



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA**  
**(BIOLOGIA MARINA)**

REVISIÓN TAXONÓMICA DE LAS FAMILIAS ECHINOTHURIIDAE THOMSON, 1872 Y  
PHORMOSOMATIDAE MORTENSEN, 1934 (ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EN EL  
GOLFO DE MÉXICO

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:  
GIOVVANA MARGARITA GUERRERO CORREA

TUTOR:  
DR. FRANCISCO ALONSO SOLÍS MARÍN

ASESOR EXTERNO:  
MARTÍN IGNACIO BROGGER

COMITÉ TUTOR:  
DRA. VIVIANNE SOLÍS WEISS  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ  
INSTITUTO DE GEOLOGIA  
DR. ALEJANDRO GRANADOS BARBA  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
DR. ALFREDO LAGUARDA FIGUERAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

CD. MX., NOVIEMBRE 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**REVISIÓN TAXONÓMICA DE LAS FAMILIAS ECHINOTHURIIDAE  
THOMSON, 1872 Y PHORMOSOMATIDAE MORTENSEN, 1934  
(ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EN EL GOLFO DE MÉXICO**

**T E S I S**

Que para obtener el grado académico de:

Maestra en Ciencias

(Biología Marina)

P r e s e n t a

**GIOVVANA MARGARITA GUERRERO CORREA**

Director de tesis: Dr. Francisco Alonso Solís Marín

Asesor externo: Dr. Martín Ignacio Brogger

Comité tutorial: Dra. Vivianne Solís Weiss

Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez

Dr. Alejandro Granados Barba

Dr. Alfredo Laguarda Figueras

Ciudad de México, 2017

**Dedicatoria**

**A Catalina Correa Santiago y Senovio Guerrero  
Domínguez**

**A Romina del Carmen Guerrero Correa**

**A Francisco Alonso Solís Marín**

**"El mar, una vez que te hechiza, te engancha en su  
maravillosa red para toda la eternidad" Jacques  
Cousteau**



## **Agradecimientos**

A la máxima casa de estudios Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por brindarme la gran oportunidad de formarme académicamente y profesionalmente, por todos los conocimientos otorgados y por el apoyo brindado para poder cursar mis estudios.

Al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por el apoyo y atención brindada, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

A la coordinadora del posgrado, Dra. Cecilia Vanegas por toda la ayuda brindada durante mi maestría, por los consejos y por brindarme siempre su apoyo.

A Diana Juárez, Chantal Ruíz, Guadalupe Godoy y Gabriela Almaraz por la ayuda otorgada para la realización de trámites, por resolverme todas las dudas que surgían en el proceso, y por toda la paciencia que me tuvieron.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

Al Dr. Francisco Alonso Solís Marín por confiar y creer en mí, por apoyarme en cada momento durante la realización de la Maestría, gracias por los consejos, enseñanzas, por los regaños, por mostrarme el camino, por ser un excelente padre académico y tutor, este proyecto no hubiese sido posible sin tu ayuda, ¡MUCHAS GRACIAS!

A mi asesor externo el Dr. Martín I. Brogger por el apoyo incondicional, por su tiempo, por los comentarios y sugerencias para mejorar este proyecto, porque a pesar de la distancia siempre estuvo pendiente, muchas gracias, ¡espero visitarlo pronto a Argentina!

A los miembros de mi comité tutor, a la Dra. Vivianne Solís, la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, al Dr. Alejandro Granados Barba y al Dr. Alfredo Laguarda Figueras por su tiempo brindado para la revisión de este proyecto, por las críticas constructivas, por sus sugerencias para mejorar este trabajo, ¡muchas gracias!

A la M. En C. Alicia Durán González, Técnico Académico del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos del ICML, UNAM, por su gran trabajo que hace de la colección un lugar invaluable para el estudio de los equinodermos, por su apoyo y consejos durante la realización de esta tesis.

A la M. en C. María Berenit Mendoza Garfias responsable del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Biología de la UNAM, por su valiosa ayuda en la obtención de fotografías de microscopía electrónica de barrido para la elaboración de este trabajo, por todo el apoyo y consejos brindados.

A la Biól. Yolanda Hornelas Orosco del Servicio Académico de Microscopía Electrónica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por la ayuda en la toma de fotografías de MEB para la elaboración de este trabajo.

A mis padres Catalina Correa Santiago y Senovio Guerrero Domínguez por apoyarme incondicionalmente y ayudarme siempre, mamá muchas gracias por los consejos y regaños, por no dejar que me rindiera nunca a pesar de los tropiezos, por aguantarme siempre todos los berrinches y locuras que se me meten en la cabeza y aunque no siempre estás de acuerdo siempre me apoyas, por ser un gran ejemplo de superación en mi vida, porque a pesar de la distancia siempre estás al pendiente de lo que me sucede ¡muchas gracias, los quiero!

A mi hermana Romina del Carmen Guerrero Correa por apoyarme siempre, por quedarte a mi lado para que yo cumpliera esta meta, por aguantar mis berrinches, porque a pesar de las adversidades logramos salir adelante siempre juntas, por apoyarme en cada una de mis locuras, sabes que siempre podrás contar conmigo, aunque yo esté en el otro lado del mundo, siempre podrás visitarme donde quiera que esté, ¡Te quiero mucho! aunque sé que nunca lo demuestro porque me chocan las muestras de cariño; gracias por los dibujos realizados para este trabajo.

A mis abuelos, tíos, primos y demás “familia” por el apoyo brindado, por estar al pendiente siempre durante todo este proyecto.

A Rebeca González Mejía gracias amiga por apoyarme, escucharme y ayudarme durante todo este proceso, por las risas durante los buenos y malos momentos, los viajes, congresos y demás momentos compartidos, por las porras que siempre me brindas y por siempre estar a mi lado cuando lo necesito ¡Muchas gracias!

A Daniela Yepes Gaurisas, muchas gracias por tu apoyo y amistad desde el primer día que nos conocimos, por ayudarme, escucharme, aconsejarme, por los “algos” compartidos, por las risas, las lágrimas y todos los momentos compartidos, por recibirme en tu país y hacerme sentir como en casa, por ser mi hermana colombiana ¡muchas gracias querida!

A Brenda Esteban Vázquez gracias por brindarme tu amistad, por escucharme cuando lo necesito, aunque no me tengas mucha paciencia cada vez que lo hago, por tus consejos tan originales, por sonsacarme cada vez que te aburres, por las pláticas tan ocurrentes en cada comida, porque para nosotras siempre lo más importante en esta vida es comer, sé que lograras cosas maravillosas en este mundo de los equinodermos y solo me queda desearte siempre lo mejor, sabes que cuentas conmigo siempre, ah y sabes que siempre serás bienvenida en cualquier parte del mundo que me encuentre, siempre serás para mí *Apollonaster chamukanensis*; muchas gracias por ayudarme a realizar los mapas de esta tesis.

A Paola Aguilar Cervantes gracias por brindarme tu cariño y apoyo desde que nos conocimos, por estar para mí en los peores momentos, por tus palabras de aliento y tus porras durante todo este proyecto, por los viajes compartidos, las fiestas y congresos, por confiar en mí, pero sobre todo por ser una gran amiga.

A Anne Isabelley Gondim, gracias por tu amistad, apoyo y ayuda en cada momento, por aconsejarme, a pesar de la distancia siempre estas cuando te necesito, gracias por confiar en mí cada vez que tienes una duda sobre erizos. Amiga espero que pronto regreses a México y hacer todos los planes que tenemos pendiente, aunque también espero poder visitarte pronto a Brasil, ¡obrigado amiga!

A Ana Karina Luna por ser una gran amiga y compañera de laboratorio, por las fiestas, viajes y congresos compartidos, por las risas, por escucharme, por tus palabras de aliento durante todo este proceso, más cuando estaba frustrada, sé que siempre podré confiar contigo, al igual que tú siempre contarás conmigo para lo que necesites.

A Francisco Márquez por brindarme tu amistad, por aguantarme durante todo este proyecto, por escucharme durante mis frustraciones morfométricas, por aclararme todas mis dudas sobre morfometría geométrica, por ayudarme cada vez que lo necesitaba y más cuando estaba interpretando los resultados, muchas gracias por las fiestas compartidas, viajes, congresos, por cuidarme y estar al pendiente durante la “travesía” en El Puma, por darme acceso ilimitado a tu tarjeta de crédito para que me recuperara, te lo agradezco de todo corazón, sabes que siempre podrás contar conmigo, ah y no te librarás de mí tan fácilmente.

A Carolina Cao Romero por ser una excelente compañera y amiga desde que llegué hace cuatro años al laboratorio, por ayudarme, apoyarme, por aclararme mis dudas sobre equinodermos, por los

congresos, cursos y viajes compartidos, que espero que sean muchos más, por cierto ¿a donde será el próximo viaje Carito?, por las fiestas, reuniones, y salidas a comer, por poner tu casa cuando tenía ganas de organizar una fiesta, por escucharme durante mis frustraciones, apoyarme y aconsejarme, ¡Muchas gracias!

A Daniel Sánchez por ser mi parce, por hacerme reír hasta en los peores momentos, por tus ocurrencias, por los viajes y congresos compartidos, por las fiestas y reuniones, por acompañarme durante toda la maestría, por apoyarme siempre, muchas gracias.

A Quetzalli Hernández por brindarme tu bonita amistad, por tus consejos y bellas palabras que siempre tienes para mí, por las aventuras compartidas durante nuestros viajes a congresos, por impulsarme a perseguir mis sueños y a no rendirme nunca a pesar de las adversidades que se presenten, ¡muchas gracias!

A Francisco Solís Marín por ayudarme aún sin conocerme desde el primer día, por tu cariño, por tener siempre las palabras indicadas y nunca dejaste que me rindiera durante los momentos más difíciles los cuales tu siempre me acompañaste y demostraste tu apoyo y comprensión, por estar conmigo durante todo este proyecto, por ayudarme a aclarar mis dudas, por los jalones de orejas que eran necesarios para mejorar este trabajo, por los días de fiesta y baile, por confiar en mi cuando ni yo misma lo hacía, por ser un segundo padre y el mejor tutor que cualquiera quisiera tener, te quiero, admiro y respeto mucho, algún día quisiera ser como tú, recuerda que soy tú fan número.

A Magdalena De los Palos por ser tan linda conmigo siempre, por tu amistad, por confiar en mí, por las risas y buenos momentos compartidos y sobre todo por apoyarme durante este proceso.

A Osmar Sandino por brindarme tu amistad, confianza y cariño durante todo este tiempo, por los buenos momentos que compartimos, por los viajes, congresos y noches de baile, por siempre tener una sonrisa para mí y desearme lo mejor, muchas gracias hermanito, sabes que vos siempre puedes contar conmigo.

A Rocío Altamira por tenerme la confianza de preguntarme sobre tus dudas con los holoturoideos o cosas relacionadas con el laboratorio, por creer en mí y brindarme tu amistad, por nuestras largas charlas sobre nuestros amores platónicos, por las risas, por las reuniones, fiestas y conciertos compartidos, por apoyarme y ayudarme siempre ¡Muchas gracias! espero no te sonrojes al leer estas líneas.

A Itzel Contreras por su amistad, confianza y cariño brindado desde el día que la conocí, por apoyarme y animarme a seguir con la morfometría geométrica, a pesar que para ambas es algo completamente complejo no hemos desistido, por meterme en la cabeza la idea de estudiar turismo o relaciones internacionales por el simple hecho de pensar que hago amigos internacionales con facilidad.

A Axel Ordoñez por confiar en mí sobre consejos de moda, por tu gran personalidad que hace que todos los que te rodean se sientan como estrellas de cine, por tu amistad y compañía durante este tiempo, estoy segura que algún día haremos todos los viajes que tenemos planeados.

A Tayra Parada por brindarme su amistad, por los buenos momentos compartidos, viajes, congresos y reuniones, por apoyarme y sacrificar tu estadía en El Puma para cuidarme y esperar a que me recuperara, por ser mi melliza ¡muchas gracias!

A Noé Salgado por su amistad, ocurrencias, consejos y buenos momentos compartidos durante todo este tiempo.

A Alexandra Gualito por su amistad y compañía durante todos estos años, por los magníficos momentos compartidos en el laboratorio y durante los viajes a congresos.

A Andrea Mar y Paola Barreto por su valiosa amistad, por las tardes de café, las clases de baile, por apoyarme y confiar en mí ¡muchas gracias mis queridas colombianas!

A mis compañeros del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos: Carlos Conejeros muchas gracias por enseñarme a montar pedicelarios; Armando Sosa, Andrea Caballero, Carolina Cao-Romero, Quetzalli Hernández, Rebeca González, Brenda Esteban, Tayra Parada, Noé Salgado, Carolina Jacobson, Lupita Bribiesca, Tania Pineda, Francisco (Paco) Márquez, Ana Luna, Paola Aguilar, Daniel Sánchez, Julio Arriaga, Osmar Sandino, Alexandra Gualito, Axel Ordoñez, Félix, Magdalena De los Palos, Rocío Altamira, Itzel Contreras y Alexa Martínez gracias por su compañía durante estos años en el laboratorio, por sus buenas vibras, apoyo y ayuda, pero sobre todo por compartir su pasión por los Equinodermos ¡Muchas Gracias!

Al INVEMAR por darme la oportunidad de realizar una estancia en el Museo Makuriwa para revisar su colección de Equinodermos de Colombia, muchas gracias.

A todos mis amigos, a los que conocí durante la maestría, estancias, congresos y cursos muchas gracias por brindarme su amistad, cariño, por sus consejos, porras, palabras de aliento, por animarme siempre, por compartir momentos inolvidables, deseo visitarlos a todos muy pronto ¡los quiero!

“Se triunfa con lo que se aprende” Coco Chanel

“Si quieres vivir una vida feliz, áatala a una meta,  
no a una persona o un objeto” Albert Einstein

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1 Clase Echinoidea.....	13
1.2 Morfología y caracteres taxonómicos.....	13
1.2.1 Pedicelarios .....	14
1.2.2 Esferidios .....	18
1.3 Familia Echinothuriidae.....	19
1.4 Familia Phormosomatidae .....	20
1.5 Morfometría Geométrica .....	20
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>23</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>28</b>
4.1 Objetivo General.....	28
4.1.1 Objetivos Particulares.....	28
<b>5. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>29</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
6.1 Trabajo de Gabinete.....	32
6.2 Trabajo de Laboratorio.....	33
6.2.1 Microscopía Electrónica de Barrido.....	33
6.3 Análisis morfométrico .....	34
6.3.1 MONTAJE DEL ARCHIVO DE IMÁGENES (TPSUNLIL).....	35
6.3.2 Escalamiento de imágenes (TPSDig2) .....	35
6.3.3 Digitalización de landmarks (TPSDig2).....	36
<b>7. RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
7.1 Listado sistemático.....	37
<b>7.2 GUÍA ILUSTRADA DE LAS ESPECIES DE LA FAMILIAS ECHINOTHURIIDAE WYVILLE THOMSON 1872 Y PHORMOSOMATIDAE MORTENSEN, 1934 DEL GOLFO DE MÉXICO</b> .....	<b>38</b>
Familia Echinothuriidae Thomson, 1872 .....	38
Género Araeosoma Mortensen, 1903 .....	38
Araeosoma belli Mortensen, 1903 .....	39
Araeosoma fenestratum (Thomson, 1872) .....	44
Género Hygrosoma Mortensen, 1903 .....	50
Hygrosoma petersii (A. Agassiz, 1880).....	50
Familia Phormosomatidae Mortensen, 1934.....	56
Género Phormosoma Thomson, 1872.....	56
Phormosoma placenta Thomson, 1872.....	57
<b>7.3 CARACTERES DIAGNÓSTICOS</b> .....	<b>62</b>

7.4 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO.....	65
7.5 CLAVES TAXONÓMICAS.....	70
7.5.1 CLAVE TAXONÓMICA PARA LAS FAMILIAS DEL ORDEN ECHINOTHUROIDA CLAUS, 1880 DEL GOLFO DE MÉXICO.....	70
7.5.2 CLAVE TAXONÓMICA PARA LOS GÉNEROS DE LA FAMILIA ECHINOTHURIIDAE THOMSON, 1872 DEL GOLFO DE MÉXICO.....	70
7.5.3 CLAVE TAXONÓMICA PARA LAS ESPECIES DE GÉNERO <i>ARAEOSOMA</i> MORTENSEN, 1903 DEL GOLFO DE MÉXICO.....	71
7.5.4 CLAVE TAXONÓMICA PARA LAS ESPECIES DEL GÉNERO <i>HYGROSOMA</i> MORTENSEN, 1903 DEL GOLFO DE MÉXICO.....	72
7.5.6 CLAVE TAXONÓMICA PARA LOS GÉNEROS DE LA FAMILIA PHORMOSOMATIDAE MORTENSEN, 1934 DEL GOLFO DE MÉXICO.....	72
7.6.7 CLAVE TAXONÓMICA PARA LAS ESPECIES DEL GÉNERO <i>PHORMOSOMA</i> THOMSON, 1872 DEL GOLFO DE MÉXICO.....	73
7.6 GUÍA FOTOGRÁFICA DE PEDICELARIOS.....	74
8. DISCUSIÓN.....	98
9. CONCLUSIONES.....	104
10. LITERATURA CITADA.....	105
ANEXO I.....	114



## RESUMEN

Las investigaciones en aguas profundas del Golfo de México han contribuido al incremento en el número de especies reportadas para la zona. En el presente trabajo se revisó el elenco taxonómico de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae (Echinodermata: Echinoidea) distribuidas en las aguas mexicanas del Golfo de México que se encuentra depositado en la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) "Dra. María Elena Caso Muñoz" del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Además de definir nuevos caracteres diagnósticos para la identificación de las especies de las familias; y se realizó una comparación morfológica intraespecífica de los pedicelarios. Como resultado se presentan cuatro especies de equinotúridos reportadas para las aguas mexicanas del Golfo de México, *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880) y *Phormosoma placenta* Thomson, 1872. Se proponen tres nuevos caracteres para distinguir entre las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae; la forma de los pedicelarios, de los esferidios y de las espinas orales. El análisis morfométrico nos muestra que los pedicelarios tridentados y trifoliados de los ejemplares de las cuatro especies de equinotúridos presentan variaciones morfológicas, dependiendo de la profundidad a la que fueron colectados. Se presentan claves taxonómicas, que ofrecen una forma rápida de determinar a las familias, géneros y especies de equinotúridos habitantes del Golfo de México, así como una guía fotográfica de pedicelarios de las cuatro especies de equinotúridos a diferentes intervalos de profundidad.



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Clase Echinoidea

La clase Echinoidea, perteneciente al phylum Echinodermata, constituye un grupo de invertebrados marinos, deuterostomados, representados por organismos que comúnmente son conocidos como erizos, galletas, bizcochos de mar y erizos cordiformes; habitan todos los ambientes marinos, desde los polos hasta el Ecuador y desde las zonas intercontinentales hasta profundidades superiores a los 5,000 m. Existen alrededor de 900 especies de equinoideos descritas actualmente (Pawson, 2007); además el grupo tiene un amplio registro fósil que se remonta desde hace unos 450 millones de años, a principios del período Ordovícico tardío (Smith y Kroh, 2011).

## 1.2 Morfología y caracteres taxonómicos

Una de las características principales que distingue a los equinoideos de las demás clases de equinodermos, es que presentan una forma esférica u ovalada y el cuerpo adopta un aspecto globoso o aplanado según el eje oral-aboral. El aplastamiento y fusión de los osículos esqueléticos forman un esqueleto compacto denominado testa o caparazón, el cual puede tener diferentes morfologías, definiendo la separación artificial entre erizos “regulares” (testa esférica y simetría radial pentámera) y erizos “irregulares” (testa más aplanada y simetría bilateral secundaria). En la mayoría de los erizos de mar, la boca incluye la linterna de Aristóteles constituida por cinco dientes fuertes y afilados, los cuales conforman una estructura para cortar o raspar algas y fanerógamas que utilizan como alimento. Esta actividad alimentaria provoca junto con el movimiento de sus espinas una acción erosionadora, favoreciendo la formación de grietas y huecos (Borrero-Pérez *et al.*, 2012).



La superficie de la testa está cubierta por numerosos tubérculos que sostienen las espinas, las cuales son estructuras calcáreas que varían en forma y función, y son usadas para la locomoción, protección, excavación, el rompimiento de la fuerza de las olas y ayudan a generar corrientes que facilitan la excreción, respiración y alimentación del organismo (Hyman, 1955; Nichols, 1969). Además de las espinas, la testa está provista de pequeños apéndices: pedicelarios y esferidios (Smith y Kroh, 2011).

### **1.2.1 Pedicelarios**

Los pedicelarios son pequeños apéndices 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, la protección de depredadores y de organismos parásitos. Desde hace tiempo (Mortensen, 1907) se sabe que los pedicelarios y las espículas son muy importantes y específicas para el reconocimiento de los géneros y especies dentro de la clase Echinoidea; Mortensen (1940) consideró que los pedicelarios son un carácter taxonómico muy estable y con menos variantes dentro de los distintos tipos de especies, por lo que dichas estructuras son útiles en la identificación de especies similares o que comúnmente son confundidas (Mortensen, 1903, 1940; Coppard y Cambell, 2006).

Los pedicelarios fueron descubiertos hace mucho tiempo, por J. Baster en 1762; O. F. Müller (1806) fue el siguiente en observar con mayor detalle varios tipos de pedicelarios, pero extrañamente los consideraban parásitos, e incluso Cuvier y Lamarck subrayaron esta opinión. Valentín (1842) dio una descripción detallada de los pedicelarios y estableció la terminología de sus diversos tipos que en general se ha conservado hasta el presente. Mortensen (1903) y Döderlein (1906) examinaron los pedicelarios de diversos grupos de erizos de mar y establecieron la gran importancia taxonómica de su estructura (D'yakonov, 1969).



La estructura de los pedicelarios está compuesta por tres partes: el tallo o pedúnculo, el cuello (que puede estar conformado por un cuello interno de calcio o sólo por una membrana que une al tallo con la cabeza, específicamente en la sección articular) y la cabeza, que está constituida en su mayoría por tres valvas con una forma específica y pueden presentar o no glándulas de veneno; las valvas son generalmente convexas en la superficie exterior y cóncavas en el interior, formando así, una depresión más o menos profunda; en cada valva se puede distinguir una parte proximal y una parte distal. La base de la parte proximal suele llevar costillas transversales y forma la superficie articular por medio de la cual las valvas vecinas se articulan entre sí; la parte proximal está dividida en dos por un septo longitudinal, la apófisis, que es perpendicular al plano general de la valva (D'yakonov, 1969).

Dependiendo de la forma de las valvas, los pedicelarios se clasifican en cuatro tipos: globíferos, trifoliados tridentados y oficéfalos. Todos los tipos de pedicelarios pueden estar presentes en un solo organismo y su disposición sobre la testa está íntimamente relacionada a su forma y función; la movilidad de los pedicelarios es independiente de las espinas o de los podios del organismo y reaccionan por estímulos mecánicos y químicos (Mortensen, 1903; Coppard *et al.*, 2010). Existe una variante de pedicelario de tipo globífero, que es llamado “dactilus” (dactiloide), que sólo se encuentra en la familia Echinothuriidae (Hyman, 1955).

Los pedicelarios globíferos son los más especializados, tienen glándulas venenosas y valvas con terminación en garras o dientes, diseñadas para perforar la piel de los depredadores e inyectar su veneno. En especies epifaunales los pedicelarios globíferos predominan alrededor de la superficie aboral, algunas veces en altas densidades, proporcionando una primera línea de defensa contra otros invertebrados como las estrellas de mar (Coppard *et al.*, 2010).

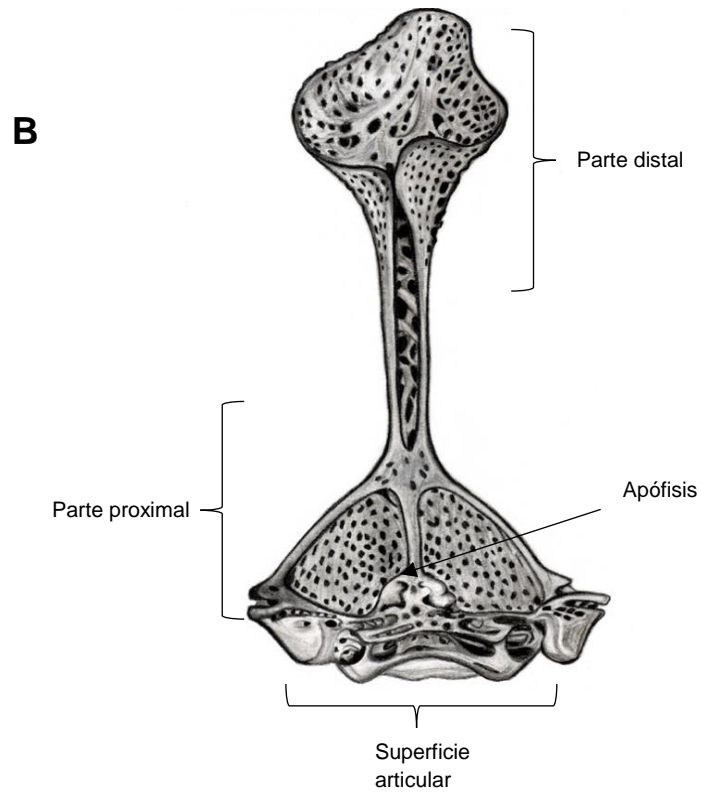
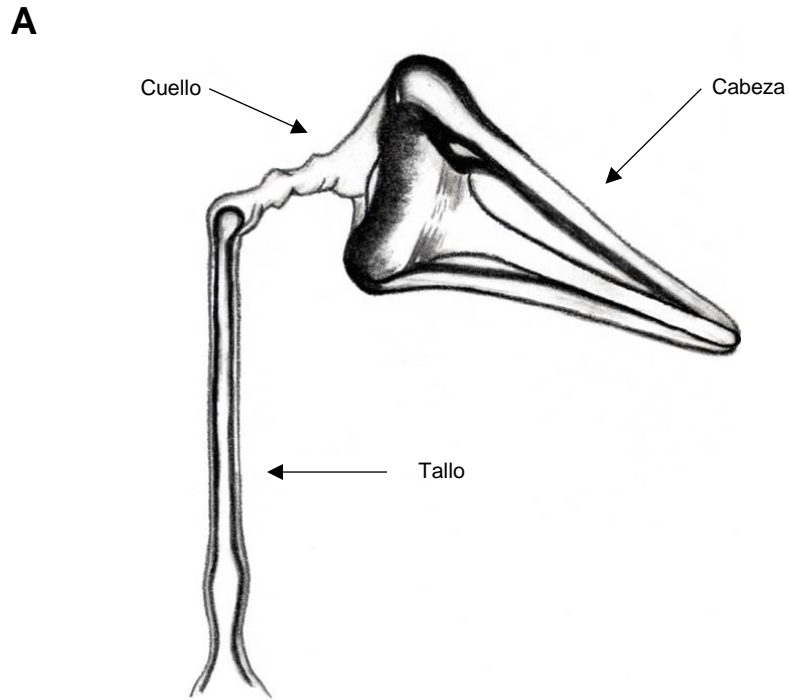


Figura 1. **A.** Anatomía de un pedicelario, formado por una cabeza, un cuello y un tallo. **B.** Partes de una valva de un pedicelario. Dibujos de Romina Guerrero-Correa.



En equinoideos infaunales, particularmente los organismos que excavan en arena fangosa, los pedicelarios globíferos se encuentran en grandes cantidades alrededor de la boca, peristoma y hacia la parte posterior del ambulacro oral, cerca del periprocto (aberturas vulnerables sobre la testa) como defensa contra nemátodos, poliquetos, otros parásitos y depredadores más pequeños (Coppard *et al.*, 2010).

Los pedicelarios oficéfalos poseen tres valvas dentadas, cortas y anchas. Este tipo de pedicelarios tienen función de limpieza y defensa; son utilizados para atrapar pequeños organismos que se desplazan, como en el caso de los ectoparásitos, evitando que se asienten sobre la testa (Coppard y Campbell, 2006; Coppard *et al.*, 2010); mientras que los pedicelarios oficéfalos claviformes (en forma de bastón) presentan glándulas grandes que rodean al pedúnculo, carecen de valvas y liberan sustancias químicas sobre la superficie de la testa para repeler organismos incrustantes (Coppard y Campbell, 2006).

Los pedicelarios trifoliados son los más pequeños, y se distinguen fácilmente de todos los demás pedicelarios por el tamaño pequeño y por la estrecha valva de la parte proximal (que es casi siempre marcadamente más estrecha que la distal; además la parte proximal, junto con la apófisis del pedicelario trifoliado lleva siempre un cuello largo). Se cree que su función es limpiar la placa bacteriana y partículas pequeñas del epitelio de la testa, que pueden ser perjudiciales para los equinoideos (Coppard y Campbell, 2006).

En las familias Cidariidae, Saleniidae y Arbaciidae no se encuentran pedicelarios trifoliados, mientras que en todas las demás familias están a menudo en grandes cantidades (D'yakonov, 1969).

Los pedicelarios tridentados son los de mayor tamaño. Las valvas son grandes y presentan dientes en su periferia, la cabeza del pedicelario está soportada por un cuello muscular, el cual permite el libre movimiento de la cabeza en todas las direcciones; las valvas pueden ser angostas, amplias o espatuladas con diversos grados de denticulación. Se distribuyen en toda la testa, los que poseen valvas más largas y angostas se ubican en la zona aboral



y los que tienen valvas más anchas se ubican en la zona oral. Los pedicelarios tridentados permiten remover partículas grandes de la testa, realizando así la función de limpieza con capacidad defensiva limitada, en particular en la prevención de la fijación de organismos incrustantes (Coppard y Cambell, 2006; Coppard *et al.*, 2010).

Otro tipo de pedicelario es el rostrado, el cual se ha propuesto como una subdivisión del tipo tridentado por algunos autores (Mortensen, 1927; Campbell y Jensen, 1993); tiene forma de linterna, las valvas tienen dientes y están muy curvadas, al parecer, su función es de “agarrar”, ya que la curvatura de las valvas sugiere que pueden agarrar y sujetar organismos con más fuerza que los pedicelarios tridentados con valvas rectas (Coppard *et al.*, 2010).

Y por último existe un tipo muy peculiar de pedicelarios llamado dactilus, este tipo de pedicelarios se encuentra únicamente en el género *Araeosoma* de la familia Echinothuriidae y puede ser una variante (modificación) del tipo globífero, ya que posee sacos de veneno, consta de cuatro o cinco valvas largas y estrechas, coronadas por una expansión terminal disciforme.

### **1.2.2 Esferidios**

Los esferidios son pequeñas estructuras de forma esférica, calcárea o de apariencia vidriosa, que a menudo se describen como espinas modificadas; estas estructuras se localizan junto a los poros de los pies ambulacrales, y se les atribuye la función de ser los encargados de la parte sensorial y del equilibrio de ciertas especies de equinoideos (Hyman, 1955). Lovén (1874) reconoció estos órganos peculiares en los equinoideos, los consideraba órganos de los sentidos y los llamó *Sphéridies* (esferidios). Se encuentran en todos los erizos excepto en los de la familia Cidariidae.

La estructura de los esferidios comprende un cuerpo globular, muy pequeño, con un pedúnculo muy corto articulado con un mamelón de la testa. El pedúnculo está formado por



tejido calcáreo articulado, mientras que la esfera se hace en gran parte de una sustancia vítrea muy dura, dispuesta en capas concéntricas muy delgadas. El tejido reticulado del pedúnculo generalmente continúa en el interior del glóbulo vítreo y completamente alrededor de su base. Externamente el esferidio está cubierto con una capa muy fina de tejido conectivo cubierto por un epitelio ciliado.

Los esferidios se agrupan principalmente alrededor de la boca y sólo se encuentran en el área ambulacral, ocupando una posición constante en las primeras placas peristomiales. En los erizos regulares los esferidios son más numerosos y se disponen alternativamente en las dos hileras de placas de las áreas ambulacrales, generalmente muy próximas a la sutura. Lovén (1874) pensaba que estos órganos pequeños debían ser órganos de los sentidos, probablemente funcionando para percibir la naturaleza de las sustancias mantenidas en suspensión en el agua circundante y así guiar al animal en la búsqueda de alimento (Koehler, 1883).

### **1.3 Familia Echinothuriidae**

Está distribuida en aguas profundas (> 200m) (Mortensen, 1935) y sus representantes presentan características morfológicas semejantes, exhibiendo una coloración vistosa y portando un tipo de pedicelario muy peculiar llamado dactilus (dactiloide). Esta familia se caracteriza por presentar una testa baja, aplanada y muy flexible, dos series de interambulacros y ambulacros (algunos géneros tienen las placas ambulacrales compuestas por lo que se observan más series en el ambulacro), los pares de poros son uniseriados o pluriseriados, cada placa ocular y genital con un poro; espinas finamente estriadas, huecas y fácilmente quebradizas, las espinas primarias que se encuentran sobre el lado oral de la testa, son cortas, suelen ser lisas, suelen estar equipadas con una cabeza terminal que se ensancha; usualmente terminan en un casco blanco (hialino); las espinas más pequeñas (las secundarias y miliarias) son extremadamente puntiagudas y están





cubiertas con una envoltura membranosa; presentan tubérculos perforados y no crenulados, los orificios branquiales usualmente son pequeños o pueden estar ausentes. Se incluyen en esta familia nueve géneros: *Araeosoma* Mortensen, 1903; *Asthenosoma* Grube, 1868; *Calveriosoma* Mortensen, 1934; *Echinothuria* Woodward, 1863; *Hapalosoma* Mortensen, 1903; *Hygrosoma* Mortensen, 1903; *Retzneiosoma* Kroh, 2005; *Sperosoma* Koehler, 1897 y *Tromikosoma* Mortensen, 1903 (Kroh, 2012).

#### **1.4 Familia Phormosomatidae**

Esta familia está distribuida en aguas profundas, y se caracteriza por presentar una testa calcificada con el fin de mantener la forma; las espinas primarias en el lado actinal son rectas, con forma de mazo y están cubiertas por una gruesa bolsa de piel. Los tubérculos primarios del lado oral tienen areolas muy grandes, profundamente hundidas, dando al lado bucal de la testa una apariencia de panal, en marcado contraste con el lado aboral, donde no están hundidas ninguna de las areolas. Presentan una franja visible de espinas delgadas (pequeños tubérculos) a lo largo del borde de la testa. Semiplacas de ambulacros en el lado oral, alcanzando el borde del área, en el lado aboral ocluidas. Tienen pedicelarios tridentados y trifoliados. Esferidios en ambas placas ambulacrales en el lado oral. Esta familia incluye tres géneros: *Hemiphormosoma* Mortensen, 1934; *Paraphormosoma* Mortensen, 1934 y *Phormosoma* Thomson, 1872.

#### **1.5 Morfometría Geométrica**

En sus comienzos la morfología se centró en la descripción de la estructura observada; tejidos, células, órganos, dimensiones, formas, etcétera. Las comparaciones entre grupos o poblaciones de sus dimensiones lineales y la forma era considerada una cualidad de la estructura (Toro *et al.*, 2010).



Con el objetivo de describir patrones de variación morfológicos intra e intergrupales, se comenzó a utilizar análisis estadísticos multivariados, análisis de componentes principales, de variables canónicas, función discriminante a grupos de variables cuantitativas. Este enfoque es actualmente conocido en biometría como “morfometría tradicional” o “morfometría multivariada” (Marcus, 1990; Rohlf y Marcus, 1993; Adams *et al.*, 2004).

El término “morfometría” se utiliza de manera más amplia, abarcando estudios basados en el análisis estadístico univariado de datos lineales de estructuras macro y microscópicas (Zuccarelli, 2004; Wahl *et al.*, 2009). Desde entonces, en biometría la definición del concepto de “forma” se ha modificado y precisado; Kendall (1977) propone la definición fundamental sobre la que se basa la morfometría geométrica (Kendall, 1977): “forma es toda la información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de un objeto”.

La morfometría tradicional nos provee herramientas limitadas, debido a que el tamaño como dato numérico es la base de su análisis, sin considerar la geometría del objeto. El efecto del tamaño ha sido un tema de preocupación tanto en morfometría tradicional como en morfometría geométrica. En morfometría tradicional, y debido a la alta correlación de las variables lineales con el tamaño, múltiples métodos de corrección fueron propuestos con el fin de dejar de lado el efecto del tamaño y así extraer variables capaces de describir la forma “pura” en inglés “shape”, que la diferencia del término “form” referente a la forma “total” del objeto (Jungers *et al.*, 1995).

Otro gran problema asociado a los datos en morfometría tradicional es que la definición de las variables en muchos casos, no se daba de acuerdo a un criterio de homología sino que se definían como “largo máximo” o “ancho mínimo”. El criterio de homología biológica presente en morfometría geométrica, otorga restricciones en la elección de aquellos puntos que entregan la información respecto a la forma de un organismo, de manera de obtener



resultados que permitan realizar inferencias respecto a la misma. Estas restricciones buscan disminuir el efecto del error de medición (Zelditch *et al.*, 2004).

La aplicación de la estadística multivariada al estudio de la covariación de la forma con sus factores casuales dio un gran paso con el uso de datos multidimensionales que logran capturar la geometría de la estructura; esto significa que la forma del objeto en estudio no se describe en términos de sus dimensiones, sino de la relación espacial entre sus partes, lo que permite la visualización de los cambios morfológicos (Toro *et al.*, 2010). La morfometría geométrica nos puede señalar a posteriori, tanto estadística como visualmente, qué región o estructura está siendo afectada por el factor en cuestión y cómo está siendo afectada. Por ello, el análisis con morfometría geométrica permite realizar interpretaciones de alto significado biológico, de las diferencias entre individuos, poblaciones, etcétera (Toro *et al.*, 2010).

La geometría de la estructura se puede capturar como contornos o “landmaks”, lo que lleva a distintos métodos de análisis pero que básicamente, siguen tres pasos esenciales: 1) obtención de los datos, 2) obtención de la información que describe la forma pura o “shape” y 3) análisis exploratorios y confirmatorios de covariación de la forma con factores casuales.



## 2. ANTECEDENTES

La diversidad de equinodermos del Golfo de México es considerable. El conocimiento de la misma se ha logrado gracias a los estudios realizados en diversas áreas y hábitats, lo cual ha dado lugar a inventarios que representan una invaluable información fundamental para todo tipo de estudios. El inicio de los estudios en el Golfo de México, data del siglo antepasado (1841) casi todos los trabajos realizados se refieren a colectas en aguas litorales y unos cuantos se refieren a equinodermos recolectados en expediciones oceanográficas (Laguarda-Figueras *et al.*, 2005). Se han efectuado importantes contribuciones sobre la taxonomía de los equinoideos del Golfo de México, Clark (1954) y Serafy (1979) recopilan las contribuciones de exploraciones previas realizadas por investigadores como Pourtalés y Agassiz, entre otros, generando como antecedentes un listado de 71 especies de equinoideos para esta zona. Este listado fue posteriormente retomado y analizado por Serafy (1979) quien consideró específicamente para la zona de estudio a 58 especies; sin embargo, en su trabajo incluye claves de identificación para 90, de las cuales sólo 25 fueron obtenidas durante el desarrollo del crucero de investigación "Hourglass", mismas que se presentaron con su diagnosis, descripción, datos sobre afinidad al sustrato, distribución, dieta, crecimiento, reproducción y dinámica poblacional (Serafy, 1979). Sólo hasta la primera mitad del siglo XX surgió interés específico por el estudio de los equinodermos en México, siendo la Dra. María Elena Caso Muñoz (Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México) la precursora en su investigación. En relación al estudio de los equinoideos, el aporte de investigadores mexicanos data desde el año 1948, con el reporte de las especies *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758), *Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816) y *Encope michelini* L. Agassiz, 1841, para la costa de Veracruz elaborado por Caso (1971), donde efectuó un estudio morfológico descriptivo del erizo de profundidad *Brissopsis alta* Mortensen, 1907. Caso,



también estudió la distribución y abundancia de los equinoideos *Arbacia punctulata* (Lamarck, 1816), *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) y *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) en la Laguna de Términos, Campeche (Caso, 1979).

Hasta el día de hoy para el Golfo de México se tienen reportadas 59 especies de equinoideos, de las cuales 30 especies (52%) están presentes en aguas profundas superiores a 200 m (Solís-Marín *et al.*, 2013).

Se conoce como “mar profundo” a la región marina ubicada a más de 200 m de profundidad; la ausencia de luz es el factor ambiental que determina el límite de esta región al comienzo del talud continental (Escobar-Briones, 2000). El mar profundo es el hábitat sedimentario más grande, consistente en sedimentos finos fangosos y arcillas suaves (Gray, 2002). La profundidad máxima del Golfo de México se alcanza en la planicie Sigsbee con 3,900 m y la profundidad máxima del Pacífico Mexicano y del Golfo de California no excede los 3,000 m (Solís-Marín *et al.*, 2014). A profundidades de más de 3000 m la llanura abisal experimenta extremos de temperatura, presión y oscuridad con la excepción de la bioluminiscencia; a pesar de las condiciones extremas, la exploración betónica en aguas profundas ha dado como resultado altas tasas de nuevas especies que indican una alta biodiversidad (Fiege *et al.*, 2010). Los primeros registros de equinodermos de aguas profundas colectados en los mares territoriales mexicanos fueron obtenidos por los buques de investigación *Challenger* y *Albatross* en el siglo XIX.

Nuestro conocimiento de la diversidad del mar profundo en aguas mexicanas se limita a los escasos estudios existentes; por lo tanto, el número de especies descritas es incipiente y los registros taxonómicos que existen provienen en su mayoría de estudios realizados por extranjeros, con los cuales es posible conjuntar algunas listas faunísticas (Escobar-Briones, 2000).



Algunos estudios realizados de la familia Echinothuriidae se basan en listados taxonómicos donde se reportan algunas especies para el Golfo de México como el realizado en el 2005 por Durán-González y colaboradores, en donde reportan a tres especies: *Araeosoma belli* Mortensen, 1903; *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872); *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880); y a *Phormosoma placenta* de la familia Phormosomatidae. Pawson y colaboradores (2015) reportan a *Phormosoma placenta*, en su trabajo de equinoideos y holoturias de aguas profundas cerca de filtraciones frías y comunidades de coral en el norte del Golfo de México (Pawson *et al.*, 2015). Anderson (2016), realizó una revisión taxonómica de los equinotúridos reportados para Nueva Zelanda y Australia, en donde describió una nueva especie de *Tromikosoma*. Con respecto a estudios realizados con pedicelarios, se han realizado diversos trabajos, como el de Oldfield (1975) en donde describe a los pedicelarios globíferos de *Psammechinus miliaris* (Müller, 1771); Hilgers y Splechtna (1976) quienes hicieron un análisis estructural y funcional de pedicelarios oficéfalos de los erizos *Sphaerechinus granularis* (Lamarck, 1816), *Echinus acutus* Lamarck, 1816, y *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816), en donde con ayuda de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), describieron la función de los músculos y las estructuras que conforman al pedicelario.

Coppard y colaboradores (2010) realizaron un estudio acerca de la evolución de los pedicelarios en equinoideos, en donde muestran como los pedicelarios han desarrollado diferentes estructuras para funciones más eficientes (Coppard *et al.*, 2010). Juárez-Espinoza y colaboradores (2015), emplearon a las microestructuras como pedicelarios y espículas presentes en *Astropyga pulvinata* (Lamarck, 1816) con el fin de corroborar la identificación de esta especie y actualizar los bosquejos de Mortensen (1940) con imágenes en MEB (Juárez-Espinoza *et al.*, 2015). Brosseau y Eléaume (2001) realizaron un análisis morfométrico de pedicelarios de *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845) para estimar la



variabilidad morfológica de pedicelarios en esta especie y cuestionar la fiabilidad de los pedicelarios como caracteres discriminantes para la taxonomía.

Por lo anterior, es importante conocer a las especies de equinoideos que se distribuyen en las zonas profundas de México; en este caso, a las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae del Golfo de México, al mismo tiempo de definir los caracteres diagnósticos que ayuden a identificar a tales especies; además de utilizar la morfología de los pedicelarios como herramienta en la identificación o corroboración de especies de dichas familias. Y posteriormente, analizar con ayuda de morfometría geométrica si la profundidad es un factor determinante en la variación morfológica de los diferentes tipos de pedicelarios que poseen las especies de la familia Echinothuriidae y Phormosomatidae.



### 3. JUSTIFICACIÓN

Los equinoideos de aguas profundas de México han sido poco estudiados por investigadores mexicanos (Caso, 1946; Laguarda-Figueras, 2005; Honey-Escandón, 2008; Massin y Hendrickx, 2010; Massin y Hendricks, 2011; Hendrickx *et al.*, 2011; Hendrickx, 2012; Solís-Marín *et al.*, 2014) y el número de especies descritas es bajo (Solís-Marín *et al.*, 2014). Ya que se conoce muy poco de la fauna de Echinoidea de profundidad, y dado que el grupo de Echinothurioida es un orden característico de profundidad, se justifica el interés de estudiar y revisar los ejemplares de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae del Golfo de México, que se encuentran depositados en la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) “Dra. María Elena Caso Muñoz” del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ya que dichas familias presenta problemas taxonómicos de fuertes consecuencias sistemáticas (p.e. mala identificación del grupo, subestimación del número de especies). Actualmente, la CNE posee cuatro especies reportadas para el Golfo de México, dichas especies presentan características morfológicas muy semejantes y esto causa confusión en su identificación. Por ello es necesario proponer los caracteres diagnósticos para definir las dentro de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae. En este trabajo, se evaluará el uso de la morfología de los pedicelarios como herramientas de identificación taxonómicas, como fue sugerido previamente por Mortensen (1940) por ser caracteres menos variantes en la morfología de las especies. Con este trabajo se espera contribuir al conocimiento taxonómico de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae distribuidas en las aguas profundas del Golfo de México.





## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

- Revisar el elenco taxonómico de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae (Echinodermata: Echinoidea) distribuidas en las aguas mexicanas del Golfo de México que se encuentra depositado en la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) “Dra. María Elena Caso Muñoz” del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

#### 4.1.1 Objetivos Particulares

1. Definir los caracteres diagnósticos para la identificación de las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae que habitan en el Golfo de México, haciendo énfasis en el uso de los pedicelarios como herramienta taxonómica.
2. Realizar una comparación morfológica intraespecífica de los pedicelarios, dependiendo de los diferentes intervalos batimétricos en los que habite la especie.
3. Elaborar una clave taxonómica especializada para la identificación de los equinoideos de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae del Golfo de México.
4. Elaborar una guía fotográfica con los diferentes tipos de pedicelarios que ayude a la identificación de los equinoideos de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae habitantes del Golfo de México.



## 5. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de México es una cuenca aislada del mar Caribe por un umbral con profundidad aproximada de 2,500 m y que se extiende en un área total de 1,768,000 km<sup>2</sup>. El fondo de la cuenca oceánica se presenta como una gran estructura concéntrica y escalonada, en cuyo núcleo o centro se encuentra la Fosa de Sigsbee, que es la llanura abisal que constituye el nivel geomorfológico más profundo registrado a partir de la isobata de los 3,600 m. Este nivel, por otro lado, constituye el límite perimetral formado por el contacto que separa la base de la rampa del talud continental de la planicie abisal (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino, 2006). En su porción norte pertenece a la zona económica exclusiva de Estados Unidos donde la plataforma continental está ampliamente desarrollada; sin embargo, dentro del territorio mexicano es muy estrecha, con la excepción de la península de Yucatán (Pica *et al.*, 1991). Existen varias provincias fisiográficas que representan grandes conjuntos morfoestructurales profundos que se desplazan del fondo oceánico y así se identifican de acuerdo con la siguiente relación: la provincia de domos salinos submarinos, localizada al norte del Golfo, frente a la costa de Texas; mientras que por el flanco oeste, se ubica un patrón fisiográfico con un estilo tectónico de compresión, que origina una extensa serie de plegamientos nombrados “pliegues del mexicano” (Pica *et al.*, 1991). Los ejes orográficos de este conjunto de plegamientos se orientan con rumbo generalizado noreste-suroeste y cubren la zona dispuesta junto al frente del talud de la plataforma continental de Tamaulipas y Veracruz. Al sur y sureste de la porción central del Golfo se localiza la provincia de domos salinos submarinos pertenecientes a la cuenca salina del istmo, se caracterizan por estar deformados debido a una tectónica de carácter transgresivo que se expresa con un relieve de cañones o valles submarinos profundos. La provincia correspondiente a la Fosa tectónica de Veracruz separa a las anteriores provincias, se localiza frente a la costa y plataforma continental de la Sierra Volcánica de



los Tuxtlas y consiste en una depresión que se proyecta con una dirección suroeste-noreste hasta conectarse directamente con la Fosa de Sigsbee. La porción nororiental limita al norte con los depósitos de la base del frente deltaico del sistema fluvio marino del Mississippi, al oriente se extiende la planicie abisal de Sigsbee hasta el límite del talud continental de Florida, y al sur con la escarpa de Yucatán que consiste en un talud continental con terrazas escalonadas, para después descender de forma abrupta en el perfil inferior (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino, 2006). La estructura geológica del subsuelo de la plataforma continental está constituida por una serie de cuencas de sedimentaciones marginales y/o deltaicas del Cenozoico, formadas por sedimentos terrígenos y marinos. Las capas tienen un rumbo generalizado norte-sur con un marcado engrosamiento o espesor hacia el oriente, con una acumulación de sedimentos costeros, cuya línea costera se fue desplazando hacia el mar, con profundidad creciente en ese sentido (Benavides, 1956).

La circulación está relacionada con la influencia de las aguas cálidas y salinas que entran a través del estrecho de Yucatán y salen por el estrecho de Florida; parte del agua que penetra por el canal de Yucatán se devuelve por contracorrientes. De acuerdo con Lankford (1977), tres tipos de régimen de oleaje tienen lugar en el Golfo de México y mar Caribe: olas y marejadas de tormenta asociadas con ciclones tropicales, olas y marejadas de tormenta con frentes fríos conocidos en México como “nortes”, olas y marejadas generadas dentro del límite de la tirada de viento en la superficie del golfo (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino, 2006). A su paso por la cuenca del golfo, un volumen del agua de la corriente, forma anillos que se desplazan al interior, los cuales tienen una circulación anticiclónica e influyen en las aguas salinas adyacentes generando movimientos en sentido opuesto, constituyéndose remolinos ciclónicos. El resto del agua continúa su viaje hacia el estrecho de Florida formando un meandro, este comportamiento configura una franja ligeramente plegada hacia el este a manera de un cordón o lazo, de donde proviene el nombre de “Corriente de Lazo” (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino, 2006).



Los vientos dominantes son las oleadas o rachas constantes de los alisios que provienen del sector nororiental durante todo el año, generando olas con períodos típicos de entre cinco y siete segundos, cuyas crestas oscilan alrededor de 1.5 m de altura. De esta forma, el oleaje incide predominantemente del este-noreste con una frecuencia de un poco más del 60% del total anual. Los litorales del Golfo de México son zonas amplias consideradas potencialmente ricas en recursos bióticos que a través de los años han sido explotadas y en algunos casos sobreexplotadas (Pica *et al.*, 1991).

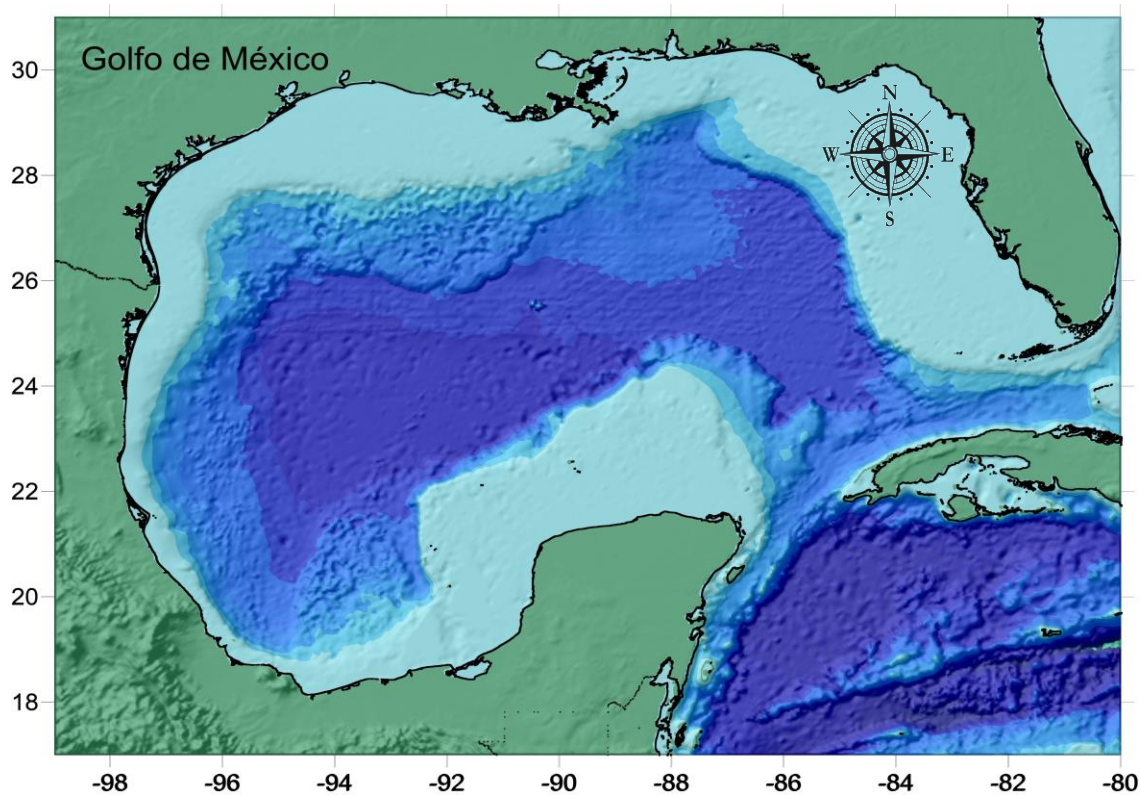


Figura 2. Mapa del área de estudio: Golfo de México.



## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Trabajo de Gabinete

Se revisó la base de datos de la Clase Echinoidea de la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) “Dra. Ma. Elena Caso Muñoz” (ICML-UNAM) con el fin de obtener la información necesaria sobre los representantes de la familias Echinothuriidae y Phormosomatidae que habitan el Golfo de México. También se consultaron las separatas de la Biblioteca de Equinodermos del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos (LSEE), (ICML-UNAM), y bases de datos en internet, World Register of Marine Species (WoRMS) y Biodiversity Heritage Library (BHL), recopilando toda la bibliografía especializada de la clase Echinoidea y de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae para posteriormente realizar la búsqueda de las descripciones taxonómicas originales, además de literatura especializada en las especies de equinoideos registrados para el área de estudio.

En las colecciones científicas extranjeras se buscaron los registros de especímenes depositados en el National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, (USNM), Washington D.C., U.S.A.; y en el Museum of Comparative Zoology, Harvard University (MZC), Boston M.A., U.S.A., así mismo, se realizó una consulta en la base de datos con la que cuenta cada institución, donde se localizaron los especímenes depositados pertenecientes a la serie tipo de cada especie.

Para la elaboración de la guía fotográfica de pedicelarios, como una herramienta futura en la identificación de los equinoideos de la familia Echinothuriidae y Phormosomatidae, se tomaron en cuenta todas las descripciones de los cuatro tipos de pedicelarios realizadas por diferentes autores (p.e. Mortensen, 1940; Hyman, 1955; Smith y Kroh, 2011; Coppard y Cambell, 2006; Coppard *et al.*, 2010). Según fue el caso, las diagnosis se modificaron de



la especie en cuestión, y en caso de que no se contaba con ella se buscaba una redescrición u otra publicación en donde se hacía referencia a la descripción original. Para cada especie se buscó en la literatura la información sobre su distribución batimétrica y geográfica, tanto en el Golfo de México como a nivel mundial.

## **6.2 Trabajo de Laboratorio**

Se revisaron los ejemplares de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae del Golfo de México que se encontraban depositados en la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) “Dra. María Elena Caso Muñoz”, se utilizó un microscopio estereoscópico OLYMPUS SZ5, para definir los caracteres diagnósticos de las familias, y elaborar claves taxonómicas especializadas para la identificación de los equinoideos de las familias, haciendo énfasis en la morfología de los pedicelarios.

### **6.2.1 Microscopía Electrónica de Barrido**

Con el fin de observar las posibles variaciones morfológicas en los pedicelarios, y la elaboración de la guía fotográfica se tomaron fotografías en Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se extrajeron manualmente los pedicelarios de la testa de los ejemplares, con ayuda de un microscopio estereoscópico y de una pinza con punta fina; los pedicelarios se tomaron por la base del tallo con las pinzas y se colocaron en un portaobjetos excavado, previamente se le añadió una o dos gotas de agua. Posteriormente, los pedicelarios se sumergen en hipoclorito de sodio (cloro comercial) durante aproximadamente un minuto, se revisó periódicamente en el microscopio que el tejido que rodea a las estructuras se degradara por completo y queden expuestas sus partes internas.



- El hipoclorito de sodio sobrante se decanta y se hicieron lavados con agua corriente para eliminar los restos. Después, se realizó un lavado con alcohol al 70% (preparado con agua destilada) para preservar las estructuras, el alcohol se decantó y las estructuras se dejaron secar expuestos al aire.
- Una vez secas todas las muestras, se realizó el montaje, se colocó una lámina adherente de carbón sobre una base metálica, con ayuda de un pincel de una sola cerda se colocaron las estructuras según la posición en que se necesitaron tomar las fotografías, se consideró poner las valvas de manera que se pudieron fotografiar la superficie oral, aboral y lateral.
- Las muestras se recubrieron con oro, la base metálica con la muestra se colocó en un ionizador Quorum Q15OR ES (20  $\mu\text{m}$  de deposición, durante 2 min aproximadamente).
- Las sesiones de toma de fotografías de los pedicelarios, se llevaron a cabo en el Laboratorio de “Microscopía de la Biodiversidad I” del Instituto de Biología (IB) de la UNAM, mediante un microscopio electrónico de barrido modelo S-24460N HITACHI y en el Laboratorio de “Microscopía Electrónica” del ICML, UNAM.

Posteriormente se realizó un análisis morfométrico, utilizando las fotografías de MEB con el programa Morpho J 1.06d, el paquete de IMP 8 (CoordGen 8), TPS Dig, TPS untitled, para analizar si existían variaciones morfológicas en los pedicelarios.

### **6.3 Análisis morfométrico**

En el programa MakeFan8 se cargaron todas las fotos, con este programa se marcaron “abanicos”, “peines” y “círculos”, herramientas utilizadas para crear la configuración de puntos (*landmarks*) que se utilizaron en el análisis morfométrico. Es importante señalar que dependiendo el tipo de pedicelario, la configuración de puntos es diferente, ya que la forma



varía, por lo cual se utilizan diferentes clases de peines, abanicos y círculos, varía el número de líneas y la posición en la que son colocados en la foto. Uno de los criterios utilizados es que para todas las fotos se debe de seguir la misma configuración, es decir se deben de colocar los abanicos, peines y círculos siempre en la misma posición, con el mismo número de líneas para todas las fotos, siempre y cuando se trate del mismo tipo de pedicelario. Después de tener la configuración en cada foto, esta se guardó en formato Tif, para posteriormente seguir con el análisis en el siguiente programa.

### **6.3.1 Montaje del archivo de imágenes (TPSUntil)**

El paso antes de empezar con los análisis consistió en crear un archivo para almacenar los datos que se obtuvieron a partir de las imágenes, este nuevo archivo tuvo el formato TPS.

### **6.3.2 Escalamiento de imágenes (TPSDig2)**

El factor de escala fue guardado para cada individuo en el mismo archivo creado en el paso anterior, antes de empezar a escalar las imágenes conviene tener “restaurado” el TPSDig luego:

➤ *Options > Image Tools > Measure > Scale factor (asignar) > Set Scale \* > OK*

\*Con el cursor señalamos el comienzo y el final de la escala, este procedimiento se repitió con cada imagen para el caso en el que la distancia focal no sea la misma en todas las imágenes. Cuando la distancia focal es la misma se utilizó el facto de escala de la primera imagen para todas las demás.





### 6.3.3 Digitalización de landmarks (TPSDig2)

Aquí empieza la toma de datos en la que se registra un conjunto de puntos morfométricos/landmarks en forma de coordenadas cartesianas; idealmente los puntos deben encontrarse equidistantes o bien aumentar su densidad en aquellas zonas donde la curvatura del contorno sufra cambios más bruscos, cuidando de no sobrecargar de coordenadas el contorno a fin de no generar información redundante (Rohlf, 1990).

Los puntos digitalizados son ajustados con funciones *ad-hoc* como las armónicas del análisis de Fourier y finalmente, los coeficientes de las funciones se utilizan como componentes de la forma, los que conducen al análisis confirmatorio utilizando la estadística multivariada estándar (Rohlf, 1990).



## 7. RESULTADOS

Se revisaron un total de 900 ejemplares colectados para las costas del Golfo de México, cuyas áreas de recolección abarcaron desde Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán. Todos los organismos fueron depositados en la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) “María Elena Caso Muñoz” del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Una vez revisados los ejemplares se obtuvieron un total de cuatro especies de equinotúridos de dos familias del orden Echinothuriidae, tres especies pertenecen a la familia Echinothuriidae y una especie a la familia Phormosomaridae.

### 7.1 Listado sistemático

#### Clase Echinoidea

Orden Echinothuriidae Claus, 1880

#### Familia Echinothuriidae Wyville-Thomson, 1872

##### Género *Araeosoma* Mortensen, 1903

*Araeosoma belli* Mortensen, 1903

*Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872)

##### Género *Hygrosoma* Mortensen, 1903

*Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880)

#### Familia Phormosomatidae Mortensen, 1934

##### Género *Phormosoma* Thomson, 1872

*Phormosoma placenta* Thomson, 1872.



## 7.2 Guía ilustrada de las especies de la familias Echinothuriidae Wyville Thomson 1872 y Phormosomatidae Mortensen, 1934 del Golfo de México

### Familia Echinothuriidae Thomson, 1872

**Diagnosis** (Modificada de Thomson, 1872): Testa deprimida y flexibe por el conjunto de placas ambulacrales e interambulacrales dispuestas en filas imbricadas; placas interambulacrales anchas, geniculadas; el margen del peristoma es completo y la membrana peristomial está cubierta de placas imbricadas, a través del cual continúan las series de pares de poros y pies ambulacrales hasta el borde de la boca; tubérculos primarios perforados y no crenulados. Espinas con terminación en un casco hialino.

### Género *Araeosoma* Mortensen, 1903

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen, 1903): Las espinas primarias en el lado oral son curvas que terminan en un pequeño casco blanco hialino; las espinas primarias forman una serie a lo largo del margen exterior de las áreas interambulacrales, especialmente en el lado oral hacia el *ambitus*; tubérculos primarios grandes, presentan areolas pequeñas. Los pies ambulacrales en tres series densas. Pedicelarios tridentados, trifoliados y dactiloides (dactilus).



## ***Araeosoma belli* Mortensen, 1903**

(Láminas 1 y 2)

*Asthenosoma hystix* A. Agassiz, 1874: 3; 1880: 74.

*Araeosoma belli* Mortensen, 1903: 54-55; A. Agassiz & H. L. Clark, 1909: 188; Mortensen, 1910: 17; H. L. Clark, 1925: 60.

*Asthenosoma belli* Lambert & Thiéry, 1909: 159.

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen, 1935): La forma de la testa es baja, la circunferencia es redonda pentagonal. Placas oculares grandes, prolongación membranosa en las placas genitales; la madreporita no está por encima de las placas periproctales adyacentes. Las placas ambulacrales del lado oral son menos numerosas y más altas; el par de poros de la placa primaria se encuentran en la parte superior de la placa; tuberculación marcadamente convexa en una serie de tubérculos interambulacrales primarios. Pedicelarios tridentados y trifoliados.

**Descripción:** La testa es evidentemente baja, aplanada y muy flexible; el disco apical monocíclico, con placas oculares y genitales formando un círculo, los gonoporos se abren en la región membranosa fuera de las placas genitales, que pueden ser compuestas; la madreporita es grande, suele estar cerca de las placas periproctales adyacentes, los pares de poros de las placas primarias ambulacrales se ubican en el borde proximal dispuestos en tres series. Las series de tubérculos interambulacrales primarios en la línea media presentan una disposición marcadamente convexa. En el área ambulacral hay dos series de tubérculos primarios, el resto de las placas, en ambas áreas están densamente cubiertas de espinas miliares y unas pocas espinas secundarias pequeñas. La disposición de las espinas miliares y secundarias es prácticamente la misma en el lado abactinal, con la excepción de los tubérculos primarios que son más pequeños. Las espinas orales terminan en un casco blanco hialino en forma de cono expandido, solo se observaron unas pocas espinas con este casco, ya que por el tipo de recolección y preservación del material



(arrastres con red tipo camaronera) la mayoría de las espinas orales se rompieron; las secciones de las espinas muestran un fuerte desarrollo reticular estando presente en las espinas orales; presentan esferidios con forma globular, planos de la parte superior con pequeñas prolongaciones con forma de picos, estos se localizan cerca del par de poros en el área ambulacral. Presentan pedicelarios tridentados grandes, la parte de articulación de la valva es ancha, junto con la apófisis, la parte proximal es recta, y la parte distal termina en forma de cuchara sin dentición, estos pedicelarios se localizan por toda la testa, en mayor cantidad en la zona oral, y cerca de del periprocto y la boca; también presentan pedicelarios trifoliados, estos son pequeños, de valva alargada, con la base de la parte distal cerrada a manera de un tubo y la sección superior de la parte distal es ampliada en forma de embudo, se localizan sobre toda la testa, en mayor número en el *ambitus* y cerca de la boca.

**Coloración:** Color violeta más o menos intenso (Mortensen, 1910); los ejemplares depositados en la CNE presentan un color amarillento, quizá por estar preservados en alcohol etílico al 70%.

**Material examinado:** 2 ejemplares (Ver anexo I)

**Distribución batimétrica:** De 130 a 1,020 m (Pawson *et al.*, 2009).

**Distribución geográfica:** Florida, golfo de México, México, Cuba, República Dominicana, Nicaragua, Colombia y Venezuela (Mortensen, 1910; Pawson *et al.*, 2009; Alvarado y Solís-Marín, 2013).

**Observaciones:** No se encontraron pedicelarios dactiloides (dactilus) en los ejemplares revisados.



Lámina 1. *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, ICML-UNAM 4.145.1, A) Vista oral, B) Vista aboral.

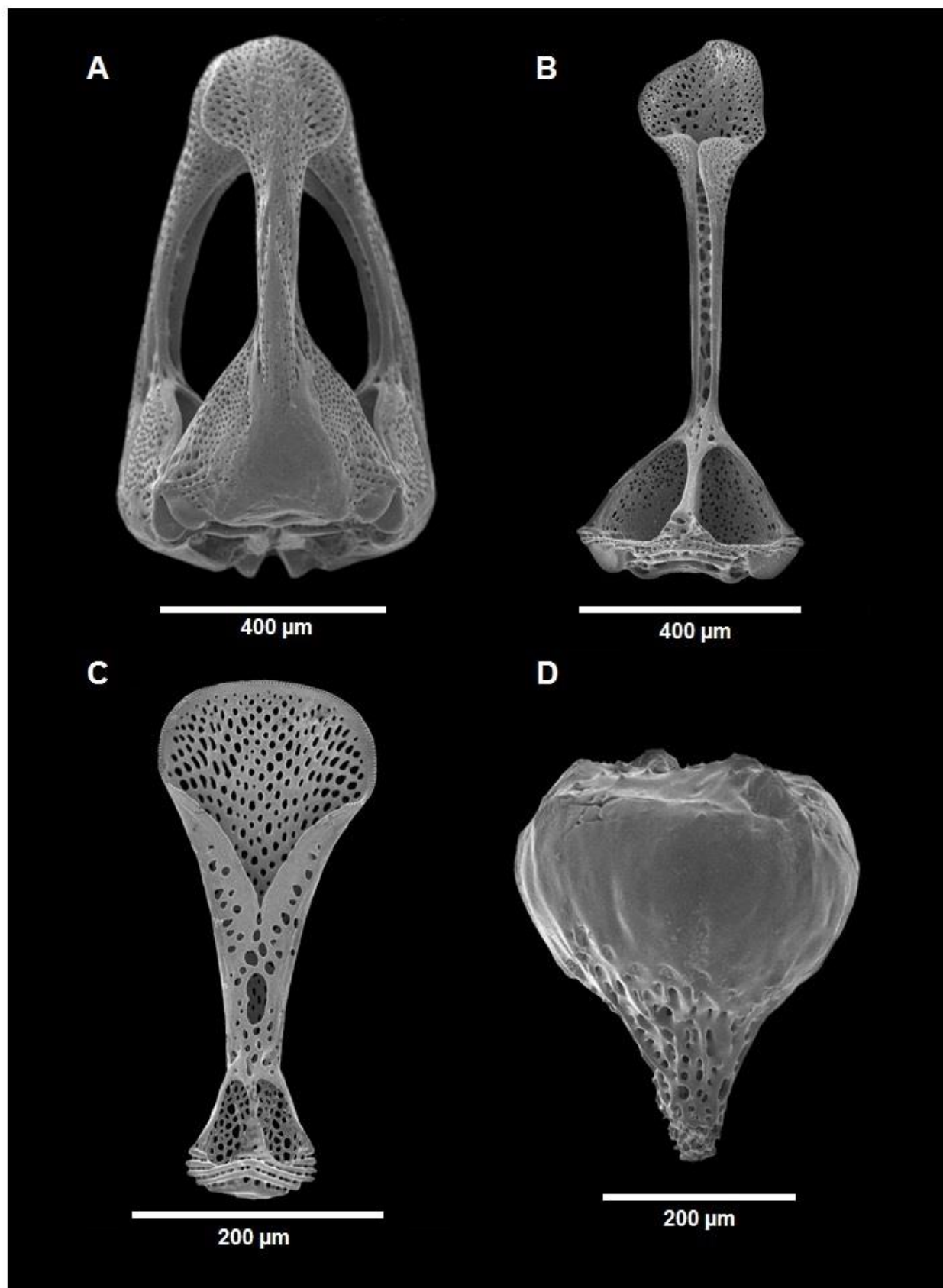


Lámina 2. *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, ICML-UNAM 4.145.1. A) Cabeza de pedicelario tridentado, B) Valva de pedicelario tridentado, C) Valva de pedicelario trifoliado, D) Esferidio.

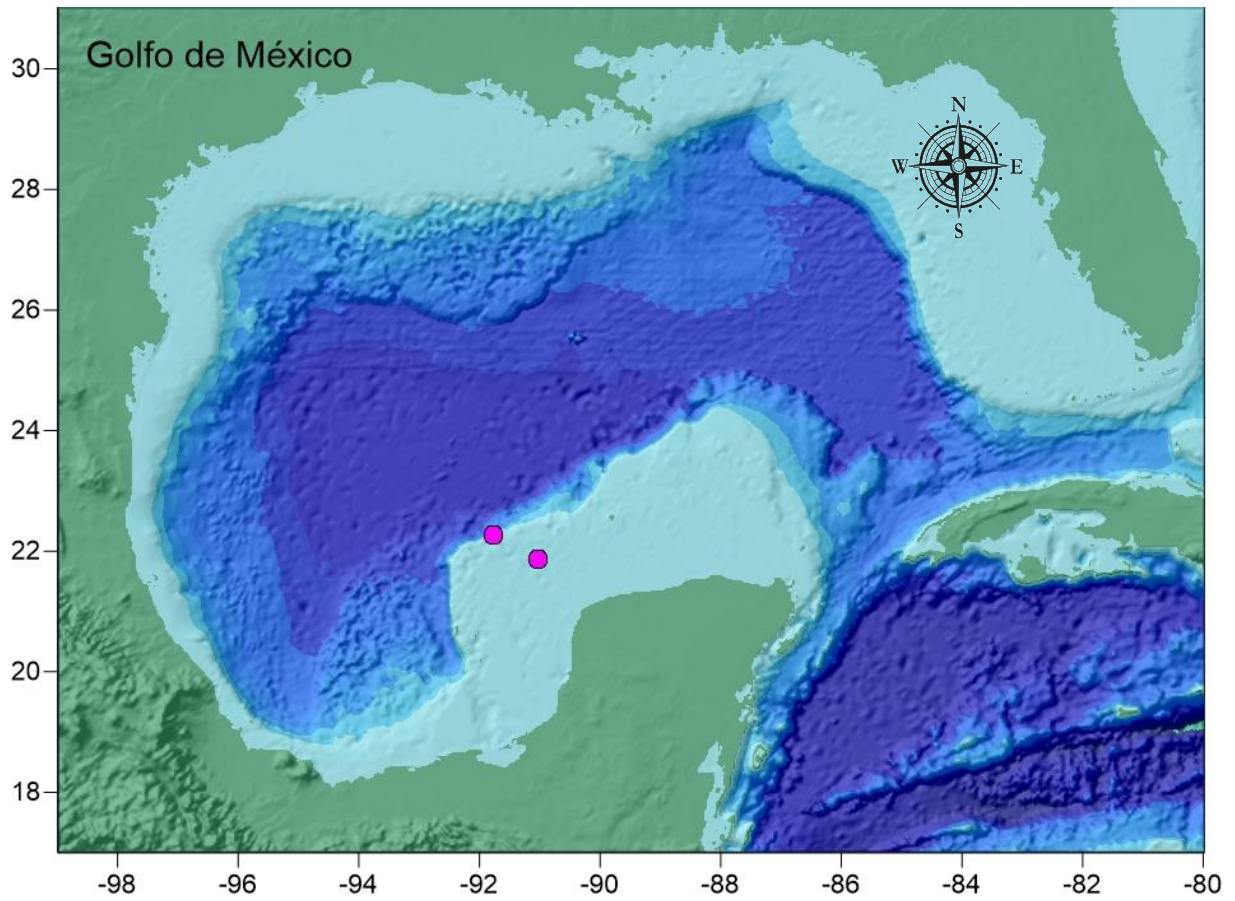


Figura 3. Mapa de distribución en las aguas mexicanas del Golfo de México de *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, con base en los ejemplares revisados, depositados en la Colección Nacional de Equinodermos " Dra. María Elena Caso Muñoz" ICML-UNAM.





## ***Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872)**

(Láminas 3 y 4)

*Calveria fenestrata* Wyv. Thomson, 1872: 494; 1873: 159; 1874: 741.

*Asthenosoma reynoldsii* A. Agassiz, 1880:75.

*Asthenosoma fenestratum* A. Agassiz, 1881: 210; Lambert & Thiéry, 1909: 159.

*Asthenosoma hystrix* A. Agassiz, 1883: 29; Kemp, 1905: 196.

*Araeosoma fenestratum* Mortensen, 1903: 52, 64, 72, 175; Döderlein, 1905: 377; A. Agassiz & H. L. Clark, 1909:190; Mortensen, 1910:18; Farran, 1913: 55; H. L. Clark, 1925: 20; Mortensen, 1927: 283.

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen, 1903): Placas coronales grandes, con una prominente fila vertical de tubérculos primarios en el borde exterior de la zona interambulacral en el lado aboral; las espinas primarias del lado oral son pequeñas, cortas, delgadas y ligeramente curvas que terminan en un casco amplio; en el lado aboral forman una fila vertical que se extiende a mitad de camino en el sistema apical cerca del borde exterior de las zonas interambulacrales, el resto de la testa está cubierta por pequeñas espinas secundarias; los pares de poros de las placas primarias ambulacrales de la parte oral se ubican cerca al borde distal. Presenta pedicelarios tridentados y trifoliados.

**Descripción:** Testa baja, flexible y plana, de forma redondeada o ligeramente pentagonal. Las placas genitales se caracterizan por presentar prolongaciones membranosas más o menos conspicuas; las placas oculares son más grandes y frecuentemente están en contacto con las placas genitales. Las placas periproctales no son muy numerosas, de 10-13 placas, pueden estar separadas por espacios membranosos o en contacto unas con otras. Madreporita moderadamente grande y no dividida. El peristoma está formado por placas planas y numerosas sin espacios membranosos. *Ambitus* redondeado; tubérculos ambulacrales primarios dispuestos en series regulares sobre la placa primaria ambulacral, aunque en ocasiones se observan sobre las placas secundarias o terciarias; el desarrollo y la forma son similares tanto en la superficie oral como en la aboral, siendo en ocasiones más numerosos en la superficie aboral. En la superficie oral la disposición de los pares de



poros de las placas primarias se aproxima al borde distal de la placa, mientras que en el área aboral se localizan hacia la parte proximal de la placa. Las series de tubérculos primarios interambulacrales de la región oral se disponen de manera muy regular a lo largo del área y divergen al llegar al *ambitus*; cerca del *ambitus* aparecen algunos tubérculos intermedios, los cuales continúan en series regulares hasta el sistema apical. Los tubérculos aborales son tan grandes como los de la superficie oral y no disminuyen en tamaño a lo largo de las series. Los tubérculos secundarios son escasos y se encuentran organizados principalmente en líneas horizontales simples a través de cada placa. El peristoma está formado por placas planas y numerosas, sin espacios membranosos. Espinas primarias grandes con terminación de forma cónica (un casco blanco, que no se pudo observar en la espina, ya que la mayoría de las espinas están rotas); las espinas aborales son de puntas romas. Esferidios globulares alargados en forma de bate o mazo, localizados a lo largo de la testa, en las zonas ambulacrales, dispuestos en pares. Presentan pedicelarios tridentados con diferentes formas de valvas, el primer tipo que presentan es la denominada valva lingulada (linguiforme) la cual se caracteriza por un borde casi recto o ligeramente cóncavo desde la base de la misma valva hasta su ápice redondeado; la siguiente forma de valva es la escapular, caracterizada por una constricción más o menos fuerte en el límite entre las secciones proximal y distal; y por último está la valva en forma de cuchara, en donde la parte distal es amplia y los pedicelarios trifoliados que presentan tienen la valva característica de los equinotúridos, la cual es alargada, con la base de la parte distal cerrada en un tubo y la sección superior de la parte distal ampliada en forma de embudo, cabe mencionar que estos pedicelarios son los más pequeños de los cuatro tipos de pedicelarios, se encuentran por toda la testa y se cree que tienen la función de erradicar de la testa gran variedad de partículas orgánicas e inorgánicas que caen sobre ella o sus espinas.



**Coloración:** Diez bandas púrpuras anchas se irradian desde el polo apical, dando una coloración intensa hacia el centro y disminuyendo gradualmente hacia el *ambitus*. Región oral de color gris con espinas de extremos blancos (Mortensen, 1935).

**Material Tipo:** Sintipo MCZ 885 (Downey, 1968)

**Localidad Tipo:** Se desconoce

**Material examinado:** 37 ejemplares (Ver anexo 1)

**Distribución batimétrica:** Entre los 160 y 1,180 m (Pawson *et al.*, 2009).

**Distribución geográfica:** Océano Atlántico Norte, Florida, golfo de México, Cuba, República Dominicana y Colombia (Mortensen, 1935; Borrero-Pérez *et al.*, 2002; Herrera-Moreno y Betancourt-Fernández, 2004; Pawson *et al.*, 2009).

**Observaciones:** No se encontraron pedicelarios dactiloides (*dactilus*); el color de los ejemplares revisados es café claro y en algunos otros de color amarillo.



Lámina 3. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 4.75.8. A) Vista oral, B) Vista aboral.

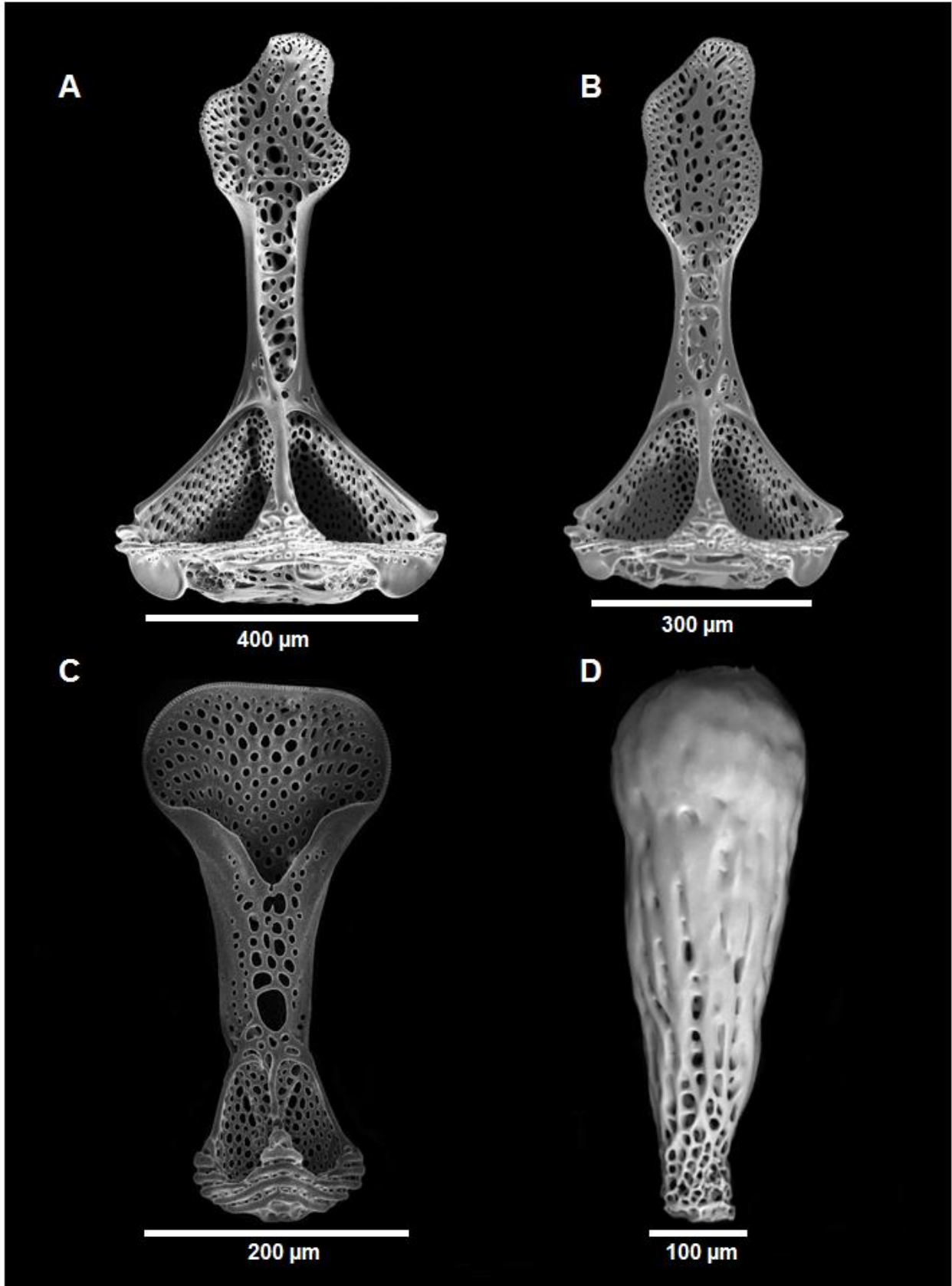


Lámina 4. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 4.75.9. A) Valva de pedicelario tridentado, B) Valva de pedicelario tridentado, C) Valva de pedicelario trifoliado, D) Esferidium

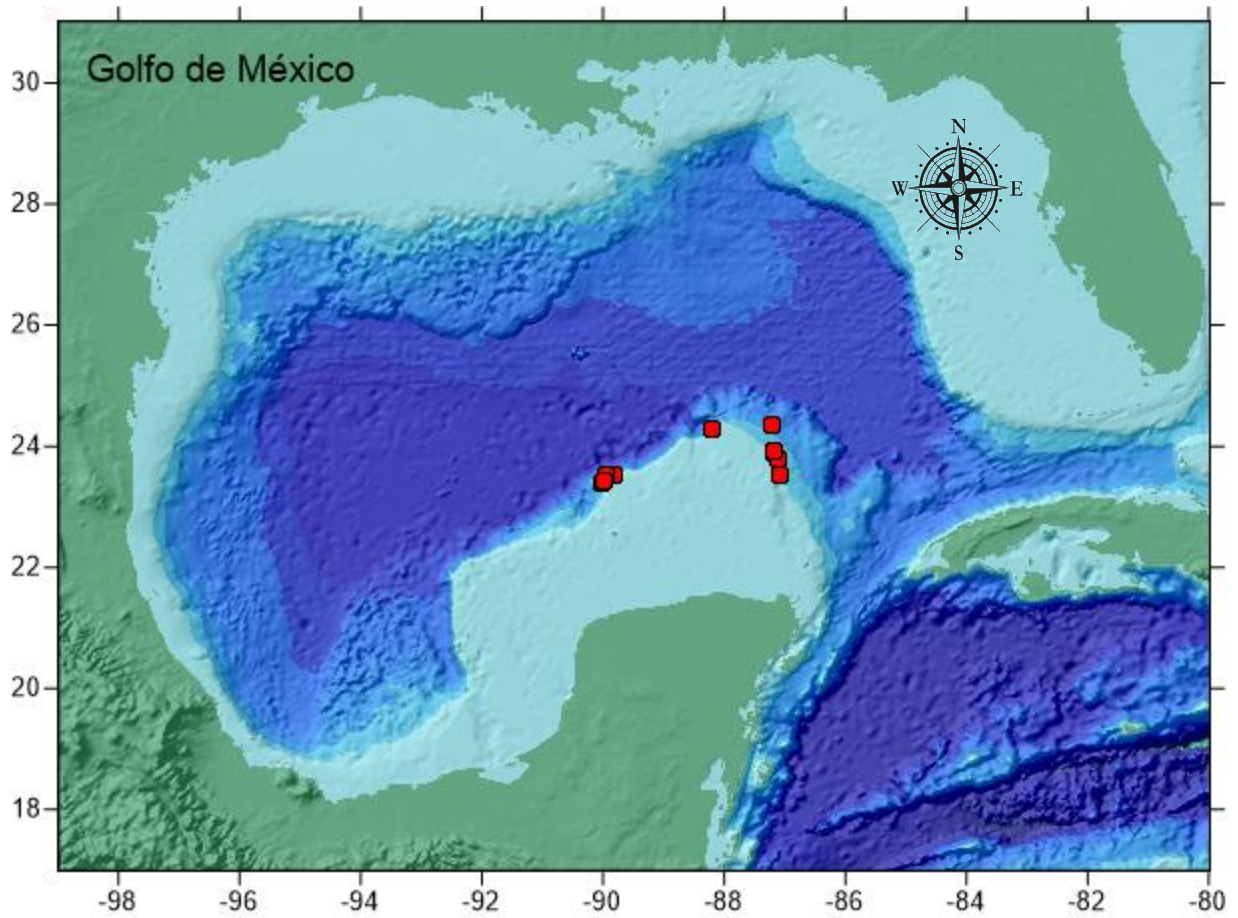


Figura 4. Mapa de distribución en las aguas mexicanas del Golfo de México de *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), con base en los ejemplares revisados, depositados en la Colección Nacional de Equinodermos " Dra. María Elena Caso Muñoz" ICML-UNAM.



## Género *Hygrosoma* Mortensen, 1903

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen, 1903): Las espinas primarias en el lado oral son curvas, con un casco grande blanco; se encuentran dispersas cerca del *ambitus*; areolas grandes; los pies ambulacrales están dispuestos en una serie casi regular en el lado oral. Pedicelarios tridentados y trifoliados. Los tridentados presentan una forma altamente involucionada; la punta se ensancha en forma de cuchara, y su borde es recto.

### *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880)

(Láminas 5 y 6)

*Phormosoma petersii* A. Agassiz, 1880: 76; Lambert & Thiéry, 1909: 161.

*Phormosoma uranus* A. Agassiz, 1883: 35; Sladen, 1891: 701; Bernard, 1895: 208; Koehler, 1898:10; Nichols, 1902: 259; Kemp, 1905: 197.

*Phormosoma luculentum* Koehler, 1895: 224; 1896: 92.

*Hygrosoma petersii* Mortensen, 1903: 170; Koehler, 1909: 217; Grieg, 1921: 41; Mortensen, 1927: 27.

*Echinosoma petersii* Agassiz & Clark, 1909: 169; H. L. Clark, 1923: 375; 1924: 5; 1925: 57.

*Echinosoma luculentus* Bonnet, 1926: 276.

*Hygrosoma uranus* Nobre, 1930: 109.

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen 1935): Testa baja, placas periproctales bien desarrolladas; las placas genitales con una prolongación membranosa; tubérculos primarios muy desarrollados; par de poros muy rudimentarios Espinas grandes un poco curvadas; esferidios presentes en el *ambitus*; los tubérculos secundarios en el *ambitus* no son particularmente numerosos o visibles. Pedicelarios tridentados y trifoliados.

**Descripción:** Testa baja hemiesférica, el lado oral es casi plano, aunque ligeramente redondeado hacia el *ambitus*; el sistema apical tiene las placas periproctales bien desarrolladas, estas no están separadas por espacios membranosos; las placas genitales y placas oculares están muy bien formados, las primeras son muy notables, aunque no son



muy grandes, presentan una prolongación membranosa en la que se localiza el poro genital. La madreporita se ensanchó sobre las placas periproctales vecinas, rara vez sobre la placa ocular, esto es muy notable en ejemplares grandes, en los ejemplares pequeños es muy difícil de observar. En ejemplares grandes se encuentra una serie de grandes tubérculos en el ambulacro, mientras que en ejemplares pequeños los ambulacros sólo tienen las dos series de tubérculos regulares convergentes habituales; areolas grandes. Los tubérculos secundarios en el *ambitus* no son numerosos. En el lado oral el par de poros de la placa primaria son simples, mucho menos desarrollado que el de las placas secundarias; el lado aboral el par de poros de la placa primaria se coloca un poco fuera de la placa secundaria externa, formando así los poros, usualmente los poros son ligeramente más pequeños. Las espinas primarias se curvan al final como un palo de hockey. Esferidios globulares lisos, se localizan en el ambulacro, cerca de los pies ambulacrales y se extienden desde el borde del peristoma hacia el *ambitus*, son numerosos e incluso en torno a la superficie aboral al periprocto. Presentan pedicelarios tridentados, la valva tiene forma de cuchara, ya que se amplía la parte distal. Los pedicelarios trifoliados presentan valvas alargadas, con la base de la parte distal cerrada en un tubo y la sección superior de la parte distal ampliada en forma de embudo, forma característica de los equinotúridos.

**Coloración:** Color magenta brillante (Agassiz, 1880); violeta oscuro con espinas y pies ambulacrales más oscuros que la testa (Grieg, 1921; Mortensen, 1935).

**Material Tipo:** MCZ 938 (Downey, 1968)

**Localidad Tipo:** Sudoeste desde Cape Maysi, Cuba (Downey, 1968)

**Material examinado:** 23 ejemplares (Ver anexo I)

**Distribución batimétrica:** Entre los 200 y 3,700 m (Turner y Graham, 2003).



**Distribución geográfica:** Océano Atlántico Norte, Irlanda, Senegal, Azores, golfo de Vizcaya, Sudáfrica, Marruecos, golfo de México, Mar Caribe, Haití (Mortensen, 1935).

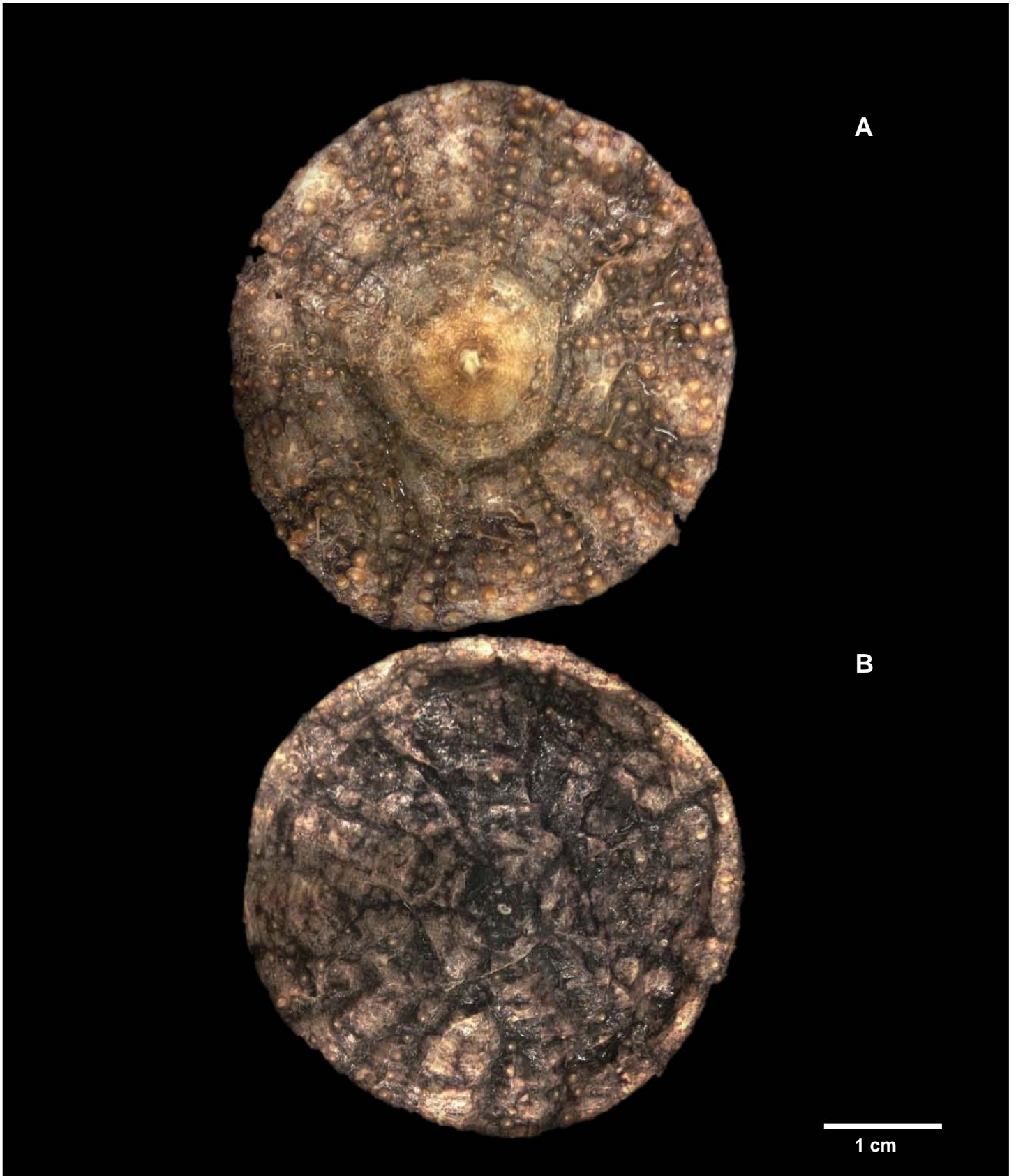


Lámina 5. *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), ICML-UNAM 4.127.4. A) Vista oral, B) Vista aboral.

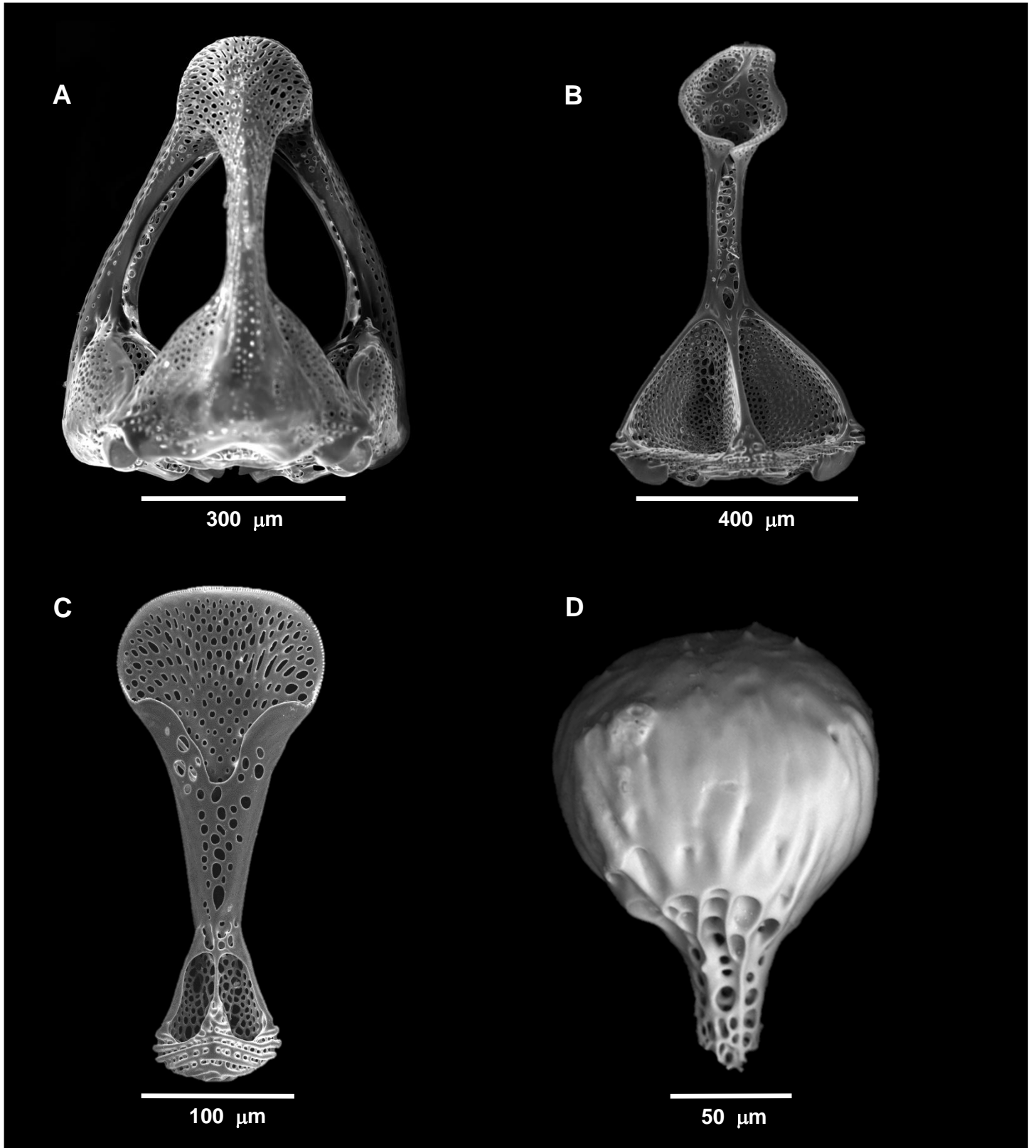


Lámina 6. *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), ICML-UNAM 4.127.3. A) Cabeza de pedicelario tridentado, B) Valva de pedicelario tridentado, C) Valva de pedicelario trifoliado, D) Esferidium.

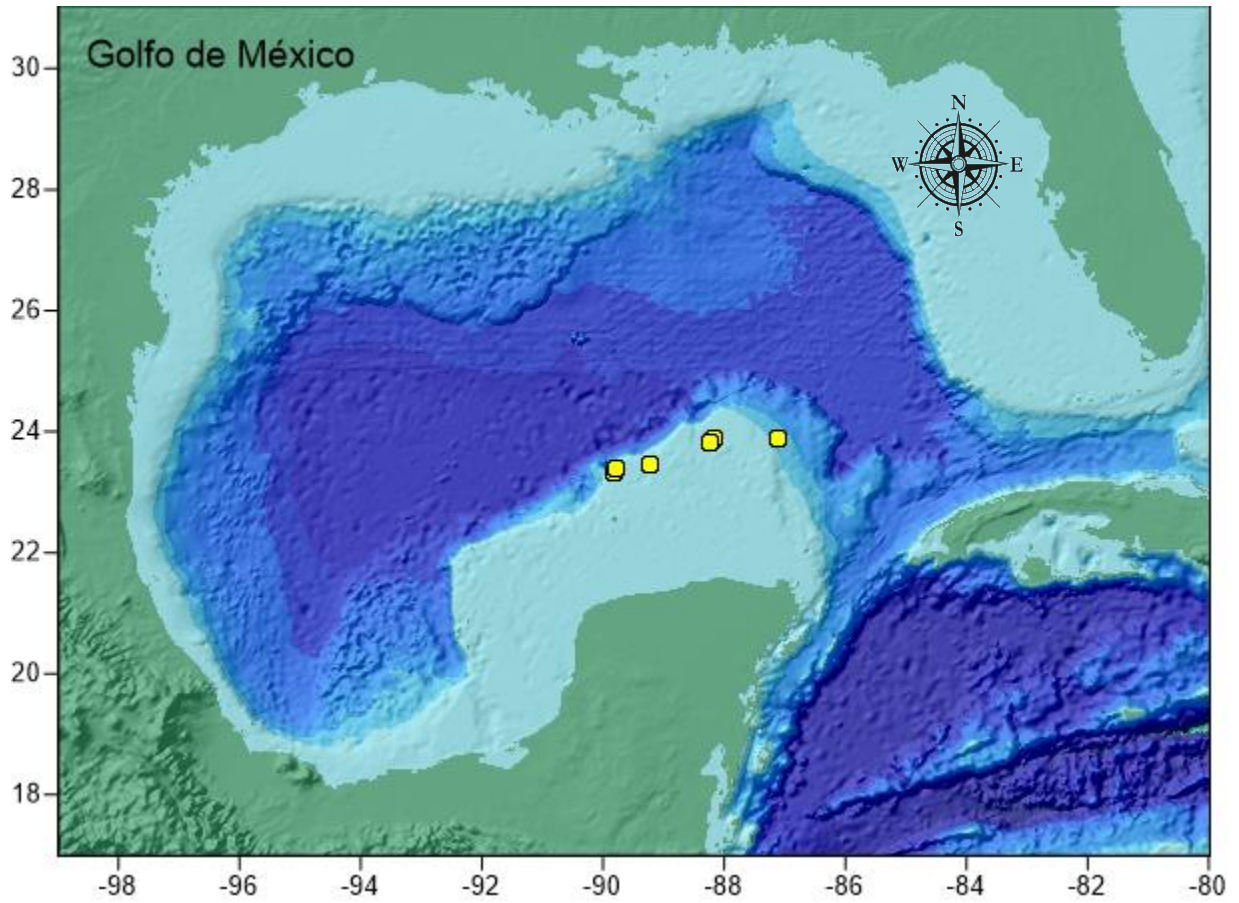


Figura 4. Mapa de distribución en las aguas mexicanas del Golfo de México de *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), con base en los ejemplares revisados, depositados en la Colección Nacional de Equinodermos " Dra. María Elena Caso Muñoz" ICML-UNAM.



## **Familia Phormosomatidae Mortensen, 1934**

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen 1935): Testa grande, flexible y muy calcificada que mantiene la forma; tubérculos primarios perforados y no crenulados, ambulacro con dos elementos ocluidos; pares de poros dispuestos uniserialmente adoralmente con placas accesorias en la sutura adradial. Tubérculos orales grandes y con areolas hundidas; membrana peristomial con serie de placas ambulacrales, espinas simples, cubiertas por una bolsa gruesa de piel, espinas aborales en terminación en punta.

### **Género *Phormosoma* Thomson, 1872**

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen, 1903): Las espinas primarias en el lado aboral son rectas, con forma de mazo, cubiertas por una gruesa bolsa de piel; marcada diferencia entre el lado oral y aboral. Las areolas del lado aboral son muy grandes. Los pies ambulacrales están dispuestos en una sola serie en el lado aboral; no hay disco de succión en los pies ambulacrales. Pedicelarios sólo tridentados y trifoliados; los tridentados son simples, con forma de hoja, la red de mallas poco desarrollada; los ensanchamientos desde el extremo superior de la apófisis no llegan hasta el borde de la hoja; el tallo de los pedicelarios es irregular perforado.



## ***Phormosoma placenta* Thomson, 1872**

(Láminas 7 y 8)

*Phormosoma placenta* Thomson, 1872: 494; A. Agassiz, 1882: 697; 1883: 30; Verrill, 1885: 539; Rathbun, 1885: 613; Bell, 1889: 436; Bernard, 1895: 208; Koehler, 1896: 91; Nichols, 1902: 259; Mortensen, 1903: 47, 66, 173; 1927: 25; Kemp, 1905: 197; Döderlein, 1905: 376; 1906: 128; A. Agassiz & H. L. Clark, 1909: 157; Koehler, 1909: 218; 1927: 21; Farran, 1913: 52; Grieg, 1921: 40; H. L. Clark, 1923: 374; 1925: 54.

*Phormosoma sigsbei* A. Agassiz, 1880: 75; Verrill, 1882: 139; Döderlein, 1906: 128; A. Agassiz & H. L. Clark, 1909: 157.

**Diagnosis** (Modificada de Mortensen, 1903): Espinas primarias del lado oral en forma de bate, cubiertas por una capa gruesa de piel; placas ambulacrales de la superficie oral compuestas, formadas por una placa primaria central grande y dos placas secundarias más pequeñas arriba y abajo, todas en contacto con las placas interambulacrales.

**Descripción:** Testa flexible y plana, de forma redondeada; sobre el lado oral de la testa cada placa interambulacral sostiene de dos a tres areolas muy grandes y profundas, ocupando casi la totalidad de la placa, las placas ambulacrales sostienen sólo una areola grande. Los tubérculos son pequeños en comparación con las grandes areolas. Las espinas son en forma de bate cubiertas por una gruesa bolsa de piel. Sobre el *ambitus* de la testa hay un borde más o menos marcado de espinas más pequeñas. El lado aboral de la testa está cubierto con espinas un poco curvadas, estas no tienen una bolsa gruesa de piel; las areolas no son tan grandes como las del lado oral. Un solo esferidio, el cual se localiza en las placas secundarias, junto a la serie de pies ambulacrales, este esferidio puede estar confinado a la superficie oral, pero comúnmente se extiende por encima del *ambitus*, este es de forma casi esférica, con rugosidades en la superficie. Los pedicelarios tridentados son simples las valvas tienen forma de hoja y en algunas ocasiones en forma triangular, pueden ser largas y estrechas o cortas y anchas, tienen una red ligeramente desarrollada de mallas en el fondo, los extremos superiores de la apófisis no alcanzan los bordes

laterales de las cuchillas. Los pedicelarios trifoliados se encuentran en grandes cantidades y distribuidos por toda la testa, la valva es bastante ancha, con la base de la parte distal amplia y abierta, la seccion de la parte distal es amplia con forma de espátula.

**Coloración:** El color en organismos vivos es morado en la parte ventral y gris en la parte dorsal con motas moradas (Mortensen, 1977).

**Material Tipo:** Sintipo MCZ 847 (Downey, 1968)

**Localidad Tipo:** Desconocida

**Material examinado:** 838 ejemplare (Ver anexo I)

**Distribución batimétrica:** Entre 50 y 3,700 m (Pawson *et al.*, 2009).

**Distribución geográfica:** Distribuida por todo el Atlántico Norte, desde Islandia, hasta las Azores y hasta el Golfo de Guinea y desde el estrecho Davis hasta el golfo de México, Antillas, México, Honduras, Nicaragua, Panamá, Colombia y Venezuela (H. L. Clark, 1941; Bayer *et al.*, 1970; Allain, 1976; Mortensen, 1977; Serafy, 1979; Pawson *et al.*, 2009; Alvarado y Solís-Marín, 2013).





Lámina 7. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 4.126.23. A) Vista oral, B) Vista aboral.



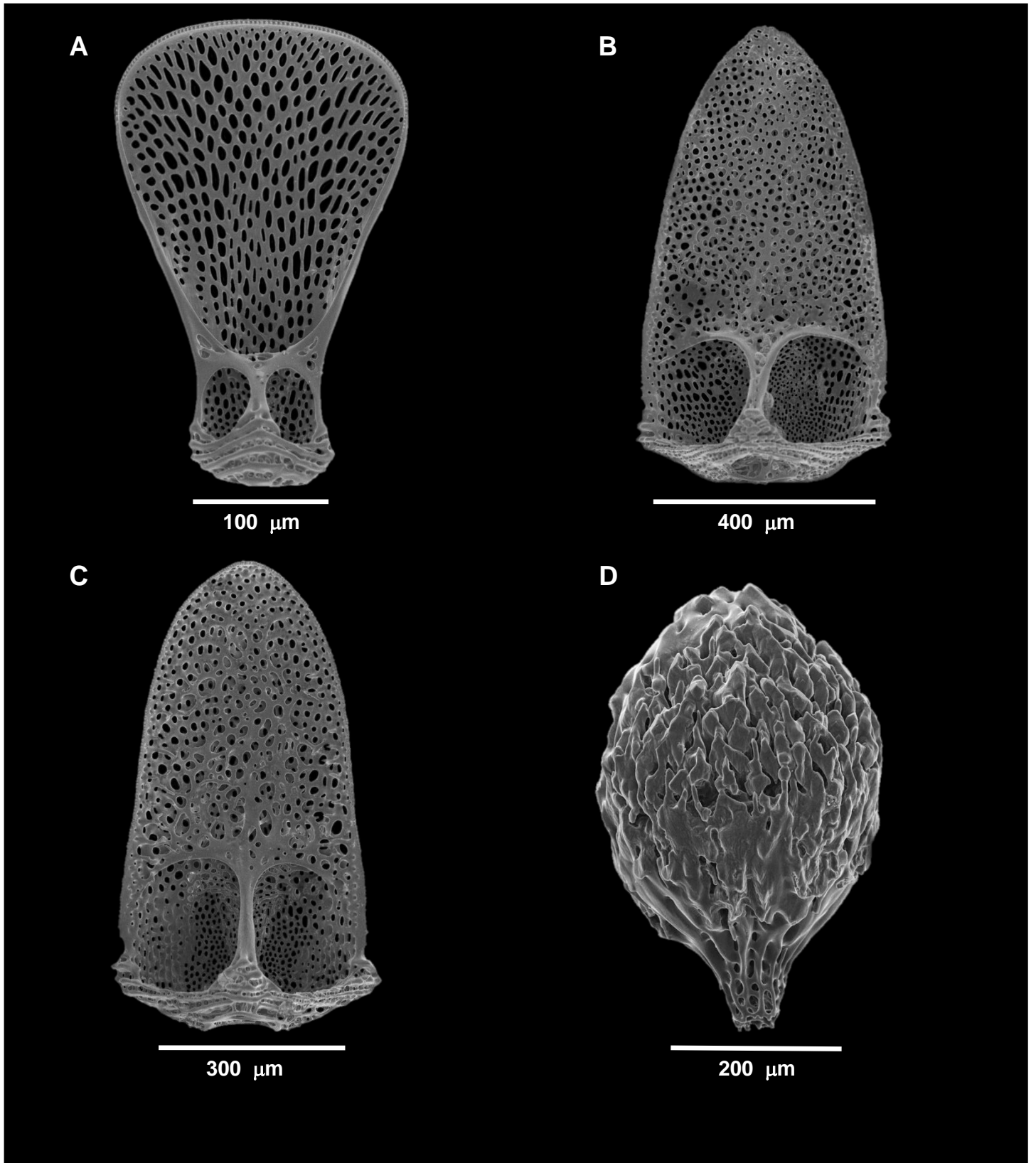


Lámina 8. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 4.123.14. A) Valva de pedicelario trifoliado, B) Valva de pedicelario tridentado, C) Valva de pedicelario tridentado, D) Esferidium.

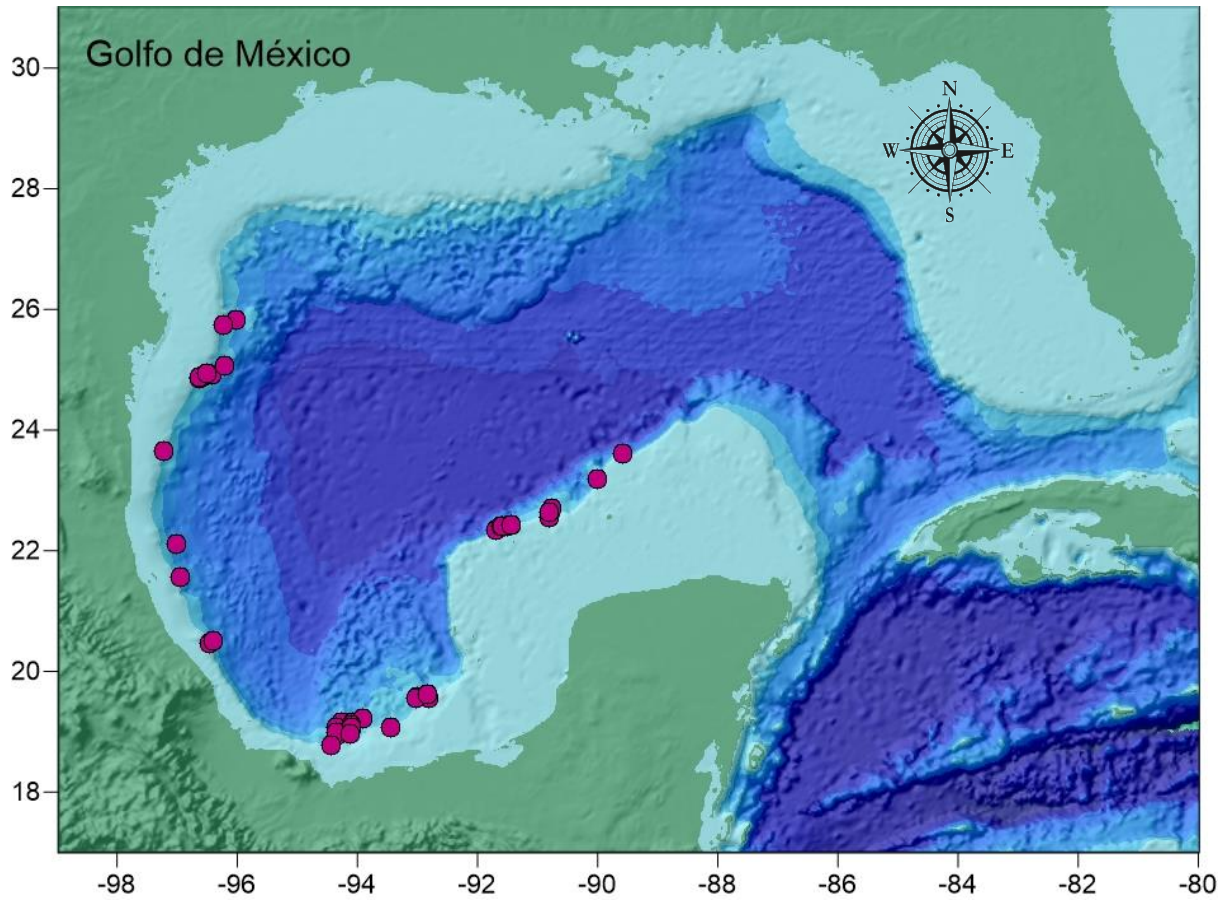


Figura 4. Mapa de distribución en las aguas mexicanas del Golfo de México de *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, con base en los ejemplares revisados, depositados en la Colección Nacional de Equinodermos " Dra. María Elena Caso Muñoz" ICML-UNAM.



### **7.3 Caracteres diagnósticos**

Se definieron nuevos caracteres diagnósticos para identificar a las especies de erizos de mar de las familias Echinothuriidae y Phomosomatidae. Estos caracteres son microestructuras, que antes no eran tomados en cuenta, pero en este trabajo se expone su importancia para identificar y separar a las especies. Estos nuevos caracteres son los pedicelarios, esferidios y espinas orales.

La morfología característica de cada una de las microestructuras, ayudó a identificar y separar a las especies de equinotúridos distribuidas en las aguas mexicanas del Golfo de México.

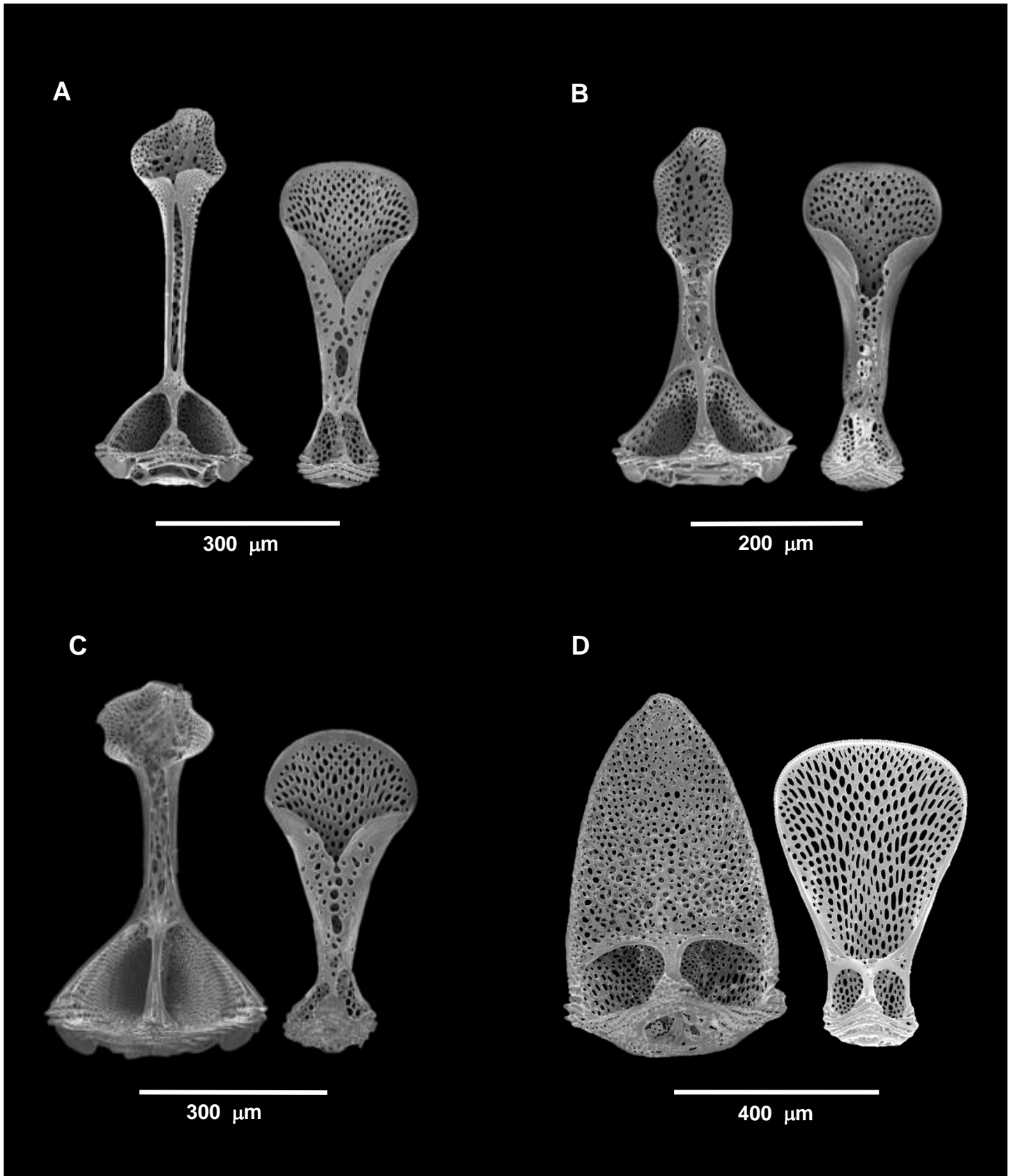


Lámina 9. Pedicelarios (izq) valva de un pedicelario tridentado, (dcha) valva de un pedicelario trifoliado. **A)** *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, **B)** *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872). **C)** *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880). **D)** *Phormosoma placenta* Thomson, 1872.

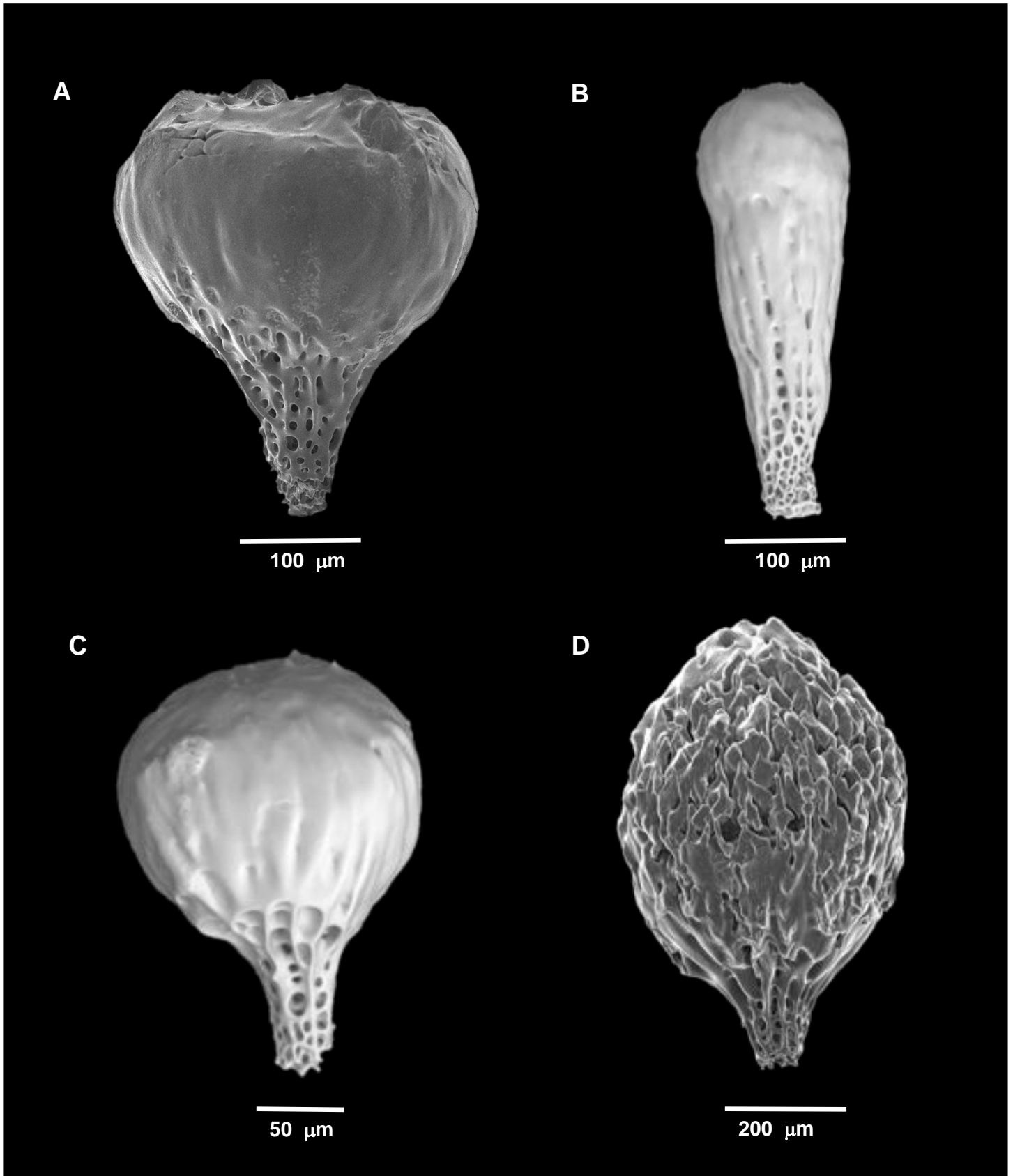


Lámina 10. Morfología de Esferidios de equinotúridos **A)** *Araeosoma belli* Mortensen, 1903. **B)** *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872). **C)** *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880). **D)** *Phormosoma placenta* Thomson, 1872.



## 7.4 Análisis Morfométrico

En el análisis morfométrico se utilizaron 196 fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido, de pedicelarios tridentados y trifoliados de las cuatro especies de equinotúridos distribuidas en las aguas mexicanas del Golfo de México; se tomó como clasificador la profundidad en cada una de las comparaciones intraespecífica de los pedicelarios. Todos los análisis utilizaron los componentes simétricos con un intervalo de confianza del 95%.

Con el análisis de componentes principales obtuvimos gráficos en donde se muestra claramente las zonas en donde las valvas de los pedicelarios sufren variaciones (láminas 11 y 12); mientras que con el análisis de variables canónicas observamos como las formas características de las valvas de los pedicelarios de cada intervalo de profundidad se agrupan (lámina 13).

Obtuvimos una varianza de 0.00656731% de los pedicelarios trifoliados de *Araeosoma belli*, mientras que para los pedicelarios tridentados fue de 0.01562338%; fue de 0.00565993% para los pedicelarios trifoliados de *Araeosoma fenestratum*, y de 0.01581348% para los pedicelarios tridentados. La varianza total de los pedicelarios tridentados de *Hygrosoma petersii* fue de 0.01296777%, y de 0.01460220% para los pedicelarios trifoliados. Por último obtuvimos una varianza de 0.02406069% para los pedicelarios tridentados de *Phormosoma placenta* y de 0.04070282% para los pedicelarios trifoliados.

Todos los pedicelarios trifoliados que presentan las especies *Araeosoma belli*, *Araeosoma fenestratum* e *Hygrosoma petersii*, sufren variaciones, en el tamaño y forma de la valva, siendo más pequeños los pedicelarios de los ejemplares que fueron colectados a mayores profundidades, mientras que los pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a menor profundidad son grandes. Estos resultados fueron obtenidos mediante una superposición de Procrustes. En cuanto a la forma de la valva, las variaciones que presentan aparecen

en la parte distal de valva, ya sea que la valva sea más redonda, plana o estrecha, al igual en la abertura que presenta en medio de la valva, la cual puede ser más pronunciada.

En los pedicelarios trifoliados de *Phormosoma placenta* no se encontraron diferencias significativas con respecto al tamaño, aunque se debe resaltar que los pedicelarios colectados a menor profundidad, presentaron pedicelarios grandes, con respecto a los pedicelarios de los ejemplares colectados a profundidades mayores, que disminuye su tamaño. Los pedicelarios tridentados presentaron variaciones morfológicas muy significativas en la forma de la valva, en la amplitud de la valva, en la parte de articulación y en la parte proximal y distal.

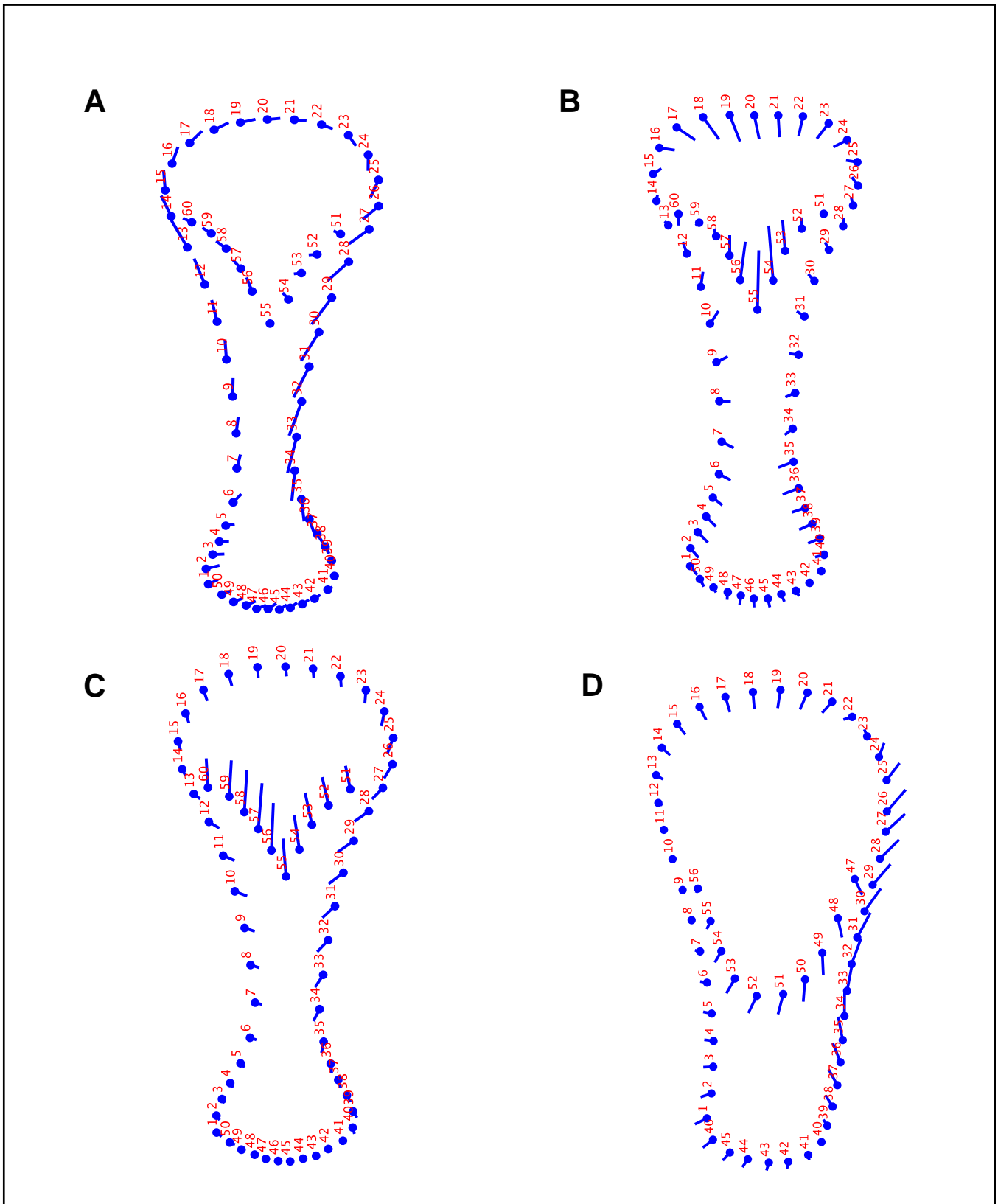


Lámina 11. Análisis de la forma de los pedicelarios trifoliados gráficos del análisis de componentes principales, los círculos indican la forma promedio de la forma, los vectores indican la zona en donde hay una mayor variación; A) valva de *Araeosoma belli*; B) valva de *Araeosoma fenestratum*; C) valva de *Hygrosoma petersii*; D) valva de *Phormosoma placenta*.



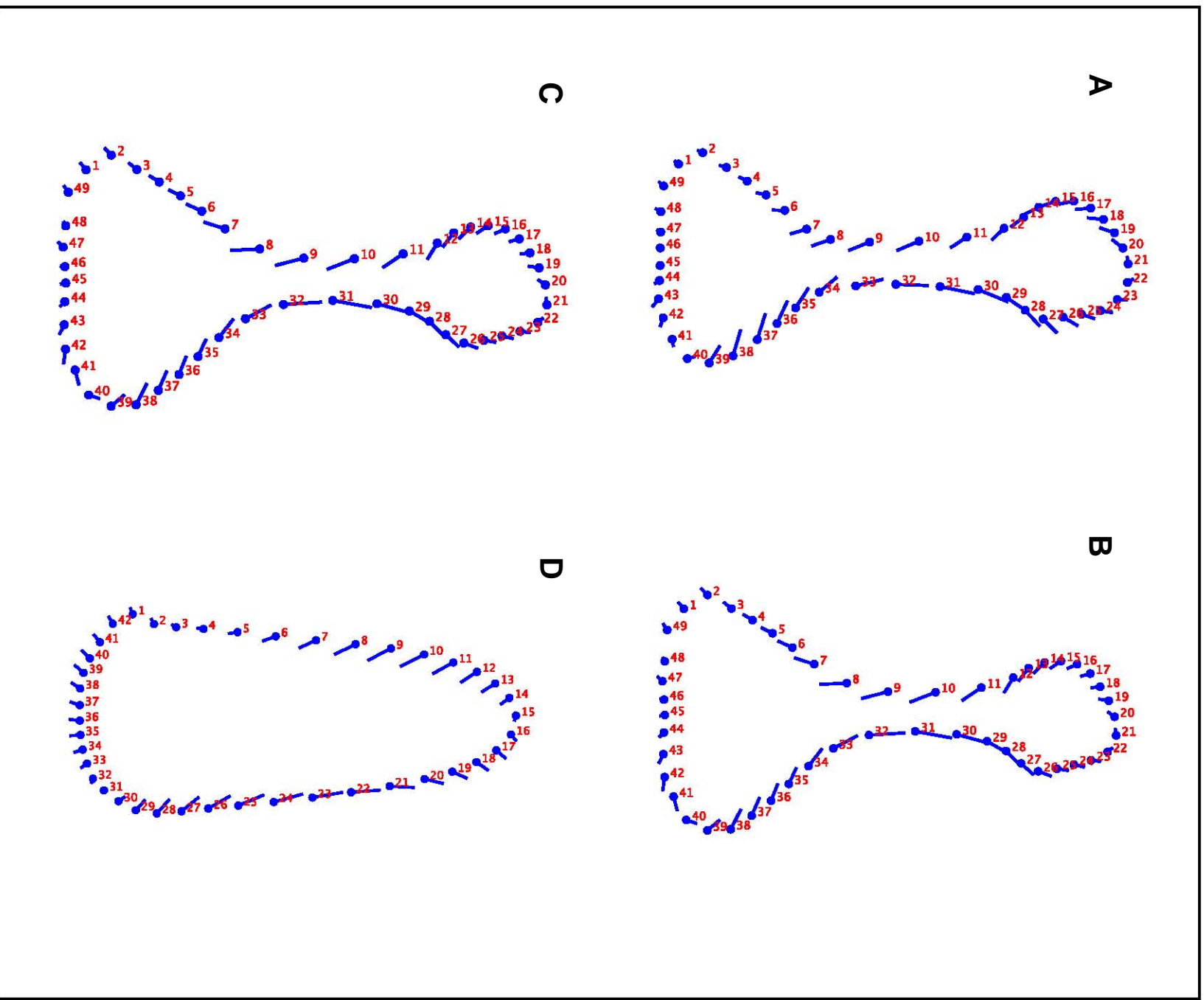


Lámina 12. Análisis de la forma de los pedicelarios tridentados, gráficos del análisis de componentes principales. los círculos indican la forma promedio de la forma, los vectores indican la zona en donde hay una mayor variación; A) valva de *Araeosoma belli*; B) valva de *Araeosoma fenestratum*; C) valva de *Hygrosoma petersii*; D) valva de *Phormosoma placenta*.

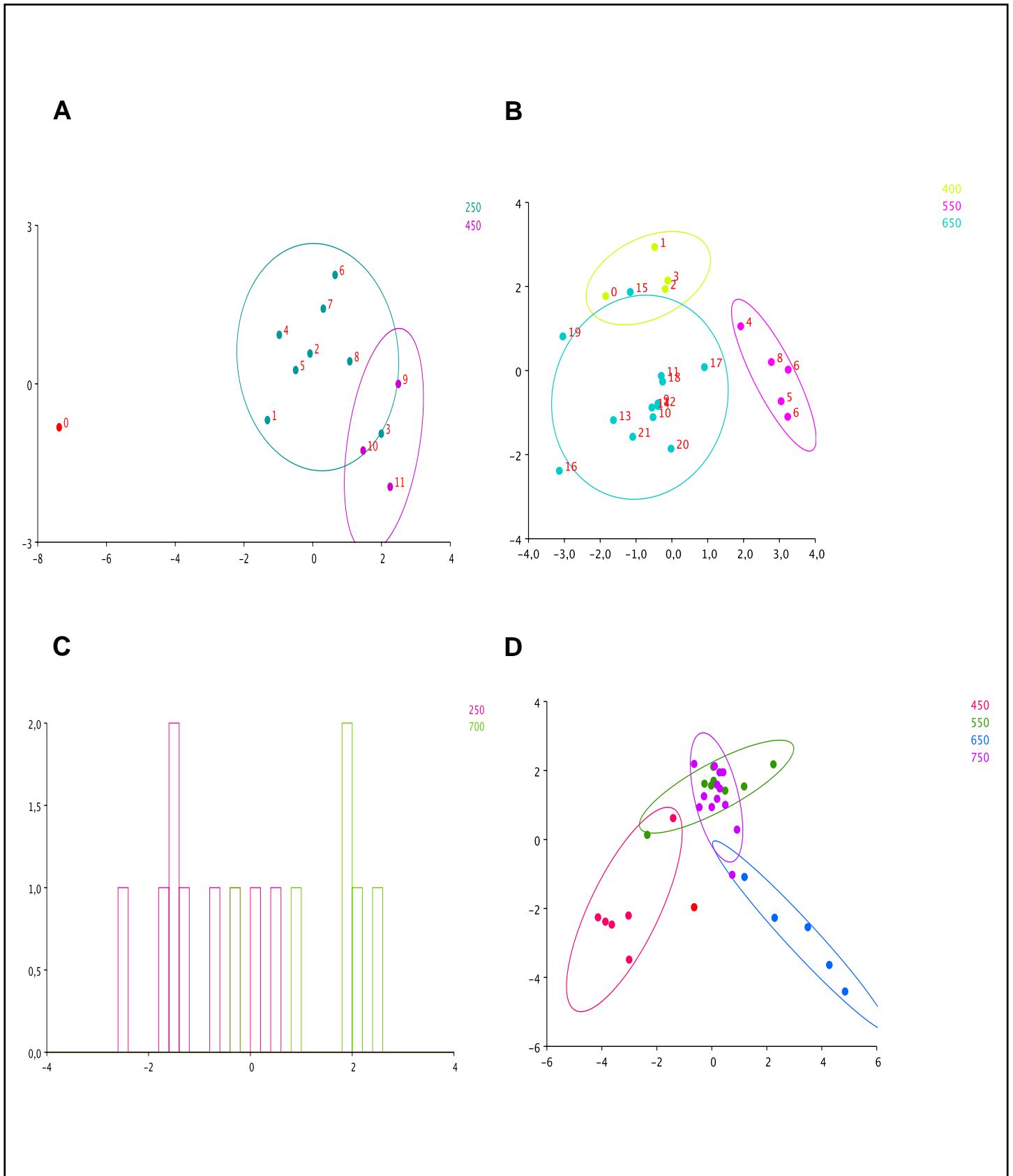


Lámina 13. Gráficos del análisis de variables canónicas de los pedicelarios **A)** *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, **B)** *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872). **C)** *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880). **D)** *Phormosoma placenta* Thomson, 1872.



## 7.5 Claves taxonómicas

Se presentan claves taxonómicas especializadas para la identificación de las familias del orden Echinothuroidea Claus, 1880; para los géneros de la familia Echinothuriidae Thomson, 1872; también para las especies del género *Araeosoma* Mortensen, 1903; para las especies del género *Hygrosoma* Mortensen, 1903; Finalmente una clave para los géneros de la familia Phormosomatidae Mortensen, 1954, y para las especies del género *Phormosoma* Thomson, 1872; todas estas claves para especímenes de las aguas mexicanas del Golfo de México.

### 7.5.1 Clave taxonómica para las familias del Orden Echinothuroidea Claus, 1880 del Golfo de México

1 Testa baja y flexible, placas ambulacrales e interambulacrales dispuestas en filas imbricadas, el margen del peristoma es completo y la membrana peristomial está cubierta de placas imbricadas, tubérculos primarios perforados y no crenulados, espinas orales que terminan en un casco hialino.....**Echinothuriidae Thomson, 1872.**

1' Testa grande y alta, flexible que mantiene su forma, tubérculos primarios grandes perforados y no crenulados, areolas hundidas, ambulacro con dos elementos ocluidos, pares de poros dispuestos uniserialmente adoralmente con placas accesorias en la sutura adradial, membrana peristomial con series de placas ambulacrales, espinas cubiertas por una bolsa gruesa de piel.....**Phormosomatidae Mortensen, 1934.**

### 7.5.2 Clave taxonómica para los géneros de la familia Echinothuriidae Thomson, 1872 del Golfo de México

1 Testa baja, ligera diferencia entre los lados actinal y abactinal; tubérculos primarios grandes, presentan areolas pequeñas, pies ambulacrales en tres series densas; Las espinas primarias en el lado oral son curvas que terminan en un pequeño casco blanco hialino; las espinas primarias forman una serie a lo largo del margen exterior de las áreas interambulacrales, especialmente en el lado oral hacia el *ambitus*; Pedicelarios tridentados, trifoliados y dactiloides (dactilus).....**Araeosoma Mortensen, 1903.**



1´ Testa baja, gran diferencia entre los lados oral y aboral; placas interambulacrales con huecos membranoso prominentes, los pares de poros dispuestos en una sola serie adradial den la superficie oral, un único tubérculo primario interambulacral en cada placa, el resto de la placa con granulación escasa, los pies ambulacrales están dispuestos en una serie casi regular en el lado oral; sin disco de succión los pies ambulacrales. Las espinas primarias en el lado oral son curvas, con un casco grande blanco; se encuentran dispersas cerca del *ambitus*; esferidios en ambas placas accesorias, pedicelarios tridentados y trifoliados.....***Hygrosoma* Mortensen, 1903.**

### **7.5.3 Clave taxonómica para las especies de género *Araeosoma* Mortensen, 1903 del Golfo de México**

1 Testa baja, circunferencia redonda pentagonal, placas oculares grandes, prolongación membranosa en las placas genitales; tubérculos primarios dispuestos en dos series en el área ambulacral; las series de tubérculos interambulacrales presentan una disposición marcadamente convexa; par de poros de las placas primarias ambulacrales se ubican en el borde proximal dispuestos es tres series; espinas orales terminan en un casco blanco hialino en forma de cono expandido, esferidios con forma globular, planos de la parte superior con pequeñas prolongaciones con forma de picos; pedicelarios tridentados grandes, la parte de articulación de la valva es ancha, parte proximal es recta y la parte distal en forma de cuchara sin pequeños dientes en la periferia, pedicelarios trifoliados, la valva entera es bastante alargada, con la base de la parte distal cerrada en un tubo y la sección superior de la parte distal ampliada en forma de embudo .....***Araeosoma belli* Mortensen, 1903.**

1´Testa baja, flexible y plana de forma redondeada, placas oculares grandes en contacto con las placas genitales que se caracterizan por presentar prolongaciones membranosas conspicuas; tubérculos primarios dispuestos en series regulares sobre la placa primaria ambulacral; tubérculos interambulacrales en la región oral dispersos en una serie regular a lo largo del área y divergen al llegar al *ambitus*; par de poros de las placas primarias de la superficie oral se aproximan al borde distal de la placa, mientras que en el área aboral se localizan hacia la parte proximal de la placa; peristoma formado por placas planas y numerosas sin espacios membranosos: espinas primarias grandes con terminación de forma cónica, espinas orales bien desarrolladas y con extremos puntiagudos, las espinas



aborales son de punta roma; esferidios globulares alargados en forma de bate o maso; pedicelarios tridentados y trifoliados.....***Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872).**

#### **7.5.4 Clave taxonómica para las especies del género *Hygrosoma* Mortensen, 1903 del Golfo de México**

Testa baja hemisférica, el lado oral es casi plano, aunque ligeramente redondeado hacia el *ambitus*, sistema apical con placas periproctales bien desarrolladas las cuales no están separadas por espacios membranosos; placas genitales muy notables, presentan una prolongación membranosa en la que se localiza el poro genital: la madreporita se ensancha sobre las placas periproctales vecinas, rara vez sobre la placa ocular; serie de grandes tubérculos en el ambulacro en ejemplares grande, mientras que en ejemplares pequeños los ambulacros solo tienen dos series de tubérculos regulares convergentes; areolas grandes; el par de poros del lado oral de la placa primaria son simples, en el lado aboral el par de poros de la placa primaria se coloca un poco fuera de la placa secundaria externa; espinas primarias se curvan al final como un palo de hockey; esferidios globulares lisos, son numerosos, se localizan en el ambulacro cerca de los pies ambulacrales y se extienden desde el borde del peristoma hacia el *ambitus*; Pedicelarios tridentados y trifoliados.....***Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880).**

#### **7.5.6 Clave taxonómica para los géneros de la familia Phormosomatidae Mortensen, 1934 del Golfo de México**

Testa grande, flexible, disco apical monocíclico a menudo reducido; poro genital rodeado por una serie de pequeñas placas; gran diferencia ente el lado oral y aboral; tubérculos perforados y no crenulados, areolas grandes hundidas, pares de poros formando una columna adradial irregular; los pies ambulacrales están dispuestos en una serie en el lado oral; espinas primarias en el lado oral rectas, con forma de mazo, cubiertas de una gruesa bolsa de piel; pedicelarios tridentados y trifoliados; los tridentados son simples con forma de hoja.....***Phormosoma* Thomson, 1872.**



### **7.6.7 Clave taxonómica para las especies del género *Phormosoma* Thomson, 1872 del Golfo de México**

Testa grande, flexible y plana, de forma redondeada, en el lado oral cada placa interambulacral sostiene 2-3 areolas grandes y profundas, ocupando casi la totalidad de la placa, las placas ambulacrales sostienen solo una areola grande; tubérculos pequeños; espinas con forma de bate cubiertas por una bolsa gruesa de piel; esferidios casi globulares con rugosidades sobre su superficie; pedicelarios tridentados simples, las valvas tienen forma de hoja, en ocasiones triangular, pueden ser largas y estrechas o cortas y anchas, tienen una red ligeramente desarrollado de mallas en el fondo; pedicelarios trifoliados, se encuentran en grandes cantidades por toda la testa, la valva es ancha, con la base distal amplia y abierta, la sección de la parte distal en amplia con forma de espátula.....***Phormosoma placenta* Thomson, 1872.**



## **7.6 Guía fotográfica de pedicelarios**

La guía de fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), muestra los pedicelarios tridentados y trifoliados que presentan las cuatro especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae a diferentes profundidades, con la finalidad de ser utilizada como una herramienta de identificación de los equinotúridos de dichas familias distribuidas en las aguas mexicanas del Golfo de México.

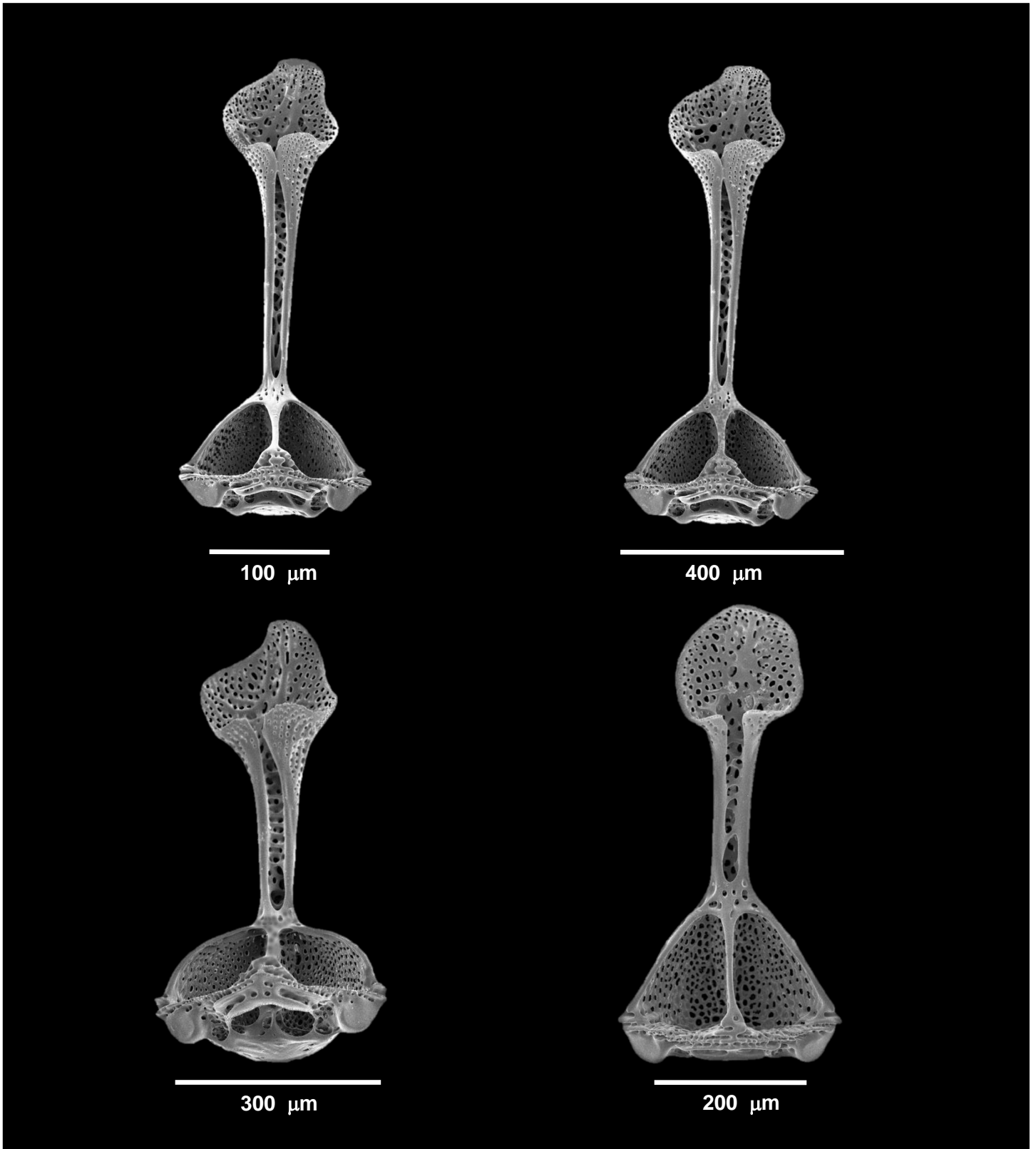


Lámina 14. *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, ICML-UNAM 4.145.1. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 250 m.



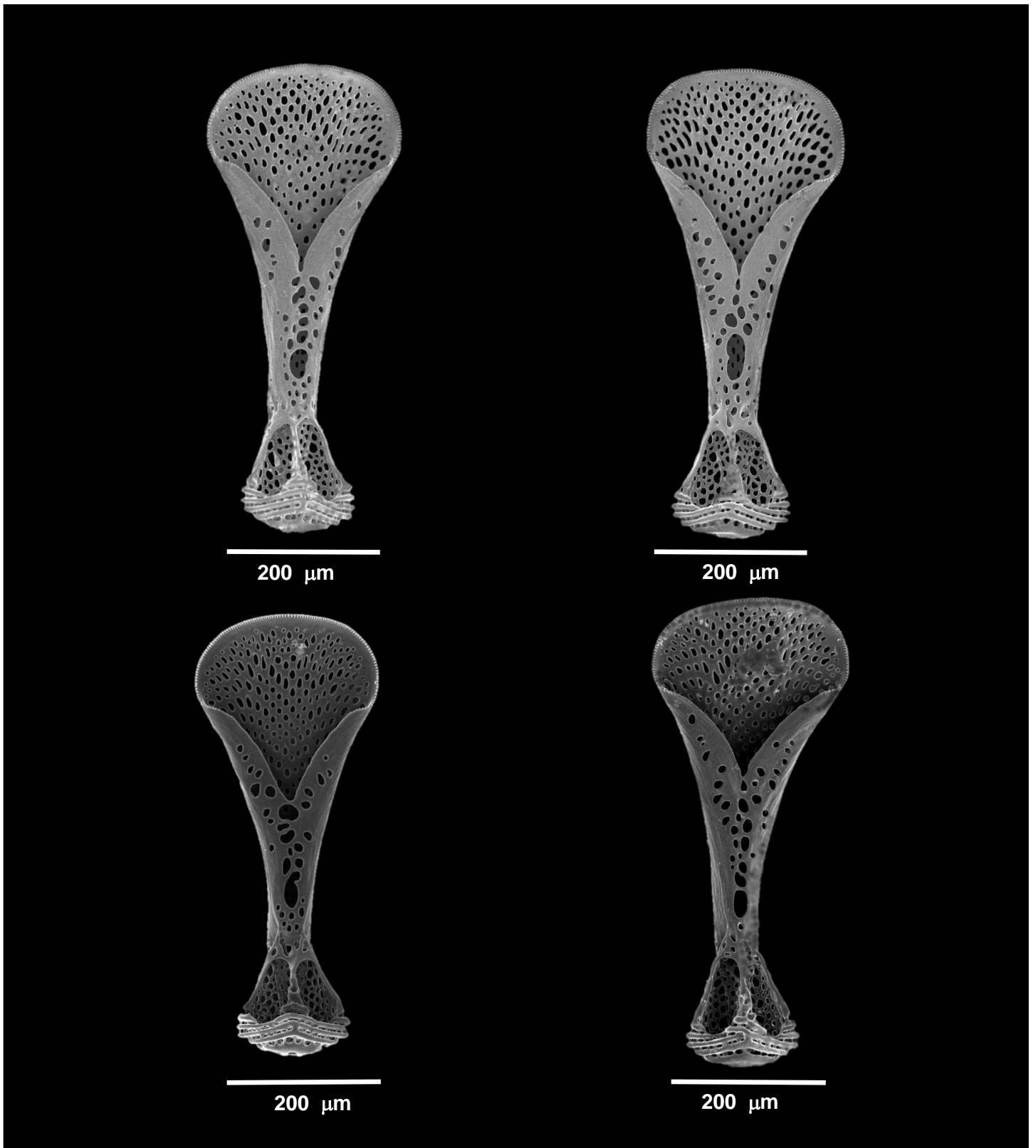


Lámina 15. *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, ICML-UNAM 4.145.1. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 250 m.

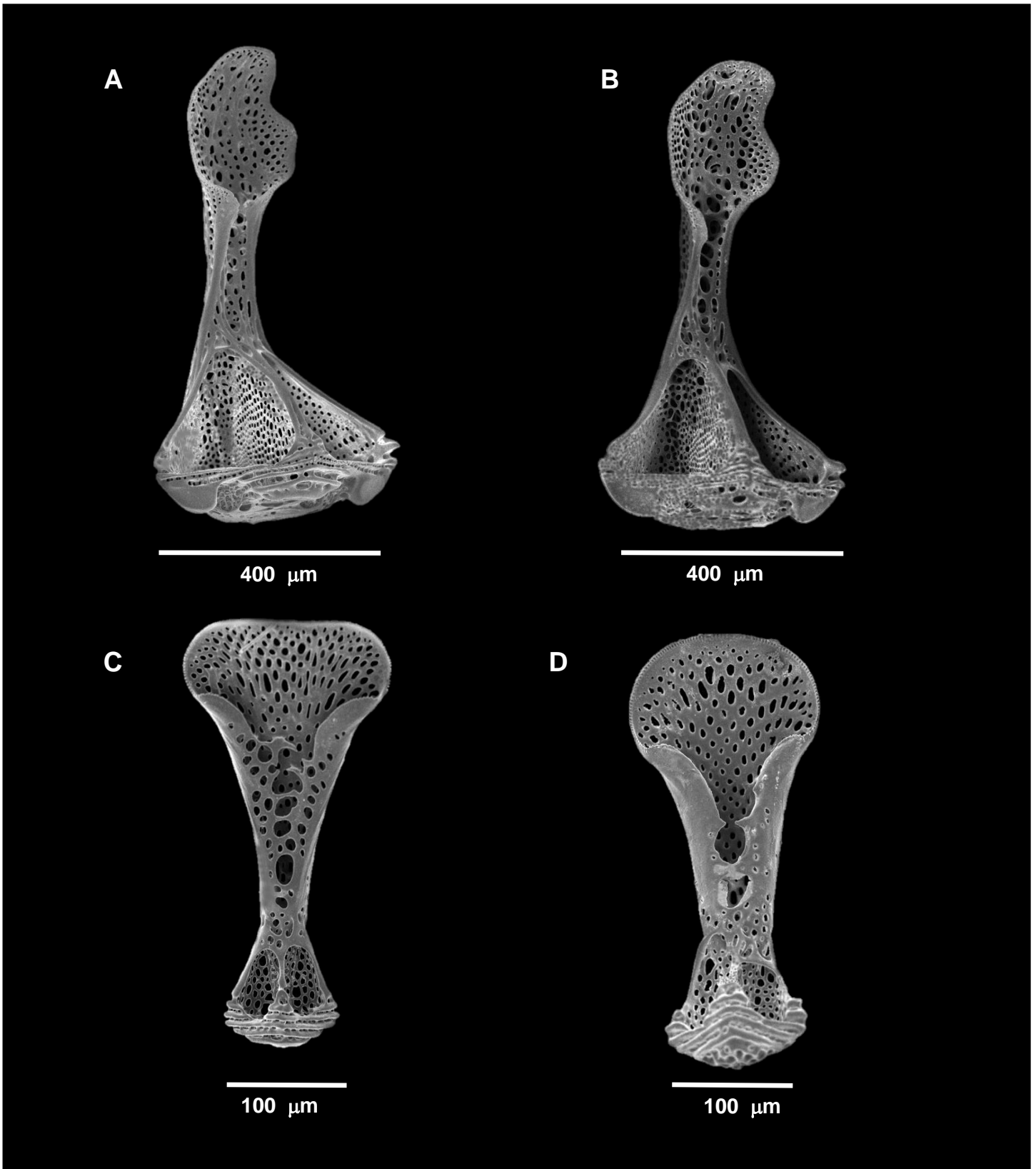


Lámina 16. *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, ICML-UNAM 4.145.0. **A-B.** Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 450 m. **C-D.** Valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 450 m.

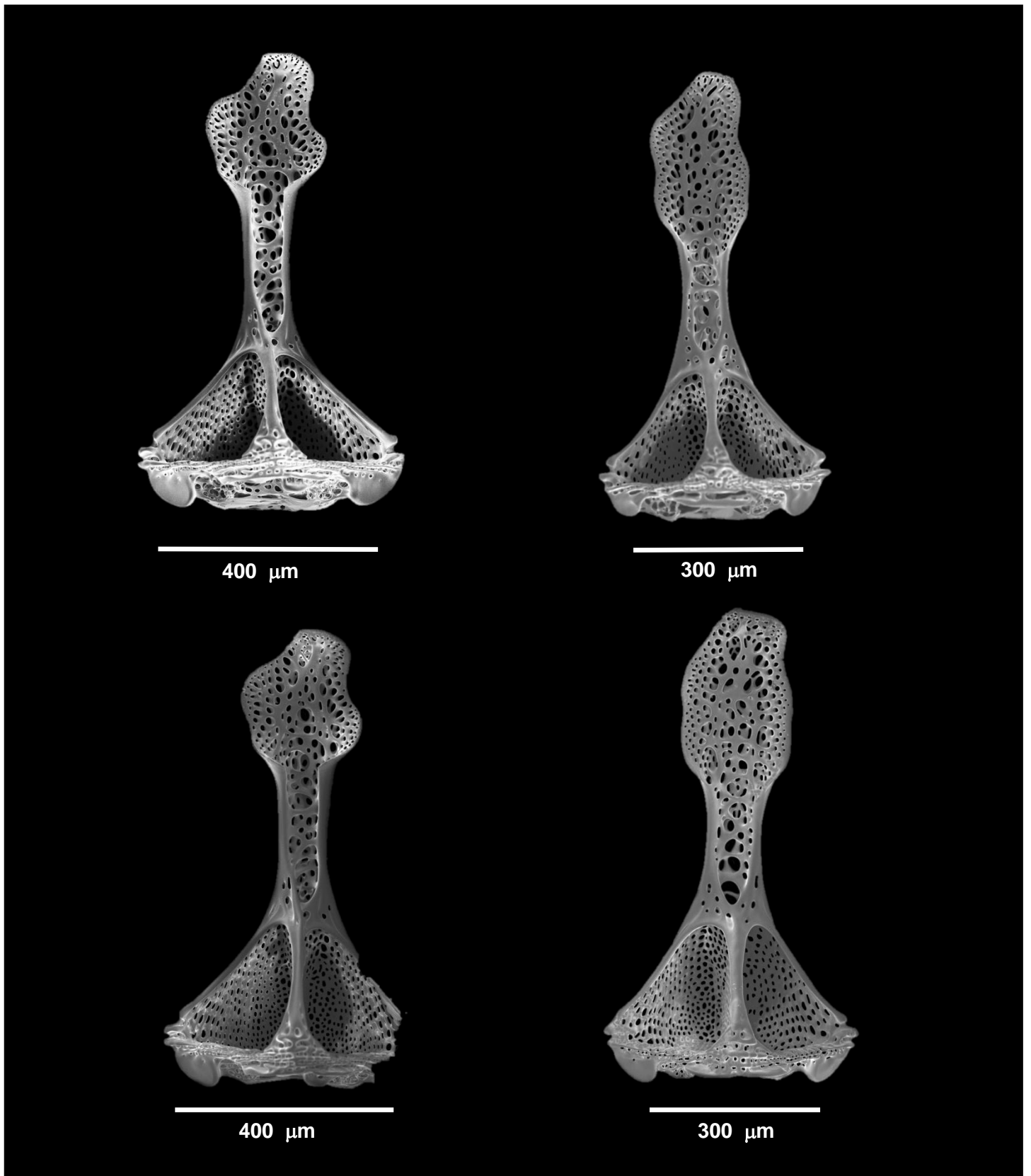


Lámina 17. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 4.75.8. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 400 m.

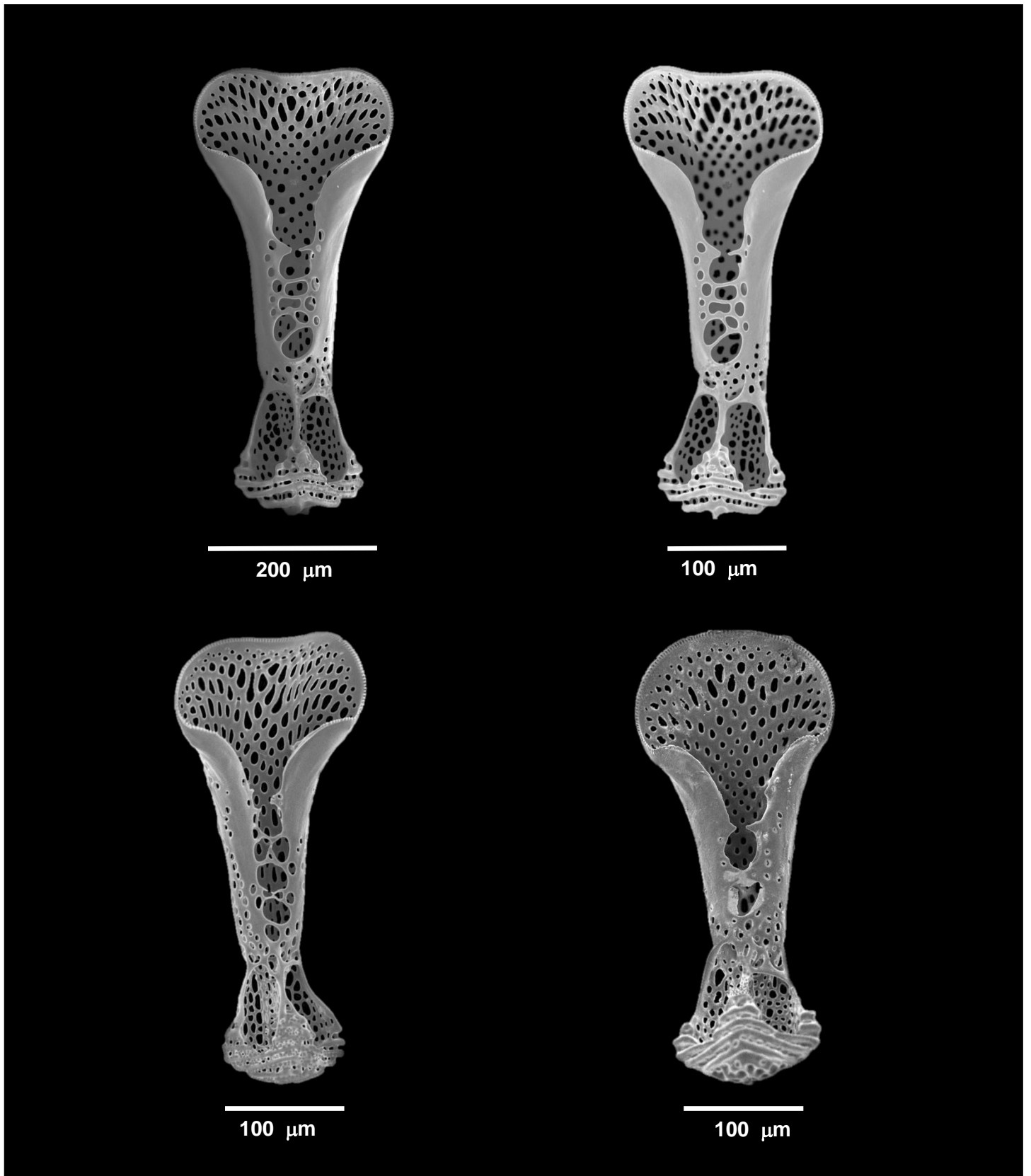


Lámina 18. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 9646. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 400 m.

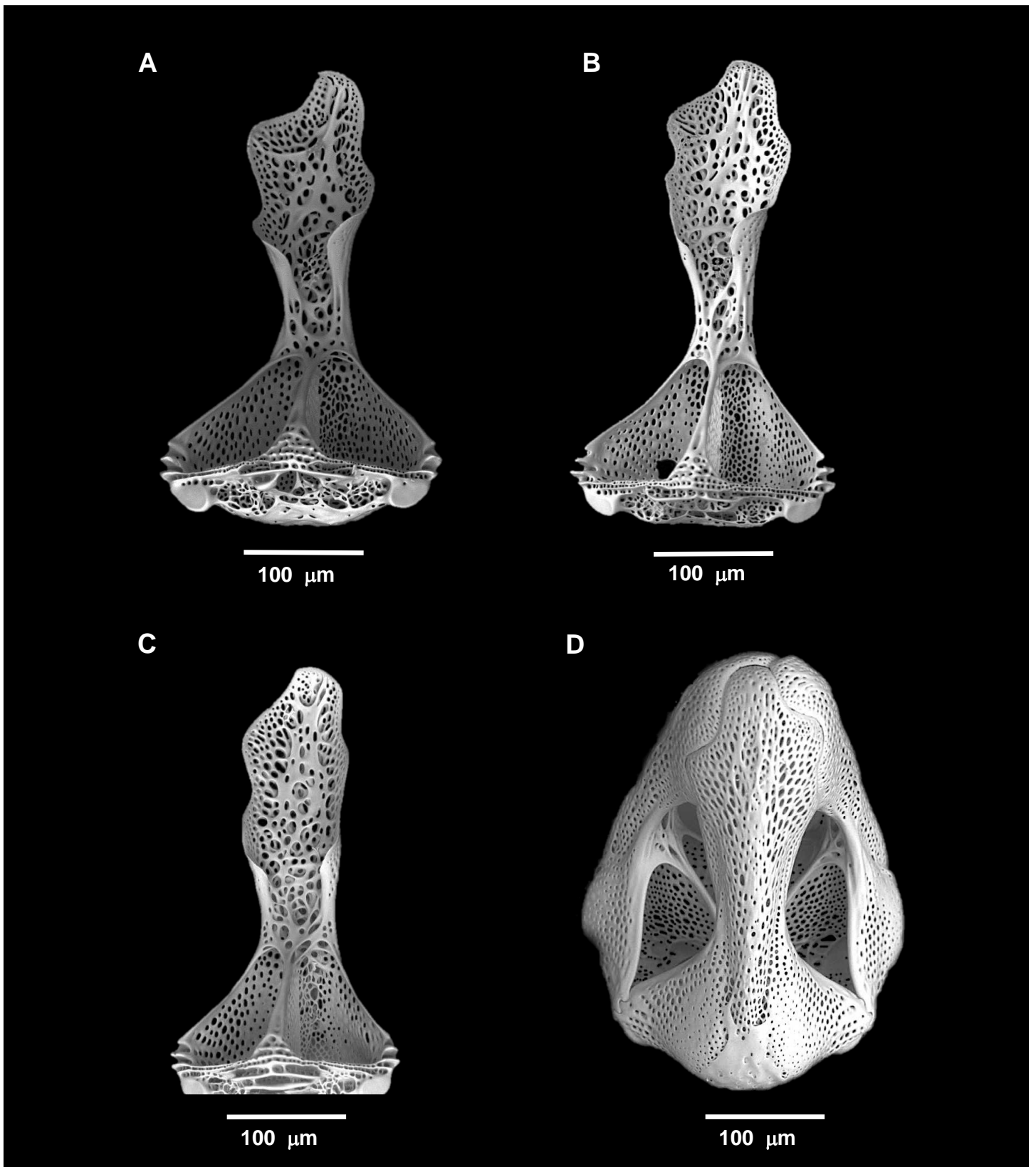


Lámina 19. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 9711. **A-C.** Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 550 m. **C.** Cabeza de un pedicelario tridentado de un ejemplar colectado a 550 m.

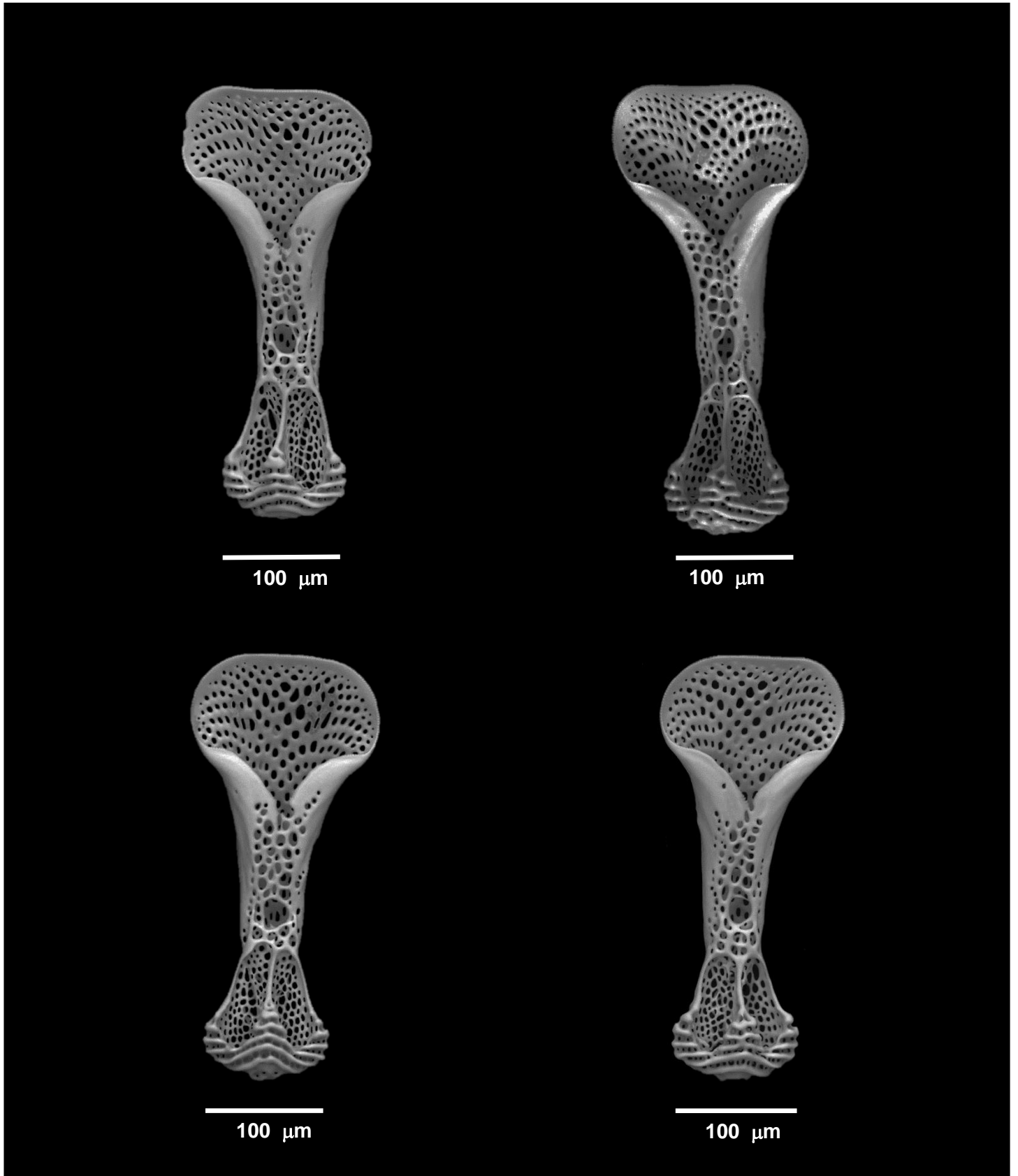


Lámina 20. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 9711. Fotografías de microscopía electrónica de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 550 m.

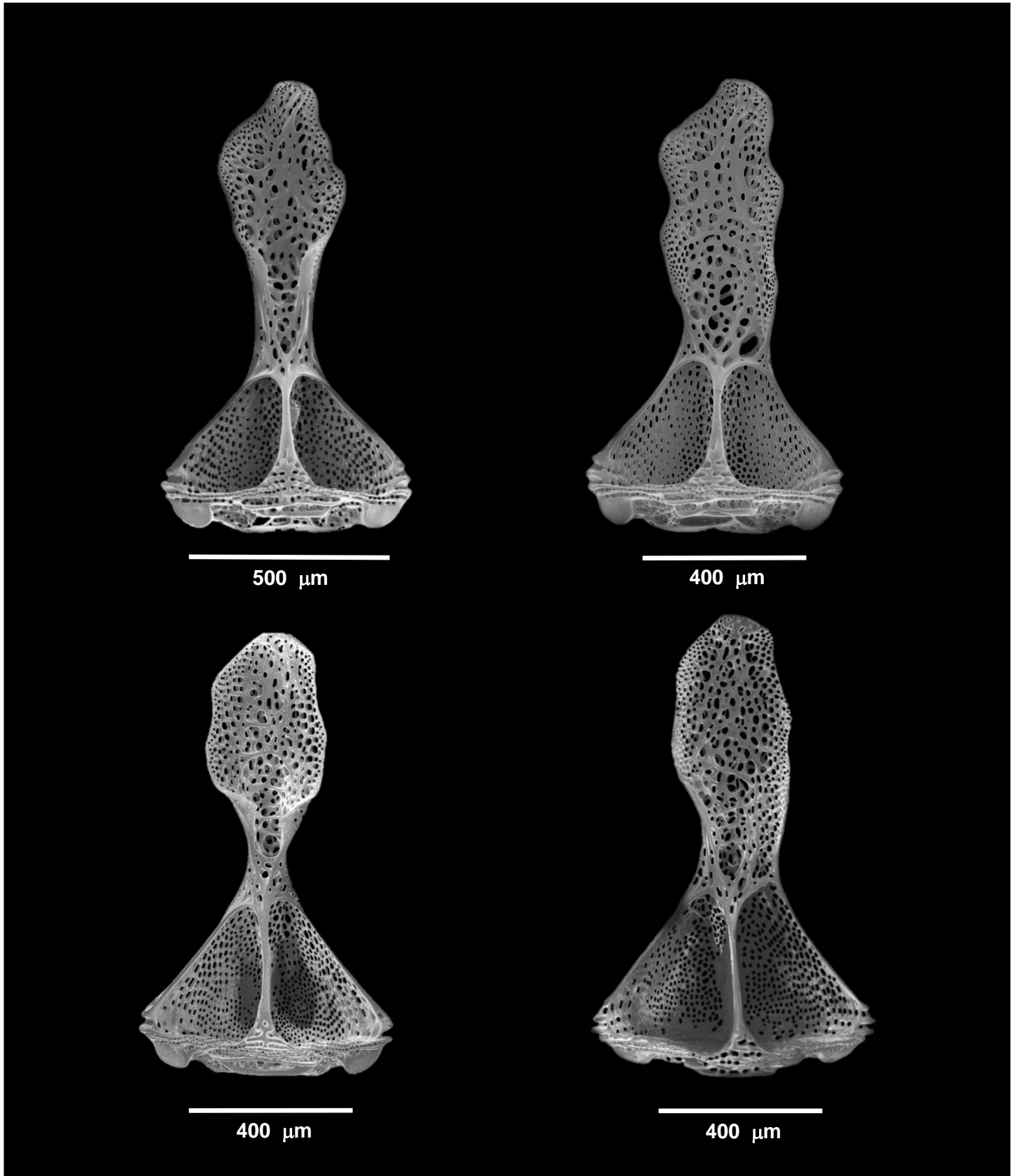


Lámina 21. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 4.75.9. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 650 m.

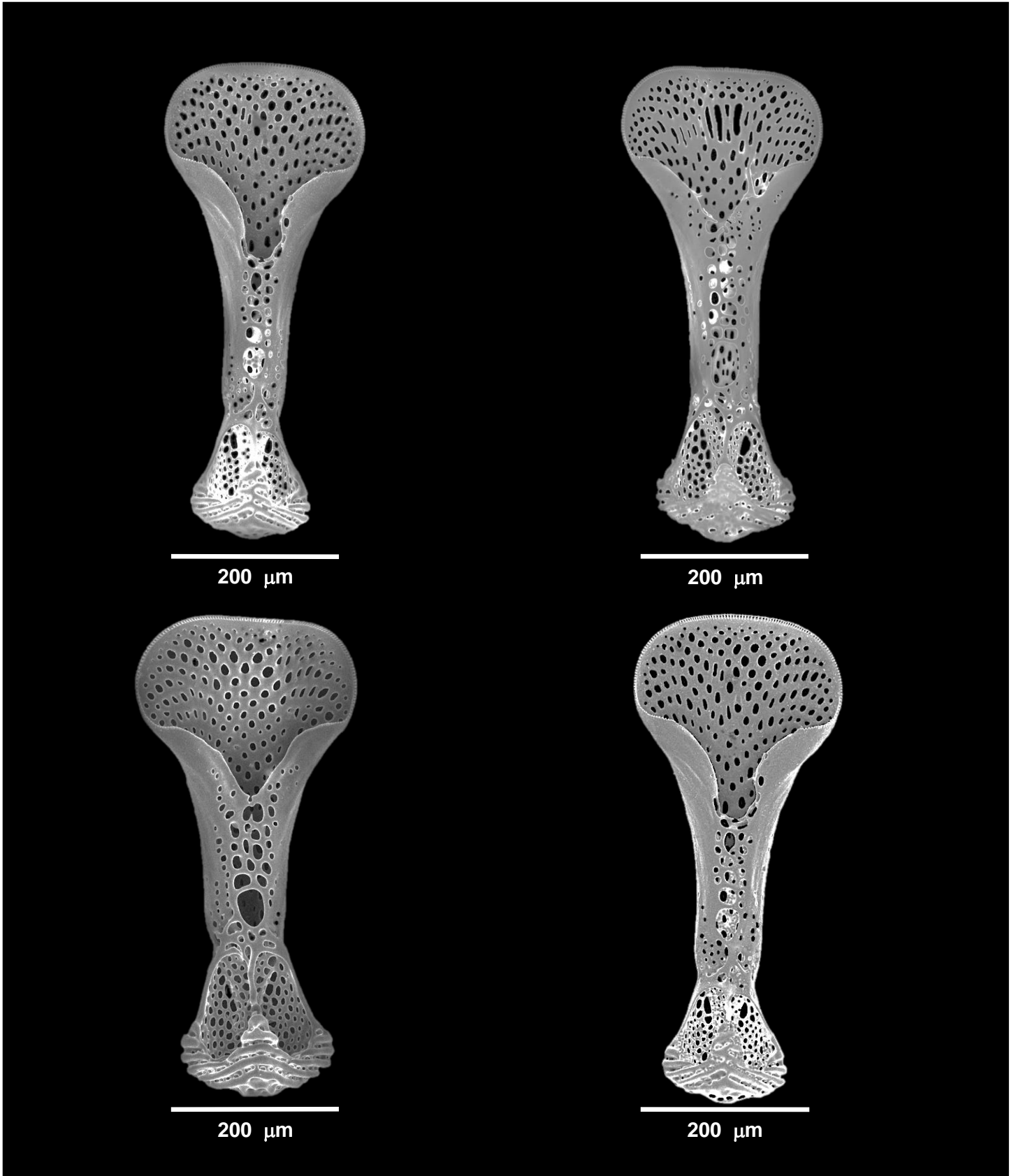


Lámina 22. *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), ICML-UNAM 4.75.7. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 650 m.



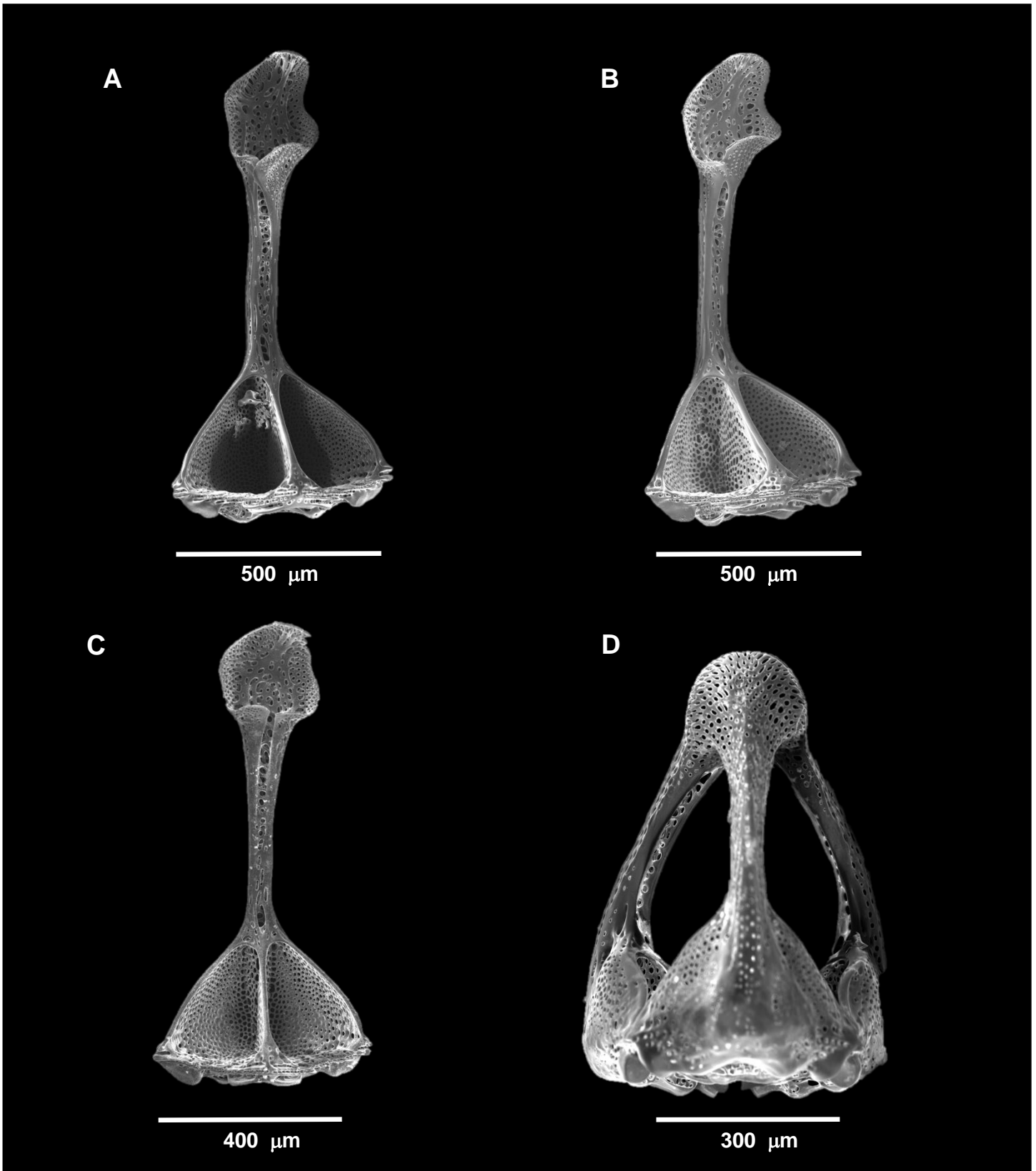


Lámina 23. *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), ICML-UNAM 4.127.4. **A-C.** Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 250 m. **D.** Cabeza de un pedicelario tridentado de un ejemplar colectado a 250 m.

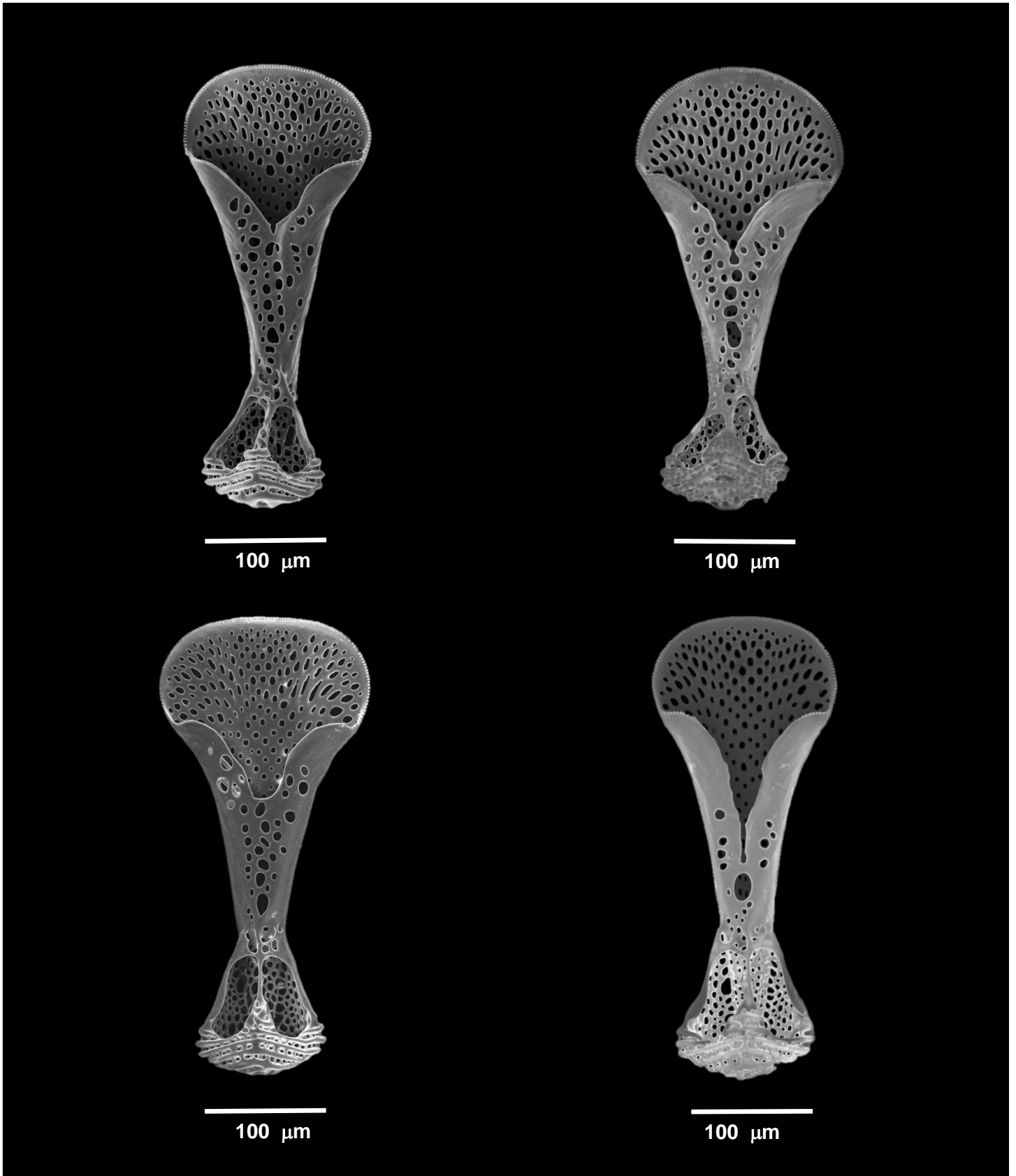


Lámina 24. *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), ICML.UNAM 4.127.3. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 250 m.

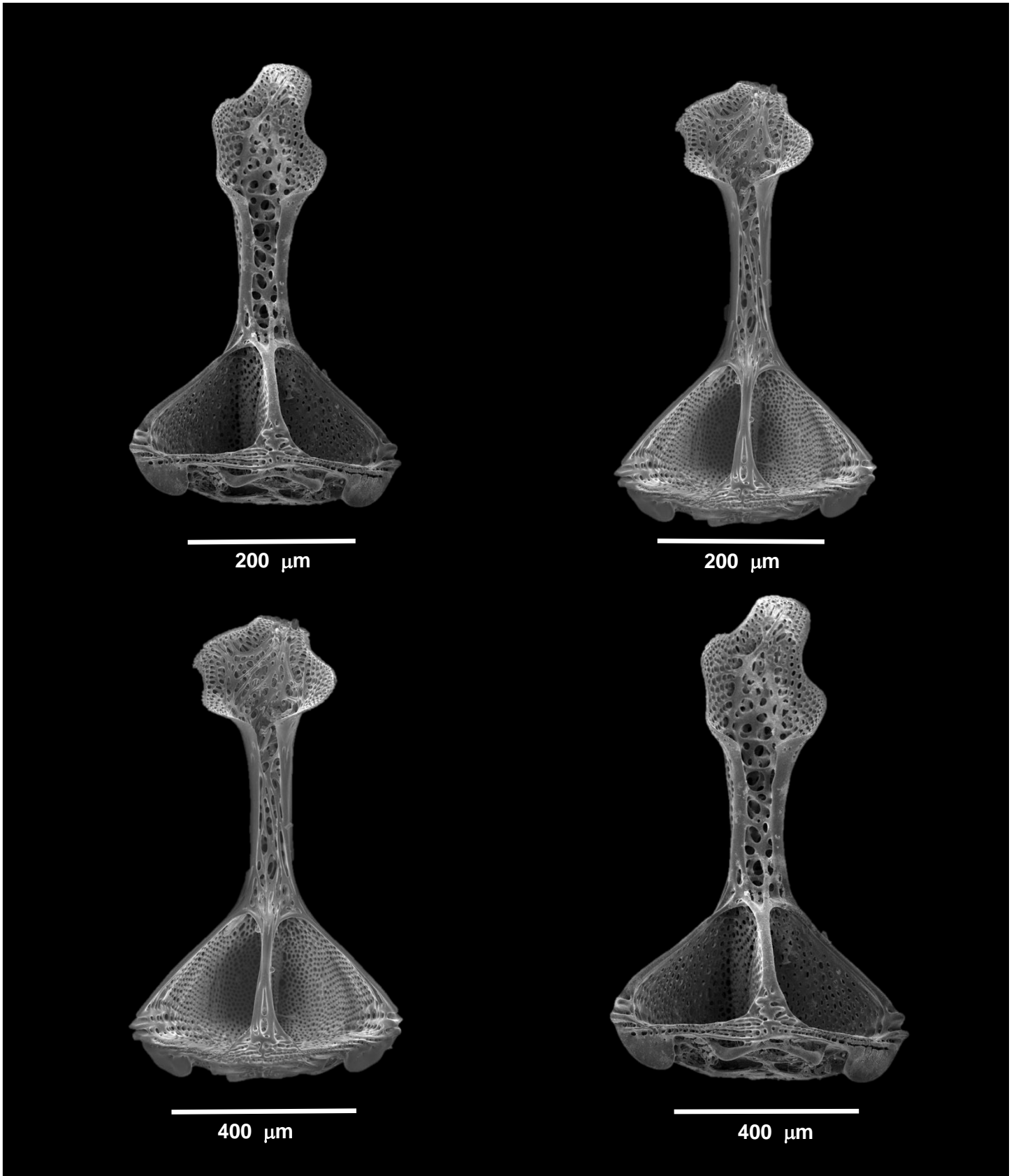


Lámina 25. *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), ICML-UNAM 4.127.5. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 700 m.



Lámina 26. *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880), ICML-UNAM 4.127.5. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 700 m.

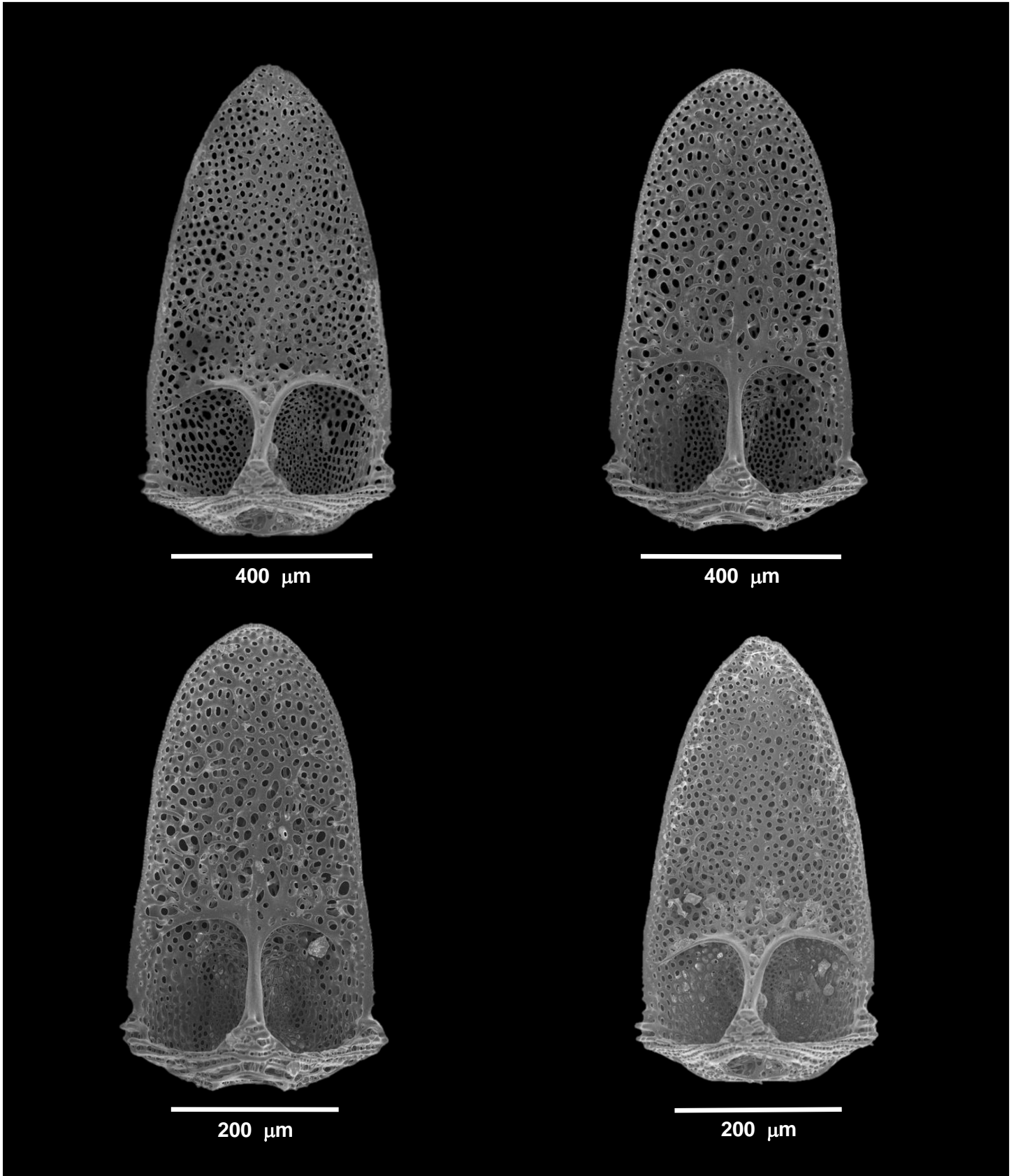


Lámina 27. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 9841. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 350 m.

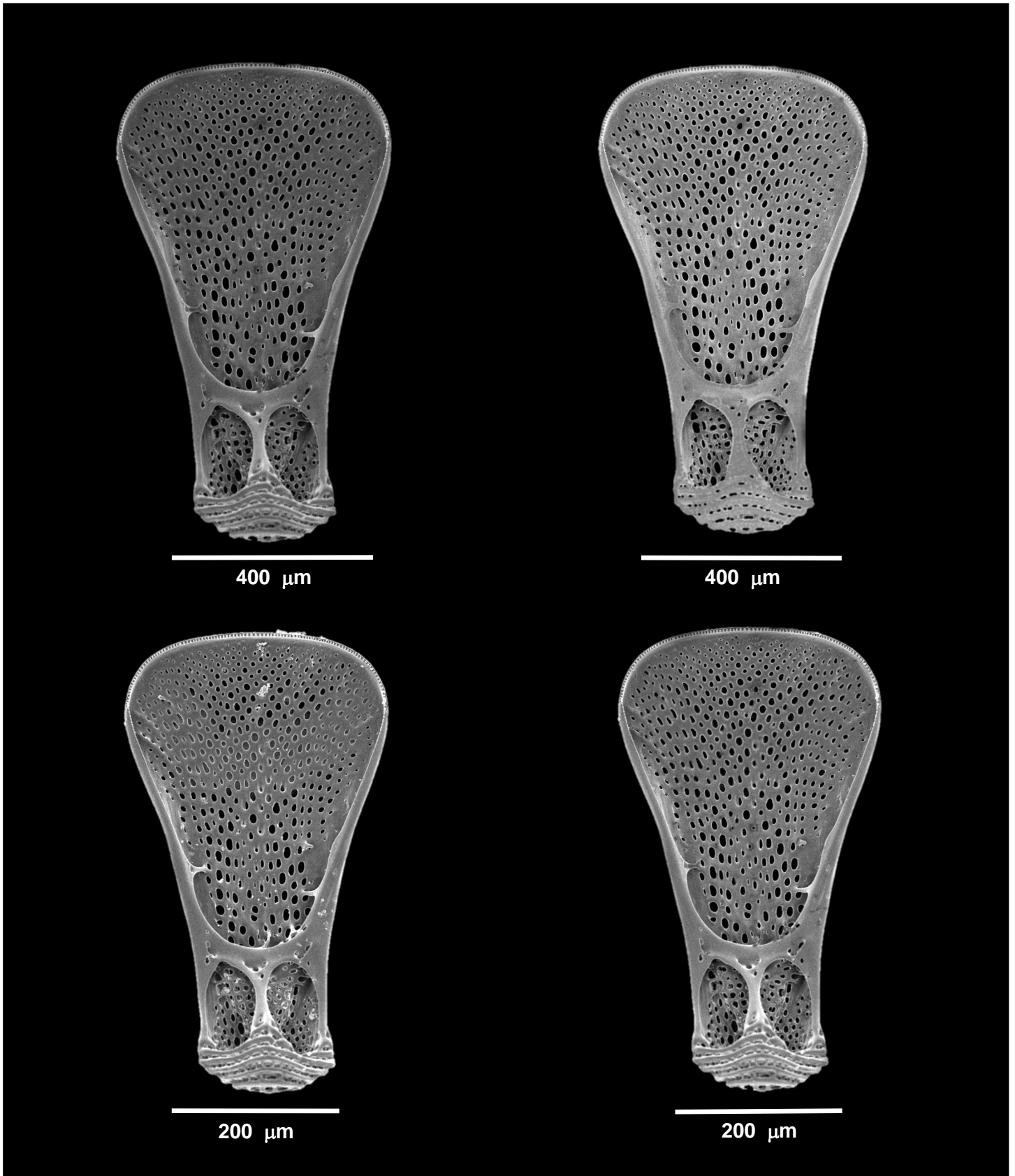


Lámina 28. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 4.126.22. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 350 m.



Lámina 29. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 11574. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 450 m.

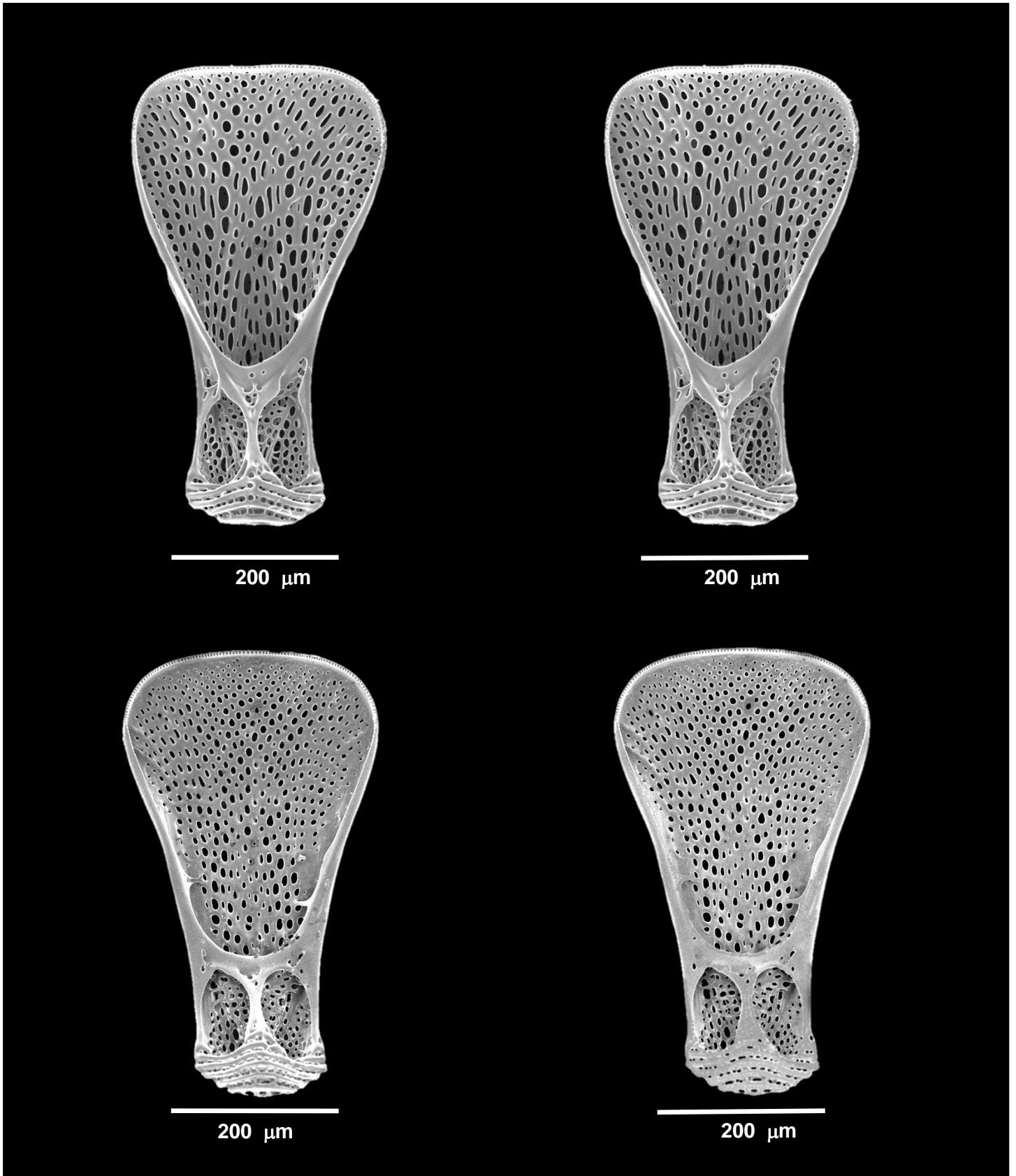


Lámina 30. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 9830. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 450 m.



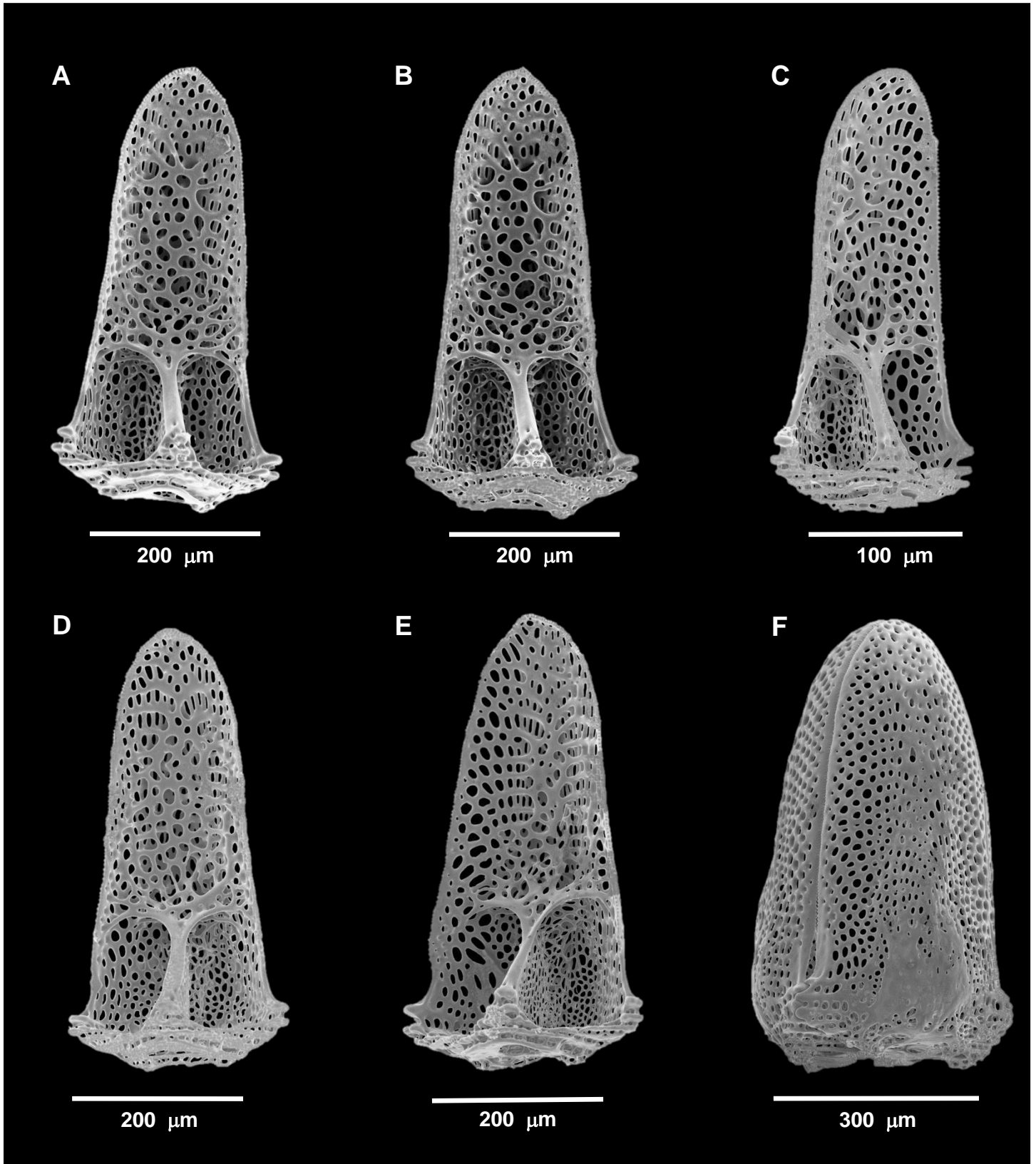


Lámina 31. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 4.126.30. **A-E.** Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 550 m. **D.** Cabeza de un pedicelario tridentado de un ejemplar colectado a 550 m.

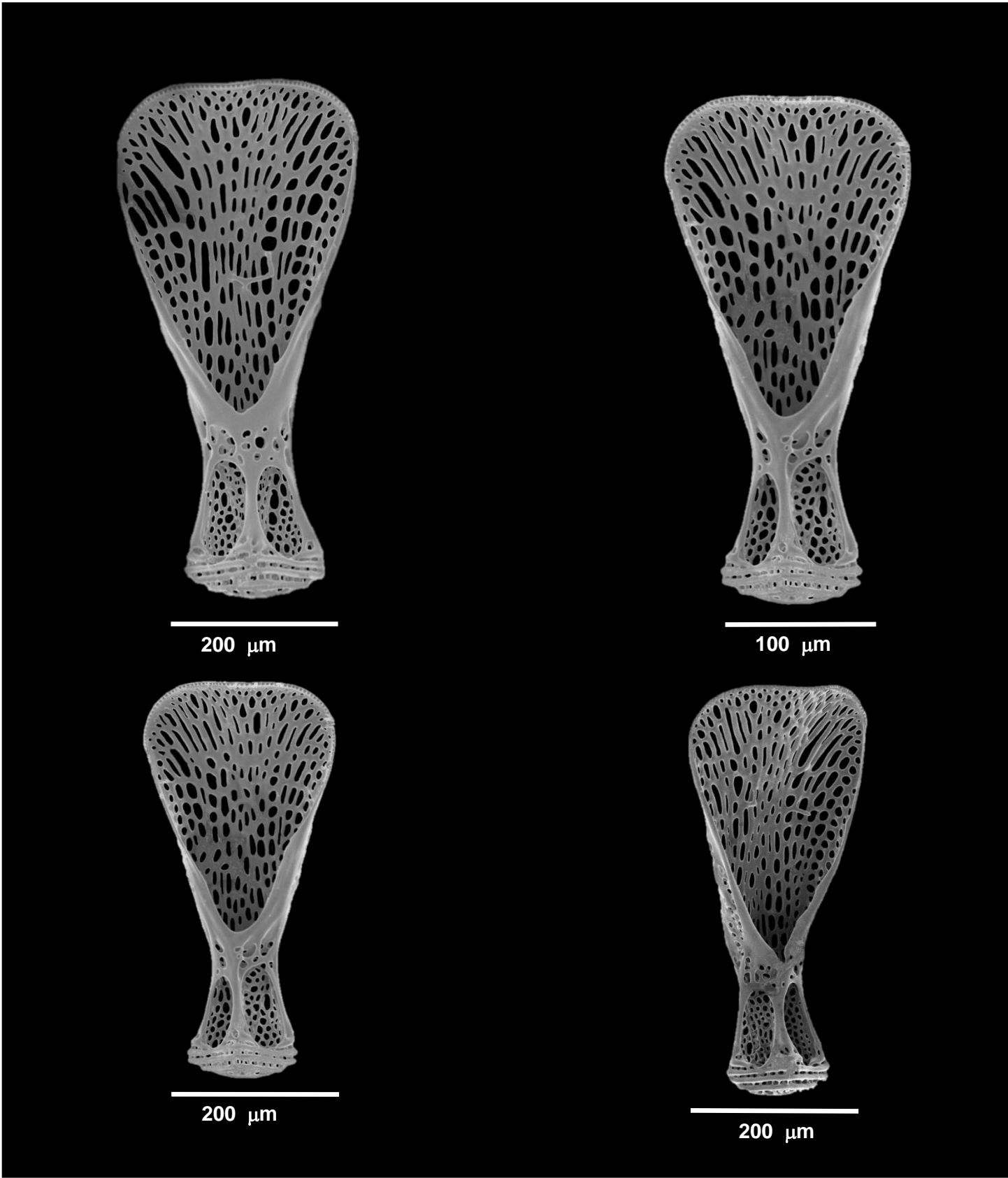


Lámina 32. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 9903. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 550 m.

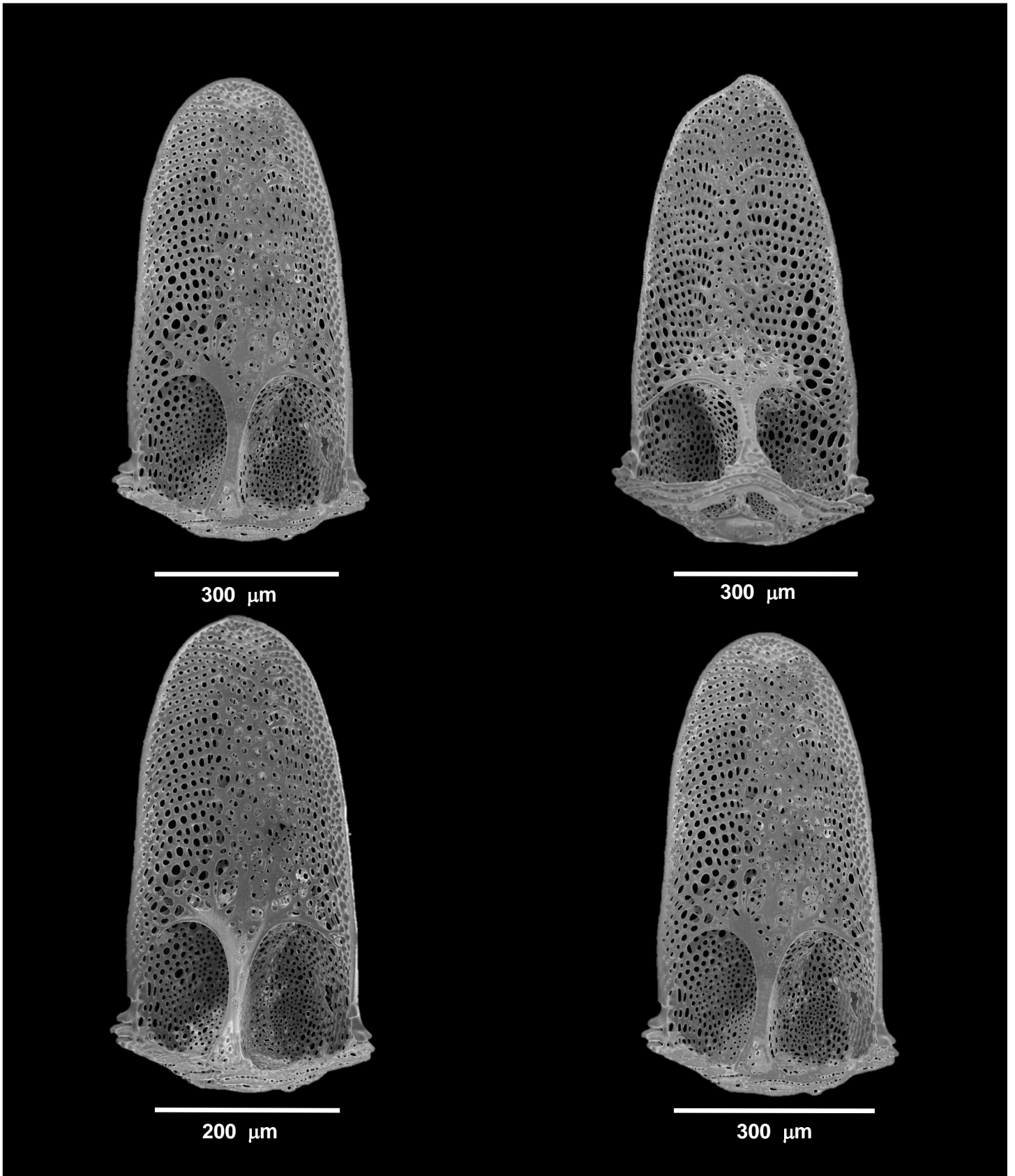


Lámina 33. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 9903. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 650 m.

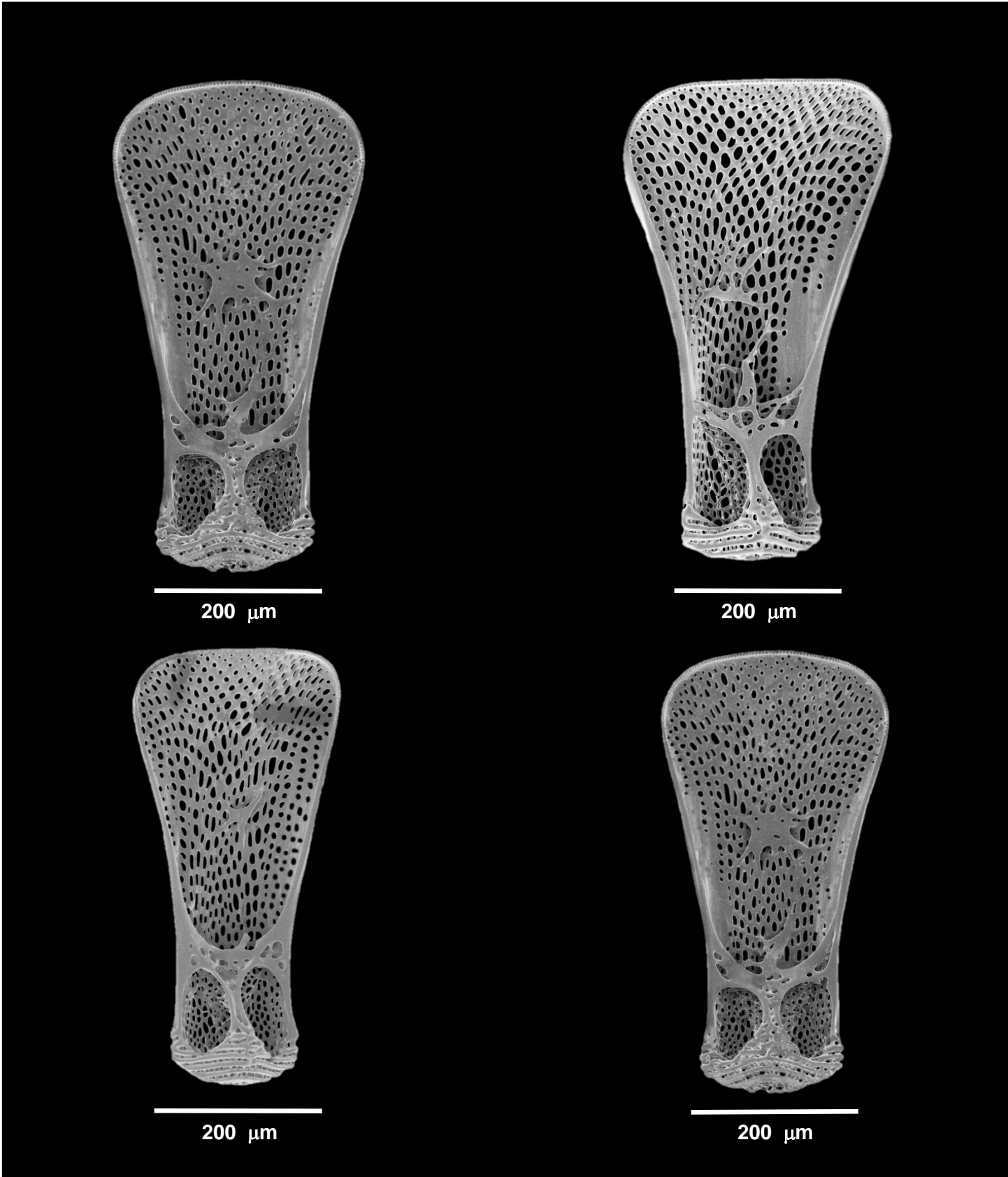


Lámina 34. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 4.126.12. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 650 m.

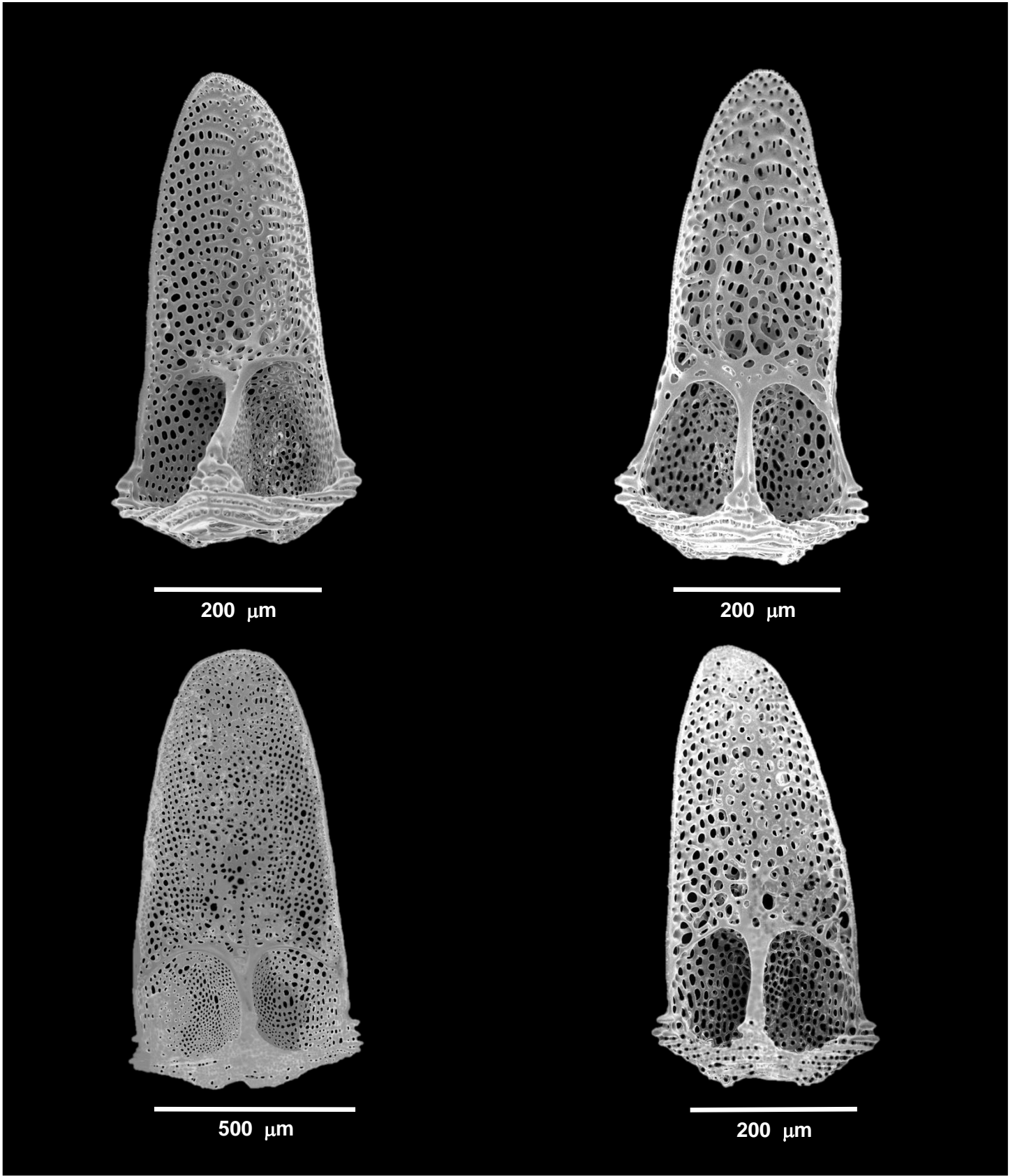


Lámina 35. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 9917. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios tridentados de ejemplares colectados a 750 m.

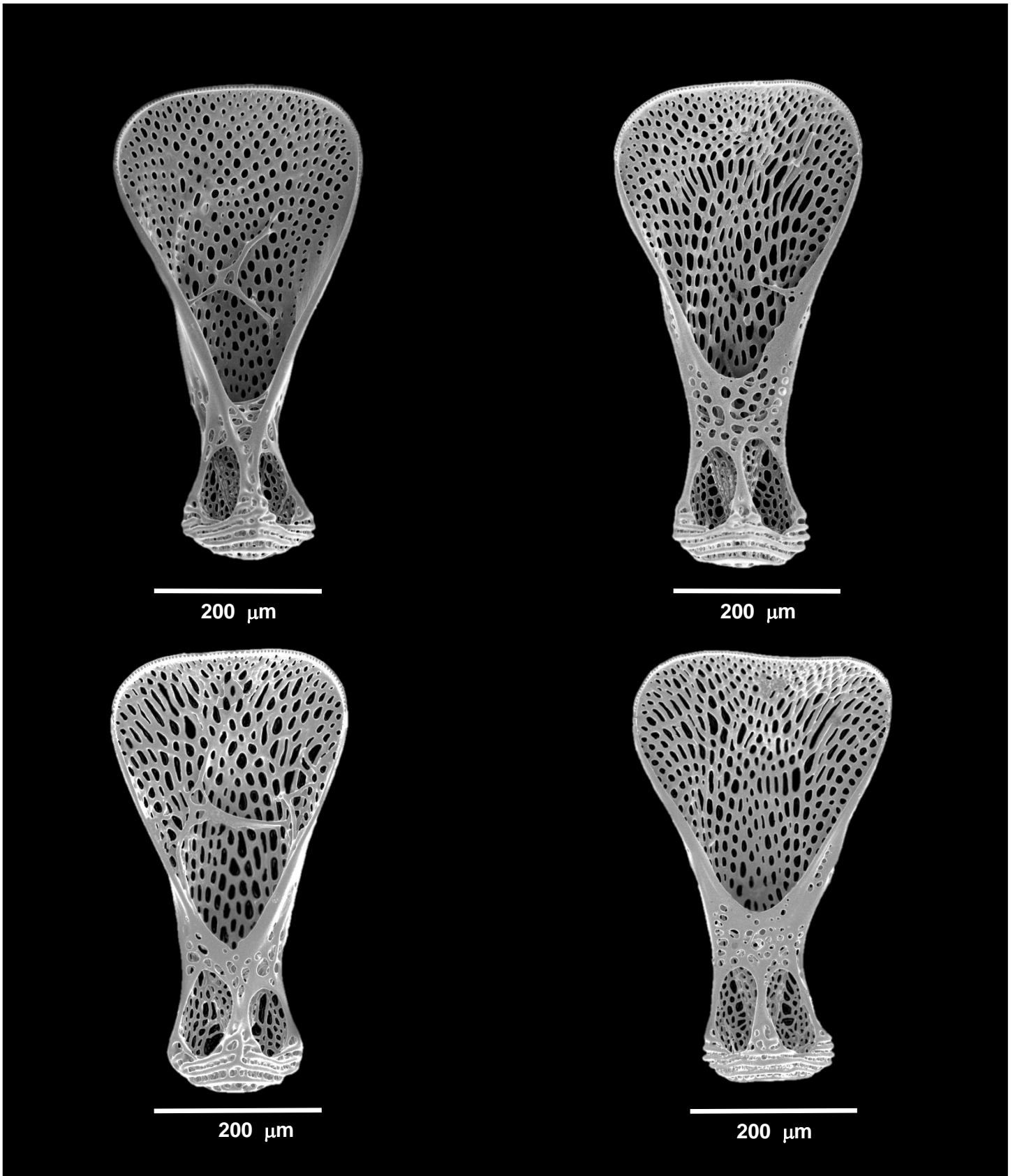


Lámina 36. *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, ICML-UNAM 4.126.23. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de valvas de pedicelarios trifoliados de ejemplares colectados a 750 m.



## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. Uso de los caracteres morfológicos para la identificación de las especies de la familia Echinothuriidae.

Las recientes investigaciones en aguas profundas del Golfo de México, han contribuido al incremento en el número de especies reportadas para esa zona (Pawson *et al.*, 2009; 2015). A pesar de esto, se han presentado algunos problemas taxonómicos, ya que algunos de los ejemplares colectados presentan características similares y esto causa algunas confusiones al tratar de identificarlos taxonómicamente; tal es el caso de los erizos de mar del grupo de los equinotúridos, los cuales presentan características morfológicas semejantes, como una testa plana, baja y flexible, lo cual ha llevado a su mala identificación taxonómica y por lo tanto, a un conocimiento muy vago acerca del número de especies reportadas del grupo.

Aunque varios autores (Thomson, 1872; Agassiz, 1880; Mortensen, 1903, 1907, 1935; Anderson, 2016) han discutido sobre la clasificación de los equinotúridos, en especial, de las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae, estos mismos han creado confusiones a la hora de identificar a las especies de esas familias, ya que los caracteres taxonómicos que utilizaron para separarlas son muy parecidos o poco confiables, por ejemplo, por ejemplo, el “color del organismo”, carácter ya identificado por Mortensen (1935) como “poco confiable”.

Para diagnosticar a las especies analizadas en este trabajo, se tomaron en cuenta algunos caracteres diagnósticos considerados anteriormente por algunos autores (Thomson, 1872; Agassiz, 1880; Mortensen, 1903, 1907, 1935; Anderson, 2016), además de proponer tres nuevos caracteres para distinguir entre las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae habitantes de las aguas mexicanas del Golfo de México. Uno de los

caracteres que se proponen en este trabajo es la forma de los esferidios; estas pequeñas estructuras fueron descritas por Lovén en 1874, no fueron consideradas como un carácter diagnóstico de importancia taxonómica (Mortensen, 1935, 1940; D'yakonov, 1969), sólo se les consideraban como las estructuras encargadas de mantener el equilibrio en los equinoideos (Hyman, 1955); en este trabajo se definen a la forma de los esferidios como un carácter diagnóstico taxonómico a nivel específico, ya que presentan formas muy características y distintivas para cada una de las especies. En *Araeosoma belli* los esferidios son de forma globular, con la parte superior plana y con pequeñas prolongaciones en forma de picos, mientras que en *Araeosoma fenestratum* son globulares, alargados, con forma de bate o mazo; tan solo en estas dos especies los esferidios son excelentes caracteres morfológicos que ayudan a separarlas. Cabe mencionar que este es el primer trabajo en donde se utilizan a los esferidios y se les define como caracteres diagnósticos para identificar y clasificar a las especies de equinotúridos.

La forma de las espinas orales es otro carácter muy importante que ayuda a separar a las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae (Mortensen, 1935); las espinas orales características de la familia Echinothuriidae terminan en un casco hialino blanco con forma de cono expandido (Mortensen, 1935), mientras que las espinas orales cubiertas por una gruesa bolsa de piel, son características de la familia Phormosomatidae (Mortensen, 1935); este carácter también fue utilizado por Kroh y Smith (2010) como sinapomorfía convincente para su análisis filogenético de los equinoideos del post-Paleozoico, el cual se basa en la presencia y forma de los cascos hialinos, expandidos en las espinas de los géneros *Sperosoma*, *Araeosoma* e *Hygrosoma* (característica única para ese grupo). En este estudio, se pudo constatar que *Araeosoma belli* y *Araeosoma fenestratum* presentan espinas orales que terminan en un casco hialino con forma de cono expandido; *Hygrosoma petersii* tiene espinas orales que se curvan en la punta como un palo de hockey y



*Phormosoma placenta* posee espinas orales están envueltas en una gruesa bolsa de piel, características taxonómicas que anteriormente solo fueron consideradas por Mortensen (1935), y que nunca fueron tomadas en cuenta en estudios taxonómicos posteriores (D'yakonov, 1969; Kroh y Smith, 2010).

Mortensen (1940) consideró la morfología de los pedicelarios como un caracter de gran importancia para identificar y separar a las especies dentro de la familia Echinothuriidae, pero como algunos de los pedicelarios suelen tener algunas variaciones morfológicas dentro de la misma especie (Mortensen, 1940), al parecer no fueron considerados caracteres de importancia taxonómica en estudios posteriores (D'yakonov, 1969; Coppard y Cambell, 2006; Kroh y Smith, 2010). Los pedicelarios globíferos son de gran importancia taxonómica (Mortensen, 1935), a menudo determinando inmediatamente la posición de una especie en la clasificación, aunque a veces no se pueden utilizar con fines diagnósticos, porque pueden estar totalmente ausentes en ciertos ejemplares, incluso en especies en las que generalmente se han encontrado (D'yakonov, 1969). Anderson (2016) considera a los pedicelarios como caracteres de importancia taxonómica para distinguir a las especies de equinotúridos de Nueva Zelanda. En la presente investigación se define a la forma de los pedicelarios como un carácter diagnóstico de gran importancia taxonómica.

Thomson (1872), Agassiz (1880) y Mortensen (1903) no consideraron la forma de los pedicelarios de *Araeosoma belli*, *Araeosoma fenestratum* e *Hygrosoma petersii*, los cuales, como resultado de esta investigación se describen como: pedicelarios tridentados, con valvas generalmente convexas en la superficie exterior y cóncavas en el interior, formando así una depresión más o menos profunda; también presentan pedicelarios trifoliados, pequeños.



*Phormosoma placenta* presenta pedicelarios tridentados y trifoliados morfológicamente diferentes y característicos de la familia Phormosomatidae, [carácter que nunca fue tomado en cuenta por muchos autores como Thomson (1872), Agassiz (1880) y Mortensen (1903, 1935, 1940)] los cuales tienen forma espatulada.

## 8.1 Morfometría Geométrica

Uno de los estudios más importantes que se han llevado a cabo desde los inicios de la biología, es la descripción anatómica y morfológica de los seres vivos con la finalidad de analizar diferencias entre especies y dentro de una misma especie (Adams *et al.*, 2013). La morfometría geométrica, ha sido descrita como “una fusión empírica de la geometría con la biología” (Bookstein, 1982), ya que analiza la forma de los organismos o de alguna de sus estructuras, considerando el espacio geométrico y empleando métodos estadísticos multivariados.

Aunque los pedicelarios son caracteres excelentes para separar especies de erizos de mar (Mortensen, 1935; Brosseau y Eléaume, 2001; Coppard *et al.*, 2010). Brosseau y Eléaume (2001) realizaron un análisis morfométrico de pedicelarios de *Stylocidaris affinis* utilizando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), este trabajo fue uno de los primeros que utilizó, al mismo tiempo, MEB y análisis morfométricos cuantitativos para estimar la variabilidad morfológica de pedicelarios y cuestionar la fiabilidad de los mismos como caracteres discriminantes para la taxonomía de la familia Cidaridae. En el caso de los equinotúridos, observamos que estos sufren variaciones morfológicas, intraespecíficas y relacionadas a la profundidad en la que habitan las especies, las modificaciones que se observan son el tamaño y la forma de la parte distal de la valva, entre otras. Los pedicelarios trifoliados que presentan *Araeosoma belli*, *Araeosoma fenestratum* e *Hygrosoma petersii*, sufren variaciones, en el tamaño y forma de la valva.



En morfometría geométrica, no ha sido posible analizar separadamente la forma del tamaño, debido a que son características biológicas que están íntimamente ligadas (Zeldicht *et al.*, 2004), es decir, organismos de diferentes tamaños tendrán diferentes formas, aunque sean de la misma especie, lo que se debe al desarrollo y crecimiento natural u ontogenético de los organismos vivos. En este trabajo se tomó en cuenta la variación ontogenética en la forma de los pedicelarios de las especies analizadas, por lo cual se compararon ejemplares de las distintas especies y con el mismo diámetro de testa.

Las variaciones morfológicas explicadas en el presente trabajo, y que sufren los pedicelarios de una misma especie de equinotúrido, conforme aumenta la profundidad en la que habita, se puede decir que es una adaptación que adquiere la especie a las condiciones extremas ambientales (Fiege *et al.*, 2010). Se debe tomar en cuenta que los pedicelarios son estructuras formadas por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), y en el mar profundo la absorción del  $\text{CaCO}_3$  es limitada (Lett y Judson, 1995); los parámetros que influyen en la disolución y la precipitación del  $\text{CaCO}_3$  son el contenido en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el potencial de hidrógeno (pH) y la temperatura (Lett y Judson, 1995). El aumento de la presión apoya la disolución de  $\text{CaCO}_3$ , la influencia de la presión se nota en altas profundidades (el  $\text{CaCO}_3$  se disuelve completamente a aproximadamente 4,500 m, en la zona de compensación) (Lett y Judson, 1995).

Los equinodermos de profundidad se encuentran adaptados a ambientes extremos, bajas temperaturas, altas presiones hidrostáticas, oscuridad total, alimento limitado, entre otras (Capezzuto *et al.*, 2010); en el proceso de adaptación sufren variaciones en la forma del cuerpo o realizan ciertos cambios en su anatomía interna para tener éxito en estos ambientes (Capezzuto *et al.*, 2010), por lo anterior, es probable que la variación del tamaño de los pedicelarios (reacción de talla al aumentar la profundidad) encontrados en este trabajo, sea la principal causal de este fenómeno.

## **8.2 Herramientas para la identificación taxonómica de los equinotúridos reportados en el Golfo de México.**

Existen pocas claves taxonómicas para identificar las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae de las aguas mexicanas del Golfo de México (Mortensen, 1907, 1935 y 1943; H. L. Clark, 1923; Serafy, 1979). Sin embargo, ninguna de ellas incluye a las cuatro especies en cuestión; la mayoría de estas claves no contiene ilustraciones suficientes para poder separar morfológicamente a las especies, además de no tomar en cuenta y en conjunto, caracteres relevantes como la forma de las espinas orales, esferidios y pedicelarios tridentados y trifoliados (tan importantes para su estudio taxonómico). El presente catálogo de identificación taxonómica de las especies de las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae de las aguas mexicanas del Golfo de México, es el primero en su estilo, al reunir información relevante de cada una de las especies. Las claves de identificación taxonómica que se presentan en este estudio, son las primeras que agrupan todos los caracteres necesarios para determinar fácil y correctamente a las cuatro especies de equinotúridos reportados en el Golfo de México. La guía ilustrada de pedicelarios tridentados y trifoliados es la primera en su estilo, mostrando fotografías de Microscopia Electrónica de Barrido de las cuatro especies de equinotúridos reportadas para el Golfo de México, a diferentes profundidades (250–750 m), haciendo más fácil la identificación de ejemplares provenientes de ese intervalo de profundidad, a diferencia del estudio de Anderson (2016) quien no tomó en cuenta la variación de forma antes señalada.



## 9. CONCLUSIONES

El elenco taxonómico de los equinotúridos de las aguas mexicanas del Golfo de México, pertenecientes a las familias Echinothuriidae y Phormosomatidae, está representado por las especies: *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), *Hygrosoma petersii* (Agassiz, 1880) y *Phormosoma placenta* Thomson, 1872.

Los caracteres taxonómicos diagnósticos de mayor importancia para identificar a las especies anteriormente citadas, son la forma de los pedicelarios, de los esferidios y de las espinas orales.

Los pedicelarios tridentados y trifoliados de los especímenes de las especies de *Araeosoma belli* Mortensen, 1903, *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872), *Hygrosoma petersii* (Agassiz, 1880) y *Phormosoma placenta* Thomson, 1872, presentan variaciones morfológicas en los pedicelarios, dependiendo de la profundidad a la que fueron colectados. Las valvas de los pedicelarios son más anchas (320–350  $\mu\text{m}$ ) cuando la profundidad es menor (250–350 m) y son más delgadas (170–200  $\mu\text{m}$ ) cuando aumenta la profundidad (600–750 m).

Las claves taxonómicas presentes en este estudio, ofrecen una forma rápida de determinar, primero a las familias del orden Echinothuroida, posteriormente a los géneros de la familia Echinothuriidae y Phormosomatidae, y finalmente a las cuatro especies de equinóturidos habitantes de las aguas mexicanas del Golfo de México; estas claves son las primeras que agrupan los caracteres: forma de los pedicelarios, de los esferidios y de las espinas orales. Además, la guía ilustrada de pedicelarios tridentados y trifoliados, se presenta como una herramienta eficaz para la correcta identificación de las especies a diferentes intervalos de profundidad.

## 10. LITERATURA CITADA

Adams, D. C.; Rohlf, F. J. and Slice, D. E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the “revolution”. *Italian Journal Zoology*, 71 (1): 5–16.

Adams, D.C., Rohlf, F. J., and Slice, D.E. 2013. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1): 7–14.

Agassiz, A. 1878. Reports of the results of dredging, under the supervision of Alexander Agassiz, in the Gulf of Mexico, by the United States Coast Survey Steamer “Blake”. II. Report on the Echini. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 5: 181–195.

Agassiz, A. 1880. Reports of the results of dredging, under the supervision of Alexander Agassiz, in the Caribbean Sea in 1878-79, and along the Atlantic Coast of the United States during summer of 1880, by the U.S. Coast Survey Steamer “Blake”. IX. Preliminary report on the Echini. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 8, 69–84.

Agassiz, A. 1881. Report on the Echinoidea, dredged by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. In: Report of the scientific results of the exploring voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. A summary of the scientific results. *Zoology*, 3: 1–321.

Agassiz, A. 1882. Reports on the Echinoidea. Exploration of the Faroe Channel during the summer of 1889 in H.M.S. “Knight Errant”. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 697.

Agassiz, L. 1883. Report on echini. In: Reports on the results of dredging by the U.S. Coast Survey Steamer Blake. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College* 10: 1–94.

Agassiz, A. and Clark, H. L. 1909. Hawaiian and other Pacific Echini. The Echinothuridae. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College* 34 (3): 1–72.

Allain, J. 1976. Erizos de la Costa Norte de Colombia. *Informe Museo del Mar*, 15: 1–18.

Alvarado, J.J. and Solís-Marín, F. A. 2013. Echinoderm Research and Diversity in Latin America. Springer-Verlang Berlin Heidelberg. 658 pp.

Baster, J. 1762. *Natuurkundige Uitspanningen, Behelzende Eenige Waarneemingen over sommige Zee-Planten en Zee-Insecten, Benevens Derselver Zaadhuisjes en Eijernesten*. Hollandse Maatschppten Der Wetenschappen. 220 pp.



Bayer, F., G. Voss y R. Robin. 1970. Bioenvironmental and radiological safety feasibility studies Atlantic-Pacific Interoceanic Canal. Report on the marine fauna and benthic shelf slope communities of the Isthmian Region. University of Miami, La Florida. 99 pp.

Bell, F. J. 1889. Echinodermata. Rep. Deep-sea Trawling Cruise off the S.W. coast of Ireland, under the direction of Rev. Spotswood Green. *Annals and Magazine Natural History* 6 (IV): 406.

Benavides, G. 1956. "Notas sobre la geología petrolera de México: descripción de las provincias petroleras", en Guzmán, E. J. (ed.), *Symposium sobre Yacimientos de Petróleo y Gas*, XX, Congreso Geológico Internacional. México. pp. 351–562.

Bernard, F. 1895. Liste des Echinides recueillis pendant les croisières du "Travailleur" & "Talisman". *Bulletin of the Museum of Paris*. I, p. 208.

Bonnet, A. 1926. Recherches sur la constitution des plaques, la disposition des pores et l'obliquité des canaux ambulacraires chez les Echinides Réguliers. *Institut Océanographique, Paris*, 3: 245–279.

Bookstein, F. L. 1982. Foundations of morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13: 451–470.

Bookstein, F. L. 1991. *Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology*. Cambridge University Press. Cambridge.

Borrero-Pérez, G. H., Benavides-Serrato, M., Solano, O. D. y Navas, G. R. 2002. Equinoideos (Echinodermata: Echinoidea) colectados en la franja superior del talud continental del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 31: 133-166.

Borrero-Pérez, G.H., Benavides-Serrato, M y Díaz-Sánchez, C. M. 2012. Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea. *Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No. 30*. Santa Marta, 250 p.

Bribiesca-Contreras, G., Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A. y Zaldívar-Riverón, A. 2013. Identification of echinoderms (Echinodermata) from an anchialine cave in Cozumel Island, Mexico, using DNA barcodes. *Molecular Ecology Resources*, p.9.

Brosseau, O. and Eléaume, M. 2001. Morphometric analysis of pedicellariae in *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845) (Echinodermata, Echinoidea, Cidaridae) using Scanning Electron Microscopy (SEM). *Echinoderm Research*, Féral and David (eds.), 137–142.

Calva, L. G. 2003. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 2. Erizos de mar y Pepinos de mar. *Contactos*, 47: 54–63.



Campbell, A. C. and Jensen, M. 1993. Rostrate pedicellariae: A morphologically distinct form of echinoid test appendage. *Journal of Morphology*, 218(3):237–247.

Capezzuto, F., Carlucci, R., Maiorano, P., Sion, L., Battista, D., Giove, A., Indennitate, A., Tursi, A. and D'Onghia, G. 2010. The bathyal benthopelagic fauna in the north-western Ionian Sea: structure, patterns and interactions. *Chemistry and Ecology* 26: 199–217

Caso, M. E. 1946. Contribución al conocimiento de los equinodermos de México. I. Distribución y morfología de *Mellita quinquiesperforata* (Leske), *M. lata Clark* y *M. longifissa*. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México*, 17(1-2): 247–259.

Caso, M.E. 1948. Contribución al conocimiento de los Equinodermos de México. II. Algunas especies de equinoideos litorales. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 19(1): 183–231.

Caso, M. E. 1971. Contribución al conocimiento de los Equinoideos de México. Estudio morfológico de *Brissopsis alta* Mortensen, erizo de profundidad. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie. Ciencias del Mar y Limnología*, 42 (1): 41–56.

Caso, M. E. 1974. Contribución al estudio de los Equinoideos de México. El género *Tripneustes* A. Agassiz. Morfología y ecología de *Tripneustes ventricosus* (Lamarck). *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 1(1): 1–24.

Caso, M. E. 1976. El estado actual del estudio de los equinodermos de México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 3(1): 1–56.

Caso, M. E. 1979. Los Equinodermos (Asteroidea, Ophiuroidea y Echinoidea) de la Laguna de Términos, Campeche. *Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Publicación Especial*, 3: 1–186.

Caso, M. E., Laguarda-Figueroa, A., Solís-Marín, F. A., Ortega-Salas, A., and Durán-González, A. L. 1994. Contribución al conocimiento de la ecología de las comunidades de equinodermos de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 21: 67–85.

Coppard, S. E. and Campbell, A. C. 2006. Taxonomic significance of test morphology in the echinoid genera *Diadema* Gray, 1825 and *Echinothrix* Peters, 1853 (Echinodermata). *Zoosystema*, 28(1): 93–112.

Coppard, S. E., Kroh, A. and Smith, A. B. 2010. The evolution of pedicellariae in echinoids: an arms race against pests and parasites. *Acta Zoologica*, 93(2): 125-148.





Clark, H. L. 1923. The echinoderm fauna of South Africa. *Annals of the South African Museum*, 13: 221–435.

Clark, H. L. 1925. A catalogue of the recent sea-urchins (Echinoidea) in the collection of the British Museum Natural History. London. 54 p.

Clark, H. L. 1941. Reports on the scientific results of the Atlantis expeditions to the West Indies, under the joint of the University of Havana and Harvard University. The echinoderms other than holothurians. *Memories Society Cuban Natural History "Felipe Poey"*, 15: 1–154.

Clark, A. H. 1954. Echinoderms (other than holothurians) of the Gulf of Mexico. In P. S. Galtsoff, (Ed). *Gulf of Mexico. Its origin, waters and marine life. Fishery bulletin. United States Fish and Wildlife Service* 55(89): 604 pp.

Döderlein, L. 1905. Über Seeigel der deutschen Tiefsee-Expedition. *Zoologischer Anzeiger*. 28: 621–624.

Döderlein, L. 1906. Die Echinoiden der deutschen Tiefsee Expedition. *Wiss. Ergeb. Dtsch. Tiefsee Expedition. 1898-1899*. 5: 1–87.

Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Buitrón Sánchez, B. E., Gust Ahearn, C. y Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 53(3): 53–68.

Dryden, I. L. and Mardia, K. V. 1998. *Statistical shape analysis*. Chichester, John Wiley and Sons. New York. 347 p.

D'yakonov, A. M. 1969. Echinodermata. Sea-Urchins (Echinoidea). *Fauna of Russia and Adjacent Countries*, 1(1): 265 p.

Escobar Briones, E. 2000. La biodiversidad del mar profundo en México. *CONABIO. Biodiversitas*, 29: 1–6.

Farran, G. P. 1913. The deep-water Asteroidea, Ophiuroidea and Echinoidea of the west coast of Ireland. *Fisheries Ireland, Scientific Investigations* 1912. IV 1–66.

Fiege, D., Ramely, P.A. and Ebbe, B. 2010. Diversity and distributional patterns of Polychaeta in the deep South Atlantic. *Deep-Sea Research Part 1*, 57/10: 1329–1334.

Gage, J.D. and Tyler, P.A. 1992. *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. Cambridge: Cambridge University Press, 524 pp.

Galley, E. A., Tyler, P. A., Smith, C. R. and Clarke, A. 2008. Reproductive biology of two species of holothurian from the deep-sea order Elaspoda, on the Antarctic continental shelf. *Deep-Sea Research Part II*, 55/22-23: 2515–2526



Gilbert, S. F. 2003. *Biología del Desarrollo*. 7a ed. Buenos Aires, Médica Panamericana, 855 pp.

Gray, J. S. 2002. Species richness of marine soft sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 244: 285–297.

Grieg, J. 1921. Echinodermata. Michael Sars North Atlantic Deep-sea Expedition 1910. Bergen, Bergen Museum. p. 40.

Hilgers, H. and Splechtna, H. 1976. Struktur und Funktionsanalyse ophiocephaler Pedizellariaen von *Sphaerechinus granularis* Lam., *Echinus acutus* Lam., und *Paracentrotus lividus* Lam. (Echinodermata, Echinoidea). *Zoomorphologie*, 86: 61–80.

Hendrickx, M. E., Mah, C. and Zárate Montes, C. M. 2011. Deep-water Asteroidea (Echinodermata) collected during the TALUD cruises in the Gulf of California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 798–824.

Hendrickx, M. E. 2012. Listado sistemático de los equinodermos de aguas profundas del Pacífico mexicano. Pp. 373-395. En: *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico*. P. Zamorano, M. Hendrickx y M. Caso (Eds.). SEMARNAT, INECC. México, 465 pp.

Herrera-Moreno, A. y Bentancourt-Fernández, L. 2004. Especies de equinodermos recientes (Echinodermata: Crinoidea: Asteroidea: Ophiuroidea: Echinoidea y Holothuroidea) conocidas para la Hispaniola. *Revista de Ciencia y Sociedad*. INTEC, 29 pp.

Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. y Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 57–73.

Hoyle, W. E. 1890. On the deep-water fauna of the Clyde sea-area. *Journal of the Linnaean Society*, 20: 442–472.

Hudson I. R., Wigham, B. D. and Tyler, P.A. 2004. The feeding behaviour of a deep-sea holothurian, *Stichopus tremulus* (Gunnerus) based on in situ observations and experiments using a Remotely Operated Vehicle. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 301/1: 75–91.

Hughes D. J. and Gage J. D. 2004. Benthic metazoan biomass, community structure and bioturbation at three contrasting deep-water sites on the northwest European continental margin. *Progress in Oceanography*, 63/1-2: 29–55.

Hyman, L. H. 1955. *The Invertebrates*, vol. 4: Echinodermata the Coelomate Bilateria. McGraw Hill, New York, 763 pp.

Juárez-Espinoza, P.A. Solís-Marín, F. A. y Arreguín-Espinosa, A. 2015. Micro identificación taxonómica y nuevos caracteres diagnósticos del erizo marino *Astropyga pulvinata* (Diadematoidea: Diademataidae). *Revista de Biología Tropical*, 63(2): 49–58.



Jungers, W. L.; Falsetti, A. B. and Wall, C. E. 1995. Shape, relative size, and size-adjustments in morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology*, 38: 137–161.

Kemp, S. W. 1905. *The marine fauna of the west coast of Ireland*. Part. III. Echinoderms of Ballynakill and Bofin Harbours, Co. Galway, and of the deep waters off the west coast of Ireland. Annual report of Fisheries, Ireland 1902-1903. II 176–206.

Kendall, D. G. 1977. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, 9:428–430.

Koehler, R. 1883. Investigations on the Echinoids of the coasts of provence. Marseille typographie et lithographie cayer Rue Saint-Ferréol, 57. Translation by John M. Lawrence. 139 pp.

Koehler, R. 1896. Résultats scientifiques de la campagne du Caudan dans de Golfe de Gascogne. Echinodermes. *Annales de l'Université de Lyon*. 26: 33–122

Koehler, R, 1909. Astéries recueillies par l'Investigator dans l'océan indien. Alternative: Account of the shallow-water Asteroidea. Series: Echinoderma of the Indian Museum. Pt. V-VI. Asteroidea I-II. Calcutta. P. 218.

Kroh, A. and Smith, A. B. 2010. The phylogeny and classification of post-Palaeozoic echinoids. *Journal of Systematic Paleontology*, Vol. 8, Issue 2, June. 147–212.

Kroh, A. 2012. Echinothuriidae. En: Kroh, A. And R. Mooi. 2012. World Echinoidea Database. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php> on (2014-12-12).

Lambert, J. and Thiéry, P. 1909. *Essai de Nomenclature Raisonnée des Échinides*. Chaumont: Librairie L. Ferriere, 607 pp.

Lankford, R. R. 1977. "Coastal lagoons of Mexico", in Wiley, M. (eds.). Their origin and classification, *Estuarine Processes*, Academic Press Incorporation, New York, pp. 182–215.

Lauerman, L. M. L. and Kaufmann, R. S. 1998. Deep-sea epibenthic echinoderms and a temporally varying food supply: results from a one year time series in the NE Pacific. *Deep-Sea Research Part II*, 45/4-5: 817–842.

Lett, L. y Judson, S. 1995. *Fundamentos de la geología física*. Limusa Noriega ediciones. 450 pp.

Lovén, S. 1874. Études sur les Echinoidées. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, 11: 1–91.

Marcus, L. F. 1990. Traditional morphometrics. En *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. Rohlf, F. J. and Bookstein, F. L. (Eds). Special Publication Number 2. The University of Michigan Museum of Zoology, 77–122 pp.



- Massin, C. and Hendrickx, M. E. 2010. A new species of deep-water Holothuroidea (Echinodermata) of the genus *Synallactes* from off western Mexico. *Scientia Marina*, 74(3): 599–603.
- Massin, C. and Hendrickx, M. E. 2011. Deep-water Holothuroidea (Echinodermata) collected during the TALUD cruises off the Pacific coast of Mexico, with the description of two new species. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 413–443.
- Monteiro, L. R., Diniz-Filho, J. A., dos Reis, S. F. and Araujo, E. D. 2002. Geometric estimates of heritability in biological shape. *Evolution*, 56(3): 563–72.
- Mortensen, T. 1903. The Danish Ingolf-Expedition 1895-1896. Vol. 4, No. 2. *Echinoidea* (part I) Bianco Luno, Copenhagen, 198 pp.
- Mortensen, T. 1907. The Danish Ingolf-Expedition 1895-1896. Vol. 4. No. 2. *Echinoidea*. (part. 2). Bianco Luno. Copenhagen, 200 pp.
- Mortensen, T. 1927. Handbook of the echinoderms of the British Isles. Oxford University Press, Oxford, 471 pp.
- Mortensen, T. 1935. A Monograph of the Echinoidea. II. Bothriocidaroida, Melonechinoida, Lepidocentroida and Stirodonta. C. A. Rietzel, Copenhagen, 647 pp.
- Mortensen, T. 1940. A Monograph of the Echinoidea. III.1, Aulodonta. With additions to Vol. II (Lepidocentroida and Stirodonta). C. A. Rietzel, Copenhagen, 370 pp.
- Mortensen, T. 1943. A Monograph of the Echinoidea. III. 2, 3 Camarodonta. I. Orthopsidae, Glyphocyphidae, Temnopeluridae and Toxopneustidae. C. A. Rietzel, Copenhagen, 553 pp.
- Müller, O. F. 1806. Zoologia Danica. Descriptiones et Historia. Vol. 3. Hafniae et Lipsiae (1779-1784). Sodali Acad. Paris. 258 pp.
- Nichols, D. 1902. Report on Recent additions to the Irish fauna and flora (terrestrial and freshwater). List of Irish Echinoderms. Proceedings Royal Irish Academy. Vol. XXIV. Lloyd Praeger. Dublin. 24 B. 231–267.
- Nichols, D. 1969. Echinoderms. Editorial Hutchinson, London. 192 pp.
- Nobre, A. 1930. Echinodermes de Portugal. Editorial do Minho. Porto, 108: 1–49.
- Oldfield, S. C. 1975. Surface fine structure of the globiferous pedicellariae of the regular echinoid, *Psammechinus miliaris* Gmelin. *Cell and Tissue Research*, 162: 377–385.
- Ortiz-Pérez, M.A. y De la Lanza-Espino, G. 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Geografía para el siglo XXI. Serie Textos Universitarios, Instituto de Geografía, UNAM. México D.F. 138 pp.
- Oxnard, C. and O'Higgins, P. 2009. Biology clearly needs Morphometrics. Does Morphometrics need Biology. *Biological Theory*, 4: 84–97.



Pages, F., Martin, J., Palanques, A., Puig, P. and Gill, J. M. 2007. High occurrence of the elaspodid holothurian *Penilpidia ludwigi* (von Marenzeller, 1893) in bathyal sediment traps moored in a western Mediterranean submarine canyon. *Deep-Sea Research Part 1*, 54/12: 2170–2180.

Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. p. 749-764. En: Zhang, Z.-Q. and W.A. Shear. 2007. *Linnaeus Ternary: Progress in Invertebrate Taxonomy*. *Zootaxa*, 1668: 1–766.

Pawson, D. L., Vance, D. J., Messing, C. G., Solís-Marín, F. A. and Mah, C. L. 2009. Echinodermata of the Gulf of Mexico. In: Felder D.L, Camp D.K. (Eds) *Gulf of Mexico: origin, waters, and biota*. Vol. 1. Biodiversity Texas A & M University Press, College Station, 1177–1202.

Pawson, D.L., Nizinsk, M. S., Lewis-Ames, C. and Pawson, D. 2015. Deep-sea echinoids and holothurians (Echinodermata) near cold seeps and coral communities in the northern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 91(2): 167–204.

Pica, Y., Ponce, M. G. y Barrón, M. A. 1991. Golfo de México y Caribe Mexicano. *Oceanografía geológica*. De la Lanza-Espino, G. 1991. En *Oceanografía de Mares Mexicanos*. A.G.T. Editor, S.A. México. 3–27.

Rathbun, R. 1885. Report on the Echini collected by the “Albatross” in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. 1885. *Proc. U.S. Nat. Mus.* 613 pp.

Rex, M. A. and Etter, R. J. 2010. *Deep Sea Biodiversity: Pattern and Scale*. London: Harvard University Press, 354 pp.

Rohlf, F. J. 1990. *Fitting curves to outlines*. En: *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. Rohlf, F. J. and Bookstein, F. L. (Eds). Special Publication Number 2. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Museum of Zoology, pp.167–77.

Rohlf, F. J. and Marcus, L. F. 1993. A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8(4):129–32.

Serafy, D. K. 1979. *Memoirs of the Hourglass Cruises*. V (III): Echinoids (Echinodermata: Echinoidea). St. Petesburg, Florida: Florida Department of Natural Resource, 120 pp.

Solís-Marín, F. A., Frontana-Uribe, S. C., Laguarda-Figueras, A. y Durán González, A. 2011. *Catálogo de Autoridades Taxonómicas de la Colección Nacional de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GS003. México, D. F.

Solís-Marín, F. A., Honey-Escandón, M. B. I., Díaz-Martínez, M. D., Buitrón-Sánchez, B. E. Palleiro-Nayar, J. S. and Durán-González, A. 2013. The echinoderms of Mexico: biodiversity, distribution and current state of knowledge. En: *Echinoderm Research and diversity in Latin America*, J.J. Alvarado-Barrientos y F.A. Solís-Marín (Eds). Springer-



Verlag, Berlin, 11–65.

Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Vázquez-Bader, A. R. y Gracia-Gasca, A. 2014. Biodiversidad de los equinodermos (Echinodermata) del mar profundo mexicano. Pp. 207-246. En: *La frontera final: el océano profundo* A. Low Pfeng y E. M. Peters Recagno (eds.). SEMARNAT, INECC, México. 215–254 p.

Smith, A. B. and Stockley, B. 2005. The geological history of deep-sea colonization by echinoids: roles of surface productivity and deep-water ventilation. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 272/1565: 865–869.

Smith, A. B. and Kroh, A. 2011. The Echinoid Directory. World Wide Web electronic publication. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/echinoid-directory>.

Toro, I. M. V.; Manríquez, S. G. and Suazo, G. I. 2010. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4): 977–990.

Turnewitsch R., Witte, U. and Graf, G. 2000. Bioturbation in the abyssal Arabian Sea: Influence of fauna and food supply. *Deep-Sea Research Part 2*, 47/14: 2877–2911.

Turner, R. L., and Graham, B. D. 2003. *Calocidaris micans* (Cidaridae) and *Pseudoboletia maculate* (Toxopneustidae): additions to the sea urchin fauna (Echinodermata: Echinoidea) of the Gulf of Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 116(1): 61–81.

Thomson, W. 1872. On the Echinoidea of the “Porcupine” Deep-Sea Dredging-Expeditions. *Proceedings of the Royal Society of London*, 20: 491–497.

Valentín, G. 1842. L’anatomie du genre Echinus. Neuchatel, 1842 in: Agassiz Louis Description des Echinodermes vivants et fossiles. Livr. 4. 352–355.

Verrill, A. E. 1882. Notice Marine Fauna S. Coast New England. *American Journal of Science and Arts*, 3. Ser. XXIII, p. 139.

Verrill, A. E. 1885. Results of the explorations made by the steamer “Albatross” of the northern coast of the United States in 1883. Report U.S. Fish Commission 1883, Washington. p. 503–699.

Wahl, C., Li, T., Choden, T. and Howland, H. 2009. Morphometrics of corneal growth in chicks raised in constant light. *Journal of Anatomy*, 214(3): 355–61.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., and Sheets, H. D. 2004. Geometric morphometrics for biologists: A primer. San Diego, California, USA: Elsevier Academic Press.

Zuccarelli, M. 2004. Comparative morphometric analysis of captive vs. wild African lion (*Panthera leo*) skulls. *BIOS*, 75(4):131–138.

## ANEXO I.

### MATERIAL EXAMINADO

Material examinado de *Araeosoma belli* Mortensen, 1903.

Colección	Catálogo	Ejemplares	Localidad	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Preservación
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.145.1	1	Banco de Campeche	22° 15'88" N	91°44'88" W	253	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.145.0	1	Cerca de Banco Chinchorro	13° 35' N	87°26' W	450	Alcohol 70%

Material examinado de *Araeosoma fenestratum* (Thomson, 1872).

Colección	Catálogo	Ejemplares	Localidad	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Preservación
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.6	1	Frente a Cabo Catoche	23° 55.478' N	87°11.272' W	645	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.6	1	Frente a Cabo Catoche	23° 55.478' N	87°11.272' W	645	Alcohol 70%

CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.8	1	Frente a Río Lagartos, Banco Campeche	24° 16-60´ N	88° 12.575´ W	455	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9678	2	Norte de Cabo Catoche	24° 21.090´ N	87° 46.573´ W	580	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9711	1	Norte de Cabo Catoche	23° 38.494´ N	87° 04.843´ W	572	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9646	2	Norte de Arrecife Alacrán	23° 30.982´ N	89° 49.429´ W	422	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.1	1	Frente a Progreso, Banco de Campeche	23° 31.096´ N	89° 56.109´ W	717	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.5	1	Frente a Cabo Catoche	23° 52.95´ N	87° 10.79´ W	620	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.2	1	Frente a Progreso, Banco de Campeche	23° 24.247´ N	90° 01.661´ W	681	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.9	12	Frente a Progreso, Banco de Campeche	23° 25.597´ N	89° 59.270´ W	650	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.7	6	Frente a Cabo Catoche	23° 55.504´ N	87° 11.300´ W	645	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.7	5	Frente a Cabo Catoche	23° 55.504´ N	87° 11.300´ W	645	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.3	3	Frente a Cabo Catoche	23° 46.20´ N	87° 06.64´ W	618	Alcohol 70%



CNE, ICML	ICML-UNAM 4.75.6	1	Frente a Cabo Catoche, Banco de Campeche	23° 55.478´ N	87° 11.272´ W	645	Alcohol 70%
-----------	---------------------	---	--	---------------	---------------	-----	-------------

Material examinado de *Hygrosoma petersii* (A. Agassiz, 1880).

Colección	Catálogo	Ejemplares	Localidad	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Preservación
CNE, ICML	ICML-UNAM 9839	8	Frente a Laguna de Términos			296	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.127.4	2	Frente a Río Lagartos, Banco de Campeche	23° 53.051´ N	88° 09.603´ W	245	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.127.3	4	Frente a Río Lagartos, Banco de Campeche	23° 49.442´ N	88° 13.303´ W	215	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.127.2	2	Frente a Progreso, Banco de Campeche	23° 20.23´ N	89° 49.05´ W	245	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.127.1	2	Frente a Progreso, Banco de Campeche	23° 23.270´ N	89° 46.614´ W	257	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.127.5	1	Frente a Cabo Catoche	23° 52.55´ N	87° 05.85´ W	700	Seco

CNE, ICML	ICML-UNAM 4.127.0	4	Yucatán	23° 27' 2" N	89° 14' 8" W	222.5	Seco
-----------	----------------------	---	---------	--------------	--------------	-------	------

Material examinado de *Phormosoma placenta Thomson, 1872*.

Colección	Catálogo	Ejemplares	Localidad	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Preservación
CNE, ICML	ICML-UNAM 9845	50	Frente a Lagun de Términos	22° 25.722' N	91° 26.929' W	443	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.4	30	Cercana a Cayo Arenas	22° 24'15" N	91° 35'00" W	548	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9640	5	Arrecife Alacrán	23° 36.02' N	89° 34.51' W	453	Alcohol 70%
CNE, ICML		16	COBERPES B37 Veracruz			769	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11658	5	Frente a Laguna Mecoacán	19° 34.271' N	92° 59.424' W	809	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.23	1	Cercana a Cayo Arenas	22° 37.857' N	90° 46.701' W	542	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11665	1	Frente a Barra de Chiltepec	19° 33.271' N	92° 49.096' W	593	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11731	3	Frente a Río Tonalá	19° 06.470' N	94° 06.379' W	852	Alcohol 70%

CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.25	1	Frente Coatzacoalcos	19° 09.397´ N	94° 16.214´ W	1025	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.26	3	Cercana a Cayo Arenas	22° 42.190´ N	90° 46.302´ W	652	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.23	10	Frente Coatzacoalcos	18° 59.466´ N	94° 19.947´ W	815	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11569	4	Frente Laguna Madre	24° 53.838´ N	96° 33.583´ W	584	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11574	1	Frente Laguna Madre	24° 50.832´ N	96° 38.428´ W	412	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11553	3	Frente Laguna Madre	24° 55.055´ N	96° 29.731´ W	766	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.14	5	Frente Coatzacoalcos	19° 04.861´ N	94° 20.822´ W	979.9	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11562	3	Frente Laguna Madre	24° 54.801´ N	96° 31.404´ W	683	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9841	50	Frente a Laguna de Términos	22° 25.659´ N	91° 26.498´ W	354	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9917	5	Frente a Frontera	19° 36.822´ N	92° 49.39´ W	759	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9903	11	Frente a Laguna Mecoacán	19° 33.821´ N	93° 01.460´ W	664	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.30	69	Cercana a Cayo Arenas	22° 24.3757´ N	91° 34.7490´ W	530	Alcohol 70%

CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.9	1	Frente Laguna Madre (Norte)	24° 54.26´ N	96° 33.30´ W	577	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11519	1	Frente Río Bravo (Sur)	25° 49.003´ N	96° 00.691´ W	947	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11682	10	Frente a Sánchez Magallanes	19° 09.229´ N	94° 04.653´ W	921	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9830	5	Frente a Laguna de Términos	22° 20.184´ N	91° 41.465´ W	428	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.22	17	Cercana a Cayo Arenas	22° 33.634´ N	90° 48.507´ W	342	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9629	3	Cercana a Cayo Arenas	22° 24.42´ N	91° 30.35´ W	364	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.12	65	Frente Coatzacoalcos	18° 57.107´ N	94° 20.027´ W	671.9	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9631	8	Cercana a Cayo Arenas	22° 24.41´ N	91° 32.09´ W	478	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11695	11	Frente a Río Tonalá	19° 04.615´ N	94° 06.497´ W	828	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11547	2	Frente Laguna Madre	24° 55.383´ N	96° 25.782´ W	823	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11703	1	Frente a Río Tonalá	19° 02.961´ N	94° 05.336´ W	764	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.19	2	Frente a Frontera	19° 36.686´ N	92° 49.256´ W	750	Alcohol 70%

CNE, ICML	ICML-UNAM 11523	2	Frente Laguna Madre	25° 04.025´ N	96° 12.256´ W	1065	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.25	3	Cercana a Cayo Arenas	22° 33.726´ N	90° 48.344´ W	346	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11507	1	Frente Río Bravo (Sur)	25° 43.778´ N	96° 14.067´ W	522	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11580	3	Trópico de Cáncer	23° 39.322´ N	97° 13.205´ W	419	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.17	1	Frente Barra Tecolutla	20° 28.064´ N	96° 27.813´ W	620	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.16	3	Frente Barra Tecolutla	20° 30.213´ N	96° 23.623´ W	1002.7	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11572	1	Frente Laguna Madre	24° 52.010´ N	96° 37.688´ W	410	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11649	13	Frente a Sánchez Magallanes	19° 13.572´ N	93° 54.888´ W	746	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 5.126.20	40	Frente Laguna Madre (Norte)	24° 55.58´ N	96° 30.50´ W	700	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.28	7	Frente Barra Tonalá	19° 06.330´ N	94° 06.383´ W	867	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11737	10	Frente a Río Tonalá	19° 03.928´ N	94° 05.531´ W	792	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.3	37	Cerca de Naranjos	21° 43´ 1444" N	96° 49´ 668" W	600	Alcohol 70%

CNE, ICML	ICML-UNAM 11728	7	Frente a Río Coatzacoalcos	18° 59.046´ N	94° 20.503´ W	803	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.24	5	Cercana a Cayo Arenas	22° 37.696´ N	90° 48.618´ W	542	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.7	24	Salida de Tuxpan	21° 33.149´ N	96° 56.824´ W	604-693	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9856	27	Frente a Laguna de Términos	22° 26.00´ N	91° 26.863´ W	546	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11630	6	Frente a Puerto Ceiba	19° 03.982´ N	93° 26.492´ W	590	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 11747	10	Frente a Río Tonalá	18° 58.058´ N	94° 07.577´ W	710	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.6	37	Cercana a Cayo Arenas	22° 24´ 12" N	91° 35´ 75" W	548	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.4	29	Cercana a Cayo Arenas	22° 24´ 15" N	91° 35´ 00" W	548	Alcohol 70%
CNE, ICML	ICML-UNAM 9841	105	Frente a Laguna de Términos	22° 25.659´ N	91° 26.498´ W	354	Seco
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.2	58	Cerca de San Andrés Tuxtla	18° 46´ 3.78" N	94° 25´ 96.6" W	386	Seco
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.21	1	Frente a Progreso	23° 10.838´ N	89° 59.719´ W	460	Seco
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.0	2	Tabasco	18° 57´ 22" N	93° 58´ 55" W	569	Seco

CNE, ICML	ICML-UNAM 9008	1	Frente a Frontera			780	Seco
CNE, ICML	ICML-UNAM 4.126.1	4		36° 51' N	75° 57' W		Seco