.	21
Figura 9. Principales elementos tectónicos de la Provincia Tampico-Misantla.	22
Figura 10. Columna geológica esquemática de la Cuenca Tampico-Misantla.	26
Figura 11. Geología del área de estudio.	27
Figura 12. Columna estratigráfica de la Formación Mesón.	29
Figura 13. <i>Schizaster cristatus</i> Jackson, 1917.	34
Figura 14. <i>Schizaster egozcuei</i> Lambert y Thiery, 1925.	36
Figura 15. <i>Schizaster (Aplospatangus) rojasi</i> Sánchez Roig, 1952.	38
Figura 16. <i>Schizaster sanctamariae</i> Sánchez Roig, 1949.	40
Figura 17. <i>Schizaster gerthi</i> Pipers, 1933.	41
Figura 18. <i>Schizaster nuevitasensis</i> Weisbord.	43
Figura 19. Diagrama que representa a un espatangoide en madriguera.	45
Figura 20. Principales corrientes de agua desde y hacia la testa en espatangoides.	46
Figura 21. Diagrama de las fasciolas en la testa de un espatangoide.	47
Figura 22. Distribución geográfica de equinoides del Paleógeno-Neógeno de la Cuenca Tampico-Misantla.	50
Figura 23. Mapa paleogeográfico del Caribe en el tránsito Eoceno-Oligoceno.	51

I. RESUMEN

Se describen equinoides espatangoides de las especies *Schizaster cristatus* Jackson, 1917, *Schizaster egozcuei* Lambert y Thiery, 1925, *Schizaster (Aplospatangus) rojasi* Sánchez Roig, 1952 y *Schizaster sanctamariae* Sánchez Roig, 1949, recolectados en afloramientos de la Formación Mesón (Oligoceno-Mioceno) de la localidad Hacienda San Marcos-Mesón, Estado de Veracruz. Asimismo, se da a conocer la presencia de las especies *Schizaster gerthi* Pipers, 1933 y *Schizaster nuevitasensis* Weisbord, 1934 procedentes de la Formación Tantoyuca (Eoceno) localizada en la proximidad de Chapopo, Estado de Veracruz.

La asociación biótica está constituida por abundantes y variados fósiles, entre ellos foraminíferos de los géneros *Discorbis*, *Heterostegina* y *Lepidocyclina*. Los macrofósiles están representados por los equinodermos de las especies, *Cidaris loveni* Kew, *Clypeaster sanrafaelensis* Israelsky, *Clypeaster meridaensis* Michelin, *Clypeaster oxibaphon* Jackson, *Clypeaster crustulum* Michelin, *Clypeaster staubi* Lambert, *Paraster tampicoensis* Israelsky, *Schizaster cristatus* Jackson, *Schizaster dumblei*, Kew, *Brissopatagus elevatus* Israelsky, *Agassizia clevei* Cotteau, *Espatagus mexicanus* Jackson, *Lovenia dumblei* Kew, *Echinolampas mexicanus* Lambert, *Antillaster vughani* Jackson.

Con relación al contenido paleontológico se ha determinado que el ambiente de depósito pudo ser de plataforma interna somera o litoral con gran flujo de terrígenos durante el Paleógeno-Neógeno.

La distribución de la biota de la región denota que existió una amplia provincia del Paleógeno-Neógeno que comprende varias localidades de los estados de Tamaulipas y Veracruz que presenta relaciones estrechas con faunas del sureste de México (Chiapas) de América Central (Costa Rica) el Caribe (Cuba) y América del Sur (Venezuela, Brasil).

II. ABSTRAC

Spatangoid equinoids of the species *Schizaster cristatus* Jackson, 1917, *Schizaster egozcuei* Lambert and Thiery, 1925, *Schizaster (Aplospatangus) rojasi* Sánchez Roig, 1952 and *Schizaster sanctamariae* Sánchez Roig, 1949, collected in outcrops of the Mesón (Oligocene-Miocene) Formation are described from the locality Hacienda San Marcos-Mesón, state of Veracruz. Also, the presence of the species *Schizaster gerthi* Pipers, 1933 and *Schizaster nuevitasensis* Weisbord, 1934 of the Tantoyuca Formation (Eocene) located in the vicinity of Chapopo, State of Veracruz are described.

The biotic association is made up of abundant and varied fossils, including foraminifera of the genera *Discorbis*, *Heterostegina* and *Lepidocyclina*. The macrofossils are represented by the echinoderms of the species, *Cidaris loveni* Kew, *Clypeaster sanrafaelensis* Israelsky, *Clypeaster meridaensis* Michelin, *Clypeaster oxibaphon* Jackson, *Clypeaster crustulum* Michelin, *Clypeaster staubi* Lambert, *Paraster tampicoensis* Israelsky, *Schizaster cristatus* Jackson, *Schizaster dumblei*, Kew, *Brissopatagus elevatus* Israelsky, *Agassizia clevei* Cotteau, *Espatagus mexicanus* Jackson, *Lovenia dumblei* Kew, *Echinolampas mexicanus* Lambert and *Antillaster vughani* Jackson.

Regarding the paleontological content, it has been determined that the deposit environment could be shallow water from an internal or coastal platform with a large flow of terrigenous during the Paleogene-Neogene age.

The distribution of the biota of the region denotes that there was a large province of the Paleogene-Neogene age, that includes several locations in the states of Tamaulipas and Veracruz, that has close relations with faunas in southeastern Mexico (Chiapas) of Central America (Costa Rica), Caribbean region (Cuba) and South America (Venezuela, Brazil).

III. INTRODUCCIÓN

Los afloramientos marinos del Paleógeno-Neógeno de la extensa región que comprende la Cuenca Tampico- Misantla, localizada en los estados de Tamaulipas y Veracruz al oriente del Territorio Nacional de México, contienen abundantes y diversos invertebrados representados principalmente por foraminíferos, corales, moluscos y equinodermos. El estudio de los equinodermos, particularmente de la clase Echinoidea, subclase Irregularia y del orden Spatangoida es relevante por su contribución al conocimiento integral de la distribución de faunas del Atlántico de Norteamérica (Estados Unidos, México) y de diversas localidades del Caribe (Cuba, Puerto Rico, Jamaica) y de Centroamérica (Panamá), con el objeto de realizar correlaciones estratigráficas confiables entre estos lugares, pues muchos de los equinodermos tienen valor estratigráfico y existen índices de eras, periodos o pisos, además son un indicador paleoecológico ya que son exclusivamente marinos (Michelin; 1855; Woodring 1966, Lambert, 1928, 1935; Sánchez-Roig, 1949; 1951, 1952; Caso, 1956; Buitrón, 1978; Buitrón y Solís-Marín, 1993, Valdez, 1996.

ANTECEDENTES SOBRE ESTUDIOS PALEONTOLÓGICOS DE LA CUENCA TAMPICO-MISANTLA

La región denominada Cuenca Tampico-Misantla tiene gran importancia petrolera por lo tanto los estudios que se han realizado sobre esta región, han sido principalmente con la finalidad de la prospección de yacimientos, como es el caso de Muir (1936) quien publicó sobre la geología de Tampico. Limón-Gutiérrez (1950) y Salmerón-Ureña (1970) realizaron el estudio micropaleontológico de la región. Carreño (1980) llevó a cabo la investigación sobre los ostrácodos del Oligoceno de la Formación Mesón y en 1986 describió a los ostrácodos del Mioceno de las formaciones Mesón y Tuxpan.

Particularmente, sobre el estudio de los equinoides de la Cuenca Tampico-Misantla existen trabajos publicados como el de Michelin (1855) que hizo la reseña de algunos equinoides fósiles del Paleógeno-Neógeno del Golfo de México. Villada (1910) realizó la exploración geológica-paleontológica de varias localidades del Estado de Veracruz y citó la existencia de equinoides.

Aguilera (1896) publicó la lista de los fósiles marinos y terrestres del Paleógeno-Neógeno que se conocían en México. Dickerson y Kew (1917) describieron por primera vez a las especies de equinoides *Scutella cazonesensis*, *Metallia cuminsi*, *Macropneustes mexicanus* y *Lovenia dumblei* procedentes de Tampico, Estado de Tamaulipas y Tuxpan, Estado de Veracruz y determinaron que *Clypeaster cubensis*, *Agassizia clevei* y *Lovenia dumblei* son los mejores fósiles guías del antes denominado Terciario Medio de México. Dumble (1918) realizó estudios sobre la geología y paleontología del noreste de Tampico, Estado de Tamaulipas.

Israelsky (1924) publicó sobre los equinodermos de las capas del Paleógeno-Neógeno de San Rafael y Tuxpan del área de Tampico. Israelsky (1933) informó sobre las especies nuevas *Clypeaster pileus*, *C. sanrafaelensis*, *Paraster tampicoensis*, *Schizaster dumblei*, *Agassizia regia*, *Macropneustes dubius*, *Palopneustes elevatus* y *Oligopygus putnami*, que fueron recolectadas a 12 km al noroeste de Abasolo, Tamaulipas.

Lambert (1928) describió e ilustró tres especies nuevas de equinoides del este de México (*Clypeaster staubi*, *Echinolampas mexicanus*, *Vasconaster jeanneti*) las cuales pertenecen al Neógeno y, además citó algunas especies descritas por Michelin (1861) del antes Terciario del sureste de México (*Clypeaster meridanensis*, *C. crustulum*) y por Jackson (1922) de Puerto Rico (*Clypeaster oxybaphon*) y de Cuba (*Antillaster vaughani*). También Lambert señaló que los equinoides “terciarios” del este de México son similares con los de la región del Caribe y diferentes a los de California de los Estados Unidos de Norteamérica.

Jackson (1937) estudió una colección procedente de Tamaulipas y Veracruz y describió trece especies de las cuales seis fueron nuevas (*Stomopneustes pristinus*, *Clypeaster marinus*, *C. topilanus*, *Laganum leptum*, *Eupatangus mexicanus*, *Lovenia mexicana*).

Durham (1955) citó a *Clypeaster stefanini* del Oligoceno Inferior de Tamaulipas. Caso (1950) hizo la recopilación de los equinoides fósiles que se han descrito para el Cenozoico de México y dicha autora en 1956 reseñó las diversas especies del género *Clypeaster* del Terciario de diferentes localidades de Tampico, Estado de Tamaulipas y Misantla, Estado de Veracruz.

Buitrón (1968) elaboró el catálogo sobre los equinoides fósiles de México y en 1978 publicó sobre la distribución de los equinoides del Paleógeno-Neógeno de la Planicie Costera del Golfo de México, de América Central, del norte de América del sur y de Las Antillas. Buitrón y Silva (1979) describieron por primera vez para México, las especies *Oligopygus haldemani* Conrad, citada anteriormente para el Eoceno de Florida y Georgia, EUA y *Eupatagus (Gymnopatagus) mooreanus* Pilsbry, del Eoceno de Florida, procedentes de Tantoyuca, Estado de Veracruz y citaron por primera vez para el Estado de Veracruz, la especie *Clypeaster chiapasensis* Muellerried. Carreño (1986) indicó que existe una problemática sobre el estudio de los estratos de Oligoceno-Mioceno en esta cuenca. Buitrón y Solís (1993) hicieron una investigación sobre la diversidad de los equinodermos fósiles y recientes de México. Santillán Piña (2009) realizó el estudio de los paleoambientes en facies turbidíticas sobre la Cuenca de Chicontepec, Centro-Oriente de México.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LOS EQUINOIDEOS FÓSILES

Los equinoides son de los fósiles mejor conservados y más abundantes en determinados yacimientos, ya que tienen una testa rígida fácilmente fosilizable si las condiciones fueron propicias, debido a que cada placa presenta una red cristalina romboédrica, y los espacios fueron ocupados por moléculas de carbonato de calcio, convirtiéndose entonces en un cristal de calcita. Este proceso no ocurre en ningún otro tipo de organismos, por lo tanto, resulta fácil reconocer los restos fósiles de equinodermos en las rocas sedimentarias de origen marino. Entre los equinoides se encuentran fósiles índices pues presentan una distribución estratigráfica restringida, como ocurre en los Cistoideos (Ordovícico-Devónico) o los Carpoideos (Cámbrico-Devónico) del Paleozoico. A nivel taxonómico menor, la estratigráfica puede ser más precisa, los equinoides Exocíclicos comienzan hasta el Jurásico y los Clypeasteroides son todos del Cenozoico (Meléndez, 1986).

IV. OBJETIVOS GENERALES

- Contribuir al conocimiento del registro paleontológico de los equinoides irregulares del Paleógeno-Neógeno de la región noroccidental del estado de Veracruz, México.
- Establecer la distribución paleogeográfica de los equinoides de la región nororiental de México y su correlación con otras regiones del país, de los Estados Unidos de América del Norte, Centro América y el Caribe.

V. OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar y describir las especies de fósiles de espatangoides procedentes de la región de Mesón, Veracruz.
- Estudiar la asociación biótica con la finalidad de inferir las características ecológicas de la región.
- Contribuir al conocimiento paleoecológico y paleogeográfico de la biota perteneciente al Paleógeno-Neógeno del estado de Veracruz.

VI. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PHYLUM ECHINODERMATA BRUGUIÈRE, 1791 [EX KLEIN, 1734]

Los equinodermos son organismos marinos, bentónicos. Se encuentran en todas las profundidades, aunque son más frecuentes en el sistema litoral de la región bentónica, sin embargo, forman parte muy importante de las faunas del sistema batial (Buitrón y Solís-Marín, 1993).

Los equinodermos son invertebrados celomados que se caracterizan por la presencia de una testa con radiolas o espinas. La testa tiene una gran diversidad de formas entre ellas la esferoidal, discoidal, estelar, cilíndrica y pentacrinal con simetría radial secundaria, pues las diferentes larvas poseen simetría primitiva bilateral, que se modifica hasta presentar la simetría radial también conocida como simetría pentarradial o pentagonal, en la que el cuerpo está dividido en cinco partes iguales organizadas alrededor del eje de la boca y separadas por un ángulo de 72° del estadio adulto (Borrero *et al.*, 2012).

En algunos equinodermos se observa simetría bilateral superpuesta a la radial, como consecuencia del desplazamiento unidireccional sobre el fondo del mar o por la perforación de galerías en los sedimentos en busca de alimento. Este nuevo plano de simetría adquirido, no corresponde al primitivo bilateral de las larvas y queda en posición perpendicular al primitivo, debido a que el radial se formó a expensas del lado izquierdo del sistema ambulacral. Este fenómeno se presenta en los equinoides exocíclicos a partir del Mesozoico como una tendencia evolutiva que les permitió adaptarse a los grandes fondos marinos, con la consecuencia de un cambio del régimen alimenticio fitófago primitivo al carnívoro y limícola (Valdez, 1996).

En el estadio adulto del equinodermo se presenta el sistema ambulacral, constituido por cinco ambulacros y cinco interambulacros, dispuestos alrededor de la boca, cuyo arreglo determina la forma del equinodermo, ya sea esferoidal o cilíndrica como en los equinoides y holoturoideos, pero si los ambulacros se desarrollan más que los interambulacros, la forma resultante es la de una estrella como en los asteroideos (Durham, 1966).

El sistema ambulacral se inicia en la placa madreporica que forma parte del sistema apical, se continúa con un tubo pétreo que se conecta con el canal anular periesofágico, donde hay cinco vesículas que mantienen una determinada presión del agua y de ahí se comunica a cinco canales radiales situados debajo de los ambulacros y de donde parte un gran número de estructuras tubulares nombradas pies ambulacrales, que salen por los poros de los ambulacros y generalmente terminan en una ventosa. Las funciones del sistema ambulacral son la locomoción, respiración, captura de presas para la alimentación, creación de corrientes, y como órganos sensoriales (Durham, 1966), (Figura 1).

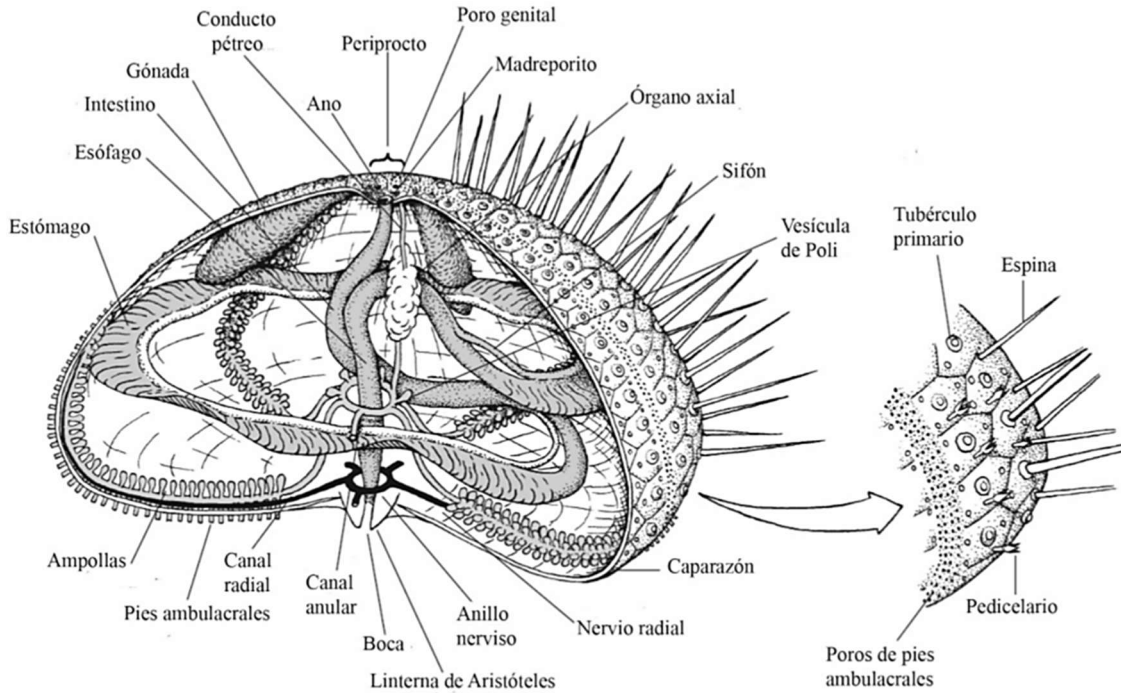


Figura 1. Diagrama de la anatomía de un equinoide (Modificada de Pérez et al., 2015).

Los Equinodermos poseen endoesqueleto calcáreo compuesto por un conjunto de placas, espinas u osículos, de calcita cristalina que desarrollan una estructura en forma de malla abierta llamada estereoma, cuyos intersticios están llenos de tejido vivo que constituye el estroma. El estereoma presenta microestructura y propiedades cristalográficas particulares, puesto que cada elemento se comporta como un cristal de calcita, fácilmente distinguible al microscopio, debido a la exfoliación espática, romboédrica de la calcita. El endoesqueleto puede crecer por una constante absorción de elementos calcáreos del exterior o también por una excreción periférica del carbonato de calcio, sin efectuarse la reabsorción interna. (Durham, 1966).

El Phylum Echinodermata comprende cinco subphyla, que son Homalozoa Whitehouse, 1941, Crinozoa Matsumoto, 1929, Asterozoa Zittel, 1895, Echinozoa Zittel, 1895 y Blastozoa Sprinckle, 1973. El subphylum Echinozoa está conformado por ocho clases, a) Helicoplacoidea, cuyos representantes son exclusivos del Cámbrico Inferior, b) Edrioasteroidea, grupo extinto del Cámbrico Inferior-Misisípico, c) Edrioblastoidea, que vivió del Ordovícico Inferior al Medio, d) Ophiocistoidea del Ordovícico Medio al Silúrico

Inferior, e) Cyclocystoidea, del Ordovícico Medio al Devónico-Medio, f) Echinoidea, del Ordovícico Medio al Reciente, g) Holothuroidea, probablemente desde el Ordovícico medio al Reciente y h) Concentricycloidea únicamente del Reciente (Buitrón y Solís, 1993, modificada de Sprinkle, 1980).

El grupo comprende en la actualidad aproximadamente 7,000 especies recientes agrupadas en las clases Holothuroidea, Asteroidea, Ophiuroidea, Crinoidea y la Echinoidea. Entre los fósiles se han descrito 13,000 especies agrupadas en las clases recientes (Figura 2) y en otras extintas que corresponden a las clases Homalozoa o Carpoidea, Edrioasteroidea, Cystoidea y Blastoidea (Pawson, 2007).

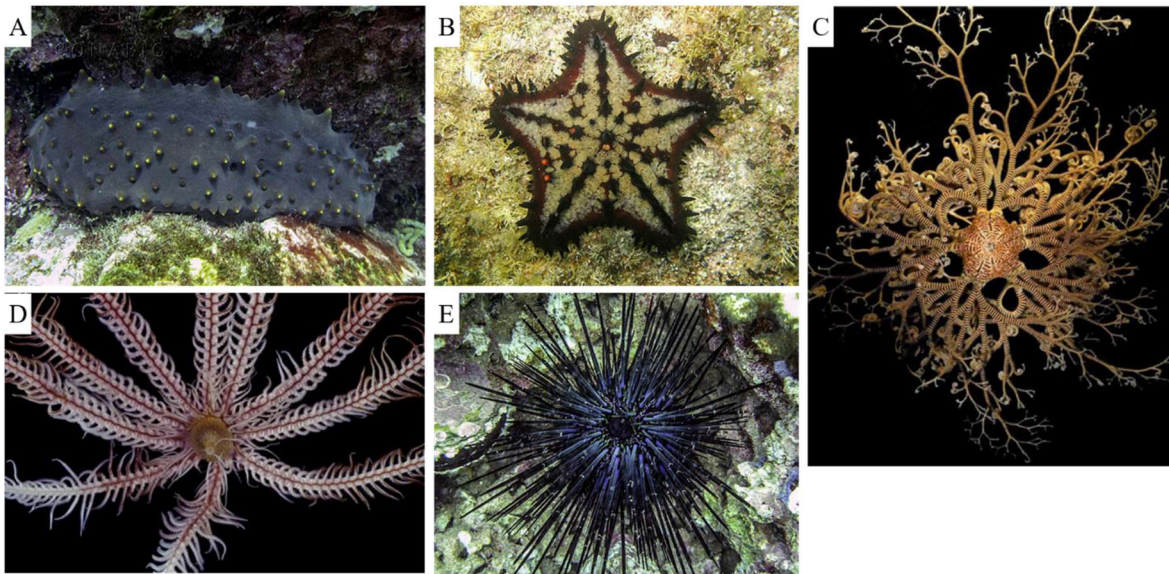


Figura 2. Las cinco clases de equinodermos actuales son Holothuroidea o pepinos de mar (A: *Isostichopus fuscus*), Asteroidea o estrellas de mar (B: *Nidorellia armata*), Ophiuroidea (C: *Astrodyctium panamense*), Crinoidea o lirios de mar (D: *Comactinia meridionalis*), y Echinoidea o erizos (E: *Diadema mexicanum*) (Fotografías tomadas del Banco de Imágenes CONABIO).

VI.I. Clase Echinoidea. Ordovícico-Reciente

La clase Echinoidea presenta organismos marinos bentónicos, que se nutren de pequeñas presas o del sedimento. Su origen se remonta al Ordovícico, continuando desde este período, hasta la actualidad. Son organismos con la testa de forma esferoidal o discoidal, compuesta por placas poligonales ordenadas en ambulacros e interambulacros, que presentan tubérculos

en donde se articulan radiolas. La testa está constituida por cinco áreas ambulacrales separadas por otras cinco interambulacrales, que se extienden entre el peristoma y el periprocto; la región ecuatorial recibe el nombre de ámbito.

El sistema apical en los equinodermos está integrado por cinco placas basales o genitales que rodean al periprocto, alternan con otras cinco placas radiales llamadas oculares, las cuales quedan situadas frente a las áreas ambulacrales. Dentro de las placas basales se encuentra la placa madreporica que es una de las placas de mayor tamaño y se sitúa en posición anterior y a la derecha siguiendo el “Plano de Lovén” (Durham, 1966) (Figura 3).

Cuando el periprocto ocupa el polo apical, la forma de la testa es esferoidal de contorno circular y simetría pentarradiada. En los equinoides Endocíclicos el periprocto está rodeado por un anillo de placas. En el caso en que el periprocto este fuera de las placas situadas en el polo apical en posición excéntrica, la testa puede ser cordiforme y presenta un plano de simetría secundario denominado “Plano de Lovén” que está definido por el área ambulacral anterior y el interambulacro posterior que contiene el periprocto. Estos equinoides, en los que el periprocto no ocupa el centro del anillo formado por las placas apicales se llaman Exocíclicos (Irregulares). Estos a su vez se dividen en: Gnatostomos y Atelostomos, con relación a que conserven o hayan perdido el aparato masticador o linterna de Aristóteles.

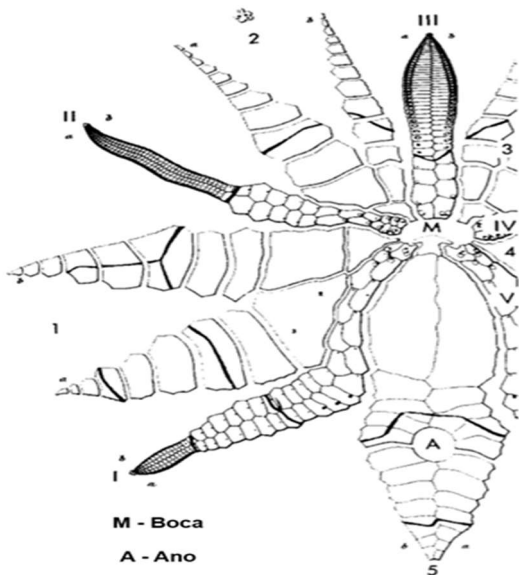


Figura 3. Diagrama del sistema ambulacral del género *Schizaster* (Lovén) (Modificado de Fischer, 1966).

Las radiolas (espinas) de origen calcáreo se articulan en los tubérculos de las placas y poseen varias funciones, como protección, para desplazarse y en la creación de corrientes. Se han encontrado evidencias de la presencia de espinas en fósiles. Asimismo, la testa puede presentar pedicelarios de diferentes morfologías, los cuales son apéndices pequeños y especializados con forma de mandíbula, que presentan una variedad de tamaños y formas así como de funciones, entre las cuales está la alimentación, la remoción de detritos y la protección de depredadores y de organismos parásitos (Borrero, 2012).

En los equinoides Endocíclicos, los ambulacros forman una franja continua entre el peristoma y el periprocto. Son todos iguales por lo que se les denomina “simples”. En cambio, en los equinoides Exocíclicos el área ambulacral está diferenciada en dos regiones, la roseta apical, la cual corresponde a la parte más próxima al polo apical, estructurada con placas provistas de zigoporos y con pies ambulacrales con función táctil y respiratoria.

Los equinoides Exocíclicos o Irregulares están conformados por veinte filas de placas coronales: dos en cada área interambulacral. Las áreas ambulacrales se denominan petaloides, pueden ser abiertas cuando los bordes del ambulacro terminan paralelos y sus placas son iguales, ó pueden estar cerradas, cada placa ambulacral posee un par de poros. El peristoma está compuesto por un anillo formado por diez placas orales que rodean la boca. El aparato masticador es denominado Linterna de Aristóteles, está integrado por cinco dientes en forma de pinza. Las espinas son muy finas. Las fasciolas son bandas diferenciadas compuestas por diminutivos tubérculos correspondientes a la inserción de radiolas flexibles especiales que facilitan la respiración del organismo ya que producen con sus movimientos corrientes de agua. Se encuentran presentes en los Exocíclicos-Espatangoides, y en algunos Holasteroidea (Valdez, 1996). Además, se presentan estructuras particulares como en el caso de los equinoides del orden Spatangoida que tienen una placa en forma de pala ubicada en el borde posterior de la boca que se conoce como labrum (Borrero, 2012) (Figura 4).

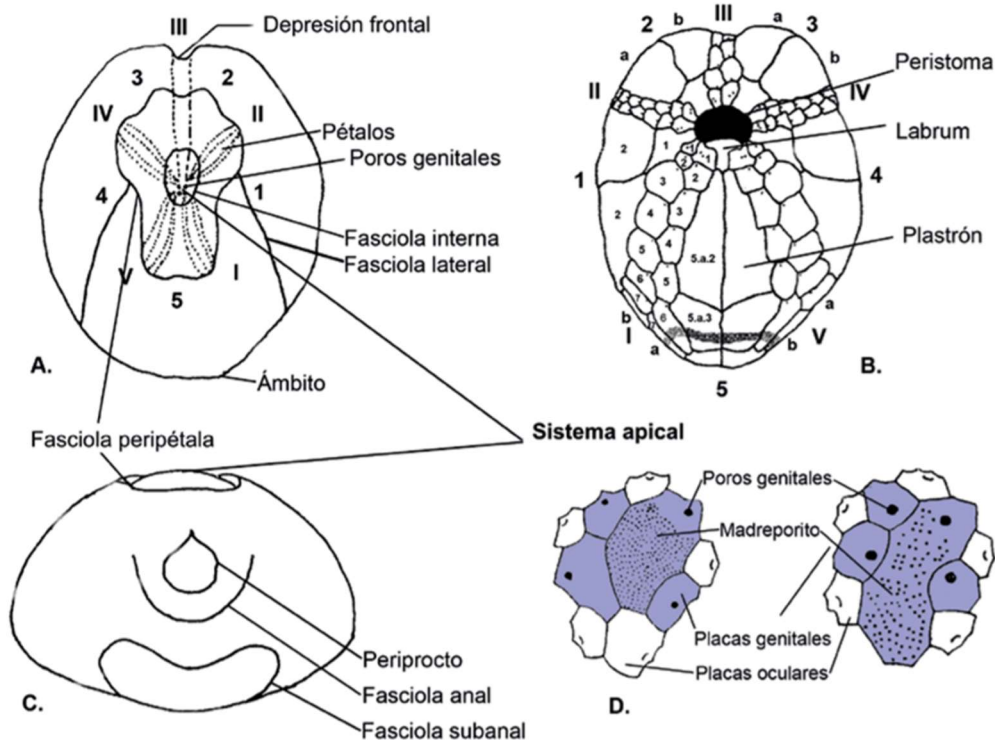


Figura 4. Características morfológicas de equinoides irregulares A) Vista aboral, B) Vista oral. La testa se enumera en contra de las manecillas del reloj, los números romanos indican los ambulacros y los arábigos los interambulacros. C) Vista posterior y D) Diferentes formas del sistema apical (Modificada de Borrero et al., 2012).

VI.I.I. Consideraciones evolutivas

Dentro de los procesos evolutivos ampliamente estudiados se encuentra una transición de los Regularia (Endocíclicos) a los Irregularia (Exocíclicos) que tuvo lugar durante el Jurásico y se desarrolló en dos etapas: Primero, el periprocto pierde contacto con el sistema apical, emigrando hacia atrás en el interrradio posterior, y segundo, los ambulacros se diferencian por pares y adoptan la forma petaloide, de tal manera que por medio de esta transición, el periprocto tiende a ser excéntrico, aunque el organismo sigue conservando la forma general de la testa, que puede ser de ámbito circular o cordiforme como en los espatangoides. El hábitat de muchos equinoides fósiles puede ser deducido por comparación con especies vivas, por lo que se considera que los equinodermos suelen ser buenos indicadores paleoecológicos (Meléndez, 1986), aplicando el principio paleontológico conocido como Actualismo Biológico.

VII. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza entre la Hacienda de San Marcos y Mesón, límites municipales de Tuxpan Estado de Veracruz con coordenadas geográficas 97°34'60''W y 21°N (Figura 5).

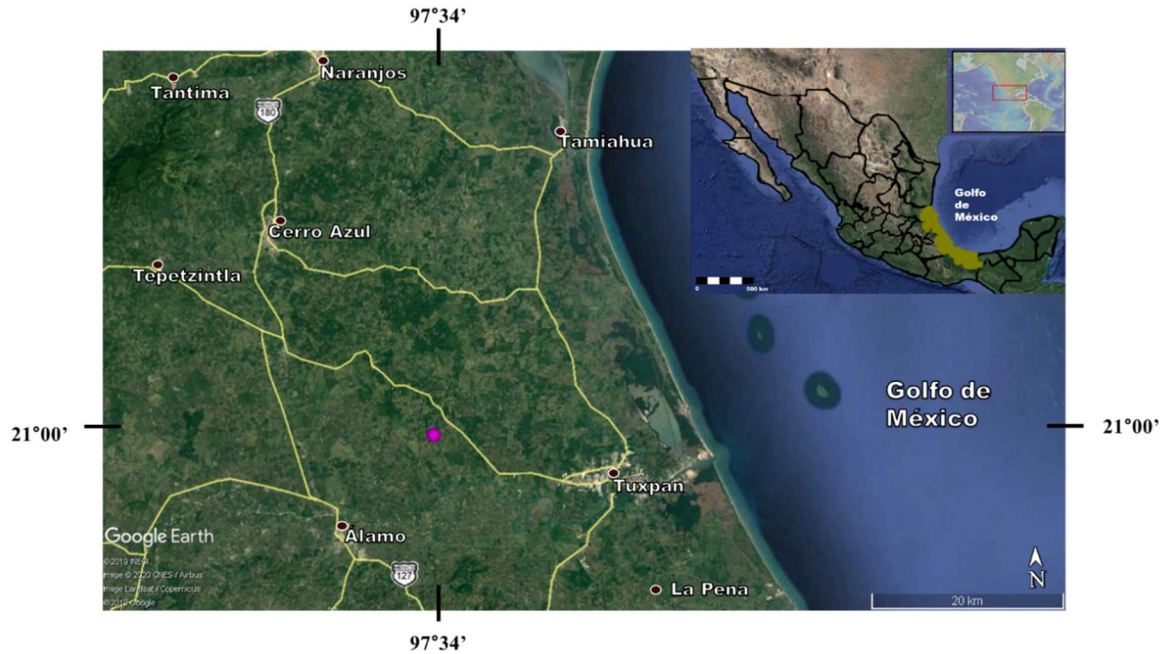


Figura 5. Localización geográfica del área de estudio (Modificada de Google Earth).

VIII. Fisiografía

El área de estudio pertenece a la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Norte, a la subprovincia de Llanuras y Lomeríos y al sistema de topofomas de Lomerío (Figura 6).



Figura 6. Fisiografía del área de estudio (Modificado de INEGI, 2019).

VII.II. Clima

Se presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad, con un rango de precipitación entre 1,400 a 1,600, con temperaturas de entre 24 a 26 °C (Figura 7).



Figura 7. Clima del área de estudio (Modificada de INEGI, 2019).

VIII. METODOLOGÍA

VIII.I. Trabajo de campo

La medición de la columna, se hizo con la asesoría del Ing. Geol. Raúl Hernández de la Fuente de PEMEX y la recolección del material fósil fue realizada en varias prospecciones geológico-paleontológicas durante 1996, 1999-2002 por la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez del Departamento de Paleontología, y la maestra María del Refugio Valdez Gómez de la Facultad de Ciencias, UNAM.

VIII.II. Trabajo de laboratorio

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Paleontología del Instituto de Geología, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los ejemplares fueron sometidos a varios tratamientos para su preparación, de acuerdo a sus características de conservación con el objeto de no alterar las estructuras morfológicas para su identificación. En primer lugar, se lavaron y posteriormente se trataron con soluciones de HCL al 5% con objeto de disolver los sedimentos duros que los cubrían. El sedimento que no se disolvió con el ácido clorhídrico, se trató de separar usando cepillos con cerdas de alambre delgado. Hubo fósiles con

sedimento grueso muy adherido y fue necesario el uso de lápices vibradores como el “Sand Blaster” y “Moto Tool”. Por último, se recurrió al microscopio, y con la ayuda de agujas de disección y exploradores odontológicos, se removió el material fino adherido, para que las estructuras se observaran lo mejor posible con el objeto de proceder al estudio taxonómico.

Las fotografías se tomaron con una cámara modelo COLPIX de la marca Nikon, y se editaron usando el programa computacional GIMP 2.

VIII.III. Trabajo de gabinete

El estudio sistemático se realizó con base en los principales aspectos que conforman la testa y su variabilidad morfológica. Se tomaron medidas, entre ellas el diámetro, largo y alto de la testa; tamaño del peristoma, del periprocto y de las áreas ambulacrales e interambulacrales; estas medidas fueron cuantificadas en milímetros. Para llevar a cabo esta parte de la metodología se utilizó un vernier escala 120 mm, un microscopio estereoscópico Olympus y una lupa Zeiss. Cabe mencionar que no en todos los organismos se observaron la totalidad de sus estructuras, pues algunos no la conservaron.

Posteriormente, se utilizó bibliografía especializada básica del Tratado de Paleontología de Invertebrados Parte U Echinodermata 3, Moore, R. Editor (1966), asimismo el trabajo de Durham (1966), la monografía sobre espatangoides de Cuba por Kier (1984) y otros artículos actualizados sobre el tema, entre ellos el de Valdez (1996). Con fines prácticos se asignó un número progresivo provisional de catálogo, con las iniciales STM (*Schizaster* de Tampico-Misantla).

IX. MARCO GEOLÓGICO

IX.I. Cuenca Tampico-Misantla

La Cuenca Tampico-Misantla se localiza en el centro-oriental de México, abarca la parte sur del Estado de Tamaulipas, así como los estados de Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo, la parte norte del Estado de Puebla y la plataforma continental hasta la isobata de 200 m. (Figura 8). Limita al norte con la porción central de la Cuenca de Burgos, al sur con la Cuenca de Veracruz, al oeste con el frente del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental y al este

con aguas territoriales en la Provincia de Cordilleras Mexicanas (CNH, 2017). La Cuenca Tampico-Misantla cubre un área de 57,170 km².

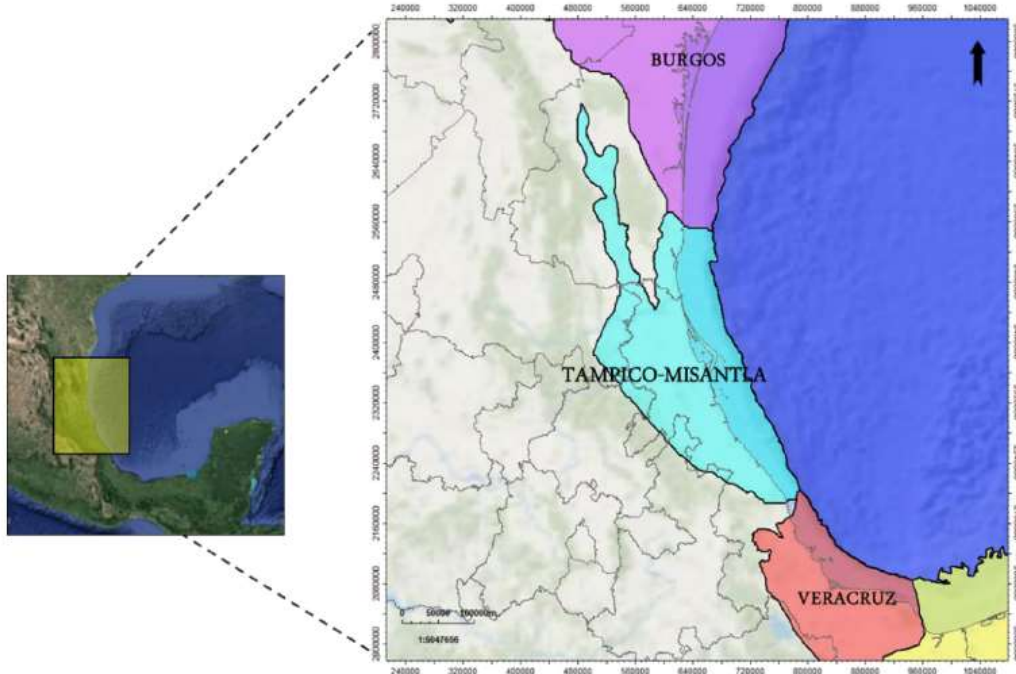


Figura 8. Mapa de localización de la Cuenca Tampico-Misantla (Tomado de CNH, 2017).

La Cuenca Tampico- Misantla es una de las principales regiones petroleras del país. La exploración de hidrocarburos en la Cuenca Tampico-Misantla se remonta a 1904 con la perforación del pozo La Pez-1 en la parte norte, iniciando la producción comercial de México en calizas fracturadas del Cretácico. Posteriormente siguieron los descubrimientos de la Faja de Oro. En la década de 1920 esta provincia llegó a producir 500 mil barriles por día, habiendo acumulado a la fecha más de 500 millones de barriles de aceite y 7.5 billones de pies cúbicos de gas. Actualmente está integrada por 215 campos y 10470 pozos (CNH, 2017). Las principales rocas generadoras son de edad Jurásico y corresponden a las formaciones Santiago, Tamán y Pimienta.

IX.I.I. Geología estructural

La Cuenca Tampico-Misantla está conformada por varios elementos tectónico-estructurales y estratigráficos, al norte limita con el Alto de Tamaulipas y el Homoclinal de San José de las Rusias, en el centro se encuentran el Paleocañón Bejuco-La Laja, el Alto de la Sierra de Tantima y el Paleocañón de Chicontepec, al sur limita con la Franja Volcánica Transmexicana. Al este se tiene el Alto o Isla de Arenque y el Alto de la Plataforma de Tuxpan, hacia el oeste limita con el Frente Tectónico del Cinturón Plegado y Cabalgado de la Sierra Madre Oriental (CNH, 2017), (Figura 9).

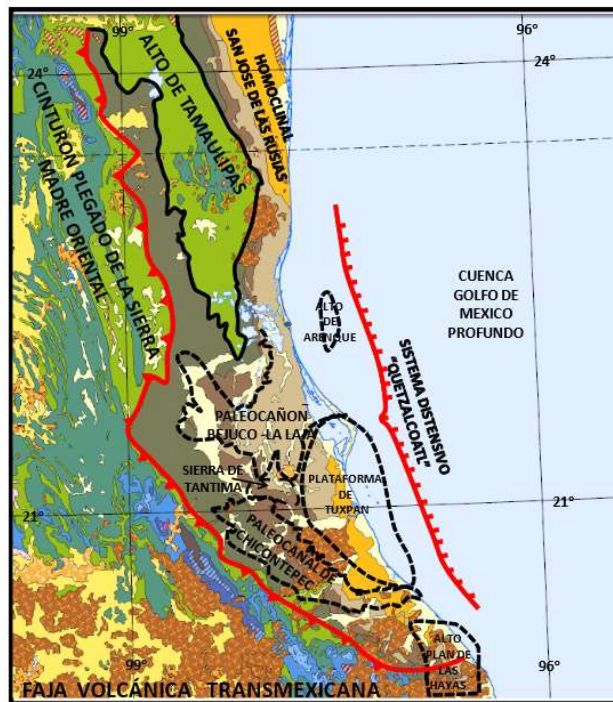


Figura 9. Principales elementos tectónicos de la Provincia Tampico-Misantla. (PEMEX, 2010).

IX.I.II. Estratigrafía de la Cuenca Tampico-Misantla

La secuencia sedimentaria de la Cuenca Tampico-Misantla está integrada por un basamento cristalino de edad establecida como Pérmico-Triásico. Está constituido principalmente por rocas ígneas plutónicas: granitos, granodioritas, tonalitas, dioritas y gabros y en menor porción por rocas metamórficas: esquistos de mica (biotita) y gneises. El basamento subyace discordantemente a la Formación Huayacocotla, a la Formación Cahuasas y a la Formación Huizachal (Guzmán, 2012).

La columna sedimentaria se inicia con el depósito de conglomerados y sedimentos terrígenos de lechos rojos de la Formación Huizachal del Triásico Superior, constituida por una secuencia de lutita, lutita arcillosa, arenisca y conglomerado de color rojo, verde y gris verdoso. Sobre los cuales se depositaron sedimentos de la Formación Huayacocotla, la cual está constituida en su miembro inferior por estratos potentes de lutita alternando con arenisca y en la base de este miembro se tiene conglomerado, transportados por corrientes de alta energía y depositados en forma de abanicos aluviales indicando el inicio del relleno de las fosas de horst y graben. Sobre la secuencia descansa una sección de caliza arenosa y arenisca calcárea con pelecípodos, los que a su vez subyacen una potente sección de lutita y arenisca, en parte carbonosa con restos de plantas, amonites y pelecípodos. El miembro intermedio, está constituido por conglomerado, arenisca, limolita y lutita con amonites, que denota un ambiente poco profundo y próximo a la costa. El miembro superior está formado por arenisca, limolita, lutita y conglomerado con presencia de plantas fósiles continentales como las cicadofitas lo que sugiere un ambiente de tipo fluvial (PEMEX, 2013).

Durante el Jurásico Medio las condiciones continentales se reestablecieron depositándose la Formación Cahuassas que consiste en una secuencia continental de lutita, limolita, arenisca y conglomerado rojo. El contacto inferior es discordante con la Formación Huizachal y con la Formación Huayacocotla (discordancia paralela). El contacto superior es discordante con la Formación Huehuetepc. Al extremo sureste de la Sierra Madre Oriental y en la región adyacente a la Provincia Tampico-Misantla, la secuencia con influencia volcánica recibe el nombre informal de formación Tenexcate. El nivel del mar ascendió nuevamente depositando los sedimentos de la Formación Huehuetepc correspondiente a caliza oolítica y bioclástica. Estas rocas son sobreyacidas por una secuencia de evaporitas (anhidritas y halita) con intercalaciones de lutita, limonita roja, estratos de mudstone, packstone, grainstone y ocasionalmente arenisca calcárea (Guzmán, 2012). Durante el Calloviano, una transgresión marina más extensa, estableció un ambiente de plataforma abierta representada por la Formación Tepexic, constituida por packstone-grainstone ligeramente dolomitizados, packstone-grainstone, arenoso con oolitas y bioclastos, arenisca y limolita calcárea biógenas, arenisca conglomerática, packstone-grainstone de oolitas y bioclastos, arenisca y limolita calcárea. Esta litología gradúa verticalmente a sedimentos calcáreo-arcillosos de aguas profundas de la Formación Santiago, compuesta por lutita

arcillosa y carbonosa, que corresponde a una de las secuencias generadoras de hidrocarburos en la cuenca (PEMEX, 2013).

En el Kimmeridgiano continúa el depósito de sedimentos de agua profunda, en la parte alta del basamento se desarrollaron plataformas con depósitos de cuerpos formados por packstone-grainstone de oolitas, con fragmentos biógenos de algas, moluscos y restos de equinodermos correspondiente a los bordes de la Formación San Andrés, que cambia lateralmente hacia el interior a facies lagunares constituidos por caliza de bioclastos, miliólidos y pellets. El depósito de la Formación San Andrés se llevó a cabo en un ambiente de alta energía posiblemente sobre una plataforma tipo rampa, formando una franja de bancos oolíticos en las partes estructurales más altas que cambian lateralmente a facies arcillosas de mar abierto en los depocentros de la cuenca donde se depositan los sedimentos de las formaciones Chipoco y Tamán de ambientes de rampa media a externa respectivamente. La Formación Tamán se caracteriza por una secuencia de lutita calcárea carbonosa y mudstone con radiolarios calcificados y silicificados, sacocómidos y estomiosféridos. En cuanto a la Formación Chipoco, se caracteriza por una alternancia de caliza y lutita calcárea, y por arenisca calcárea con intercalaciones de lutita calcárea arenosa. Las formaciones San Andrés, Chipoco y Tamán sobreyacen en forma concordante y progradante a la secuencia del Oxfordiano. Una nueva transgresión provoca que las facies de la Formación Tamán cubran a las formaciones Chipoco y San Andrés, para pasar posteriormente en el Tithoniano a las facies de la Formación Pimienta (PEMEX, 2013).

A principios del Tithoniano finaliza el depósito de caliza carbonosa de ambiente de cuenca profunda de la Formación Tamán, que cambia gradualmente a una intercalación de lutita y caliza de estratificación delgada con capas y lentes de pedernal, con abundante materia orgánica, radiolarios calcificados y/o silicificados, estomiosféridos, sacocómidos y amonites de ambiente de depósito pelágico que corresponde a la Formación Pimienta (Cantú-Chapa, 1971), estos depósitos cambian transicionalmente hacia algunas porciones de la Plataforma de Tuxpan a sedimentos bioclásticos someros y siliciclásticos costeros de la Formación La Casita la cual consiste en una unidad basal de limolita, arenisca y conglomerado calcáreo (PEMEX, 2013).

Sobre esta secuencia se encuentra el miembro calcarenítico de la Formación Tamaulipas Inferior con edad Berriasiano-Valanginiano, constituido por capas de packstone-grainstone oolítico, bioclásticos e intraclásticos y caliza pelágica. Estas rocas son sobreyacidas por un depósito de caliza arcillosa del miembro bentónico de la Tamaulipas Inferior, que a su vez pasa gradualmente a caliza pelágica menos arcillosa del miembro de caliza crema. Una nueva transgresión deposita caliza arcillosa del “Horizonte Otates”, compuesto por mudstone arcilloso, en ocasiones ligeramente arenoso, con estratificaciones delgadas de lutita carbonosa y de capas y bandas de pedernal negro que se depositó sobre la Formación Tamaulipas Inferior al final del Aptiano (PEMEX, 2013).

Durante el Cretácico Medio se formó la Plataforma de Tuxpan, una plataforma aislada con bordes constituidos por cuerpos arrecifales y cambios laterales de talud y cuenca. Los espesores mayores de esta secuencia se encuentran en la caliza biogénica arrecifales de la Formación El Abra, los cuales se van reduciendo lateralmente hacia las facies de talud de la Formación Tamabra compuesta por flujos de escombros y turbidita de bioclastos e intraclastos derivados de las rocas carbonatadas de la Formación El Abra, que a su vez pasan lateralmente hacia las facies de cuenca integradas por caliza pelágica que corresponde a la Formación Tamaulipas Superior (PEMEX, 2013).

A finales del Cenomaniano y principios del Turoniano un nuevo ascenso del nivel del mar cubrió parte de la Plataforma de Tuxpan formando un mar epicontinental que permitió el depósito de caliza arcilloso-carbonosa, lutita calcárea y pedernal de la Formación Agua Nueva, posteriormente se depositan caliza arcillosa con intercalaciones de bentonita de la Formación San Felipe, seguidas por marga, caliza arcillosa y lutita calcárea de la Formación Méndez.

Durante el Paleoceno hubo un cambio en la sedimentación, pasando de rocas calcáreas de agua profunda a sedimentos terrígenos, como consecuencia de la deformación y plegamiento del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental, lo que provocó la depositación de una secuencia tectonoestratigráfica de antefosa con arenisca y lutita de tipo turbidítico. Dicha tectonosecuencia está conformada por las unidades litoestratigráficas Velasco, Chicontepec Inferior, Chicontepec Medio y Chicontepec Superior. En el Neógeno se depositó una tectonosecuencia de margen pasivo que corresponde a depósitos

fluviodeltaicos en la porción oriental de la Provincia Petrolera Tampico-Misantla. Esta secuencia está conformada por las formaciones Guayabal, Chapopote-Tantoyuca, Palma Real Inferior, Palma Real Superior, Coatzintla, Escolín, Mesón y Tuxpan (PEMEX, 2013) (Figura 10).

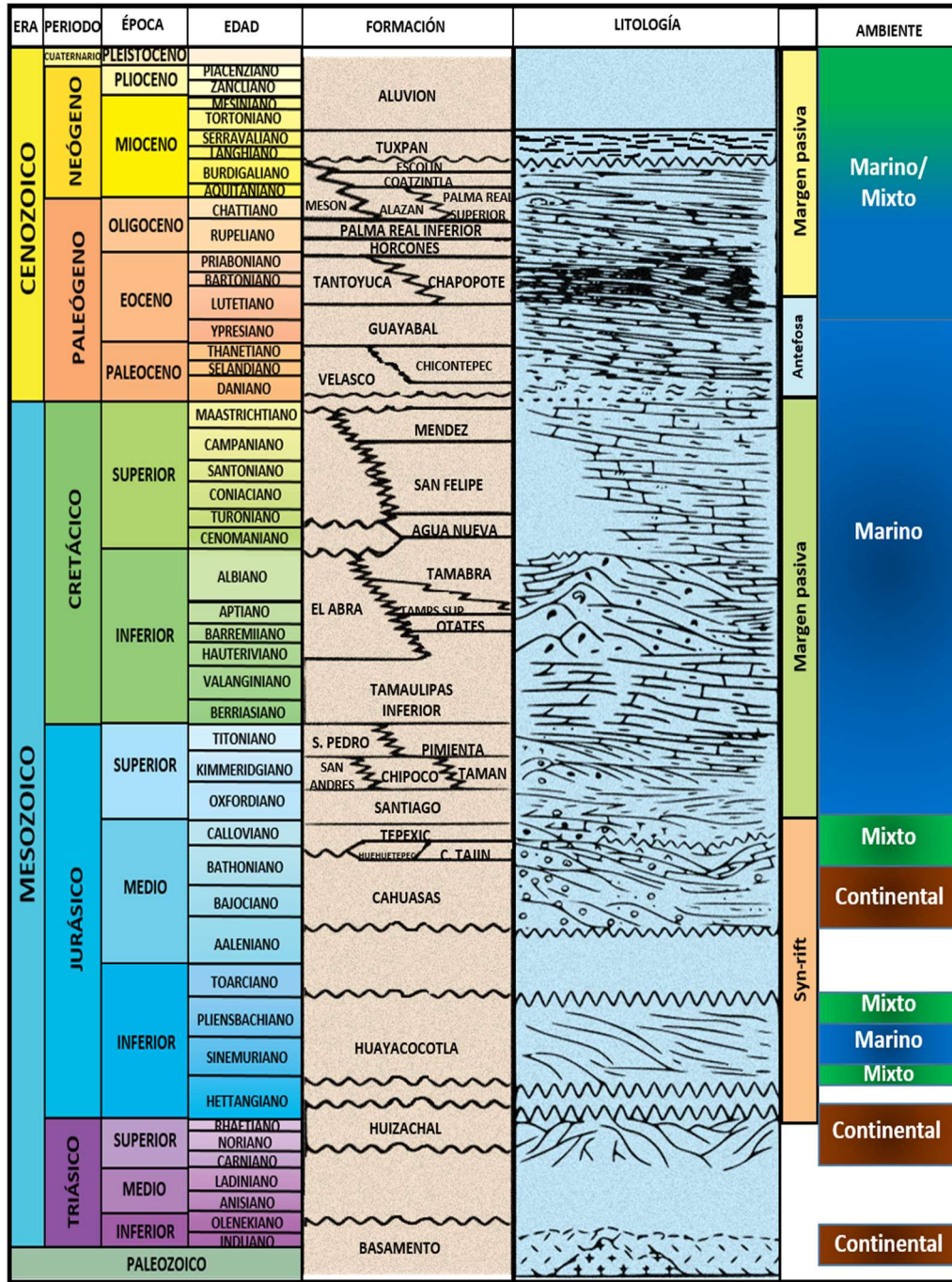


Figura 10. Columna geológica esquemática de la Cuenca Tampico-Misantla (Modificada de PEMEX, 2000).

IX.II. Geología del área de estudio

En el municipio de Tuxpan se encuentran principalmente rocas del periodo Neógeno, del Cuaternario y en menor medida del Paleógeno. Las litologías presentes en mayor medida corresponden a areniscas y lutita-arenisca, además de suelos aluviales, lacustres y litoral (Figura 11).

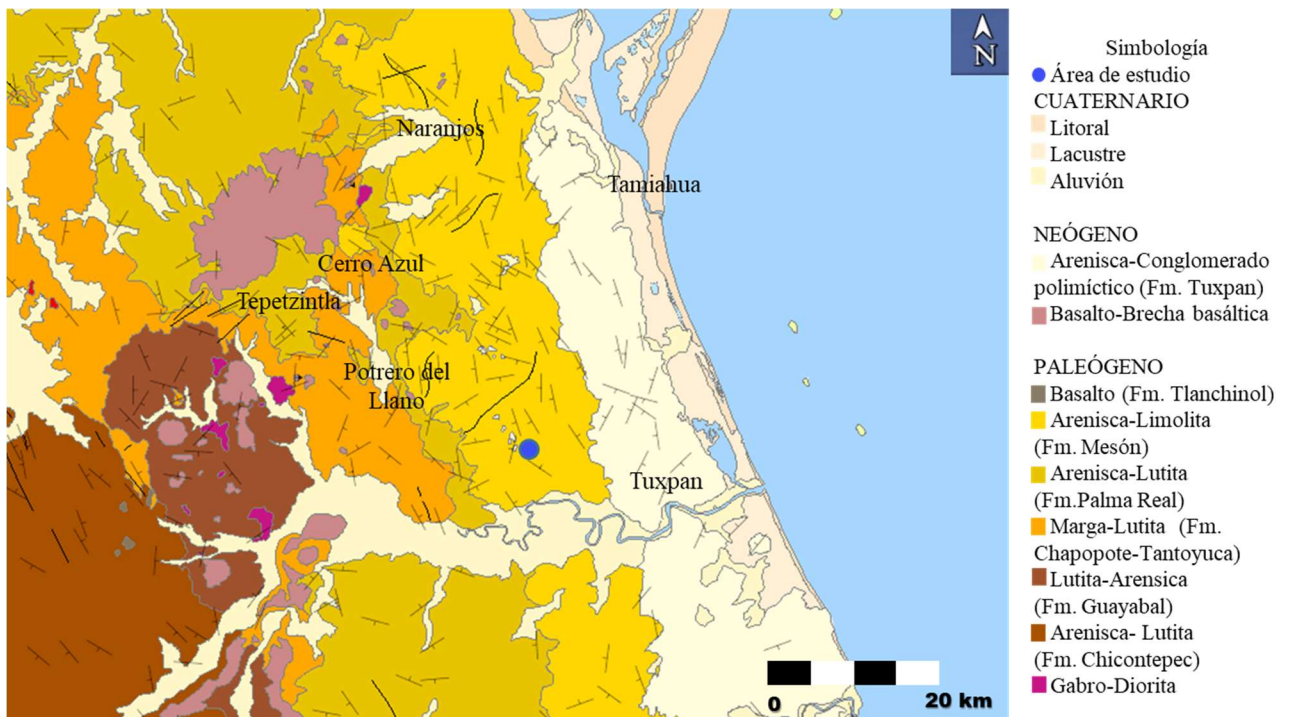


Figura 11. Geología del área de estudio (Modificado de SGM, 2019).

X. CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS

X.I. Formación Mesón (Oligoceno Medio – Mioceno Temprano)

La Formación Mesón fue definida por Dumble en 1918. Su localidad tipo se encuentra en los valles entre Moralillo (hoy ex hacienda de San Marcos) y Mesón, Veracruz, entre el camino que une los poblados de Tamiahua y Alazán. Está distribuida ampliamente en la porción oriental de la Cuenca Tampico-Misantla y aflora desde el sur de Soto La Marina, Tamaulipas, hasta el sur de Poza Rica, Veracruz, en una franja de 400 Km de longitud por 15 Km de ancho.

Está compuesta en la base por una sección de lutitas calcáreas y margas arenosas de color gris, con abundantes microfósiles. Hacia la parte media se presenta arenisca gris y pardo, de cuarzo y bioclastos, de grano fino a medio, calcáreas y en capas de 20 a 30 cm, a las que sobreyace caliza biógena con restos de bivalvos y corales, su cima está compuesta por capas de arenisca gris. (SGM, 2010).

Sus espesores varían entre los 100 y 900 metros. El contacto inferior es concordante con la Formación Palma Real Superior, en cambio su contacto superior es discordante con la Formación Tuxpan.

Posee una variedad muy abundante de fósiles, dentro de los microforaminíferos se encuentran *Discorbis submamilla* Barker, *Heterostegina antillea* Cushman, *Lepidocyclina canellei* Lemoine y Douvillé, *Lepidocyclina crassata* Cushman, *Lepidocyclina gigas* var. *mexicana* Cushman Carreño (1986).

De acuerdo con Valdez (1996) los equinoides presentes en esta formación son *Cidaris loveni* Kew, *Clypeaster sanrafaelensis* Israelsky, *Clypeaster meridaensis* Michelin, *Clypeaster oxibaphon* Jackson, *Clypeaster crustulum* Michelin, *Clypeaster stauhi* Lambert, *Paraster tampicoensis* Israelsky, *Schizaster cristatus* Jackson, *Schizaster dumblei*, Kew, *Brissopatagus elevatus* Israelsky, *Agassizia clevi* Cotteau, *Espatagus mexicanus* Jackson, *Lovenia dumblei* Kew, *Echinolampas mexicanus* Lambert, *Antillaster vaughani* Jackson (Figura 12).

Por su contenido paleontológico se le ha asignado a la Formación Mesón un intervalo de edad que parte del Oligoceno Medio - Mioceno Temprano (SGM, 2010).

Con relación al contenido paleontológico se ha determinado que el ambiente de depósito pudo ser de plataforma interna somera o litoral con gran flujo de terrígenos (Carreño, 1986).

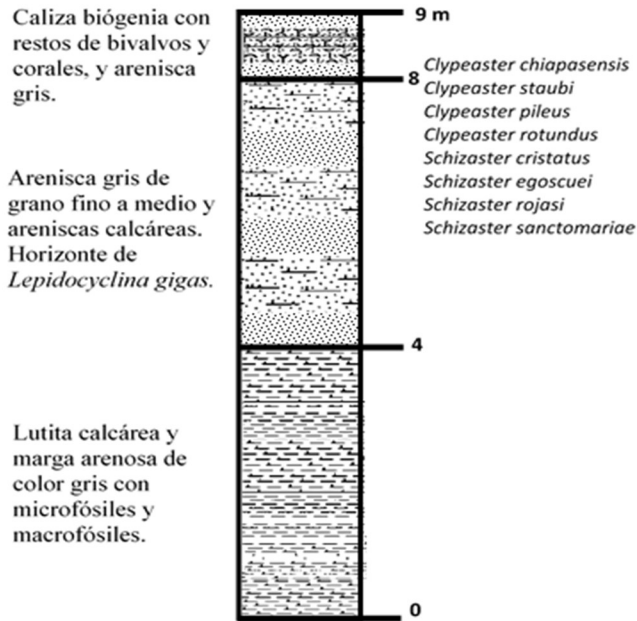


Figura 12. Columna estratigráfica de la Formación Mesón (Modificado de López-Ramos, 1956).

X.II. Formación Tantoyuca (Paleógeno, Eoceno Tardío)

Ickes en 1913, propone el nombre de Chapopote-Tantoyuca, posteriormente la formación es estudiada por Sansores y Girard (1969) y consideran a esta unidad compuesta por dos formaciones diferentes del Eoceno superior, la Formación Chapopote y la Formación Tantoyuca (Buitrón y Silva, 1979).

De acuerdo a Nájera-Chiapa (1952) y Buitrón y Silva (1979), la localidad tipo de la Formación Tantoyuca se encuentra un kilómetro al este de la población de Tantoyuca, sobre el camino de Tantoyuca a Chapopo y sobre el arroyo de Tecomate, en la región noroccidental del estado de Veracruz.

La Formación Tantoyuca está constituida principalmente por arenisca de color crema, que se intemperiza a pardo, de grano medio a conglomerático, principalmente de cuarzo anguloso y abundante pedernal negro. Arriba de estos estratos se presenta un conglomerado formado en su mayoría por cantos rodados, bien redondeados y de todos tamaños, derivados de areniscas de la Formación Chicontepec, calizas cretácicas y de pedernal negro, cementado con aglutinante calcáreo. La sección se continúa con una serie de areniscas conglomeráticas, y lutitas arenosas grises (Nájera-Chiapa, 1952).

En cuanto a su registro paleontológico Nájera-Chiapa (1952) reporta para la Formación Tantoyuca la presencia de *Lepidocyclina tuberculata* Nuttall, *L. acrobiculata*

Cushman, *L. cf. Marginata* Michelotti, *Bulimina jacksonensis* Cushman var. Y *Operculina wilcoxi* Heilprin. También se han reportado la presencia de equinodermos de las especies *Oligopygus rotundus* Cooke, y *Eupatagus (E.) mooreanus* Pilsbry (Buitrón y Silva, 1979), así como *Oligopygus haldemani* Conrad y *Oligopygus putnami* Israelsky (Valdez, 1996) y abundantes macroforaminíferos (Cabrera-Castro y Lugo-Rivera, 1984).

En cuanto a su ambiente de depósito la presencia de material detrítico indica un depósito en zonas cercanas a la costa, dentro de un ambiente nerítico, en una zona marginal en su sedimentación, lo cual permitió la acumulación de conglomerados.

De acuerdo a su contenido fósil se le ha sido asignada una edad correspondiente al Eoceno Tardío. La Formación Tantoyuca subyace a la Formación Horcones del Oligoceno y sobreyace a la Formación Guayabal del Eoceno (SGM, 2010).

X.III. Formación Chapopote (Paleógeno, Eoceno Medio-Tardío)

La Formación Chapopote fue inicialmente incluida dentro de la unidad Chapopote-Tantoyuca propuesta por Ickes (1913). En 1927 Cole propone el término Formación Chapopote para las capas de arcilla-lutita grisácea con numerosas *Globigerina* y *Hantkenina alabamensis*. Nuttall (1934 en Wright 1936) divide esta unidad en Chapopote Inferior y Chapopote Superior. Sansores y Girard (1969 en Buitrón y Silva, 1979) consideraron que la unidad Chapopote-Tantoyuca está compuesta por las formaciones Tantoyuca y Chapopote (SGM, 2010).

La localidad tipo de la Formación Chapopote se localiza en la margen norte del Río Tuxpan, cerca del poblado Chapopote, Tamaulipas, en el cruce de la carretera que va de Álamo a Potrero del Llano, Veracruz (CONAGUA, 2015).

Cole (1927) considera que la formación está constituida de capas de arcilla-lutita grisácea con numerosas *Globigerina* y *Hantkenina alabamensis*. Wright (1936) menciona que la parte superior comprende una intercalación de margas grises con margas arenosas y areniscas; mientras que la parte inferior consiste de margas grises de grano fino. Nájera-Chiapa (1952) la describe como lutitas de color gris a gris ligeramente verdoso, que se intemperizan a crema claro, en la cima frecuentemente se encuentran capas de bentonita de color gris verdoso. Por su parte, Barker y Blow (1976) mencionan que consiste de marga

masiva de coloración azul-verde a gris con frecuentes capas de bentonita verde amarillenta hacia la cima de la secuencia (SGM, 2010). De acuerdo con Cole (1927) sus espesores varían de 40 a 1020 m. Cabrera-Castro y Lugo-Rivera (1984) menciona que su espesor promedio es de 200 m.

En cuando al contenido paleontológico, se tiene gran abundancia de foraminíferos, entre los que destacan los géneros *Reophax*, *Ammodiscus*, *Haplophragmoides*, *Textularia*, *Vulvulina*, *Tritaxilina*, *Clavulina*, *Triloculina*, *Lenticulina*, *Nodosaria*, *Robulus*, *Hemicristellaria*, *Fissurina*, *Lagena*, *Polymorphina*, *Spiroplectoides*, *Hantkenina*, *Bulimina*, *Bolivina*, *Uvigerina*, *Pleurostomella*, *Nodosarella*, *Ellipsonodosaria*, *Discorbis*, *Gyroidina*, *Rotaliatina*, *Epinoides*, *Pulvinulinella*, *Cassidulina*, *Chilostomelloides*, *Globigerina*, *Anomalina*, *Cibicides* y *Hantkenina* (SGM, 2010).

El ambiente de depósito se ha determinado de acuerdo al contenido de microfósiles de la unidad, así Barker y Blow (1976) con base en la abundante presencia de *Globigerina* determinan un ambiente de depósito de océano abierto. Cabrera-Castro y Lugo-Rivera (1984) consideran a esta unidad como un depósito de cuenca (batial superior), sin embargo, Maldonado-Lee et al. (2004) mencionan que fue depositada sobre la plataforma continental en condiciones moderadas y uniformes de profundidad, dada la abundancia de foraminíferos pelágicos. De igual manera Cole (1928) dijo que esta unidad es equivalente en tiempo a la Formación Tantoyuca y que podría ser considerada la fase profunda de esta formación (SGM, 2010).

Con base en su contenido micropaleontológico se ha determinado la edad de la formación, Cole (1928) menciona que la presencia de *Hantkenina alabamensis* sugieren una correlación con el Eoceno Superior. Gamper (1977) en su biozonación establece que esta unidad se ubica en la Biozona *Globorotalia frondosa*/*Globorotalia cerroazulensis*-*Globorotalia cerroazulensis*/*Truncorotaloides rohri* ubicadas en el Eoceno Medio y en las biozonas *Truncorotaloides rohri*/*Globorotalia cocoaensis*-*Globorotalia cocoaensis* del Eoceno Tardío, por lo que le asigna una edad de Eoceno Medio (parte alta) al Eoceno Tardío.

La formación Chapopote subyacen a las formaciones Horcones y Alazán del Oligoceno y sobreyacen a la Formación Guayabal del Eoceno (SGM, 2010).

XI. RESULTADOS

XI.I. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Los fósiles descritos se encuentran depositados en la Colección Paleontológica del Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior, Alcaldía Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México.

Phylum ECHINODERMATA Brugiere-Leske, 1778.

Superorden ECHINACEA Claus, 1876

Diagnosis. La testa es de simetría pentámera, rígida conformada por numerosas placas, el sistema ambulacral es rectilíneo y se ubica entre el peristoma y el periprocto, los interambulacros son anchos formados por dos hileras de placas grandes con tubérculos centrales donde se insertan radiolas grandes y gruesas, el periprocto está situado en el sistema apical, el peristoma se encuentra en la región adoral, tienen hendiduras branquiales y linterna en el estadio adulto.

El alcance estratigráfico de los equinoides se inicia en el Paleozoico y continúa hasta el Reciente.

Subphylum ECHINOZOA

Clase ECHINOIDEA Leske, 1778

Diagnosis. Los equinoideos presentan la testa con diferentes formas, entre ellas la discoidal con placas poligonales y tubérculos primarios donde se insertan las radiolas, los ambulacros e interambulacros son rectilíneos de diferente anchura formados por numerosas placas arregladas en cinco áreas, separadas por otras cinco interambulacrales, el ámbito de la testa es de formas variadas, circular u oval (Durham, 1966, p.297).

Subclase EUCHINOIDEA Bronn, 1860.

Diagnosis. La subclase, está representada por equinoides de testa raramente imbricada con interambulacros y ambulacros constituidos por dos columnas de diferente tamaño, el sistema apical presenta o no periprocto. En los ejemplares recientes, la linterna y las branquias están, presentes o ausentes en el estadio adulto, las radiolas y los pedicelarios son pequeños y cortos (Barraclough, 1966, p. U339).

Super orden ATELOSTOMATA Zittel, 1879.

Diagnosis. La testa presenta placas firmemente adosadas, el periprocto y el peristoma ocasionalmente opuestos; tubérculos primarios generalmente perforados, radiolas primarias cóncavas; ambulacros e interambulacros invariablemente anchos, el área que rodeada al peristoma puede estar presente o no, el periprocto se encuentra fuera del sistema apical, en los ejemplares actuales se encuentra conservada la linterna de forma circular y las branquias (Durham, 1966, p. U491).

Orden SPATANGOIDA Claus, 1876

Diagnosis. La testa es cordiforme, el sistema apical es compacto con cuatro o menos gonoporos, los ambulacros pares son petaloides, el interambulacro impar anterior es diferente, los pétalos generalmente son superficiales y desiguales. El peristoma es pentagonal, labiado, excéntrico y se encuentra en la región anterior, pero excepcionalmente es central. La fasciola peripétala y los filoides están presentes. El periprocto se encuentra localizado cerca del extremo posterior. Las radiolas de los fósiles raramente se conservan y en los ejemplares recientes son pequeñas delgadas con aspecto de vellosidades (Fischer, 1966, p. U550).

Suborden Hemiasterina Fischer, 1966.

Diagnosis La testa es cordiforme, los ambulacros son petaloides, el sistema apical tiene placas genitales, en algunas familias la fasciola peripétala se combina con la fasciola latero-anal o marginal, pero no con la fasciola subanal. Las radiolas primarias están presentes en escasos géneros de Schizastéridos (Fischer, 1966, p. U557).

Familia SCHIZASTERIDAE Lambert, 1905.

Diagnosis. La testa es cordiforme, generalmente presenta fasciola peripétala y fasciola latero-anal, con excepción de los géneros *Amphipneustes* y *Proraster*. El Sistema apical está integrado por placas genitales compuestas de 2 a 4 gonóporos. Las radiolas son gruesas y en algunos casos, se encuentran en grupos, o son largas en la parte posterior para formar el canal sanitario. Algunos géneros muestran diferenciación en los tubérculos primarios y las radiolas (Fischer, 1966, p. U569).

Género *SCHIZASTER* Agassiz 1836

Diagnosis. Testa alta, que presenta cierta inclinación desde la parte anterior hasta la región posterior, ambulacros hundidos, el frontal muy profundo, las ambulacros petaloides posteriores son tan largos como los anteriores. El sistema apical presenta 2 o 4 gonoporos (Fischer, 1966, p. U569).

Schizaster cristatus Jackson, 1917

(Figura 13)

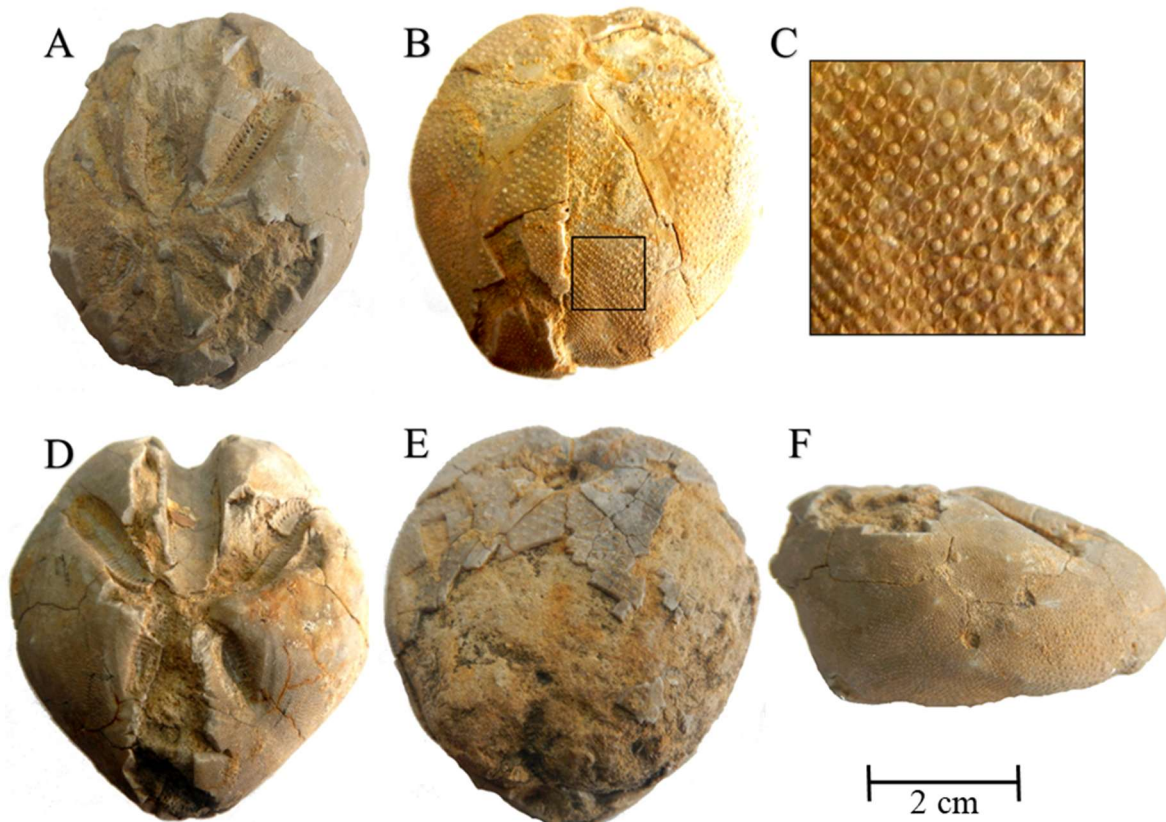


Figura 13. A) y D) Vista apical, B) y E) Vista adoral, C) Vista amplificada de la zona ambulacral y F) Vista lateral. A), B), C) y F) Ejemplar STM-1, D), E) Ejemplar STM-2.

1917 *Schizaster cristatus* Jackson, p. 499, lám. 68, fig. 2.

1918 *Schizaster cristatus* Jackson, p. 113, lám. 52, fig. 2-4.

Descripción. La testa es de tamaño medio y cordiforme, la parte con mayor anchura se encuentra en la parte intermedia. El ambulacro III está hundido con una acanaladura ancha que se extiende hasta el borde anterior. Los pétalos anteriores de los ambulacros II y IV presentan una acanaladura profunda. Los pétalos de los ambulacros posteriores I y V son divergentes con el par anterior, II y IV. El periprocto está situado en la parte posterior y coincide con la base de la cresta del ambulacro V. El peristoma es ancho y se localiza en la región anterior, próximo al ámbito.

Dimensiones (mm.)

Ejemplar	Longitud	Anchura	Altura	Peristoma		Periprocto	
				Largo	Ancho	Largo	Ancho
NUM. STM-1	63.5	57	34	7	11	9	6
NUM. STM-2	63	58	33	5	7	7	5

Localidad y posición estratigráfica. Entre la Hacienda de San Marcos y Mesón, Estado de Veracruz. Formación Mesón (Oligoceno-Mioceno).

Colector. Robert H. Palmer y J. Ignacio Sánchez Vázquez.

Discusión. La especie *Schizaster cristatus* Jackson, 1917 del Oligoceno-Mioceno recolectado en afloramientos limítrofes en la costa del Golfo de México es similar a *S. delgadoi* descrito del Cretácico de Cuba (Sánchez Roig, 1949 p. 216); en esta especie el peristoma está situado muy cerca del margen anterior. *S. cristatus* también puede confundirse con *S. bathypetalus* (Arnold y Clark, 1927, p. 1-84, figs. 1-3, lám. 1-22) pero en *S. bathypetalus* la testa es más grande, el sistema apical está localizado casi en el margen ambital posterior y la ambulacro anterior es más estrecho. También existe otra diferencia pues la testa asciende abruptamente desde el ápice a la parte posterior de la misma. Los ambulacros petaloides anteriores se encuentran más abiertos y separados del pétalo impar, (Kier, 1984, p. 179, lám. 15 figs. 1-7). También presenta similitud con la especie *S. egozcuei* (Kier, 1984, p. 185, lám. 18 figs. 1-4), pero esta presenta una testa menos ancha, el sistema apical se localiza más cerca del margen ambital posterior, además el labrum termina en ángulo cerrado.

Schizaster egozcuei Lambert y Thiery, 1925

(Figura 14).

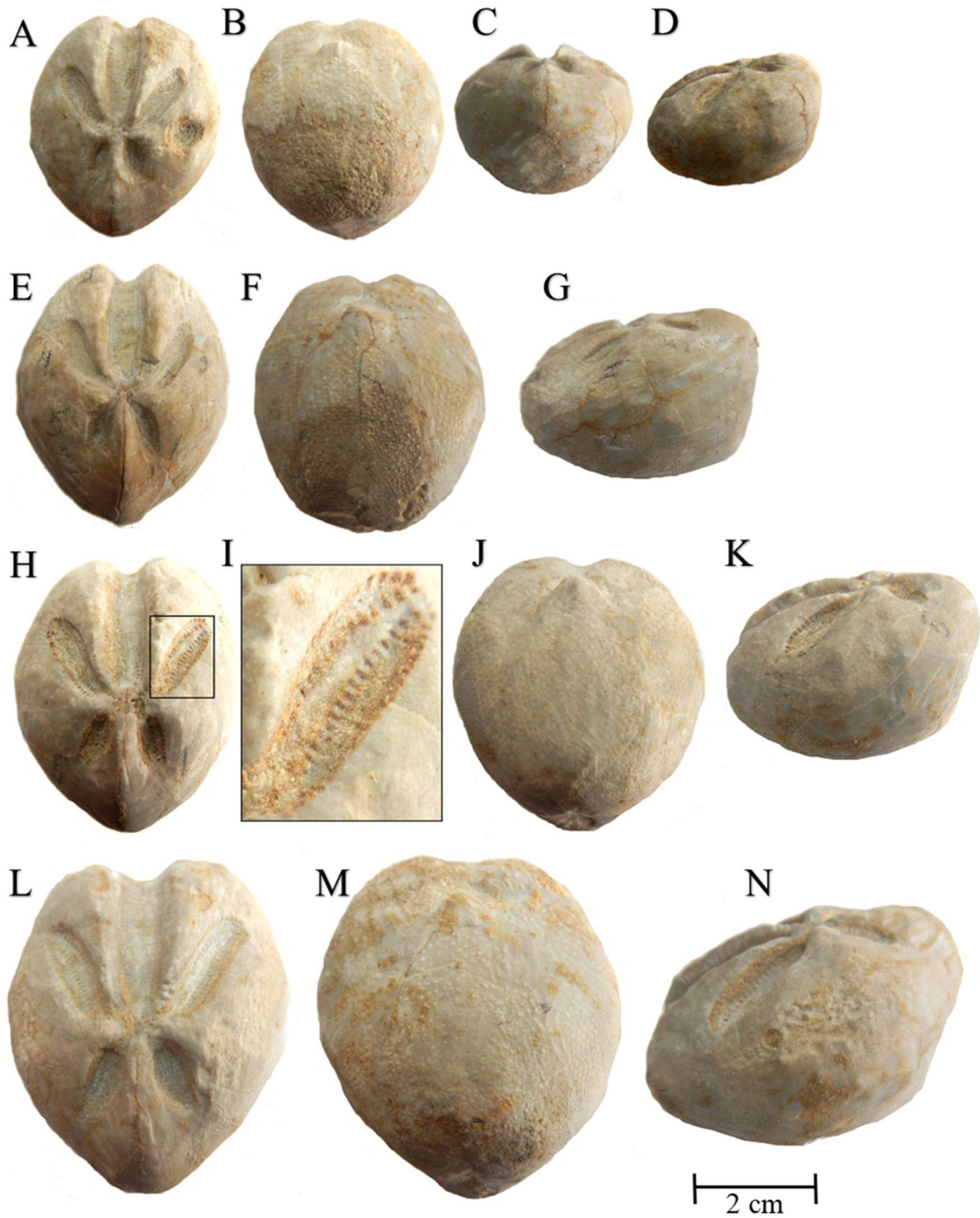


Figura 14. A), E), H) y L) Vista apical, B), F), J) y L) Vista adoral, C) Vista posterior, D), G), K) y N) Vista lateral y I) Vista amplificada de la zona petaloide. De A) a D) Ejemplar STM-3, de E) a G) Ejemplar STM-4, de H) a K) Ejemplar STM-5 y de L) a N) Ejemplar STM-6.

1947 *Schizaster scillae* Agassiz, p. 21.

1881 *Schizaster scillae* Cotteau, p. 35.

1897 *Schizaster scillae* Cotteau, p. 82 lám. 26, fig. 5. Lám. 27, figs. 4-6.

1925 *Schizaster egozcuei* Lambert y Thiery, p. 527.

1926 *Schizaster egozcuei* Sánchez Roig, p. 132.

Descripción. La Testa es de tamaño grande, oblonga, escotada en la región anterior y con terminación aguda en la región posterior. La región apical es saliente y presenta un declive en la región anterior. La región adoral es generalmente convexa, poco voluminosa en el interambulacro impar y la región posterior es estrecha. El sistema apical es pequeño, tiene posición excéntrica y se localiza hacia la región posterior. El ambulacro impar es recto, largo, ancho y profundo muy diferente de los otros ambulacros y presenta escasos poros simples muy pequeños. Las áreas ambulacrales pares tienen forma de pétalo, son estrechas, hundidas y desiguales, las anteriores mucho más largas que las posteriores. La zona porífera de las áreas ambulacrales está en el margen externo, la zona interporífera es casi del mismo ancho que la porífera. Las áreas interambulacrales son estrechas y salientes en la proximidad del ápice, los tubérculos son pequeños, abundantes y se encuentran arreglados en filas regulares.

El peristoma está en posición anterior, oculto por un borde saliente, el periprocto es oval, situado en el ámbito de la región posterior. La fasciola peripétala es ancha.

Dimensiones (mm.)

Ejemplar	Longitud	Anchura	Altura	Peristoma		Periprocto	
				Largo	Ancho	Largo	Ancho
NUM. STM-3	37.5	32	24	4	6.5	6	4
NUM. STM-4	43	35	29	5	8	5	4.5
NUM. STM-5	44.5	38.5	30	4	7.5	6	5
NUM. STM-6	56.5	47	36	4	7	9	7

Localidad y posición estratigráfica. Entre la Hacienda de San Marcos y Mesón, Estado de Veracruz. Formación Mesón (Oligoceno-Mioceno).

Colector. Blanca E. Buitrón.

Discusión. La especie *Schizaster egozcuei* fue descrita inicialmente del Mioceno de Cienfuegos, provincia de Cuba, puede compararse con *S. delgadoi* (Sánchez Roig, 1949 p. 216) se distingue porque en esta especie, el ambulacro anterior es más ancho y los ambulacros petaloides anteriores presentan una menor separación. También se asemeja a *S. muñozi* (Sánchez Roig, 1949 p. 277, lám. 43, figs. 1-3) pero esta especie tiene la testa más aplanada y con el surco anterior menos ancho.

Schizaster (Aplospatangus) rojasi Sánchez Roig, 1952

(Figura 15)

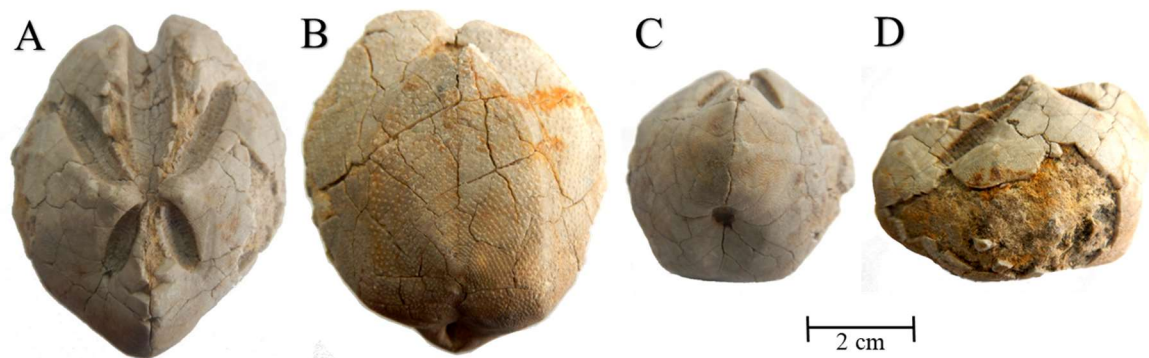


Figura 15. A) Vista apical, B) Vista adoral, C) Vista posterior y D) Vista lateral. A), B), C) y D) Ejemplar STM-7.

1952 *Schizaster (Aplospatangus) rojasi* Sánchez Roig, p. 25, lám. 15, figs. 1-3.

Descripción. La testa es de tamaño grande, de forma ovoide, ligeramente más alta hacia la mitad posterior y con terminación aguda. El sistema apical está próximo a la región posterior, tiene cuatro placas con los poros genitales pequeños. La ambulacro impar anterior III es recto y estrecho, situado en un surco ancho y profundo que termina en el peristoma, la zona porífera

Los pétalos anteriores II y IV se extienden desde el sistema apical hacia proximidad del ámbito; la zona interporífera es estrecha. Los pétalos posteriores I y V son tres veces más cortos que los anteriores. Los filoides están desarrollados con un poro largo, cada poro presenta una protuberancia posterior y se une con un segundo poro.

El peristoma se localiza en la parte anterior, cerca del surco del ambulacro impar El periprocto se encuentra en la parte media de la región posterior. Se presentan fasciolas peripétala y lateral.

Dimensiones (mm.)

Ejemplar	Longitud	Anchura	Altura	Peristoma		Periprocto	
				Largo	Ancho	Largo	Ancho
NUM. STM-7	68	55	44	6	9	9	5.5

Localidad y posición estratigráfica. Los afloramientos se localizan entre la Hacienda de San Marcos y Mesón, Veracruz. Formación Mesón (Oligoceno-Mioceno).

Colector. Robert H. Palmer y J. Ignacio Sánchez Vázquez.

Discusión. La especie *Schizaster (Aplospatangus) rojasi* (Sánchez Roig, p. 25, lám. 15, figs. 1-3) que fue descrita del Oligoceno-Mioceno de Camagüey y Morón provincia de Cuba, es similar a *Schizaster egozcuei* (Lambert (1925, p. 607, lám. 15) pero sus ambulacros anteriores son divergentes y los posteriores son más cortos. También tiene parecido con *S. muñozi* (Sánchez Roig, 1949, p. 277, lám. 43, figs. 1-3) pero en esta especie el ambulacro anterior y los posteriores son más anchos.

Schizaster sanctamariae Sánchez Roig, 1949

(Figura 16)

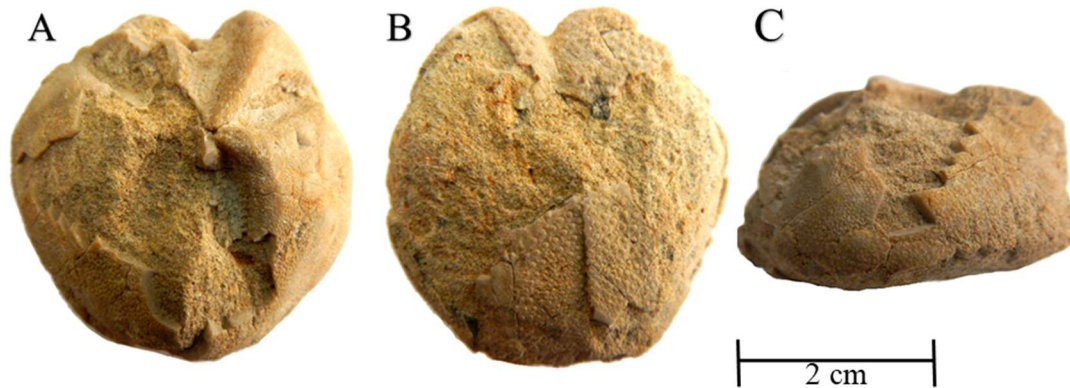


Figura 16. A) Vista apical, B) Vista adoral y C) Vista lateral. A), B) y C) Ejemplar STM-8.

1949 *Schizaster sanctamariae* Sánchez; Roig, p. 272, lám. 44, figs. 4, 5.

Descripción. La testa es de tamaño pequeño, ovoidea, convexa en la cara apical y plana en la cara adoral, ligeramente más alta y truncada en el margen posterior, tiene numerosos tubérculos de tamaño pequeño. El sistema ambulacral está en posición central, presenta cuatro poros genitales, los ambulacros se encuentran en surcos profundos, los ambulacros pares anteriores son petaloides más largos que los posteriores, los ambulacros posteriores petaloides son más cortos, se extienden del sistema apical a la proximidad del ámbito, el ambulacro impar anterior es recto y se localiza desde el sistema apical hasta el peristoma, los poros son pequeños y redondos. El peristoma se encuentra en la región anterior de la cara adoral, muy cerca del contorno ambital, es pequeño de forma semicircular. Presenta fasciola estrecha alrededor de los pétalos. El periprocto se localiza en el extremo posterior de la testa.

Dimensiones (mm.)

Ejemplar	Longitud	Anchura	Altura	Peristoma		Periprocto	
				Largo	Ancho	Largo	Ancho
NUM. STM-8	31.5	31	17.5	4	5	5	3

Localidad y posición estratigráfica. La muestra se recolectó en afloramientos localizados entre la Hacienda de San Marcos y Mesón, Veracruz. Formación Mesón (Oligoceno-Mioceno).

Colector. Robert H. Palmer y J. Ignacio Sánchez Vázquez.

Discusión. *Schizaster sanctamariae* Sánchez Roig, 1949 puede distinguirse de especies similares descritas del Paleógeno-Neógenos de Cuba, porque presenta la testa angosta. No obstante, tiene similitud con *Schizaster caobaensis* Sánchez; Roig (1949, p. 273, lám. 44, fig. 2) la diferencia se basa en la forma de la testa, que es más alargada.

Schizaster gerthi Pipers, 1933

(Figura 17)

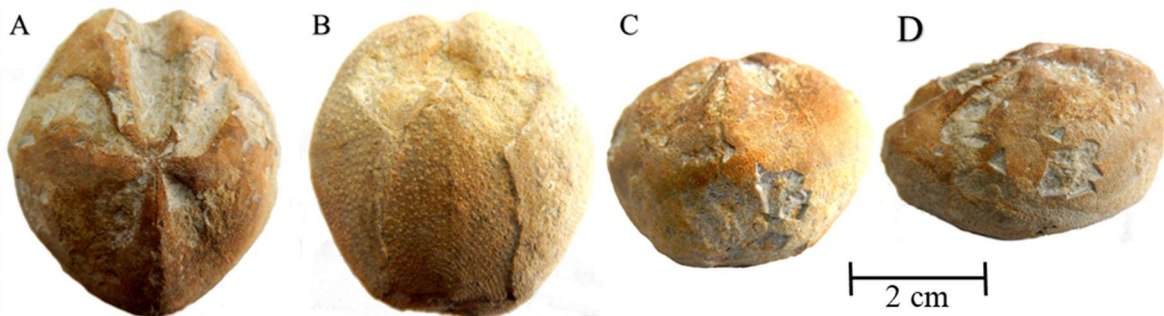


Figura 17. A) Vista apical, B) Vista adoral, C) Vista posterior y D) Vista lateral. A), B), C) y D) Ejemplar STM-9.

1933 *Schizaster gerthi* Pipers, p. 96, fig. 157, lám. 1, fig. 19, lám. 21, figs. 10-12.

1949 *Paraster clarcki* Sánchez Roig, p. 28, 29, lám. 44, figs. 6, 9.

Descripción. La testa es de tamaño medio, ovoide, convexa en la cara apical y aplanada en la cara adoral, ligeramente más alta hacia la parte posterior, la cara posterior presenta el periprocto en el extremo superior. El sistema apical es casi central, tiene poros genitales pequeños. Los ambulacros pares son desiguales, anchos, los anteriores más grandes que los posteriores, el ambulacro impar se encuentra en una escotadura ancha y profunda y se

continúa hacia el peristoma. Las zonas poríferas poros iguales pequeños y redondos. La fasciola es peripétala, los tubérculos son gruesos. El peristoma es excéntrico, grande, con labio grueso y ligeramente hundido.

Dimensiones (mm.)

Ejemplar	Longitud	Anchura	Altura	Peristoma		Periprocto	
				Largo	Ancho	Largo	Ancho
NUM. STM-9	47	44	28.5	5.5	8	6	5

Localidad y posición estratigráfica. El ejemplar se recolectó a 2.5 km rumbo a Chapopo, Veracruz. Formación Tantoyuca (Eoceno).

Colector. Blanca E. Buitrón.

Discusión. La especie *Schizaster gerthi* Pipers, 1933 fue reportada del Eoceno, de afloramientos de la Provincia Pinar del Río, Cuba, se distingue de *Schizaster subcilindricus* Cotteau (1875; 31, lám. 5, figs. 14-7) pues en esta especie el sistema apical es central y los ambulacros petaloïdes anteriores están más abiertos.

También se relaciona con *S. bathypetalus* Arnold y Clark (1927, p. 38, 60, lám 12, figs. 1-4) pero presenta la testa más pequeña, los ambulacros posteriores son más cortos y los anteriores están más cerrados.

Presenta similitud con *S. fernandezii* (Kier, 1984, p. 184, lám. 18 figs. 5-11), pero esta especie tiene los ambulacros anteriores más largos y más abiertos. El ambulacro impar es más largo. De igual manera presenta similitud con *S. muñozii* (Kier, 1984, p. 193, lám. 22, figs. 1-9; p. 195, lám. 23, fig. 1), pero en esta especie, el ambulacro impar se localiza en un surco más profundo y los ambulacros posteriores se encuentran más separados.

Schizaster nuevitasensis Weisbord

(Figura 18)

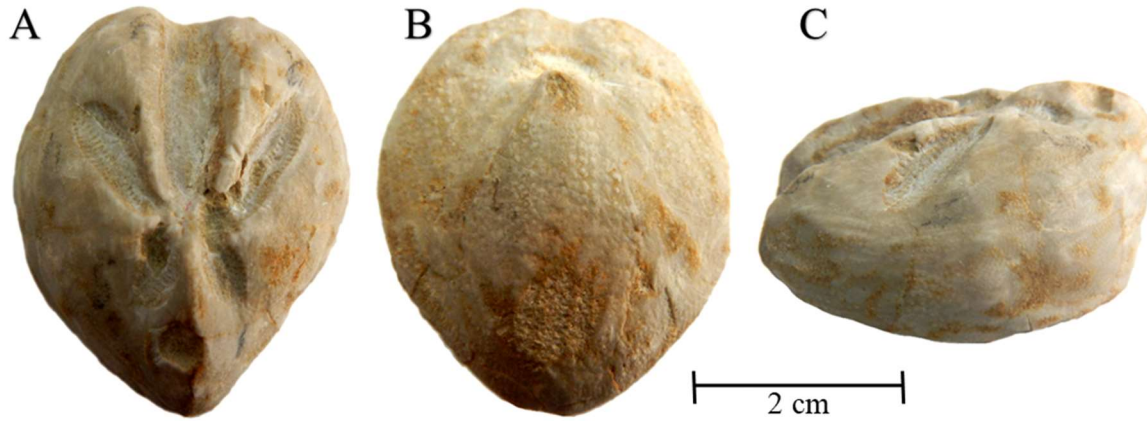


Figura 18. A) Vista apical, B) Vista adoral y C) Vista lateral. A),B) y C) Ejemplar STM-10.

1934 *Paraster nuevitasensis* Weisbord, p. 67, lám. 7, figs. 7, 8.

1949 *Schizaster nuevitasensis* Sánchez Roig, p. 283.

Descripción. La testa es de tamaño medio, ovalada y ligeramente alargada, el área apical es casi plana, presenta la parte más alta en la región posterior, la cara adoral tiene un ligero declive que va dirigido de la parte posterior a la anterior. El sistema ambulacral es excéntrico y posterior los Ambulacros petaloides son ligeramente profundos; los posteriores I y V más pequeños que los anteriores II y IV; el pétalo del ambulacro III es el más largo y profundo, extendiéndose casi hasta el margen ambital, de donde continua al peristoma como una estrecha fisura. El área porífera es más ancha que la interporífera, los poros no son muy abundantes y los exteriores son más grandes que los interiores. La fasciola es peripétala y sinuosa, siguiendo el margen de los pétalos. El peristoma es anterior, grande y transversalmente elíptico, el periprocto es pequeño y estrecho, se localiza en el margen posterior bajo la saliente del borde del interambulacro. La testa presenta numerosos tubérculos pequeños.

Dimensiones (mm.)

Ejemplar	Longitud	Anchura	Altura	Peristoma		Periprocto	
				Largo	Ancho	Largo	Ancho
NUM. STM-10	39	34	23	4	7	6	3.5

Localidad y posición estratigráfica. A 2.5 km. El material se recolectó rumbo a Chapopo, estado de Veracruz. Formación Tantoyuca (Eoceno).

Colector. Blanca E. Buitrón y Refugio Valdez.

Discusión. La especie *Schizaster nuevitasensis* Weisbord fue descrita originalmente del Eoceno tardío de Camagüey provincia de Cuba, y tiene semejanza con *Schizaster camagüeyensis* Wisbord (1934, p. 68, lám. 7, figs. 9-11), la diferencia consiste en que esta especie es de menor tamaño y los poros de los ambulacros petaloides son escasos.

XI.II. CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS

Los equinoides son organismos acuáticos, que viven en aguas marinas someras, de salinidad normal (30-36 ppm) principalmente en la zona sublitoral y litoral de las regiones tropical y subtropical, pero hay excepciones de géneros que viven a grandes profundidades como *Pourtalesia*. En la actualidad están representados por 800 especies (Durham, 1966; Pawson, 2007).

Los equinoides vivientes están distribuidos desde el litoral hasta la zona hadal. Se conocen más de 150 especies que viven en la zona de alta y baja marea. En los primeros 100 m, debajo de la zona litoral se encuentran más de 360 especies, número que decrece gradualmente al aumentar la profundidad, ya que muchas especies de aguas someras están limitadas por la batimetría. Algunas familias, entre ellas la de equinoides regulares Echinothuriidae y cinco familias de equinoides irregulares Aeropsidae, Hemisteridae, Asterostomatidae, Pourtalessidae, y Urechinidae están presentes en las zonas abisal y hadal

por debajo de 4000 m, por ejemplo, algunas especies de los géneros *Hemiaster* (Spatangoida) y *Pourtalesia* (Holasteroidea).

Muchos tipos de equinoides irregulares presentes viven más o menos enterrados en la arena o en sustratos fangosos. Algunas especies de espatangoides pueden vivir de 12 a 15 cm por debajo de la superficie en sedimentos arenosos. Así las especies pueden tener los canales alimenticios relacionados con la boca, pobremente desarrollados en la porción anterior de la testa (Figura 19).

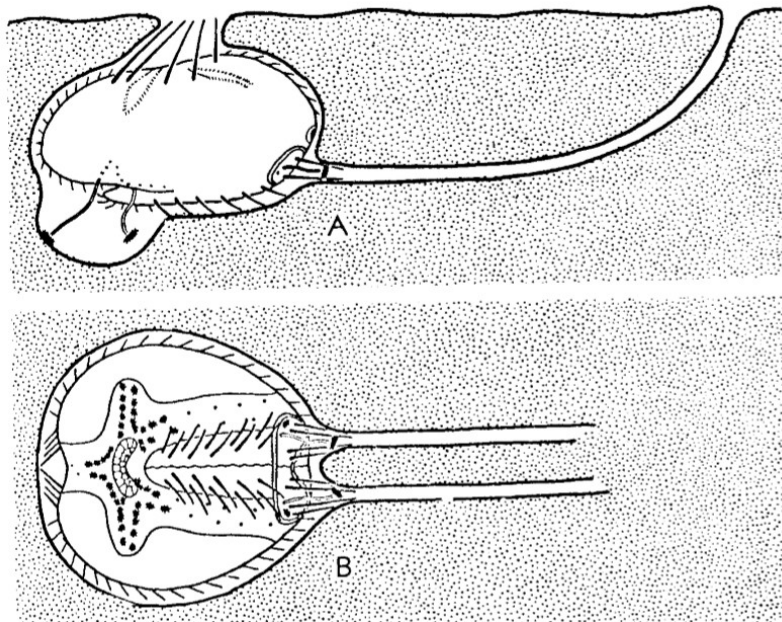


Figura 19. Diagrama que representa a un espatangoide en madriguera, A) Vista lateral y B) Vista adoral. El canal respiratorio está protegido por espinas, la excavación del tubo oral para la alimentación es realizada por dos pedicelarios. Presentan doble canal sanitario construido por espinas especializadas y un pedicelario. Los canales respiratorio y sanitario pierden comunicación directa con la superficie a medida que los equinoideos cavan más profundo (Durham, 1966).

En *Echinocardium*, *Spatangus* y *Brissopsis* las corrientes de agua recorren alternativamente del sistema apical a lo largo de los ambulacros y sobre el ámbito de la testa. Seguramente algunas corrientes similares están presentes en la mayoría de los equinoides irregulares, variando el patrón de acuerdo a sus hábitos (Figura 20).

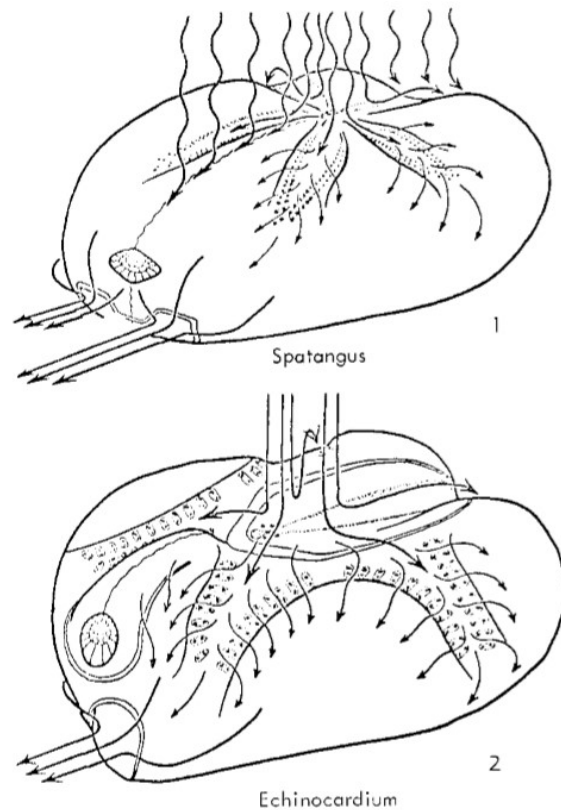


Figura 20. Principales corrientes de agua desde y hacia la testa en espatangoides 1) *Spatangus purpureus* y 2) *Echinocardium cordatum* (Tomado de Durham, 1966).

Entre representantes del orden Spatangoida cavadores, la presencia de canales respiratorios y tubos sanitarios están aparentemente correlacionados con la clase del sustrato y la profundidad del entierro.

La especie *Spatangus purpureos* comúnmente habita túneles de 2 cm de profundidad, no tiene un canal respiratorio, pero si un canal de desagüe. *Spatangus raschi*, que cava a lo largo de una superficie del sustrato arenoso y fangoso, tiene la superficie apical expuesta y también un canal sanitario. Nichols (1959) considera que *S. purpureos* habita en sedimentos arenosos, en los que el agua corre a través de los intersticios para la respiración. En las especies estudiadas los túneles respiratorios y canales sanitarios están construidos por la acción combinada de los pies ambulacrales.

Las espinas son muy cortas, muy numerosas y organizadas en capas muy densas, en algunos casos cubriendo prácticamente toda la testa. Los erizos espatangoides que se

entierran en sedimentos muy finos, presentan espinas cubiertas con mucus como barreras de aislamiento, estas especies presentan las espinas productoras de mucus concentradas en bandas conocidas como fasciolas, las cuales se observan como líneas de tubérculos diminutos cuando la testa esta desnuda, y su ubicación y forma son importantes para la identificación taxonómica en este grupo (Pérez, 2015).

El desarrollo de las fasciolas en los espatangoides está correlacionado con sus hábitos cavadores y la clase de sustrato en la que habitan. Nichols (1959) ha descrito las funciones de las fasciolas de los diferentes tipos de pies ambulacrales y tipos de espinas del orden (Figura 21).

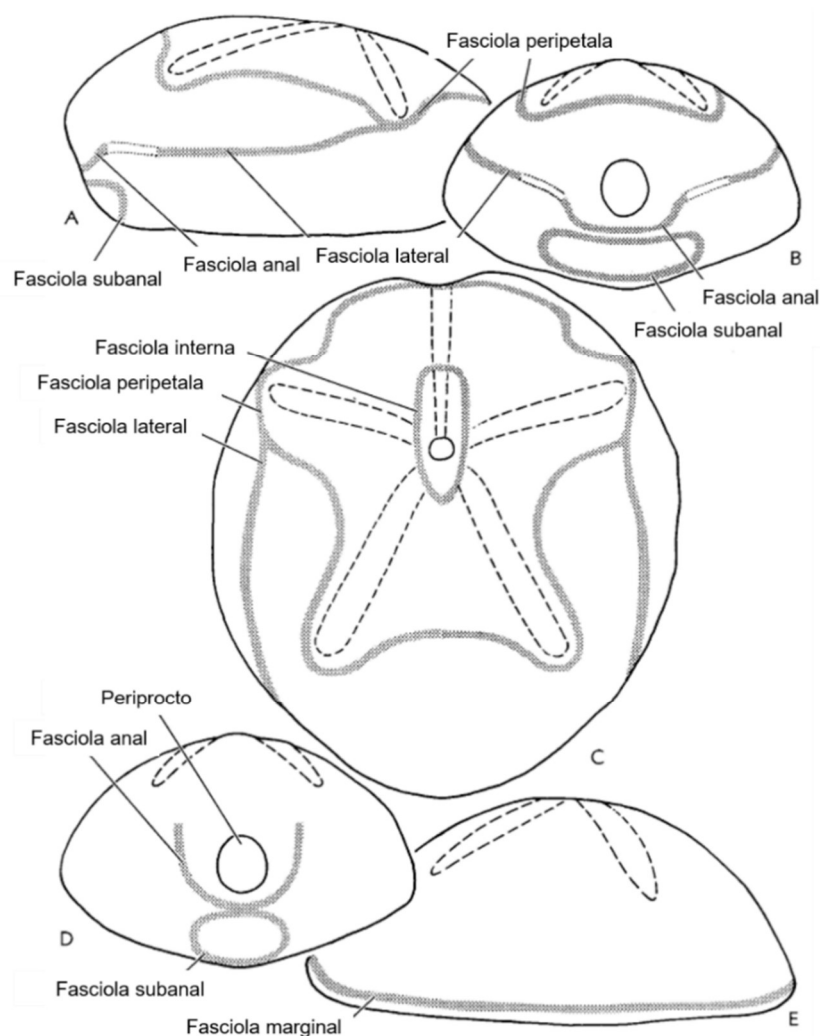


Figura 21. Diagrama de las fasciolas en la testa de un espatangoide. A) Vista lateral, B) Vista posterior, C) Vista aboral y D) Vista posterior y E) Vista lateral que muestra la fasciola marginal (Tomado de Melville y Durham, 1966).

La función y arreglo de las diferentes clases de espinas ha sido estudiada por Nichols (1959) en *Echinocardium* y *Spatangus*:

- ❖ Las espinas aplanadas del plastrón sirven para la locomoción, las espinas medianas laterales adyacentes a la parte superior y fuera del ambulacro posterior operan para mover la arena. Las espinas laterales cortas ayudan para mantener las paredes del túnel pasando la arena posteriormente. Las espinas cortas del margen anterior de la concha raspan material del frente de la pared del túnel.
- ❖ Las espinas cortas alrededor de la boca sirven para la alimentación.
- ❖ Las espinas adyacentes a los lados de los pétalos forman un arco protector.
- ❖ Las espinas largas dorsales ayudan en la fasciola subanal; construyen el tubo sanitario.

La morfología de los pies ambulacrales está relacionada con la clase de sustrato, donde comúnmente vive el equinoide. Los pies ambulacrales de las áreas petaloides se utilizan para la respiración, y los de las otras áreas sirven para funciones sensoriales. Los poros de los pies también varían de acuerdo a la función del mismo. Estudios comparativos de los poros de formas fósiles pueden inferirse relacionando las clases, funciones y número de los pies (Durham, 1966).

Nichols (1959) también realiza una relación entre la posición de cada uno de los pies de acuerdo a su función:

- ❖ Los pies largos pedicelarios de la región dorsal del ambulacro anterior, que se extienden por fuera del canal respiratorio de *Echinocardium cordatum*, son usados en la construcción y mantenimiento del túnel respiratorio.
- ❖ El pie pedicelario de los filoides (área de poros grandes en la porción adoral de los ambulacros) alrededor de la boca sirven para atrapar la comida.
- ❖ Los pies pedicelarios dentro de la fasciola subanal ayudan a construir y mantener el tubo sanitario que acarrea productos de desecho hacia el exterior.
- ❖ Los pies de las áreas petaloides (ambulacros) sirven para la respiración.

- ❖ Mientras que los pies no especializados de otras áreas sirven para para funciones sensoriales.

Algunos espatangoides aparentemente no pueden moverse en una dirección. El movimiento está primeramente acondicionado por el uso de las espinas.

Las especies del orden Spatangoida ingieren a través de pies especializados grandes cantidades del sustrato y digerir el material orgánico.

XI.II. CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

El conocimiento sobre la distribución geográfica de los equinoides del Paleógeno – Neógeno de la Cuenca Tampico- Misantla ha permitido establecer relaciones con otras regiones. Particularmente, los equinoides del Paleógeno-Neógeno del este de México presentan relaciones estrechas con faunas del sureste de México (Chiapas), de Estados Unidos de Norteamérica (Florida, Georgia, Alabama y Mississippi), del Golfo de California, del Caribe (Cuba, Jamaica y Anguila), de Centroamérica (Costa Rica), del norte de Sudamérica (Venezuela y Brasil) y de Europa (España, Italia y Francia).

Dentro de la fauna se ha encontrado en las capas sedimentarias del Eoceno existe una gran variedad de equinoides tanto en la Planicie Costera del Atlántico como del Golfo de México.

Schizaster gerthi Pipers, del Eoceno de Veracruz, se encuentre en el Eoceno del Pinar del Río, provincia de Cuba (Sánchez Roig, 1949).

Schizaster nuevatensis Weisbord, se reporta del Eoceno de Veracruz, se cita también en el Eoceno de Camagüey, provincia de Cuba (Sánchez Roig, 1949).

Durante el Oligoceno, se localiza una amplia provincia marina que abarca desde Florida hasta las costas de Venezuela, incluyendo consecuentemente el noroeste y suroeste de México.

En México los equinoides del Oligoceno de la región de Tampico y Tuxpan fueron estudiados por Dickerson y Kew (1917 a, b) y su distribución es analizada en esta ocasión, lo que permite establecer relaciones con la fauna del Caribe, ya que se reportan las mismas especies en ambas localidades.

Schizaster cristatus Jackson, se encuentra en el Oligoceno de Tamaulipas (Jackson, 1937) y en el Mioceno de Costa Rica, Venezuela y Brasil (Jackson, 1918).

Schizaster egozcuei Lambert, se registra por primera vez, para el Oligoceno de Veracruz también existe en el Oligoceno-Mioceno de Santa clara, provincia de Cuba (Sánchez Roig, 1949).

Schizaster rojasi Sánchez Roig, se nombra por primera vez, para el Oligoceno de Veracruz y existe en el Oligoceno-Mioceno de Camagüey, provincia de Cuba (Sánchez Roig, 1949).

Schizaster sanctamariae Sánchez Roig, se refiere por primera vez, para el Oligoceno de Veracruz también existe en Santa María del Rosario, provincia de Cuba (Sánchez Roig, 1949).

Al hacer un análisis sobre la distribución de los equinoides (Figura 22), se puede concluir que en el Paleógeno-Neógeno, existió una amplia provincia faunística marina, la cual abarca el este de Norteamérica, el Caribe y Noroeste de Sudamérica, que es diferente de la provincia faunística marina de la Costa occidental de Norteamérica que incluye el sureste de Estados Unidos y la Península de Baja California. Esto se debe indiscutiblemente a que existió una barrera terrestre que impido el intercambio faunístico entre estas provincias durante la mayor parte del Paleógeno – Neógeno (Figura 23).

Especies	América del Norte		Caribe			América Central	América del Sur	
	México		Cuba			Costa Rica	Venezuela	Brasil
	Eoceno	Oligoceno	Eoceno	Oligoceno	Mioceno	Mioceno	Mioceno	Mioceno
<i>Schizaster cristatus</i> Jackson		X		X	X	X	X	X
<i>Schizaster egozcuei</i> Lambert y Thiery		X		X	X			
<i>Schizaster rojasi</i> Sánchez Roig		X		X	X			
<i>Schizaster gerthi</i> Pipers	X		X					
<i>Schizaster nuevitasensis</i> Weisbord	X		X					
<i>Schizaster sanctamariae</i> Sánchez Roig		X		X				

Figura 22. Distribución geográfica de equinoides del Paleógeno-Neógeno de la Cuenca Tampico-Misantla.

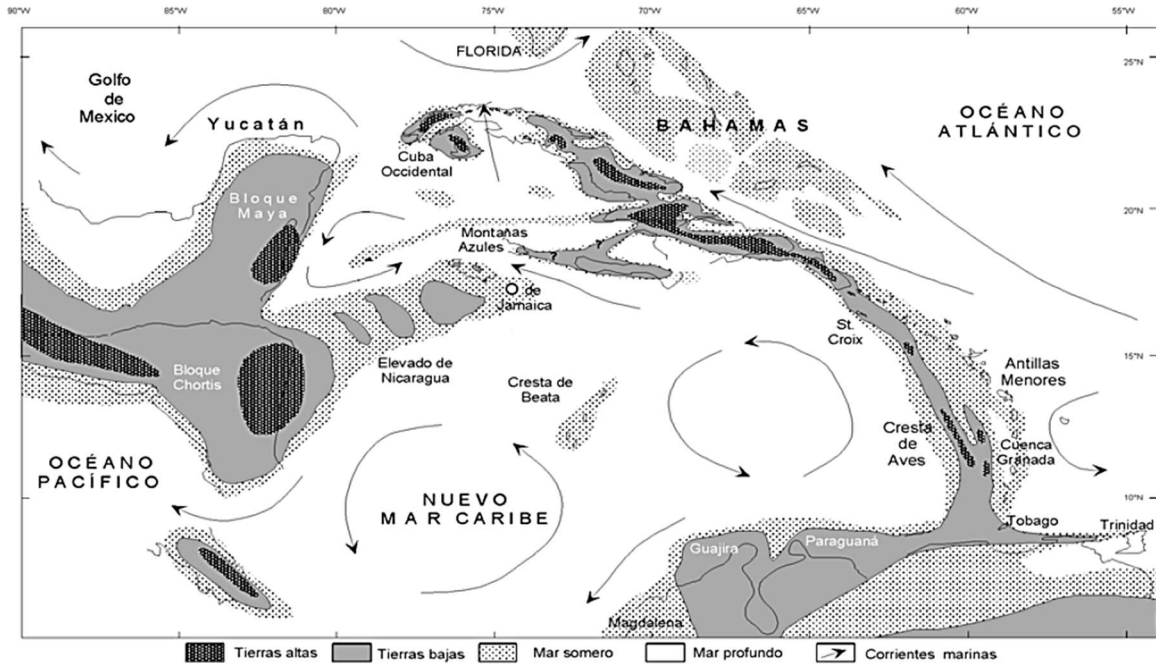


Figura 23. Mapa paleogeográfico del Caribe en el tránsito Eoceno-Oligoceno. Tomado de Iturralde-Vinent, 2005.

XII. CONCLUSIONES

Se describen cuatro especies de equinoides espatangoides (*Schizaster cristatus* Jackson, 1917, *Schizaster egozcuei* Lambert y Thiery, 1925, *Schizaster (Aplospatangus) rojasi* Sánchez Roig, 1952, *Schizaster sanctamariae* Sánchez Roig, 1949) procedentes de rocas de la Formación Mesón (Oligoceno-Mioceno) cuyos afloramientos se ubican en San Marcos-Mesón, Estado de Veracruz y dos especies (*Schizaster gerthi* Pipers, 1933, *Schizaster nuevitasensis* Weisbord, 1934) pertenecientes a la Formación Tantoyuca (Eoceno) localizada en la proximidad de Chapopo, estado de Veracruz.

La asociación biótica está constituida por abundantes y variados fósiles, entre ellos foraminíferos, corales y diversos equinodermos de los géneros *Schizaster*, *Cidaris*, *Clypeaster*, *Paraster*, *Brissopatagus*, *Agassizia*, *Spatangus*, *Lovenia*, *Echinolampas* y *Antillaster*.

Las características de la asociación biótica permitieron inferir que el ambiente de depósito pudo ser de plataforma interna somera o litoral con gran flujo de terrígenos durante el Paleógeno-Neógeno.

La distribución de la biota de la región denota que existió una amplia provincia del Paleógeno-Neógeno que comprende varias localidades de los estados de Tamaulipas y Veracruz que presenta relaciones estrechas con faunas del sureste de México (Chiapas) de América Central (Costa Rica) el Caribe (Cuba) y América del Sur (Venezuela, Brasil).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSIZ, L., 1836. Prodrôme d'une monographie des Radières ou Echinodermes (1834) Neuchâtel Soc. Sci. Nat. Mém. 1, p. 168-199.

AGUILERA, J. G., 1896. Bosquejo geológico. Sinopsis de Geología Mexicana. Boletín del Instituto de Geología. México, Núm. 4-6 (parte 2°): 189-270.

ARNOLD, B. W. Y CLARK, H.L., 1927. Jamaica fossils Echini, with description of new Species of Cainozoic Echinoidea by H. L. Hawkins. Memoirs of the Museum of Comparative Zoology (Harvard), v. 50 no. 1, p. 1-84, fig. 1-3, lám. 1-22.

ARNOLD, B.W., 1934. Fossils in Jamaica. Memorias del Museo Comp. Zoología, v. 54, p. 141, lám. 1, figs. 1-2.

BARKER, R. W., 1936. Micropaleontology in Mexico with special reference to Tampico Embayment. Bull. American Petroleum Geology. Vol. 20 no.9, p. 433-451, 1 tabla.

BARKER, R. W. Y BLOW, W.H., 1976. Biostratigraphic of some Tertiary formations in the Tampico-Misantla Embayment, México. Journal of Foraminifera Research, vol. 6 no. 1 p.39-58.

BARRACLOUGHT, H.F., 1966. Echinoidea. *In* R. C. Moore, Editor, Treatise on Invertebrate Paleontology, part U (Echinodermata 3) Geology Society of America Inc. 2: U 335-440, figs. 414-426, New York.

BORRERO, G., BENAVIDES, M. Y DIAZ, C., 2012. Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea. Serie de Publicaciones Especiales de Invenmar No. 30. Santa Marta, 250 p.

BRONN, H. G., 1984. Index Paleontologicus. Stuttgart, v. 2. 2361 p.

BUITRÓN, B.E., 1968. Catálogo de equinoides fósiles de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Paleontología mexicana, no.26: p. 6-50.

BUITRÓN, B. E., 1973. Equinoides del Terciario de Tamaulipas y Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología (Informe Inédito).

BUITRÓN, B.E., 1974. Algunos equinoides (Echinoidea) del Oligoceno de Chiapas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Paleontología mexicana, no.39: p. 31-43, lám. 1-4, figura 1.

BUITRÓN, B.E., 1980. Taxonomía, Estratigrafía y Paleobiogeografía de los Equinoides (Echinodermata - Echinoidea) Terciarios del este de México. Actas II Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y I Congreso Latinoamericano de Paleontología. Buenos Aires, t.2, p. 305-314.

BUITRÓN, B.E. Y SILVA, B., 1979. Dos especies de equinoides (Echinodermata - Echinoidea) del Eoceno Tardío de Tantoyuca, Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, Revista v. 3, no. 2, p. 122-125.

BUITRÓN, B.E. Y SOLÍS- MARÍN, F. A., 1993. La biodiversidad en los Equinodermos y recientes de México. Rev. Soc. Mexicana de Historia Natural, Vol. Esp. (XLIV) p. 209-231.

BUITRÓN, B.E., SILVA-SÁNCHEZ, B., 1979. Dos especies de equinoides (Echinodermata-Echinoidea) del Eoceno Tardío de Tantoyuca, Veracruz: Revista del Instituto de Geología, 3(2), p. 122-125.

CABRERA-CASTRO, R., LUGO-RIVERA, J.E., 1984, Estratigrafía-Sedimentología de la Cuencas Terciarias: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 36(2), 3-55.

CANTÚ-CHAPA, A., 1971, La serie Huasteca (Jurásico Medio- Jurásico Superior) del centro-este de México. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. Vol. 3, No.2 p. 17-39.

CAR, C. Y BRUSCA, G. C., 1990. Invertebrates. Phylum Echinodermata. Chapter. Sanaver Assoc. Inc. Pub. Massachussets. 922 pp.

CARREÑO, A. L., 1980. Los ostrácodos de edad oligo-miocénica de la subprovincia Tampico-Misantla, área centro-oriental de México. Parte I. Oligoceno: Formación Mesón. Revista del Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México, vol. 4, no. 1, p. 37-45.

CARREÑO, A. L., 1986. Los ostrácodos de edad oligo-miocénica de la subprovincia Tampico-Misantla, área centro-oriental de México. Parte II. Mioceno: Formaciones Mesón y Tuxpan. Revista del Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México, vol. 6, no. 2 p. 178-192.

CASO, M.E., 1950. Los equinoides fósiles del Cenozoico de México. Boletín de la Asociación mexicana de geólogos petroleros, V. 3, ns, 1-6, p. 57-96.

COLE, W. S., 1828. A Foraminiferal fauna from the Chapopote Formation in Mexico. Bull. Amer. Paleontology., v. 14, no. 53, p. 3-33, lám. 1-4.

COLE, W. S., 1927. A Foraminiferal fauna from the Guayabal Formation in Mexico. Bull. American. Paleontology, v. 14 no. 51, p. 1-46, 5 láms.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2019. Enciclovida: Búsqueda por región. Consultado en <http://enciclovida.mx/explora-por-region>

Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), 2017. Atlas Geológico de la Cuenca Tampico-Misantla, p. 5-18.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tampico-Misantla (3017), Estado de Veracruz, p. 17.

COTTEAU Y BUBERTRET., 1938. Des Echinoides Miocene de la région Antioche el Alpes, p. 57.

COTTEAU Y LOCARD., 1877. Description de Echinoides Tertiares. Tertiares de la Corse, p. 247-254.

COTTEAU, G. H., 1875. Description de Echinides Tertiares des iles St. Barthelemy et Anguilla. Kongliga Svenska Vetenskaps-Aademiens Handlinger, v.13 no.6, p. 1-14, láms. 1-8.

COTTEAU, G. H., 1877. Description de la faune des Terrains Tertiares Moyens de la Corse. Bull. Soc. D'agr. Hist. Nat. Et Art. Univ. De Lyon, p. 352-375.

COTTEAU, G. H., 1881. Description des Echinides fossiles de l'île de Cuba. Annales de la Societe Geologique de Belgique, Memoire 4, p. 1-49, láms. 1-4.

COTTEAU, G. H., 1885-1889. Echinides Eocenes Terrain Tertiaire, t. 1, 672 p. láms. 1-200.

COTTEAU, G. H., 1890. Echinides Eocenes. Paléontologie. Française, sert. 1. Terr. Tertiares v. 2, p. 1-788, láms. 201-384.

COTTEAU, G. H., 1895. Description des Echinides r cueillis par Lovisato dans le Miocene de la Serdeña. Mem. Soc. Geol. de Francia, Paris, v. 2, p. 1-189.

COTTEAU, G. H., 1897. Descripción de los Equinoideos fósiles de la Isla de Cuba por M. G. Cotteau, adicionada por D. Justo Egozcue y C a. Boletín de la Comisión del Mapa (Geológico de Espa a), 22, p. 1-99, l ms. 1-29.

COTTEAU, G. H., 1913. Les Echinides Neogenes du Basin Meditterr neen. Annales del Institut. Oceanographique, p. 1-119.

COTTEAU, G. H., 1913. Gauthier, Ver. 1885. Echinides fossiles de L'Algerie, 10, fasc. Etage Miocene y Pliocene, 3. Paris, p.161-170.

COTTEAU, J., 1913. Les Echinides Neogenes du Basin Meditterr neen. Ann. Institut. Oceanogr. Paris, p.214-238.

CUSHMANN, J. A., 1925. New Foraminifera from Upper Eocene of Mexico Contr. Cushman lab. Foraminifere, Res., v.1 no.1, p. 4-8, 1 l m.

DICKERSON, R. E. Y KEW, W. S., 1917 The Fauna of a Medial Tertiary Formation and the Associates Horizons of Northeastern Mexico, California Acad. Sci. Proc. Ser. 4, vol. 7 no. 5, p. 125-156, l ms. 17-26.

DUMBLE, E. T., 1918. Geology of the Northern end of the Tampico Embayment Area. Proc. California Acad. Sci. 47 th. Ser. 8, p. 113-15, 4 láms.

DURHAM, J. W., 1955. Classification of Echinoids Univ. Calif. Publs. Geol. Sci. Vol. 31, p. 73-198.

DURHAM, J. W., 1966. Treatise on Invertebrate Paleontology. Moore, R. C. Edit. Echinodermata 3, Part. U., p. 211-640.

EGOZCUE, D. J., 1897. Descripción de los Equinoideos fósiles de la Isla de Cuba. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, Madrid, Vol. 22, p. 1-99.

FISCHER, D. L., 1966. Spatangoids, Treatise on Invertebrate Paleontology, Part. U. Echinodermata 3, p. 543-628.

GAMPER, M.A., 1977, Bioestratigrafía del Paleoceno y Eoceno de la cuenca Tampico-Misantla basada en los Foraminíferos planctónicos: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1(2), 117-128.

GUZMÁN, I., 2012. Evaluación petrolera y método de explotación de la región Tampico-Misantla. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

ICKES, E. L., 1913. Informe inédito: Sobre la región Tampico-Misantla, México, D.F. Compañía Mexicana del Petróleo “El Águila”, p. 1-57.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2019. Mapas, consultado en <https://www.inegi.org.mx/>

ISRAELSKY, M. C., 1924. Notes on some Echinoids from the San Rafael and Tuxpan beds of the Tampico region, México. Proc. California Acad. Sci. Ser. 4, Vol. 13, no.8, p. 137-145, 3 láms.

ISRAELSKY, M. C., 1933. A new species of Echinoid from Tamaulipas, México. Trans. San Diego Soc. Nat. History, p. 272-283, lám. 18.

ITURRALDE-VINENT, M., 2005. La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la biogeografía histórica. Revista del Jardín Botánico Nacional 25-26, p. 49-78.

JACKSON, R. T., 1917. Fossils Echini of Panamá Canal Zone and Costa Rica. U.S. Proc. National Museum, Vol. 53, p. 1-119.

JACKSON, R. T., 1918. Fossils Echini of Panamá Canal Zone and Costa Rica. U.S. Proc. National Museum Bull. P. 103, lám. 46-52.

JACKSON, R. T., 1922. Fossils Echini of West Indies. Carnegie Inst. Washington, Publ. 306, p. 103, 18 láms.

JACKSON, R. T., 1937. Mexican Fossils Echini. U.S. Proc. National Museum, Vol. 84, no. 3015, p. 227-237, lám. 12-15.

KIER, P. M., 1966. Treatise on Invertebrate Paleontology Moore, R. C. Edit., The Geological Society of America, Inc. and The University of Kansas Press Echinodermata 3, part. U., p. 498-506.

KIER, P. M., 1984. The Echinoids of the Middle Eocene Warley Hill Formation, Santeel, Limestone and Castle Hayne Limestone of North and South Carolina, Smithsonian contributions to Paleobiology, Vol. 39, no. 102, p. 26, figs. 12, tablas 2.

LAMBERT, J. M. Y THIERY, P., 1909-1925. Essai de nomenclature raisonnée des Echinides. 607 p., 15 láms. Chaumont, Librairie L. Ferrière.

LAMBERT, J., 1910-1915. Description des Echinides des Terrains Néogènes du Bassin du Rhône. Mém. Soc. Paléont. Suisse, vol. 37, no. 1912, vol. 39, no. 1913, vol. 41, no. 1915, Génova.

LAMBERT, J., 1925. Révision des Echinides fossiles de la Catalogne. Mém. Museo Ciencias Naturales de Barcelona, p. 1-59.

LAMBERT, J., 1927. Considérations Sur les Echinides de la Comanche serie du Texas. Bull. Soc. Geol. France, vol. 26, p. 263-268.

LAMBERT, J., 1928. Révision des Echinides. Catalogue 2, p. 13-14.

LAMBERT, J., 1929-1930. Notes Sur quelque Echinides recueillis par M. Walther Staub dans le Néogène de l'est du Mexique. Eclogue Géologie, Helvétie, vol. 21, no. 1, p. 272-283, 6 figs., 1 lám.

LIMÓN- GUTIÉRREZ, 1950. Las Capas “Sorites” del Oligoceno Superior de México y sus Foraminíferos. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 2, no.10, p. 617-630, 1 lap., 16 figs.

LÓPEZ RAMOS, E., 1956. Visita de las localidades tipo de las formaciones del eoceno, Oligoceno y Mioceno de la Cuenca sedimentaria de Tampico-Misantla en la Llanura Costera del Golfo de México, entre Poza Rica, Veracruz, Tampico, Tamaulipas y Ciudad Valles, San Luis Potosí. Congreso Geológico Internacional Exc. C-16, México, D.F. 91 P.

LÓPEZ RAMOS, E., 1980. Geología de la República Mexicana t. 2, 1ª. Edición, p. 282-297.

LÓPEZ RAMOS, E., 1985. Geología de México t. 2, 3ª. Edición, p. 308-330.

MELÉNDEZ, B., 1986. Importancia de los Equinodermos Fósiles en Bioestratigrafía. Memorias I Jornadas de paleontología, Madrid, p. 7-18.

MICHELIN, M. H., 1855. Sur les oursins vivants et fossiles Antilles et du Golfe du Mexique. Bull. Soc. Geol. de France, series 2, vol. 12, p. 756-759.

MORTENSEN, T. H., 1928-1951. A monography of the Echinoidea, Copenague, vol. 1-5, p. 20-22.

MUIR, S. M., 1936. Geology of the Tampico region Tulsa, Oklah. 280 p., 15 láms., 40 figs.

NÁJERA, C. H., 1952. Estudio de las formaciones del Eoceno en la Región de Poza Rica: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 4(3-4), p. 71-115.

NICHOLS, D., 1959. Changes in the Chalk heart-urchin *Micraster* interpreter in relation to living forms. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B., No. 693, p. 342, 347-437, 46 figs., láms. 9.

PALMER, R. H., 1948. List of Palmer Cuba Fossil Localities, paleontological Research Institution, Bulletin of American Paleontology, vol. 31, no. 128, New York, p. 166, lám. 30, fig. 4.

Petróleos Mexicanos (PEMEX) Exploración y Producción, 2013. Provincia Petrolera Tampico-Misantla. Versión 2.0.

Petróleos Mexicanos (PEMEX), 2000. Un siglo de la perforación en México.

PILSBRY, H. A., 1914. Description of a new Echinoderm. Acad. Nat. Sci. Philadelphia Proc., vol. 66, p. 206-207.

SALMERON UREÑA, P., 1970. Estudio bioestratigráfico preliminar de parte de la Región Meridional de la Cuenca sedimentaria de Veracruz, México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. 22, nos.1- 4, 60 p.

SÁNCHEZ ROIG, M., 1926. Contribución a la Paleontología Cubana: Los Equinodermos Fósiles de Cuba. Boletín de minas, vol. 10, p. 1-179, láms. 1-43.

SÁNCHEZ ROIG, M., 1949. Los Equinodermos Fósiles de Cuba, Paleontología Cubana, vol. 1, p. 1-330, láms. 1-50.

SÁNCHEZ ROIG, M., 1949. Nuevos géneros y especies de Equinodermos fósiles cubanos. Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural “Felipe Poey”, vol. 21, no. 1, p. 1-30, láms. 1-15.

SANSORES, E. Y GIRARD, N. R., 1969. Bosquejo Geológico de la Zona Norte: México, D.F., Instituto Mexicano del Petróleo, Seminario sobre exploración petrolera, Mesa redonda 2, p. 1-36.

SANTILLAN PIÑA, N. 2009. Paleoambientes sedimentarios en Facies turbidíticas en la Cuenca Terciaria de Chicontepec, Centro-Oriente de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Tesis de Maestría en Ciencias Geología, 103 p.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2010. Léxico estratigráfico de México: Chapopote, Formación (Paleógeno, Eoceno Medio-Tardío).

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2010. Léxico estratigráfico de México: Tantoyuca, Formación (Paleógeno, Eoceno Tardío).

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2010. Léxico estratigráfico de México: Mesón, Formación (Oligoceno Medio – Mioceno Temprano).

SPRINKLE, J., 1980. An overview of the fossil record. Echinoderms. Notes for a short course. Coedit. Broadhead, T. W. Y Waters J. A. Univ. Tennessee Dept. Geol. Sc. Studies *In* Geology 3, 235 p.

VALDÉZ, M. R., 1996. Equinoides exocíclicos (Echinodermata-Echinoidea) del Terciario de la Cuenca Tampico-Misantla, Tamaulipas-Veracruz, y sus implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias 156 p., 29 láms (Tesis doctoral).

VAUGHAN, T. W., 1924. Criteria and status correlation and classification on Tertiary deposit. Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 35, p. 677-742.

WEISBORD, N., 1934. Some Cretaceous and Tertiary Echinoids from Cuba. Bull. Of Am. Paleontology, vol. 20, no. 70 C, p. 165-270, láms. 1-9.

WRIGHT, R., 1936, Micropaleontology in Mexico with special reference to the Tampico Embayment: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist, 20(4), 433-456.

ZITTEL, F., 1924. Test book of Paleontology, Translated by Eastman, vol. 3, p. 13, lám. 2.