

## Primer registro de *Siphonia cf. tulipa* (Desmospongia) de la Formación El Abra /El Doctor, Hidalgo, México, con anotaciones paleoambientales

### First record of *Siphonia cf. tulipa* (Desmospongia) from El Abra /El Doctor Fm., Hidalgo, Mexico, with paleoenvironmental annotations

C. Esquivel-Macías <sup>a</sup>, R. G. León-Olvera <sup>b</sup>, M. Cruz-Sánchez <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

<sup>b</sup>Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México; 04510, Cd. de México, México.

#### Resumen

Se registra una esponja marina fósil del género *Siphonia* durante el intervalo albio-cenomaniano fechado con orbitolínidos y miliólidos de la Formación El Abra-El Doctor; edad consistente con reportes de Santoniano a Cenomaniano europeos. Es conferible a *S. cf. tulipa* debido a la variabilidad que exhiben las esponjas; no obstante, muestra claramente cuerpo semiesférico, pedúnculo angosto y borde del vestíbulo; además evidencia rápido sepultamiento con desgarramiento y colapso del costado. Este es el primer reporte de esta familia y género en México, el primer ejemplar del Albiano-Cenomaniano del banco Ixmiquilpan/Formación El Abra-El Doctor y el primer reporte de *Siphonia* del Tethys occidental/paleo provincia Caribeña. Los rasgos sedimentarios indican que habitó el estrato epibentónico inferior con hábito filtrador de arrecife orgánico en facies 5 de Wilson; se fosilizó en facies 4 en arenas de plataforma nerítica, en condición para-autóctona con restos de rudistas y gasterópodos. Dicha interpretación contribuye al conocimiento de este arrecife cretácico mexicano tan mencionado en diversos trabajos que privilegian el enfoque litoestratigráfico y de geología regional.

#### Palabras Clave:

*Siphonia*, México, Hidalgo, El Abra, El Doctor, Metztitlán

#### Abstract

A fossil marine sponge of the *Siphonia* genus is recorded from the Albian–Cenomanian interval, which is dated with orbitolinids and miliolids from the El Abra-El Doctor Formation; such age is consistent with European Santonian to Cenomanian interval reports. It is referable to *S. cf. tulipa* due to intense variability exhibited by sponges; however clearly shows hemispherical body, narrow peduncle, and edge of vestibule; It also shows rapid burial with tearing and collapse of the flank. This is the first report of this family and genus in Mexico, the first specimen of the Albian-Cenomanian from the Ixmiquilpan Bank/El Abra-El Doctor Formation, and the first report of *Siphonia* from the western Tethys/paleo Caribbean province. Sedimentary features indicate that it inhabited the lower epibenthic tier with a filtering habit of an organic reef in facies 5 of Wilson; it was fossilized in facies 4 in neritic shelf sands, in a para-autoctonus condition with remains of rudists and gastropods. This interpretation contributes to the knowledge of this Mexican Cretaceous reef so mentioned in various works that privilege the lithostratigraphic and regional geology approach.

#### Keywords:

*Siphonia*, Mexico, Hidalgo, El Abra, El Doctor, Metztitlan.

#### 1. Introducción

Se presenta un nuevo registro de esponja fósil para México en el contexto geológico y de biodiversidad de la reserva de Metztitlán (Estado de Hidalgo, México), lo cual cobra importancia en varios aspectos. El primero de ellos, como un registro que enriquece la paleodiversidad marina que ya recogen Esquivel-Macías (2009); Esquivel *et al.* (2008; 2021) para dicha reserva y para el estado de Hidalgo; lo que significa que los elementos para apoyar la megadiversidad biológica de México, siguen creciendo. Por otra parte, desde el segundo punto de vista, el de la historia

geológica del territorio mexicano y en particular de sus mares, implica que este tipo de hallazgos dan elementos paleogeográficos en el contexto de la apertura del Océano Atlántico, para explicar la biodiversidad actual de sus aguas, no sólo para engrandecer los listados faunísticos, de por sí nutridos.

Esta diversidad biológica se explica por la ya antigua presencia en México de los dos principales océanos del mundo, ya que desde el Cretácico al que pertenece la Formación El Abra/El Doctor –de la que se ocupa el presente artículo– estaban en curso de conformación, tanto el Golfo de México (originado en el Jurásico)

\*Autor para la correspondencia: [esquivel@uaeh.edu.mx](mailto:esquivel@uaeh.edu.mx)

Correo electrónico: [esquivel@uaeh.edu.mx](mailto:esquivel@uaeh.edu.mx) (Carlos Esquivel-Macías), [galeon10@hotmail.com](mailto:galeon10@hotmail.com) (Rita Gabriela León-Olvera), [mcruz@uaeh.edu.mx](mailto:mcruz@uaeh.edu.mx) (Misael Cruz-Sánchez).

como el Océano Atlántico central y el Mar Caribe, mientras que por el occidente se da por supuesto la existencia del Océano Pacífico (Anderson y Schmidt, 1983; Pica-Granados *et al.*, 1991; Ferrusquía-Villafranca, 1998) para estas edades.

Las aguas de dichos océanos se combinaban en el Cretácico como un mar epicontinental en el extremo del reino Tethisiano (*sensu* Westermann, 2000), que tenía continuidad desde lo que hoy es el sur de México hasta los límites con el actual Canadá (Larson *et al.*, 1997; Wright, 1987). Tal corredor marítimo epicontinental exhibe un extenso gradiente latitudinal de norte a sur, en el que la mayor biodiversidad siempre estuvo en la porción sur -hoy mexicana- dadas las conocidas consideraciones ecogeográficas de gradiente latitudinal trópico-ártico (Dodd y Stanton, 1990).

Los arrecifes de rudistas, tan endémicos del mar Tethis occidental (Alencáster, 1984; 1990) alcanzaban su máxima expresión de diversidad en la paleo-provincia caribeña (*sensu* Westermann, 2000) de la que México es parte central durante el Cretácico y dominaban las comunidades bióticas, dejando poco espacio para esponjas o corales; esto se refleja naturalmente en la escasez de sus registros a pesar de los nutridos antecedentes de investigación en estas unidades sedimentarias marinas (Wilson *et al.*, 1955; Segeström, 1961; Carrasco, 1970; 1971; Carrillo Bravo, 1971; Aguayo Camargo, 1977; Wilson, 1990; Esquivel *et al.*, 2008, entre otros), por lo que resulta de evidente interés reportar a *Siphonia*.

## 2. Antecedentes y justificación

Hay pocos reportes de esponjas mexicanas y todos tienen en común su pertenencia a asociaciones hermatípicas donde suelen estar representadas desde el Cámbrico (Hou Xian *et al.*, 2007; Gould, 1989) con un papel relevante en tales ecosistemas en cuanto a dominancia y diversidad, por ello llama la atención el escaso registro en las asociaciones fósiles del Cretácico, lo que es explicable porque otros miembros del gremio de los filtradores epibentónicos desarrollaron mecanismos de filtración más eficientes, combinados con simbiosis algal (Pons *et al.*, 1994) para beneficiarse de los productos de la fotosíntesis.

Una reseña de los registros mexicanos comienza con King (1943) quien informa de ejemplares permotriásicos; pero los más notables son los mencionados por Cooper (1965) en la Formación "El Antimonio" Sonora, también del Permo-Triásico con ejemplares completos; En cuanto a López-Alemán (1988) menciona ejemplares completos (no espículas) de *Ascosyplegma* y *Polytholosa* Seilacher (1962) para el Pérmico-Triásico en la sierra del Álamo de Sonora. También hay reportes del Cretácico inferior (Albiano) del estado de Michoacán (Buitrón-Sánchez y Pantoja-Alor, 1994; Flügel y Senowbari, 2001); en los cuales, junto con los de Triásico mencionados antes son delatadas por su actividad perforante sobre moluscos. Después ya están aquellos registros provenientes de San Luis Potosí (Campaniano-Maastrichtiano) de Sánchez-Beristáin (2003) con espículas y con individuos completos del Orden Lithistida Schmidt 1870, así como evidencia de las Familias Esperiospsidae Henshel, 1923 y Halichondridae Vosmer, 1887; y del Orden Tetracinellida Sollás 1906 en la Formación Ocozocauhtla, Chiapas y en Pocitos, San Luis Potosí.

En consecuencia con ese breve panorama, el presente es el primer reporte de *Siphonia* que documenta uno de los escasos hallazgos de esponjas mesozoicas mexicanas después de aquel muy interesante de *Cliona celata* Grant 1826 descrito en Buitrón-Sánchez y Pantoja-Alor (1994). Se subraya aún más la relevancia del presente reporte al comparar los trabajos de Hurcewicz (1966) de Europa donde son nutridos los hallazgos de *Siphonia* desde hace muchos años.

Sin embargo, hay que considerar que el género *Siphonia* es reportado del Albiano-Santoniano europeo, por lo que el presente hallazgo apoya tal edad en un contexto arrecifal, normalmente fechado en intervalo Albiano-Cenomaniano por falta de fósiles índice más precisos; además el informe del género *Siphonia* ya documenta: la primera esponja del estado de Hidalgo, la primera del centro oriente de México y la primera para todo México y lo mismo podría decirse para la especie *S. tulipa* no obstante se asigna con cierta reserva, dada la falta de algunas características específicas que, sin embargo, son de discutible relevancia de acuerdo con los especialistas (Hurcewicz, 1966).

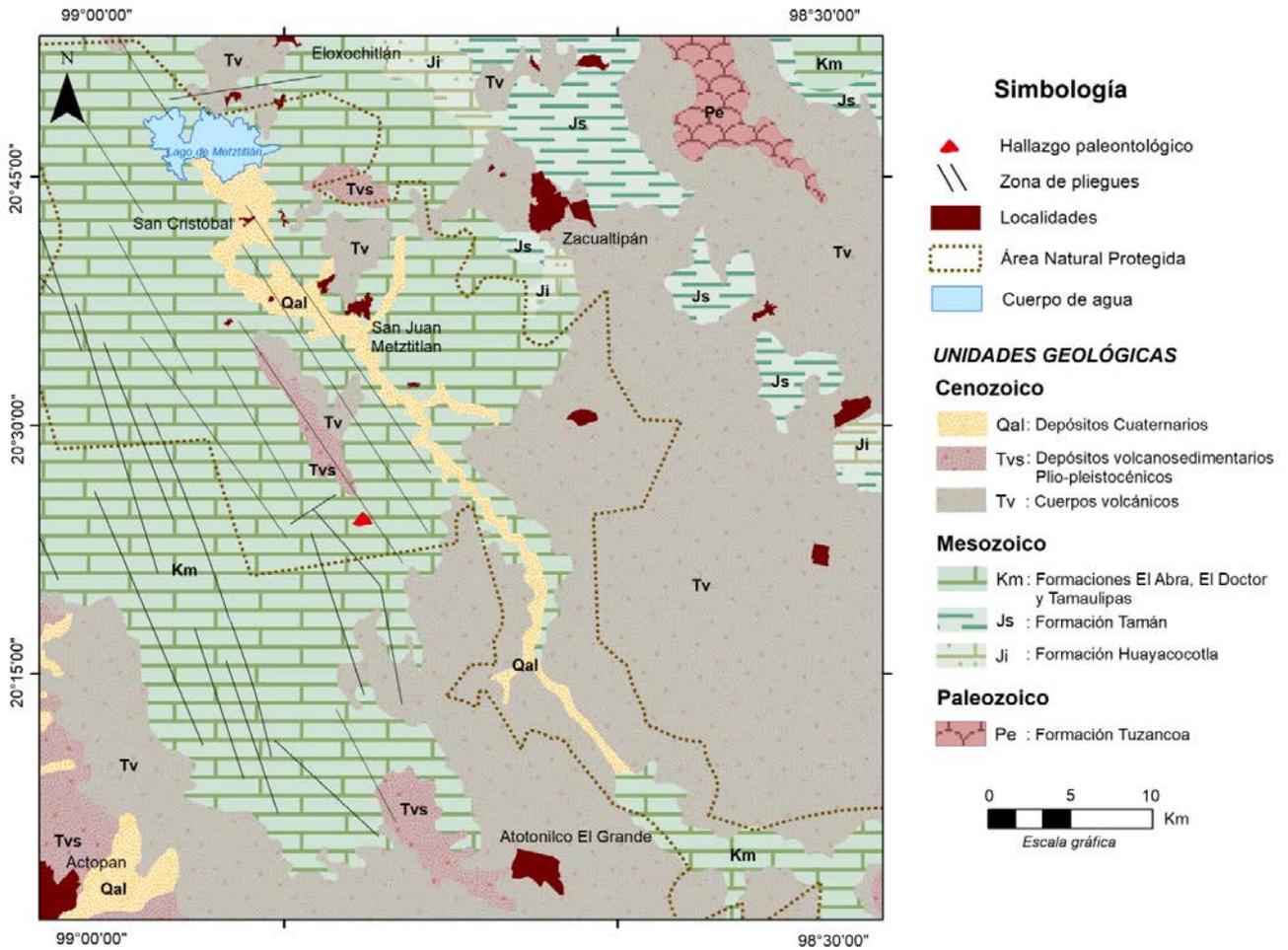
## 3. Localización y acceso

El afloramiento se localiza en los 20° 27' 53.5" N; 98° 44' 43.2" O a 1970 msnm en un sitio que forma parte del Proyecto de Invertebrados Fósiles del Estado de Hidalgo (Esquivel, 2001). Se accede a ella por la carretera Pachuca-Tampico circulando entre Atotonilco y Río Venados, en la desviación Santa Mónica Autempa. Transitando por una ruta de terracería en buen estado (Figura 1) después de unos kilómetros se encuentra el lindero formal de la reserva "Barranca de Metztlán" (Figura 1), mientras que en el flanco izquierdo se encuentra una escarpa de falla normal que da inicio al banco Ixmiquilpan hacia el oeste (Figura 2), este sitio también coincide aproximadamente con el límite norte del Municipio de Atotonilco, Hidalgo.

## 4. Contexto geológico

### 4.1 Regional

La Barranca de Metztlán (figura 2) desde un punto de vista morfotectónico, está incluida en la provincia Sierra Madre Oriental (SMO); considerando Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla (Ferrusquía-Villafranca, 1998). Con criterio geológico, la mitad oriental permanece como SMO y el sector occidental se considera la Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP) (Heim, 1970; Carrasco, 1970, 1971; Carrillo-Bravo, 1971; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992; López-Doncel, 2003), constituyéndose el Río Venados como límite entre ambas provincias geológicas; asimismo, el extremo meridional colinda con el Eje Volcánico Transversal (Córdoba *et al.*, 1992; INEGI, 1983; Fries, 1962; Segeström, 1956; López-Ramos, 1972). Por otra parte, geomorfológicamente se denomina Provincia de cordones y valles, estrechamente espaciados, que es el rasgo fisiográfico dominante del norte del Estado de Hidalgo (Suter-Cargneluti *et al.*, 1997; Ferrusquía-Villafranca, 1998; Aranda-Gómez *et al.*, 2000).



**Figura 1.** Mapa de Localización y geología litoestratigráfica de la Barranca de Metztitlán y su entorno inmediato. Se observa el contorno del área natural protegida reconocida en línea negra y la localización del hallazgo paleontológico (▲) en dicho contexto.



**Figura 2.** Escarpa de falla en la reserva de Metztitlán, representa el banco Ixmiquilpan, modificada de Esquivel-Macías et al., 2008. La flecha apunta el sitio de recolección. Fotografía apuntando al Sur-Este.

#### 4.2 Geología local

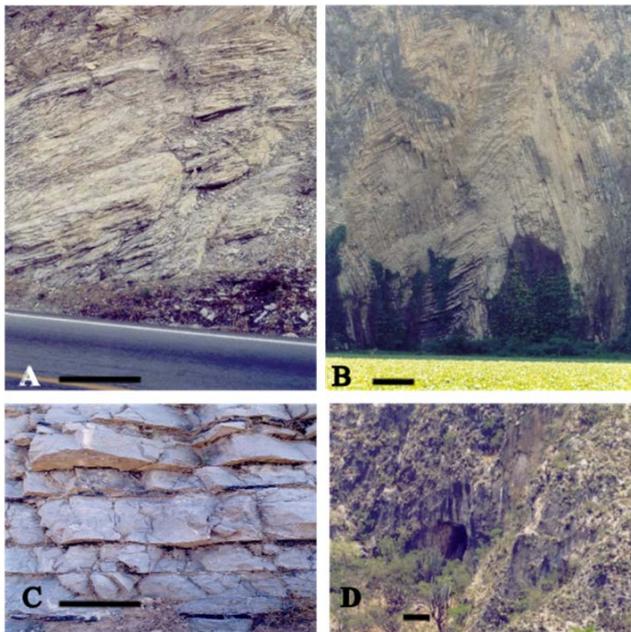
El paisaje del área de estudio está dominado por la Barranca de Metztitlán, (Figura 1), donde el Mesozoico está representado por conocidas unidades del Cretácico (K) como el Abra/El Doctor (Carrillo-Martínez, 1981). Las discutibles rocas triásicas (Tr) de la formación Huizachal son escasas y se encuentran expuestas únicamente en el rincón nororiental del estado, pero no en la barranca, que consisten en conglomerados rojos (Imlay et al., 1948; Carrillo-Bravo, 1971). Mientras al oriente, pero no específicamente en la reserva, se encuentran las rocas pertenecientes al Jurásico temprano consistentes en areniscas limosas bandeadas, y apizarradas de la Formación Huayacocotla (Imlay et al., 1948). Así como rocas carbonatadas con altos concentraciones de manganeso del Jurásico medio y otras de cuenca profunda de la Formación Tamán del Jurásico tardío (Heim, 1970), entre otras. Todas ellas forman el núcleo de la Sierra Madre Oriental (SMO) y son el basamento profundo de las rocas que conforma la reserva. Por lo tanto, las rocas cretácicas predominan en la reserva y sus alrededores inmediatos (Figura 2), representando probablemente hasta 6 mil metros de espesor (Carrillo-Bravo, 1971). Estas son consistentes con secuencias calcáreas que evidencian una cuenca marina compleja, con edad que va entre unos 110 a 90 millones de años, en la parte más tardía del Cretácico temprano y la parte más temprana del Cretácico tardío, lapso que en ocasiones se refiere informalmente como Cretácico medio (Enos, 1974), pero al que no le falta sustento estratigráfico.

El Cenozoico se representa por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias del Paleogeno superior, así como depósitos del Neogeno. La secuencia paleogena superior ocupa la mayor parte de flanco meridional e incluye basaltos, andesitas y brechas volcánicas; asimismo hay exposiciones de areniscas de grano grueso (Fries, 1962; Consejo de Recursos Minerales, 1992; INEGI, 1983).

Se aprecian anticlinales y sinclinales, (Aranda-Gómez *et al.*, 2000); con sucesiones de calizas masivas karstificadas, fracturadas por el desarrollo de fallas normales e inversas, resultado de la compresión laramídica y post-distensión (Ferrusquía-Villafranca, 1998). En el norte de la barranca hay bloques triangulares con aspecto de isla sobresaliendo del aluvión cuaternario del fondo de la barranca. Destacan efectos de metamorfismo regional con filitización (Figura 3A) a la altura del río Venados.

#### 4.3 Historia de la paleocuenca

Durante el Cretácico medio la región varió entre mar somero a profundo con bancos arrecifales, cuyos sedimentos precursores triásicos y sobre todo jurásicos indican dos períodos de regresión marina que incluyen el proceso de apertura del Golfo de México, éstos incluyen las edades Bajociano, Batoniano y Caloviano; mientras que los cretácicos representan una cuenca oceánica compleja en el contexto de la retracción del Mar de Tethys y su conversión en Atlántico y Caribe (Anderson y Schimdt, 1983; Ross y Scotese, 1988). El resultado neto del proceso tectónico mencionado de la región fue un levantamiento (Ferrusquía-Villafranca, 1998). La edad del episodio de deformación estructural denominado “Laramide” corresponde al Paleogeno inicial (60 millones de años) y generalmente se identifica con el Orogeno de las Rocallosas en la costa occidental de Norteamérica, (Carrillo-Martínez, 1981). También se piensa que tal evento culmina simultáneamente con las fases finales de la apertura del Golfo de México, asociado al origen de las Antillas y Yucatán (Ross y Scotese, 1988).



**Figura 3.** Aspectos de la geología local. A) Filitas, rocas metamórficas derivadas de margas por la compresión y

sepultamiento tectónico Laramide, pertenecen a la SMO borde Oriental de la Barranca. B) Calizas tableadas y pliegues en “chevron”, provisionalmente asignados a la Fm. Tamaulipas indiferenciada es el estilo estructural de la SMO; C) Detalle de las calizas estratificadas Tamaulipas indiferenciados se aprecia su alternancia con margas y nódulos de pedernal, evidenciando su formación en cuenca proximal, borde Oriental de la Barranca. D) aspecto de las calizas masivas kársticas de la Formación el doctor en el borde occidental de la Barranca, ya pertenecientes a la Plataforma Valles San Luís Potosí, equivalentes en particular al Banco Calizo Ixmiquilpan. Las barras representan 1 m en A, 2 m en B y D, y 30 centímetros en C. Modificado de Esquivel *et al.* (2008).

## 5. Procedimientos

La búsqueda por la región se condujo desde el año 2000, bajo las premisas del proyecto “Invertebrados Fósiles del Estado de Hidalgo”, incorporado al Instituto de Ciencias de la Tierra UAEH, actualmente área académica de Ciencias de la Tierra; no obstante la publicación de resultados preliminares denominada “Bosquejo geológico y potencial paleontológico de la barranca de Metztlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008) se llevó a cabo a instancias del área académica de Biología de la misma UAEH, en donde uno de nosotros estuvo adscrito.

El material que se presenta aquí fue localizado en la pendiente de la escarpa de falla del borde occidental (Figura 2), donde las calcarenitas bioclásticas son típicas de los bancos arrecifales de la Formación El Abra/ El doctor (20° 27' 53.5" N; 98° 44' 43.2" O a 1970 msnm.), el ejemplar se extrajo con ayuda de martillo y cincel y se trasladó al laboratorio para su análisis. Los procedimientos estándar paleontológicos de identificación, medición y fotografía con ayuda de microscopio estereoscópico permiten confirmar la determinación taxonómica que se otorga. Adicionalmente se hace el análisis de facies (Wilson, 1975) con el apoyo de la escala Dunham (1962) y microfacies mediante laminas delgadas; así como bajo los criterios de Folk (1968) y la asignación a las microfacies estándar de Wilson (1975) y Flügel (1978), para certificar el ambiente sedimentario y el grado de autoctonía del ejemplar, así como apoyo en la edad con los microfósiles.

## 6. Resultados

### 6.1 Paleontología Sistemática

Phylum Porifera Grant, 1872

Clase Demospongia Sollas, 1875

Orden Tetraxonia Schultze, 1877

Suborden Tetralithistida Lagneau-Herenger, 1962

Superfamilia Tetracladina Zittel, 1878

Familia Siphonidae d'Orbigny, 1851

## Género *Siphonia*

Sinonímias con base en Laubenfels (1955)

*Siphonia* Parkinson, 1822, enmend. Zittel, 1878 (Especie tipo: *Siphonia koenigi* Mantell, 1822).

Sinonimias de *S. tulipa*

-*Siphonia tulipa* Zittel; 1878 (PI. IV, Fig. 4) 1878.

-*Siphonia tulipa* Zittel; K. Zittel, 1883, p. 145, PI. 9, Fig. 5.

-*Siphonia tulipa* Zittel; J. G. Hinde, p. 64, PI. 13, fig. 2.

-*Siphonia tulipa* Zittel; Lagneau-Herenger, 1962, p. 133, Text- PI. 20, Fig. 8. 48

Se reconocen dos grupos de especies dentro del género estos son: el grupo *S. pyriformis* Goldfuss y el grupo *S. koenig* Mantell. De acuerdo con: Moret (1925), Defretin-Lefranc (1958-1960) y Lagneau-Herenger (1962), el primer grupo está fuertemente diferenciado ya que estos últimos autores afirman que las formas asignadas a *S. incrassata*, *S. micropora*, *S. ficus*, *S. tulipa*, *S. tubulosa* y *S. coronata*, son sólo variedades intraespecíficas de *S. pyriformis*; sin embargo, con base en la investigación del abundante material de esponjas de este grupo desde el Campaniano inferior (Hurcewicz, 1966), esta última se inclina a retener la mayoría de las especies erigidas por Moret (1925), Defretin-Lefranc (1958-1960) y Lagneau-Herenger (1962). Las características en las cuales estas especies difieren están en la tabla 8 de Hurcewicz (1966) para sostener la determinación de *S. tulipa*.

## 6.1.1 Diagnósis

Cuerpo de forma oval o esférica con la parte superior redondeada, un tallo distinguible visible en el polo inferior; tiene un ósculo oval de 0.45-0.6 mm de diámetro irregularmente bordeado. Cavidad central situada en medio, que en algunos especímenes llega a ser tubular con 5-10 mm de diámetro y 15 mm de profundidad o más, en otros ejemplares la cavidad del ósculo es más somera y en forma de depresión con márgenes redondeados, (habiendo una variabilidad individual importante) con 0.8-1.0 mm de diámetro o más, el borde del ósculo puede estar surcado por crestas; puede haber apóporos (aperturas desde el canal exhalante hacia el exterior, visibles sólo sobre las paredes y sobre el fondo de la cavidad del ósculo. Parénquima (matriz o pseudot tejido interior del cuerpo) con espículas tetraxónidas. La variación ontogenética de estas estructuras es muy grande y tiene que ver con el tamaño de cada individuo y con la estructura de su sistema de poros.

Por otra parte en la tabla 9 de Hurcewicz (1966, pág. 51), se hace la comparación de caracteres of *S.tulipa* provenientes de España, Inglaterra y Polonia presentando sus dimensiones en mm. En particular se menciona que la colección de Polonia tiene 49 ejemplares silíceos del Cretácico superior, con la cavidad central y ostia de diámetros uniformes, regularmente repartidos. En otros ejemplares los ostia tienen cavidades inhalantes accesorias. Hurcewicz (1966) asignó ocho especímenes esféricos con tallos esbeltos a *S. tulipa*, según cualidades de la Tabla 1 modificada de (Hurcewicz, 1966 tabla 8 p. 49).

**Tabla 1.** Comparación de: *Siphonia tulipa*, *S. pyriformis*, *S. ficus* y *S. tubulosa* (dimensiones en mm) Tomada y Modificado de Hurcewicz (1966, Tabla 8, p. 49).

Nombre	Forma	Pedícelo	Ostia	Póstica	Ósculo
<i>S. tulipa</i>	Oval	distinguido	0.45-0.6	5-10	1 -0.2
<i>S. pyriformis</i>	Esférica	Sin tallo	0.5	1.0 8	0.09-0.3
<i>S. ficus</i>	Piriforme gruesa	oviforme-corto	0.5	10-18	0.5-1.0 x 1.5-3.0
<i>S. tubulosa</i>	Cilíndrica	grueso	0.5-3	0 2-3	0.25-0.3

## 6.1.2 Ocurrencia

De acuerdo con Hurcewics (1966) se encuentran en el Campaniano Inferior de Skrajniwa, Polonia; en el Cenomaniano de la cuenca de Paris, Francia y en el Cenomaniano también de Calais en canal de la Mancha Inglaterra/Francia.

## 6.1.3 Descripción

El ejemplar, tiene perfil nítido, cuerpo entero, semi-esférico, pequeño y pedúnculo angosto y corto; las características visibles externas del ejemplar concuerdan con la diagnósis de *S. tulipa* de Hurcewicz (1966), excepto la amplitud o diámetro del ósculo, que en el ejemplar de estudio es más amplio del reportado, no obstante está dentro de los parámetros de la variación de este grupo de esponjas, en el presente las entrantes de los apóporos al ósculo no son visibles, ni lo es el interior de la cavidad. Se

justifica la asignación a *S. tulipa* con la reserva “cf.” (*confer*) ya que ninguna otra especie del complejo de *Siphonia* muestra esta amplitud de ósculo; aunque, faltan los apóporos interiores por la naturaleza del ejemplar, el cual es un molde externo sustituido por calcita que no permite tampoco suficiente detalle para ver los prosoporos (poros de entrada de las corrientes de agua hacia el ósculo, de tal forma que la pared del ejemplar luce actualmente lisa. Estas cualidades podrían verificarse cuando se cuente con más ejemplares, pues -de confirmarse- abriría la posibilidad de constatar sin reservas la especie, o bien describir una nueva variante. El ejemplar muestra evidencias de rápido sepultamiento que le produjo un colapso compresivo del costado esférico; además debe de tomarse en cuenta que vivían en ambientes de baja energía, lo que les volvía vulnerables a cambios bruscos de régimen hidráulico resultando en ejemplares comprimidos como éste (Figuras 4 y 5). Adicionalmente es notable que sobre el costado superior en el borde del ósculo existe una cicatriz o huella donde estuvo adherido un asteroideo (Echinodermata; Asteroidea).

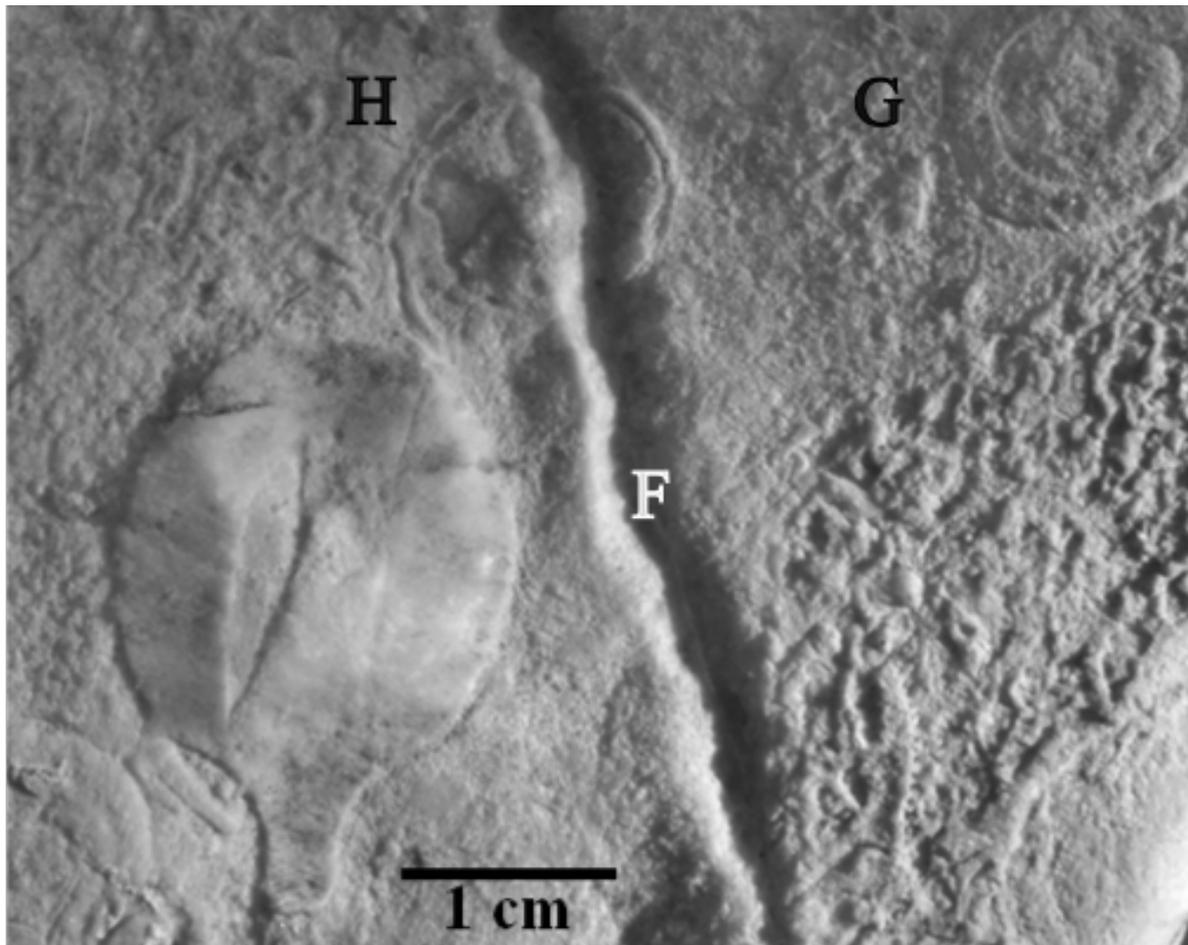
**Tabla 2.** Medidas del ejemplar ilustrados en figura 5.

Ósculo	Diámetro mayor	Diámetro menor	Ancho pedicelo	Largo de pedicelo (incompleto)	Altura total (con pedicelo incompleto)
6.5 mm	20.44 mm	17.44mm	3.16mm	5.57mm	26.11mm

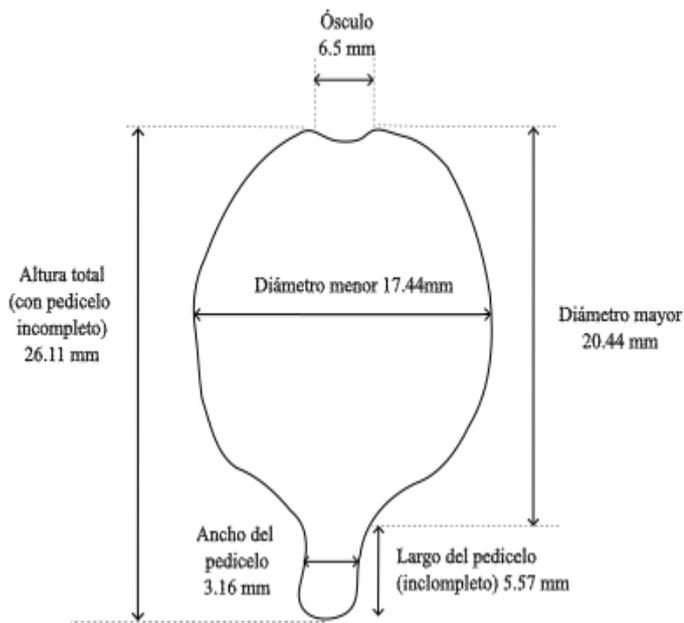
Material: Un ejemplar con número de catálogo UAEHMM-00377  
 Repositorio Colección de rocas, minerales y fósiles de la  
 AACTyM, UAEH.

Intervalo estratigráfico: Albiano/Cenomaniano del banco calcáreo  
 Ixmiquilpan.

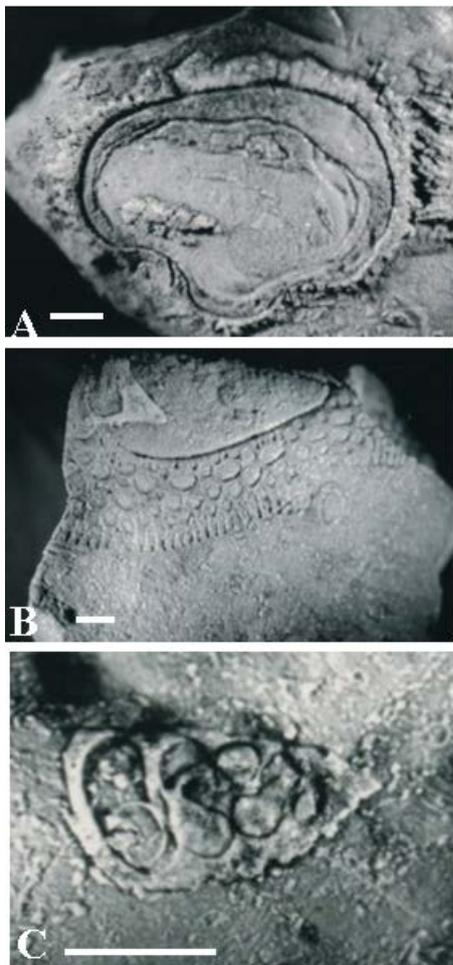
Localidad: lindero Oeste de la barranca de Metztitlán, Santa  
 Mónica Autempa (Figura 1)



**Figura 4.** Fotografía del ejemplar estudiado, ángulo inferior izquierdo, acompañado de un opérculo de rudista hipurítico (H) en corte transversal, haciendo contacto al borde superior derecho y una sección también transversal un opérculo de gasterópodo (G) en el ángulo superior derecho, todos provenientes de las facies arrecifales. Asimismo, son apreciables las cualidades texturales de la facies 4 de Wilson con una matriz bioclástica de packstone/grainstone, que considerando los macrofósiles, se puede describir como un floatstone. Al centro -de arriba a abajo- una fractura (F) típica del estilo distensional postlaramide en la Formación El Abra/El Doctor, remarcada por intemperismo reciente. Fotografía Carlos Esquivel-Macías.



**Figura 5.** perfil-dibujo de este ejemplar ilustrando las medidas reportadas en Tabla 2

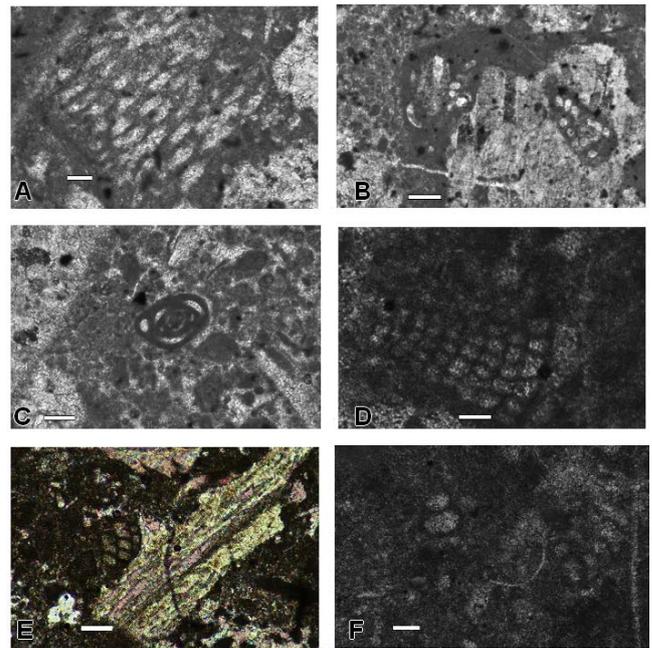


**Figura 6.** A, Rudista Hipurtido; B, Rudista Caprinido; C, Gasterópodo turrítido. Representantes de fauna típica del Albiano/Cenomaniano de la Formación el Doctor, encajonados en calcarenita bioclástica en arreglo Floatstone en matriz Grainstone/Packstone. La esponja forma parte de esta asociación fósil. D) *Siphonia*. Fotografías obtenidas con película fotoquímica

T-MAX de alto contraste de 100 grados ISO (ASA) de Kodak para obtener máximo detalle en rocas tan intemperizadas, en cámara óptica-mecánica de la serie Nikon F. La barra en cada fotograma representa 1 cm. Fotografías Carlos Esquivel-Macías.

## 6.2 Micropaleontología y Petrología

El conjunto faunístico que se muestra en la Figura 7, con los siguientes resultados es característico del banco Calcáreo Ixmiquilpan y del Albiano-Cenomaniano: Orbitolinas, foraminíferos biseriales bentónicos, porcelánidos como *Quinqueloculina*, textuláridos como *Dictyoconus wualnutensis*, astillas de rudistas, ostrácodos planctónicos. El cemento del sedimento en estas preparaciones es de esparita entre los macrobioclastos y en el interior de las cavidades geopetales de los gasterópodos se aprecia microesparita, mientras en lugares donde resulto diluida la concha creció calcita acordonada “druzy”. Los macrobioclastos (esqueleto de la calcarenita bioclástica) de rudistas muestran evidencia de estructura interna siendo parcialmente sustituidos por esparita, mientras que los microfósiles están micritizados y asociados con predominancia de micrita peloidal y numerosos palinomorfos también micritizados, siendo evidencia el conjunto de aporte de macrobioclastos de nivel grainstone a un sedimento anóxico de micrita peloidal y el cual es propiamente la matriz. El ambiente sedimentario ocurre en el entorno de la redepositación de fragmentos retrabajados de arrecife en el oleaje y fosilizados en bajos topográficos más profundos de baja energía con poco oxígeno y/o alta salinidad.



**Figura 7** Láminas delgadas 14-INV-047 y 15- INV-047, con microfósiles: A) *Orbitolina*, B) foraminífero biserial bentónico, C) *Quinqueloculina*, D) *Dictyoconus wualnutensis*, E) Astilla de rudista, F) Ostrácodo planctónico. Fotografías obtenidas a 40 diámetros con un microscopio petrográfico Olympus BX-40 y una cámara digital Nikon D-7000 acoplada, en modo manual, con exposición de un segundo. Se aprecia la condición de Biomicroita peloidal. La barra representa 100  $\mu$ m.

## 7. Discusión y conclusiones

Este trabajo presenta una síntesis de los antecedentes de esponjas en México, según el cual hay reportes limitados. También se evidencia que es necesario saber más de la paleoecología de los arrecifes mexicanos, formadores de bastas

unidades sedimentarias de rocas almacén de hidrocarburos y donde la diversidad de esponjas esta seguramente sub-representada respecto de Europa, considerando el efecto de la latitud tropical en la riqueza específica que normalmente se expresa como medida de biodiversidad; por lo tanto falta exploración y búsqueda detallada poniendo atención a esponjozoos.

### 7.1 La determinación y la bioestratigrafía

Para determinar a *S. tulipa* fue necesaria la comparación de caracteres de los ejemplares previamente conocidos, (Hurcewics, 1966) con los ejemplares europeos de su momento. Ahí se comparan los caracteres de *Siphonia tulipa* de España, Inglaterra y Polonia que la misma autora asignó a *S. tulipa*.

En dicha autora se ponderan los parámetros de diámetro, longitud, grosor por edades y por país, encontrando que no todos sus ejemplares se ajustaban exactamente a la diagnosis, pero dejando claro que con una nutrida variabilidad individual en la ontogenia y distribución de poros y ósculos, era posible sostener la existencia de la especie *S. tulipa* como especie definida dentro de un complejo (variedades); estas variedades son: *S. incrassata*, *S. micropora*, *S. ficus*, *S. tulipa*, *S. tubulosa* y *S. coronata*, asignadas dentro de la especie *S. pyriformis* por Goldfuss Moret (1925), Defretin-Lefranc (1958-1960) y Lagneau-Herenger (1962).

Cabe mencionar que si en el futuro esta discusión se reanuda con base en más ejemplares -tanto mexicanos como europeos-, se presenta aquí el primero del complejo de *Siphonia pyriformis sensu* Moret (1925). Por lo tanto, tal es el trasfondo de la asignación con reserva "*S. cf. tulipa*" a la determinación específica de este ejemplar de *Siphonia*.

Ya que Hurcewicz (1966) reporta que *S. tulipa* yace en el intervalo Campaniano Inferior a Turoniano de Skrajniwa, Polonia, en el Cenomaniano de la cuenca de Paris, Francia y en el Cenomaniano también de Calais en Canal de la Mancha, es consistente en México con el Albiano-Cenomaniano de la Formación El Abra, respaldado por *Quinqueloculina*, *Orbitolina* y *Dictyoconus*.

### 7.2 Sedimentológica/Paleoecológica

Al reconocerse una esponja del complejo de las tetraxónidas tipo ascon se planteó la necesidad de darlo a conocer en función de tipificar mejor el contexto del arrecife orgánico tan representativo del banco Ixmiquilpan, mejor conocido por sus rudistas (Alencáster, 1984; 1990), pero no por sus esponjas.

Este reporte es de un ejemplar único completo con bajo detalle de conservación pero que permite asignarlo a un ambiente sedimentario específico y a un intervalo estratigráfico de Albiano/Cenomaniano con la presencia de foraminíferos para hacer precisiones sobre el ambiente sedimentario de origen. Ya que otras esponjas fósiles reportadas en México se cuentan para el Pérmico del estado de Sonora, del Cretácico en los estados de Chiapas, San Luís Potosí y Michoacán así como reportes de espículas en los estados de Chiapas y San Luís Potosí; pero se carece de registro previo de esponjas en centro oriente de México incluida la Sierra Madre Oriental, se concibe esta contribución como relevante al estudio regional de las esponjas; que además, evidencia rasgos sedimentológicos de facies peri-arrecifales del banco Ixmiquilpan.

El ejemplar es Leuconoide, clase Desmospongiae (desmosponjas). Este grupo de esponjas tiene espículas silíceas (dióxido de silicio hidratado) monoaxonas o tetraxonas, que pueden sustituirse por una malla de fibras de espongina (Grant, 1825; Brusca y Brusca, 2005), pero que en el análisis de las láminas delgadas no produjo ninguna evidencia de ellas. Todas ellas tienen organización leuconoide, viven a cualquier profundidad, en la sombra, sobre sedimento blando, lodoso y arenoso (Krautter, 1998), por lo que su hallazgo apoya la interpretación de los rasgos de los arrecifes mexicanos que se ajustan bien en un modelo de facies estándar (Wilson, 1975) a las facies 4-6.

Este tipo de aguas someras tropicales son conocidas por su poca productividad primaria (De La Lanza Espino, 1991) y además, por entonces no había mayor aporte de sedimentos continentales, dada la conformación continental conocida para esas edades, por lo que la disponibilidad de partículas filtrables debió ser limitada y esto es consistente con el gran desarrollo y dominancia de rudistas con simbioses fotosintéticos de tales comunidades de aguas transparentes.

Dado que las comunidades arrecifales fósiles del centro oriente de México han sido tan estudiadas y descritas (Alencáster, 1984, 1990; Esquivel-Macías et al., 2008); así como sus elementos faunísticos han sido tan detalladamente abordados con motivo de las exploraciones petroleras y gasíferas que se han efectuado en esta región por muchas décadas (Carrasco, 1970; 1971; López Doncel, 2003; Segeström, 1961; Aguayo-Camargo, 1988), llama la atención que nunca antes se habían reportado estos elementos fósiles de esponjas en la región. Asimismo, las formaciones sedimentarias "El Abra/El Doctor" también han sido producto de intenso estudio morfo-tectónico (Carrasco, 1971; López-Ramos, 1972; Wilson, 1975; Ortega et al., 1992), dados los intensos cambios que han sufrido los mares mexicanos con base en esta región (Sedlock et al., 1993) y que conformaron el territorio nacional mexicano desde el punto de vista geológico.

También es relevante el hallazgo considerando la naturaleza silíceas original del esqueleto, ya que durante la fosilización tuvo que sufrir de algún modo -que no se abordará aquí- ya sea procesos de sustitución de los carbonatos originales (Johnson, 1984), o bien preservación autigénica de tal modo que se ocupó el espacio por carbonatos. Este fósil es de calcita evidente porque muestra el patrón orto-rómbico de cristalización por lo que necesariamente sufrió permineralización postdiagenética.

Lo anterior es relevante, pues explicaría parcialmente la eventualidad de su fosilización ya que probablemente los fósiles conocidos en estas rocas son todos de origen calcítico; como rudistas, gasterópodos y corales. Así, es más improbable un proceso de permineralización directa sobre el silicato. Por lo tanto, este trabajo da a conocer un ejemplar excepcional en las asociaciones arrecifales fósiles mexicanas del centro oriente de México que contribuye a la comprensión de los sistemas arrecifales del Cretácico superior (Albiano/Cenomaniano), tal como aspira Sánchez-Beristain (2003).

Las esponjas del grupo *Siphonia* se conocen como indicadoras de sedimento blando y de corrientes menores a 3 km por hora (Dodd y Stanton, 1990,) por lo que, aunque son bentónicas y sésiles, no estaban rígidamente sujetas. Por ello este ejemplar representa los efectos de una corriente de mayor energía y velocidad que esa, lo que hizo que se depositase bajo un régimen de acumulación floatstone (Dunham, 1962), en arenas bioclásticas, móviles, arrecifales; implicando que es producto de

un movimiento ocasional y caótico desde el núcleo del arrecife. Asimismo, se sabe que no fueron muy abundantes, probablemente debido a la competencia por espacio con rudistas, si bien estos últimos no filtraban estrictamente, sino que probablemente aprovechaban fotosíntesis simbiótica (Pons *et al.*, 1994) con zooxantelas asociadas.

Se mencionó en la descripción del ejemplar la presencia de una cicatriz o huella donde posiblemente estuvo presente un asteroideo, tal vez, sobre el ejemplar aún vivo o bien –lo más probable– sobre el cadáver yacente en el fondo después del arrastre, lo que demuestra que el sepultamiento no fue instantáneo; ya que estos equinodermos no son epibiontes. También se descarta la presencia de un crinoideo pues ellos se sujetan por estructuras específicas para ese fin (*holdfasts*) y no dejan marcas pentaradiales. Debe decirse que si bien este pequeño asteroideo solo dejó su huella, su presencia aseguraría que existió en aguas de salinidad normal (cerca de 36-37 p.p.m.) la cual es la única posible para los equinodermos dado su incapacidad de realizar la osmoregulación en otras concentraciones salinas).

### 7.3 Paleogeografía

En función de los antecedentes la presente es la primera esponja del género *Siphonia* proveniente del sub-reino Tethis occidental considerando Jurásico y Cretácico. Las provenientes de Permo-Triásico, corresponden a otro escenario tectónico global previo a la apertura del Atlántico y del Tethis, aún en el escenario del borde de Pangea, por ello aunque crono-estratigráficamente las esponjas triásicas son mesozoicas, debe hacerse ahí una división considerable dentro del criterio tectono-estratigráfico; no obstante se pueden decir que estas son las primeras del mesozoico en el contexto tectono-estratigráfico de la Pangea disgregada.

### Agradecimientos

Agradecemos a dos revisores anónimos por el tiempo constructivo dedicado al presente manuscrito. Al Ingeniero Diego Córdoba Méndez (RIP), quien hizo posible el inicio del proyecto de invertebrados fósiles del Estado de Hidalgo del que se beneficia la presente publicación. Al próximo Ingeniero Pedro Alejandro, quien le dio a dos de nosotros la determinación para el presente hallazgo. Al futuro Licenciado Santiago Alfonso quien nos ha estimulado el gusto por el conocimiento paleontológico. Al Dr. Kinardo Flores Castro por su incondicional apoyo de los últimos 20 años. Al Dr. Márius Ramírez Cardona, por su finísima gestión en la reincorporación de uno de nosotros al AACTyM de la UAEH. Así mismo, deseamos agradecer a la IGA Anallely Ávila Ortiz por la elaboración con alta calidad del mapa de la Figura 1.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### Referencias

Aguayo-Camargo, J. E., (1977). Sedimentary environments and diagenesis of a cretaceous reef complex, eastern México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 52 pp.  
 Aguayo-Camargo, J. E., (1988). The Middle Cretaceous El Abra Limestone at its Type Locality (facies, diagenesis and oil emplacement), East Central México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(1), 1-8.  
 Alencáster, G., (1984). Late Jurassic-Cretaceous Molluscan Paleogeography of the Southern Half of México. In: Westermann G.E.G. (Ed.). *Jurassic-*

*Cretaceous Biochronology and Paleogeography of North America: Canada*. Geological Association of Canada. Special Paper. 27, p 77-88.  
 Alencáster, G., (1990). Los Rudistas: Origen Diversificación, Provincialismo en Eurasia en América y Extinción. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 3 (1), 47-65.  
 Anderson, T., Schmidt, V., (1983). The evolution of Middle America and the Gulf of México-Caribbean Sea region during Mesozoic time. *Geological Society of American Bulletin*, 94: p. 947-996.  
 Aranda-Gómez, J. J., Torres-Hernández, R., Carrasco Núñez, G., Aguillón-Robles, A., (2000). Contrasting Styles of Laramide Folding Across the West-Central Margin of Cretaceous Valles-San Luis Potosí Carbonate Platform, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17, (2), p. 97-111.  
 Brusca, R. C., Brusca, G. J., (2005). *Invertebrados*, 2ª edición. McGraw-Hill-Interamericana, Madrid, XXVI, 1005 pp. ISBN 0-87893-097-3.  
 Buitrón-Sánchez B. E., Pantoja-Alor, J., 1994. Esponjas Perforantes de Moluscos del Cretácico temprano en la región centro occidental de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas UNAM, Instituto de Geología*, 11 (2), pp 222-231.  
 Carrasco-Velázquez, B., (1970). La Formación El Abra (Formación el Doctor) en la Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, (Julio), 97-99.  
 Carrasco-Velázquez, B., (1971). Litofacies de la Formación El Abra en la Plataforma de Actopan, Hidalgo. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, (enero), 5-26.  
 Carrillo-Bravo, J., (1971). La Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, Vol. XXIII, (1-6): 102 p.  
 Carrillo-Martínez, M., (1981). Contribución al estudio geológico del Macizo Calcáreo "El Doctor", Querétaro. *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 5, (1), p. 25-29.  
 Consejo de Recursos Minerales, (1992). *Monografía Geológico-Minera del Estado de Hidalgo*. Pub. M-3e. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas e Industria Básica, p. 95.  
 Cooper, G. A., (1965). Fauna Pérmica de El Antimonio, Oeste de Sonora, México. *Boletín (Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología)*. 58(3), 122 pp.  
 Córdoba-Méndez, D., Pedrazzini, A., López-Ávila, C., Silva-Mora, L., Castro-García, A. (Comp.), (1992). Carta Geológica del Estado de Hidalgo, escala 1:250 000. UAHEH, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Educación Pública, México D. F., un mapa.  
 De Laubenfels, M. W., (1955). Porifera. In: Moore R. C. *Treatise on invertebrate paleontology*, part E. Archaeocyatha and Porifera. Geological Society of America and University of Kansas Press: 21- 121.  
 Dodd, J. R., Stanton R. J., (1990). *Paleoecology, Concepts and Applications*: New York, John Wiley and Sons, Inc. pp. 332-328.  
 Dunham, R., (1962). Classification of Carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, p. 108-121.  
 Enos, P., (1974). Reefs, Platforms and Basin of Middle cretaceous in Northeast México. *The American Associations of Petroleum Geologist Bulletin*, 58 (5), 800-809, 9 figs.  
 Esquivel-Macías, C., (2009). Panorama de los Invertebrados Fósiles del Estado de Hidalgo. In: *Estudio Biológicos en las áreas naturales protegidas del estado de Hidalgo*: 39-58.  
 Esquivel-Macías, C., Bravo-Cuevas, V. M., Rodríguez-González, K., (2008). Bosquejo Geológico y Potencial Paleontológico de la Barranca de Metztilán. In: Pulido-Flores G., A. L. López-Escamilla, M. T. Pulido-Silva (Eds.). *Estudios Biológicos en las Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: 79-85.  
 Esquivel-Macías, C., Flores-Castro, K., Ramírez-Cardona, M., León-Olvera, R. G., (2021). Los amonites del Jurásico inferior de Hidalgo: provincialismo y diversidad. In: *La biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado*. CONABIO, México, pp. 136-144.  
 Ferrusquía-Villafranca, I., (1998). Geología de México: una Sinopsis. In: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. (comp.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Geología, UNAM., p. 3-109.  
 Flügel, E., (1978). *Mikrofazielle Untersuchungs methoden von Kalken*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 454.  
 Flügel, E., Senowbari-Daryan, B., (2001). Triassic Reefs of the Tethys. In: Stanley, G. D. Jr. (Ed). *The history and Sedimentology of Ancient Reef System*. Academic /Plenum Publishers, pp. 271-249.  
 Folk, L. R., (1968). *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphills, Texas, USA 170 pp.  
 Fries, C. Jr., (1962). Hoja Pachuca 14q-e (11), con resumen de la geología de la hoja Pachuca, estados de Hidalgo y México. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie 1:100 000. Mapa con texto.  
 Gould, S. J., (1989). *Wonderful Life, The Burgess Shale and the Nature of History*. Norton National Bestseller, 345 pp.

- Grant, R. E., (1825). Observations and Experiments on the Structure and Functions of the Sponge Edinburgh Philosophical Journal 13, 94-107.
- Grant, R. E., (1826). Notice of a new Zoophyte (*Cliona celata* Gr.) from the Firth of Forth. Edinburgh New Philosophical Journal, 1: 78-81.
- Heim, A., (1970). The front ranges of the Sierra Madre Oriental, Mexico from Cd. Victoria to Tamazunchale. *Eclogae Geologicae Helveticae* 33, 314-362.
- Hou Xian, G., Aldridge, R. J., Bergström, J., Siveter, D. J., Siveter, D. J., Xiang-Hong, F., (2007). The cambrian fossils of Chengjiang, China, the flowering of early animal life. Blackwell Publishing, 233 pp.
- Hurcewicz, H., (1966). Siliceous sponges from the Upper Cretaceous of Poland Part 1. Tetraxonia. *Acta Palaeontologica Polonica*, XI (1), 16-128.
- Imlay, R. W., Cepeda, D. L., Álvarez, M., Díaz, T., (1948). Stratigraphic Relations of Certain Jurassic Formations in Eastern México. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 2 (9), 1750-1761.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (1983). "Hoja Pachuca, Carta Geológica. Esc. 1: 250 000". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- Johnson, C., (1984). Paleocology, Carbonate petrology and depositional environments of lagoonal facies, Cupido and El Abra formations northeastern México. University of Colorado at Denver, M. Sci. thesis 147 (unpublished).
- King, R. H., (1943). New Carboniferous and Permian sponges. University of Kansas Publications. State Geological Survey of Kansas Bulletin, Lawrence Kansas, 47, Part 1, pp. 1-36.
- Krautter, M., (1998). Ecology of siliceous sponges: Application to the environmental interpretation of the Upper Jurassic sponge facies (Oxfordian) from Spain. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 24, 223-239.
- Larson, N. L., Jorgensen, S. D., Farrar, R. A. Larson, P. L., (1997). Ammonites and the other Cephalopods of the Pierre Sea Way. Black Hill Institute of Geological Research 148 pp.
- López-Alemán, R. A., (1988). Esponjas y corales triásicos de la Sierra "El Álamo" en el Noroeste del estado de Sonora y sus implicaciones paleobiogeográficas. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.
- López-Doncel, R., (2003). La Formación Tamabra del Cretácico Medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, centro- noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 20, (1), 1-19.
- López-Ramos, E., (1972). Carta geológica del Estado de Hidalgo, esc. 1:500 000". Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie de Cartas Geológicas Estatales, un mapa.
- Ortega-Gutiérrez, F. F., Mitre Salazar, M. L., Roldan-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Morán-Zenteno, B., Alanís-Álvarez, J. A., Nieto Samaniego, A. F., (1992). Carta Geológica de la República Mexicana, esc. 1: 2 000 000". 5ª ed., Instituto de Geología, UNAM y Secretaría de Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, México D.F. Un mapa, con texto explicativo.
- Pica-Granados Y., Ponce Vélez, M. G., Barrón-Echaury, M. E., (1991). Golfo de México y Mar Caribe Mexicano, In: De La Lanza-Espino, G. (comp.), 1991. Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT EDITOR, S.A., México, pp. 3-29.
- Pons, J. M., Gallemí, J., Hóflino, R., Moussavian, E., (1994). Los Hippurites del Barrane del Racól, microfacies y fauna asociada (Maastrichtiense Superior, sur de la provincia de Valencia. *Cuadernos de Geología Ibérica*, Editorial Complutense, Madrid, 18, 271-307.
- Ross, M., Scotese, C., (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of México and Caribbean Region. *Tectonophysics*. 158, 139-168.
- Sánchez-Beristain, J. F., (2003). Esponjas Fósiles de dos localidades cretácicas de México: Importancia paleoecológica y Taxonómica. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM; 58 pp.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R. C., (1993). Tectonostratigraphic terrains and Tectonic Evolution of México. *GSA, Special Paper* 278, 153.
- Segeström, K., (1956). Estratigrafía y tectónica del Cenozoico entre México, D.F. y Zimapán, Hidalgo. In: Maldonado Koerdell (Ed.). *Estratigrafía del Cenozoico y Mesozoico a lo largo de la carretera entre Reynosa Tamaulipas y México D.F. Tectónica de la Sierra Madre Oriental. Vulcanismo en el Valle de México. Congreso Geológico Internacional, Excursiones A-14 y C6*, pp. 311-322.
- Segeström, K., (1961). Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y del Noroeste del Estado de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 3, (3-4), 147-168.
- Seilacher, A., (1962). Di Sphinctozoa, eine Gruppe fossiler Kalk schwamme. *Akademia Wiss. Lit., Abhandlungen. Math. Naturw. Kl.*, 10, 723-790.
- Suter-Cargneluti, M., Contreras-Pérez, J., Ochoa Camarillo, H., (1997). Structure of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central México. In: II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Pachuca, Hidalgo, Libro-Guía de las excursiones geológicas, Excursión 2, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México: p. 45-63.
- Westermann, G. E. G., (2000). Marine faunal realms of the Mesozoic: review and revision under the new guidelines for biogeographic classification and nomenclature *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 163, 49-68.
- Wilson, J. L., (1975). Carbonate facies in geologic history: Berlin, Springer, 471 pp.
- Wilson, J. L., (1990). Basement structural controls on Mesozoic carbonate facies in México- a review. In: Tucker, M., Wilson, J.L., Crevello, P.D., Sarg J.F., Read, J.F. (eds.) *carbonate platforms, facies, sequences and evolution. International Association of Sedimentologist, Sp. Publ.* 9, 235-255.
- Wilson, B. W., Hernández, J.P., Meave, E. T., (1955). Un Banco Calizo del Cretácico en la parte Oriental del Estado de Querétaro, México: *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, XVIII, (1), 1-10.
- Wright, E. K., (1987). Stratification and Paleocirculation of the late cretaceous Western interior Seaway of North America. *The Geological Society of America Bulletin*, Boulder Colorado, 99, 480-490.