



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LOS HOLOTUROIDEOS (Echinodermata:
Holothuroidea) DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA
LOS TUXTLAS, VERACRUZ, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

MARÍA FERNANDA HERNÁNDEZ MÉNDEZ

**DIRECTORA DE TESIS:
M. EN C. GEMA YOLANDA ARMENDÁRIZ ORTEGA**



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

“Nunca consideres el estudio como un deber, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por brindarme sus instalaciones para mi formación académica y ser una segunda casa todos estos años.

Al Instituto de Biología y a la Colección Nacional de Crustáceos por abrirme sus puertas para la realización de este trabajo.

A la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, que me recibió en sus instalaciones para poder llevar a cabo los muestreos de este estudio, y a las personas de esta región por su conocimiento y colaboración en el trabajo de campo y por hacer tan gratas cada una de las estancias.

A mis profesores, que a lo largo de la carrera me brindaron su conocimiento y me contagiaron su amor e inquietudes por la vida y naturaleza.

Al Dr. Fernando Alvarez Noguera por recibirme en el taller de invertebrados de la zona costera y arrecifal del Golfo de México, por compartir su conocimiento y gusto por los invertebrados. Gracias por todo el apoyo, por sus comentarios y recomendaciones durante el desarrollo de esta tesis.

A mi tutora, la M. en C. Gema Yolanda Armendáriz Ortega le agradezco profundamente su interés y apoyo desde el comienzo y planeación de este trabajo, por su conocimiento, las ideas y sugerencias que aportó, por la paciencia y dedicación en cada una de las revisiones. Gracias por animarme cuando las cosas parecían no salir del todo bien.

Al Dr. Francisco Solís Marín por abrirme las puertas de su laboratorio y de la Colección Nacional de Equinodermos para llevar a cabo mi servicio social, por toda la ayuda que me brindó para la identificación de las especies de holoturoideos de mi trabajo. Gracias por sumergirme en el mundo de los equinodermos y por contagiarme su amor hacia ellos y hacia la taxonomía.

A las Dras. Blanca Estela Margarita Buitrón Sánchez y Magali Blanca Isabel Honey Escandón por aceptar formar parte de mis sinodales y por las valiosas observaciones y recomendaciones que me hicieron para la mejora y enriquecimiento de este trabajo. Gracias por su dedicación en cada una de las revisiones y por estar en la mejor disposición en todo momento.

A la M. en C. María Berenit Mendoza Garfias por la ayuda con la toma de fotografías en Microscopía Electrónica de Barrido en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Biología para la realización del catálogo fotográfico de espículas de este estudio.

A mis padres, Mireya y Héctor, por estar siempre a mi lado, por apoyarme y amarme incondicionalmente. Gracias por creer en mí y nunca soltarme, por todo su esfuerzo para siempre darme lo mejor y por motivarme a seguir creciendo e impulsarme a ser mejor cada día. Sin ustedes llegar hasta aquí no hubiera sido posible. Esto es para ustedes, los amo.

A mi hermana, por ser mi amiga y confidente. Gracias por las locuras y risas de todos los días y por la compañía en esas noches de desvelo.

A mis abuelitos por su amor y apoyo incondicional, en especial a Mamá Sol que es uno de los pilares más importantes en mi vida.

A mi familia por los buenos momentos compartidos, por su cariño y apoyo en toda ocasión.

A todos los amigos que conocí en mi paso por la facultad de Ciencias, por formar parte de mi desarrollo como estudiante y como persona, por las frustraciones y las charlas que hemos compartido, por la motivación, la confianza y el apoyo que me brindaron. Gracias por las increíbles prácticas de campo y por esos momentos divertidos dentro y fuera de clases, sin duda el camino se hizo más fácil teniéndolos cerca.

A mis amigos y compañeros del taller de invertebrados y de la Colección Nacional de Crustáceos por la ayuda en la recolecta de los organismos en campo, por su conocimiento y comentarios que contribuyeron a mejorar esta tesis, por los buenos ratos compartidos, las tardes de comida y las charlas. Gracias a Rodrigo por realizar el dibujo de la portada de las descripciones de las especies de este trabajo.

A todos los que forman parte del laboratorio de Ecología y Taxonomía de Equinodermos, con quienes comparto mi fascinación por estos animales y que han contribuido en mi interés y en seguir aprendiendo sobre ellos. Gracias por guiarme en la identificación de los holoturoideos y enseñarme a preparar las muestras para microscopía electrónica de barrido, y por consejos para la realización de mi trabajo.

A Chava, gracias por contagiarme tu pasión por la ciencia, por toda la ayuda, las ideas y consejos que aportaste a mi tesis. Por tu apoyo incondicional, por escucharme y animarme cuando las cosas se complicaban, gracias cariño por estar a mi lado, por inspirarme y motivarme día con día a seguir creciendo.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Phylum Echinodermata	2
Hábitat	4
Distribución y riqueza	4
Clase Holothuroidea	5
<i>Morfología externa</i>	5
<i>Morfología interna</i>	6
<i>Simetría pentarradial secundaria</i>	8
<i>Sistema Vascular Acuífero (SVA)</i>	9
<i>Alimentación</i>	11
Importancia de la clase Holothuroidea	11
JUSTIFICACIÓN	12
ANTECEDENTES	13
OBJETIVOS	17
Objetivo General	17
Objetivos Particulares.....	17
ÁREA DE ESTUDIO	18
Playa de Montepío.....	20
Playa El Jicacal.....	20
Arrecife La Perla del Golfo	21
MATERIAL Y MÉTODO	23
Trabajo de campo	23
Trabajo de gabinete	25
Registro fotográfico.....	26
Elaboración del catálogo fotográfico.....	28
RESULTADOS.....	28
<i>Holothuria (Halodeima) grisea</i> Selenka, 1867	31
<i>Holothuria (Selenkothuria) glaberrima</i> Selenka, 1867	34
<i>Holothuria (Thymiosycia) arenicola</i> Semper, 1868	37
<i>Pseudothyone belli</i> (Ludwig, 1886)	40

Distribución mundial y dentro de la parte mexicana del Golfo de México.....	46
Riqueza de especies por localidad.....	52
Comparación de las especies de holoturoideos reportadas con las del estado de Veracruz .	53
Catálogo fotográfico de las espículas	55
Comparación/Análisis de los tipos de espículas.....	71
DISCUSIÓN	79
Aspectos taxonómicos.....	79
Distribución mundial y dentro de la parte mexicana del Golfo de México.....	80
Riqueza de especies por localidad.....	83
Comparación de las especies de holoturoideos reportadas con las del estado de Veracruz .	86
Comparación/Análisis de los tipos de espículas.....	87
CONCLUSIONES	91
LITERATURA CITADA	93
GLOSARIO	101

RESUMEN

Los holoturoideos presentan un papel ecológico importante debido a que son recicladores de materia orgánica, de igual manera contribuyen a la oxigenación del sustrato y previenen la compactación del mismo. En México se encuentran alrededor de 165 especies, de las cuales 53 están presentes en el Golfo de México, y 35 se encuentran en Veracruz. Debido al escaso conocimiento del grupo en Los Tuxtlas, se propusieron como objetivos: identificar las especies presentes en el intermareal de tres localidades de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, las cuales son playa de Montepío, playa El Jicacal, y el arrecife la Perla del Golfo, elaborar una diagnosis para cada especie, realizar un catálogo fotográfico de las espículas de distintas regiones del cuerpo y elaborar los mapas de distribución de las especies encontradas en dichas localidades. En Montepío y El Jicacal se realizaron colectas manuales en la zona rocosa intermareal, mediante el levantamiento de rocas de mediano tamaño. En ambas localidades los organismos se separaron por morfoespecies, algunos organismos fueron recolectados, medidos y pesados, las muestras se procesaron en la estación de biología tropical Los Tuxtlas, UNAM. Respecto a La Perla del Golfo se extrajo roca y coral muerto hasta obtener dos muestras del tamaño de dos cubetas de 20 L, que fueron transportadas a dicha estación, en donde se fragmentaron para la búsqueda de organismos. Se realizaron seis muestreos en total, dos en cada una de las localidades. Los organismos fueron trasladados a la Colección Nacional de Crustáceos del Instituto de Biología, UNAM, donde se identificaron y se observaron las espículas con un microscopio óptico. Se obtuvieron cuatro especies: *Holothuria (Halodeima) grisea* con 12 tipos de espículas, *H. (Selenkothuria) glaberrima* con 17 tipos, *H. (Thymiosycia) arenicola* y *Pseudothyone belli* ambas con 10 tipos de espículas. Estas cuatro especies representan el 7% del total de especies reportadas para el Golfo de México y el 11% para el estado de Veracruz. Con los datos obtenidos también se obtuvieron tres nuevos registros de holoturoideos para la playa de Montepío y dos primeros registros para El Jicacal.

INTRODUCCIÓN

Phylum Echinodermata

Los equinodermos son animales invertebrados exclusivamente marinos, aunque algunas especies llegan a vivir en estuarios (Pechenik, 2000; Brusca y Brusca, 2005). Su nombre deriva del griego “*echinos*” espinoso y “*derma*” piel, a causa de las estructuras de carbonato de calcio que presentan en ella (Brusca y Brusca, 2005). Son deuterostomados, con simetría pentarradial secundaria en el estadio adulto y bilateral en las formas larvarias. El cuerpo se orienta en un eje oral-aboral, cuentan con un endoesqueleto de origen mesodérmico compuesto mayormente de carbonato de calcio (calcita) y pequeñas porciones de carbonato de magnesio ($MgCO_3$), que forman placas u osículos que pueden estar fusionadas o separadas. Cada una de estas placas está formada por una malla interna de carbonato de calcio ($CaCO_3$) nombrada estereoma y están rellenas por tejido denominado estroma (Brusca y Brusca, 2005; Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007).

El phylum Echinodermata está compuesto por cinco clases: 1) Crinoidea (lirios de mar), 2) Asteroidea (estrellas de mar), 3) Ophiuroidea (ofiuros, estrellas quebradizas o estrellas serpiente), 4) Echinoidea (erizos, galletas y bizcochos de mar) y 5) Holothuroidea (pepinos de mar). El tamaño de los representantes del grupo de equinodermos puede ir desde menos de 1 cm, como es el caso de algunos ofiuros y pepinos de mar, hasta alcanzar un metro de diámetro como en algunas estrellas, e incluso pasar los 3 m de largo (pepino de mar; *Euapta godeffroyi*) (Brusca y Brusca, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2014).

Una de las características más importantes y única del phylum es la presencia del Sistema Vasculoso Acuífero (SVA), que es una serie compleja de conductos y reservorios llenos de fluido que intervienen en el transporte interno y que opera hidráulicamente por medio de proyecciones que salen a través del endoesqueleto, denominados pies ambulacrales (Brusca y Brusca, 2005). Además de la locomoción, el SVA interviene en otras funciones muy importantes, tales como el intercambio gaseoso, la alimentación, excreción y recepción sensorial. El sistema vasculoso se abre por medio de una estructura denominada madreporita, por la cual entra agua de mar y comunica al SVA con el exterior. Cuando es visible (externa)

sirve como referencia para determinar la orientación corporal de los equinodermos. Sin embargo, cuando la madreporita es interna como en el caso de los pepinos de mar, el SVA no tiene conexión con el exterior sino con los fluidos celómicos (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007). La parte oral de los equinodermos se define por la presencia de la boca y los surcos ambulacrales, que forman los ambulacros o radios del cuerpo de estos animales, y es a través de ellos donde se proyectan los pies ambulacrales. Los espacios que no cuentan con estas estructuras se denominan interambulacros o interradios (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007).

La simetría pentarradial del cuerpo, lo divide en cinco partes iguales dispuestas alrededor de un eje central. De acuerdo con esta simetría se ha desarrollado un sistema de referencia que asigna la letra A, al ambulacro opuesto a la madreporita, por lo que al resto se les asigna de la letra B a la E en sentido de las manecillas del reloj, así la madreporita queda situada en el interambulacro CD (Figura 1a). En el caso de los pepinos de mar (Figura. 1b), la simetría pentarradial se modifica debido a que evolutivamente ocurre un alargamiento corporal en el eje oral-aboral y a que las placas esqueléticas se reducen y quedan como osículos embebidos en la dermis (Ruppert y Barnes, 1996; Brusca y Brusca, 2005).

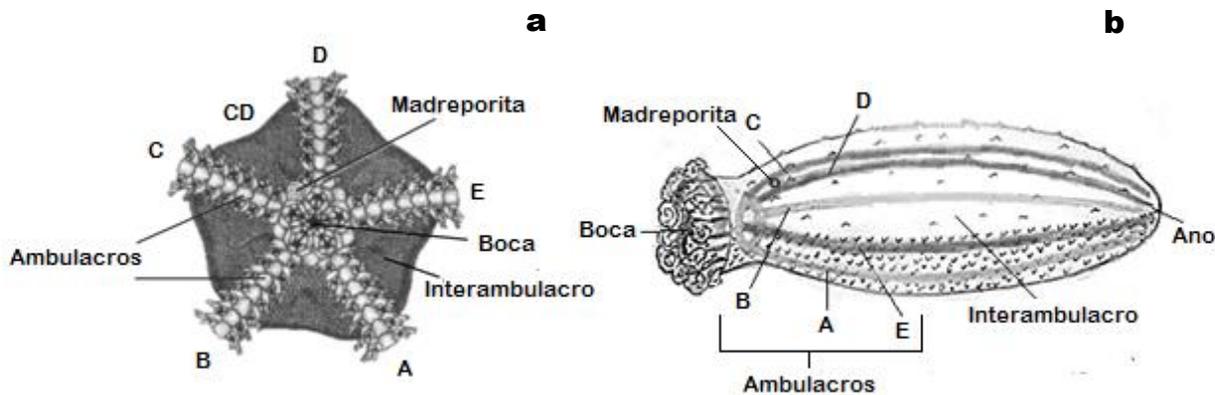


Figura 1. Simetría pentarradial general de los equinodermos. a) Ofiuroideo (Tomado y modificado de Brusca y Brusca, 2005) y b) Holoturoideo.

Los equinodermos cuentan con un tubo digestivo completo (excepto los ofiuros, quienes no presentan ano), no poseen órganos excretores, el sistema nervioso es difuso o no



centralizado (formado por una red nerviosa, un anillo y nervios radiales) y algunos cuentan con estructuras circulatorias organizadas en un sistema hemal (Brusca y Brusca, 2005; Pawson, 2007).

Principalmente son dioicos, aunque existen algunas especies hermafroditas. La reproducción es externa y ocurre en la columna de agua donde los gametos son liberados al medio. Muchas especies también pueden reproducirse asexualmente por fisiparidad (fraccionamiento del cuerpo, voluntario o involuntario), lo que origina individuos genéticamente iguales. Además de que algunas especies son incubadoras, especialmente en bajas temperaturas como en los océanos Ártico y Antártico (Hyman, 1955).

Hábitat

Los equinodermos se encuentran en un amplio intervalo de profundidades, pueden habitar desde pozas de marea hasta profundidades abisales a más de 11,000 m, y cuentan con mayor diversidad entre la zona intermareal y los 300 m de profundidad (Solís-Marín *et al.*, 2014). Los hábitats donde se encuentran pueden ser rocosos, arenosos y con aguas muy agitadas, también pueden vivir como epibiontes de algas, e incluso hallarse en ambientes extremos y anquihalinos (Sibuet y Olu, 1998; Hooker *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2010; Bribiesca-Contreras, *et al.*, 2019). Debido a sus distintos tipos de hábitats existe un gran número de especies bentónicas (mayormente) y pelágicas (algunos pepinos), los cuales presentan gran diversidad de estrategias alimenticias como detritívoros por suspensión o de depósito, herbívoros, comensales, depredadores, carroñeros, caníbales, omnívoros y hasta especialistas estrictos (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1998; Hooker *et al.*, 2005).

Distribución y riqueza

Las aproximadamente 7,000 especies vivientes del phylum Echinodermata (Pawson, 2007) se distribuyen en todos los mares del planeta. Abundan especialmente en zonas tropicales y subtropicales, aunque algunos grupos como las estrellas de mar y los holoturoideos pueden ser diversos incluso en regiones polares (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007).





De acuerdo con los datos de la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM, hasta hace unos años en México se reportaban 818 especies de equinodermos, las cuales representan aproximadamente el 11% de equinodermos en el mundo (Solís-Marín *et al.*, 2018). Estos se distribuyen en las cuatro regiones marinas que rodean al país, Golfo de California, Océano Pacífico, Golfo de México y Caribe mexicano, en los que cada clase presenta una riqueza de especies distinta. El Golfo de México presenta mayor riqueza, con 332 especies y el Caribe mexicano menor riqueza, al contar con 244 especies. La clase mejor representada en todo México es Ophiuroidea con 240 especies, seguida de Asteroidea con 229 especies, Holothuroidea con 165 y Echinoidea con 153 especies, mientras que los menos representados son los crinoideos con tan sólo 31 especies (Solís-Marín *et al.*, 2018).

Clase Holothuroidea

Morfología externa

A diferencia de algunos grupos de equinodermos, los pepinos de mar carecen de brazos, la boca y ano se encuentran situados en lados opuestos en un eje anteroposterior. La boca está rodeada por una corona de 10-30 tentáculos que pueden presentar distintas formas según el orden (Figura 2), éstos pueden ser peltados (Elasipodida, Holothuriida, Persiculida y Synallactida) (Figura 2a), dendríticos (Dendrochirotida) (Figura 2b), digitiformes (Dendrochirotida) (Figura 2c), digitados (Molpadida) (Figura 2d), peltado-digitados (Apodida) (Figura 2e) y pinados (Apodida) (Figura 2f) (Borrero-Pérez *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2017). La forma de los tentáculos se ve reflejada por el tipo de hábitat y de alimentación que presenten las especies (Roberts *et al.*, 2000). El cuerpo es blando y las formas pueden ir desde las casi esféricas como en el género *Ypsilothuria*, hasta las largas vermiformes (Figura 3a) como la especie *Euapta godeffroyi* (Barnes, 1984). Pueden presentar colores como negro, verde, pardo, hasta anaranjado, rosa y violeta, e incluso llegan a presentar bandas de colores (Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011).



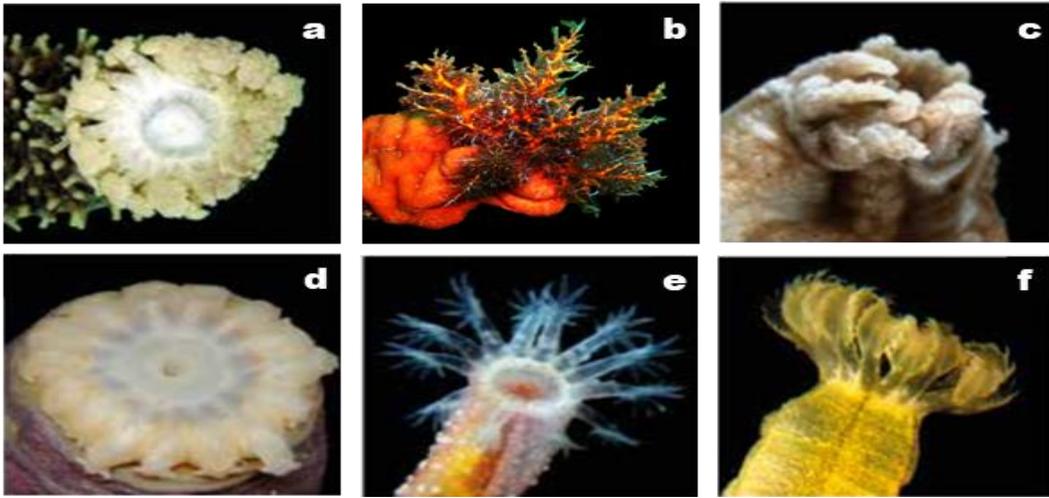
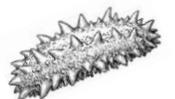


Figura 2. Tipos de tentáculos en holoturoideos. a) Peltados, b) Dendríticos, c) Digitiformes, d) Digitados, e) Peltado-digitados y f) Pinados (Tomado y modificado de Solís-Marín *et al.*, 2009; Borrero-Pérez *et al.*, 2012).

Morfología interna

Los holoturoideos presentan grandes estructuras denominadas árboles respiratorios (Figura 3b), los cuales tienen forma de túbulos ramificados, que se encuentran en todos los órdenes, excepto en Elasiopodida y Apodida. Estos surgen de la parte posterior de la cloaca, a la cual están conectados y se localizan en la parte posterior del celoma a la derecha e izquierda del tubo digestivo, pueden o no estar conectados con éste. Su función es el intercambio de gases por medio de movimientos de bombeo de agua a través del ano (Pechenik, 2000; Brusca y Brusca, 2005; Borrero-Pérez *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2017).

Algunas especies del orden Holothuriida, dentro de la familia Holothuriidae cuentan con unas estructuras llamadas túbulos de Cuvier, los cuales se encuentran adheridos a la base de los árboles respiratorios y se localizan a los lados del tubo digestivo, son muy elásticos y pueden ser de color blanco, rosa o rojo (Brusca y Brusca, 2005; Borrero-Pérez *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2018). Los túbulos de Cuvier son utilizados para la defensa contra los depredadores, ya que los organismos pueden expulsarlos por el ano al ser atacados o al sentirse amenazados. Una vez que los túbulos de Cuvier son expulsados, al entrar en contacto con el agua se extienden hasta 20 veces su longitud original, se solidifican y adhieren con gran fuerza sobre el depredador en menos de 10 segundos. Estas estructuras



además de ser expulsadas fácilmente también se regeneran con gran rapidez (Pawson *et al.*, 2010; González, 2012).

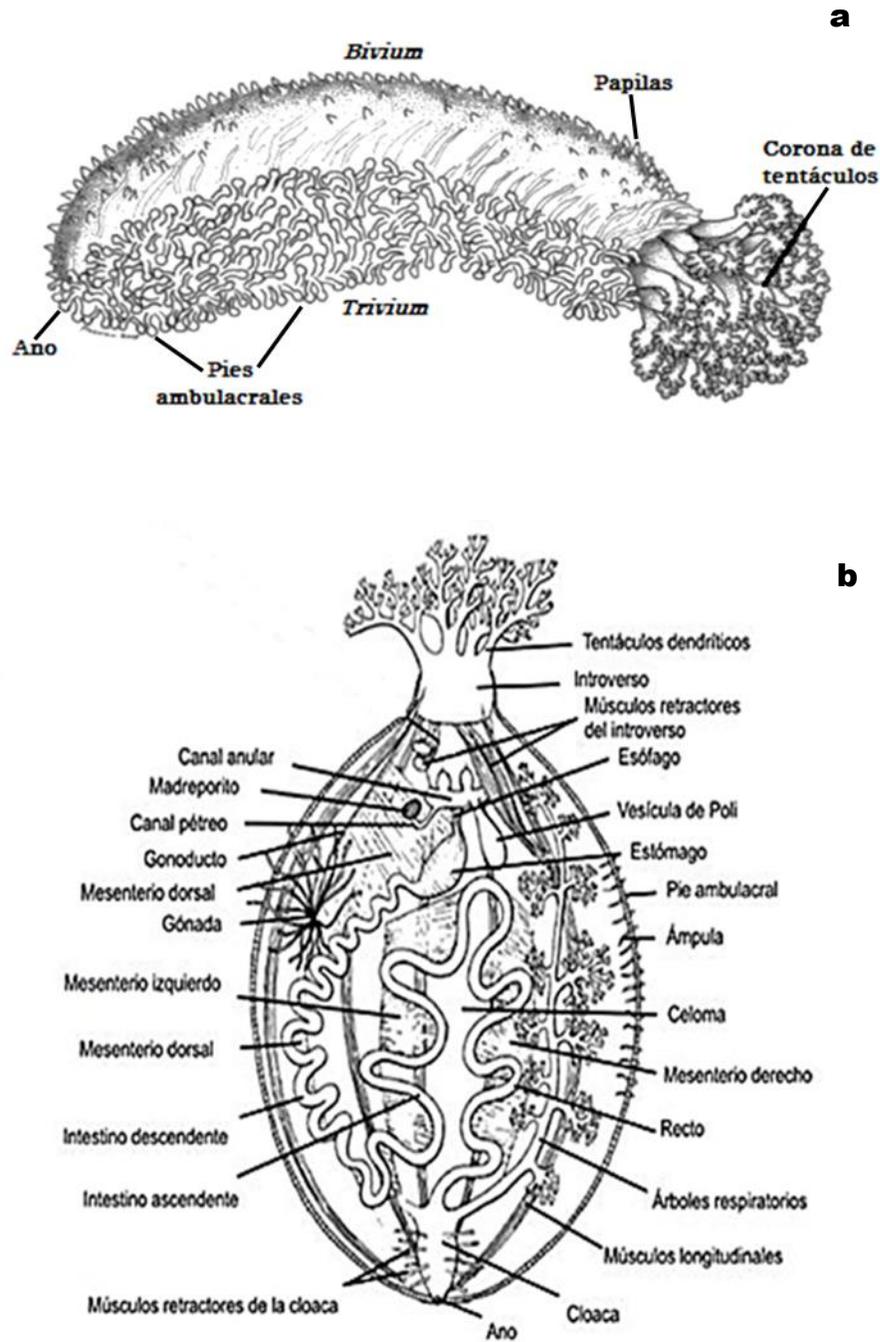


Figura 3. Holoturoideo. a) anatomía externa (Tomado y modificado de Solís-Marín *et al.*, 2009) y b) anatomía interna (Tomado y modificado de Borrero-Pérez *et al.*, 2012).

Simetría pentarradial secundaria

Los holoturoideos tienen una modificación en la simetría pentarradial secundaria, debido a que la forma del cuerpo se alarga en un eje oral-aboral, en donde los ambulacros C y D pasan a formar el *bivium* o parte dorsal, en la cual los pies ambulacrales son poco abundantes y pueden estar modificados en papilas y es llamada así por la presencia de dos radios o surcos ambulacrales. Mientras que la parte ventral o *trivium*, presenta mayor cantidad de pies ambulacrales que en la parte dorsal y está formada por tres surcos A, B y E (Brusca y Brusca, 2005; Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007). Los organismos de esta clase utilizan los pies ambulacrales para la alimentación, locomoción y fijación al sustrato (Brusca y Brusca, 2005).

Como parte de la modificación de la simetría, en los pepinos de mar también está la reducción de las placas esqueléticas, las cuales quedan como osículos reducidos y embebidos en la dermis, en la capa gruesa debajo de la epidermis. A estos osículos se les denomina espículas, los cuales no sobresalen de la capa más externa de la pared del cuerpo (Stricker, 1985; Ruppert y Barnes, 1996; Brusca y Brusca, 2005; Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011). Estas estructuras de carbonato de calcio conforman el endoesqueleto de los pepinos de mar, por lo que intervienen en el soporte y rigidez de la pared corporal. En especies del orden Apodida funcionan para la locomoción y la adherencia a los sustratos (Solís-Marín *et al.*, 2009).

Las espículas son el carácter taxonómico de mayor importancia de los holoturoideos, debido a que con la combinación de formas se realiza la identificación de las especies (Solís-Marín *et al.*, 2009; Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011) (Figura 4). Sin embargo, existen otros caracteres que se consideran para su clasificación taxonómica en los distintos niveles, de los cuales de manera externa sólo son reconocibles a nivel de orden, como son la forma del cuerpo, número y forma de los tentáculos, posición de la boca y el ano, y disposición y forma de los pies ambulacrales (Solís-Marín *et al.*, 2009). No obstante, estas características son complicadas de observar en organismos vivos, debido a sus hábitos enterradores y a su disposición en los sustratos.



La dermis de los holoturoideos además de contener a las espículas, está compuesta de fibrillas de colágeno, una red de microfibrillas, proteoglicanos, proteínas, glicoproteínas, fibras nerviosas y células neurosecretoras (Thurmond y Trotter, 1996).

Sistema Vascular Acuífero (SVA)

El SVA de los pepinos de mar puede presentar de una a más de 100 madreporitas, las cuales presentan distintas formas: alargada, en forma de gota, redondeada o en espiral. Esta es una estructura interna debido a que se abre directamente al celoma, se localiza en el interambulacro C-D, por debajo de la faringe y sobre el anillo calcáreo (Lawrence, 1987; Brusca y Brusca, 2005; Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007; Arriaga-Ochoa, 2016). La madreporita se conecta con el canal anular que rodea al esófago, y puede presentar de una a 50 vesículas de Poli, estas estructuras en forma de saco, almacenan fluidos para mantener la presión hidráulica dentro del SVA. Del canal anular surgen cinco canales radiales con prolongaciones a los tentáculos hacia la parte anterior, mientras que estos canales radiales dan lugar a hileras de pies ambulacrales o podios hacia la parte posterior (Ruppert y Barnes, 1996; Brusca y Brusca, 2005).



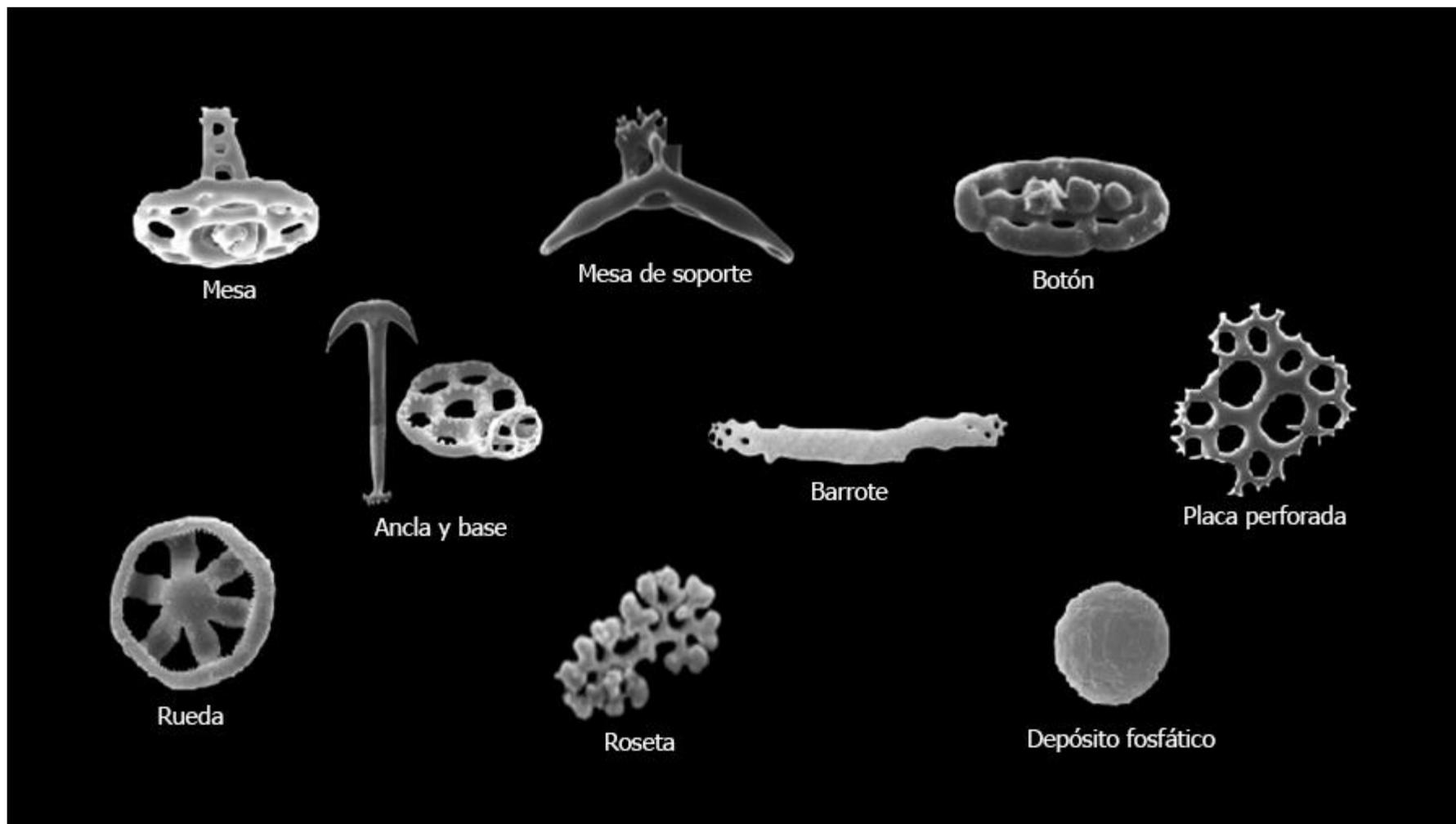


Figura 4. Tipos de espículas de la clase Holothuroidea (Tomado y modificado de Solís-Marín *et al.*, 2009).

Alimentación

Los holoturoideos son animales suspensívoros o detritívoros, es decir, se alimentan de partículas suspendidas en el agua o de partículas del sedimento marino (Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011). Estas partículas pueden ser una mezcla de minerales, organismos vivos y materiales en descomposición, incluso heces de otros organismos (Zamora y Jeffs, 2011).

En las especies sedentarias epibentónicas y en las excavadoras, los organismos se alimentan al extender sus tentáculos cubiertos de un mucus, con estos atrapan las partículas suspendidas en el agua, después llevan uno a uno los tentáculos hasta la boca y la faringe. Mientras los tentáculos salen de la boca, las partículas se desprenden (Hyman, 1955; Brusca y Brusca, 2005). Las especies epibentónicas más activas se arrastran por el sustrato y usan sus tentáculos para recolectar e ingerir sedimentos y detritos orgánicos. Algunos holoturoideos son incluso altamente selectivos, al recolectar preferentemente sedimentos ricos en contenido orgánico (Brusca *et al.*, 2016).

Importancia ecológica de la clase Holothuroidea

La importancia de este grupo reside en que al ser organismos que se alimentan de partículas suspendidas y del sedimento marino, reciclan y redistribuyen la materia orgánica del bentos (Borrero-Pérez *et al.*, 2012). Al remover esta materia, permiten la oxigenación del sustrato y evitan que se compacte, lo cual favorece al desarrollo de otros animales bentónicos que requieren de sedimentos no compactados para el depósito de sus huevos (Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011).

Se ha comprobado que los holoturoideos ayudan en el equilibrio de CaCO_3 de los arrecifes de coral, debido a que con su alimentación procesan arena y restos de carbonatos a través del tracto digestivo, y disuelven el CaCO_3 debido a que el pH del intestino es ligeramente ácido (pH=6.7). Se piensa que las heces de los pepinos de mar podrían funcionar como amortiguadores en la acidificación de los mares debido a que contribuyen a la alcalinidad total ambiental, mediante la secreción de amoníaco (NH_3) como subproducto de su proceso digestivo, el cual en el mar se ioniza a amonio (NH_4^+) mediante la absorción de un protón, lo que provoca el aumento de la alcalinidad. También con la producción de NH_3

colaboran con el ciclo de nutrientes y la mejora de productividad en los arrecifes de coral (Schneider *et al.*, 2011).

JUSTIFICACIÓN

Dentro de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz, México existen pocos trabajos de holoturoideos, debido a sus hábitos enterradores que imposibilitan su percepción en el campo. Los pepinos de mar repercuten ecológicamente por su papel como recicladores de materia orgánica, ya que intervienen en la oxigenación del sustrato y evitan la compactación del sedimento. También se ha comprobado que ayudan en el equilibrio de CaCO_3 de los arrecifes de coral debido a su tipo de alimentación, y se han propuesto como amortiguadores en la acidificación de los mares, ya que contribuyen a la alcalinidad del ambiente mediante los desechos de su digestión (Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011; Schneider *et al.*, 2011; Borrero-Pérez *et al.*, 2012). Debido a esto, es de gran importancia realizar estudios sobre estos organismos. Por lo que el presente trabajo aporta datos de riqueza de especies y distribución dentro de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz, así como un catálogo de la morfología de las espículas, que brinde información para la correcta identificación de especies en investigaciones posteriores.

ANTECEDENTES

Durán-González *et al.* (2005), realizaron la actualización del listado de especies de equinodermos presentes en las aguas del Golfo de México, basándose en la revisión de los ejemplares de la Colección Nacional de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, y del National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, D.C. Los registros utilizados fueron de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y sobre el Golfo de México (lejos de la costa). Registraron 209 especies distribuidas en 129 géneros, 63 familias y 25 órdenes, y 31 nuevos registros, de los cuales cinco pertenecieron a Holothuroidea. Para esta última clase obtuvieron un total de 27 especies, e *Isostichopus badionotus* fue la especie que se encontró en el mayor número de estados (Veracruz, Tabasco y Campeche).

Solís-Marín *et al.* (2007), realizaron un estudio sobre los equinodermos del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), recolectaron datos de los arrecifes de las islas de Enmedio y de Sacrificios, e incluyeron registros de la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) “Dra. María Elena Caso Muñoz” de la UNAM y del “United States National Museum of Natural History, Smithsonian Institution” (USNM) para toda la zona. Obtuvieron un total de 46 especies, de las cuales 16 fueron holoturoideos, y siete de ellas nuevos registros para el estado de Veracruz: *Pseudothyone belli*, *Actynopyga agassizii*, *Holothuria (Thymiosycia) impatiens*, *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*, *Holothuria (Thymiosycia) thomasi*, *Isostichopus macroparentheses* y *Epitomapta roseola*.

Mohedano (2010), estudió la comunidad de equinodermos en la Planicie Arrecifal de Anegada de Adentro, Veracruz, México; obtuvo 20 especies de los 12,573 organismos observados, lo que indicó que la diversidad en la planicie es baja (0.981 bits/ind). Reportó dos especies para la clase Holothuroidea: *Holothuria (Thymiosycia) impatiens* e *Isostichopus badionotus*.

Arriaga-Ochoa y Solís-Marín (2011), mencionaron que se han reportado 31 especies de pepinos de mar para las costas de Quintana Roo, correspondientes a tres órdenes, siete familias y 18 géneros y resaltaron que el género *Holothuria* presenta mayor cantidad de especies debido a que se distribuye desde el intermareal hasta grandes profundidades.

Concluyeron que, a nivel nacional Quintana Roo es el tercer lugar con respecto a la riqueza de holoturoideos (31 spp.), el Golfo de California presenta mayor número de especies (53 spp.), seguido del Pacífico (46 spp.) y en último lugar el Golfo de México (27 spp.).

Trujillo (2012), reportó para el arrecife “La Blanquilla” del Sistema Arrecifal Veracruzano, 14 especies de equinodermos (908 organismos), una diversidad de 1.228 bits/ind y equitatividad de 0.322, y mostró la dominancia de algunas especies. En cuanto a la clase Holothuroidea reportó dos especies, *Euapta lappa* que se localizó en la zona centro asociada a pedacería de coral e *Isostichopus badiotus* en la zona centro y norte del arrecife asociada a arena y coral muerto.

Vicencio (2013), analizó la estructura de las comunidades macrobentónicas y neotónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México; estimó la cobertura, la abundancia y número de especies. Además, obtuvo los índices de diversidad alfa y beta. Registró un total de 10 phyla, 16 clases, 34 órdenes, 60 familias y 125 especies (cinco especies fueron nuevos registros para el Sistema arrecifal Lobos-Tuxpan). Con este estudio mostró que en la planicie arrecifal hay más especies que en las pendientes profundas, y que los grupos más diversos son los peces, seguido de los corales, esponjas y equinodermos, que fueron los más abundantes en las áreas someras del arrecife. Dentro del phylum Echinodermata reportó un total de 10 especies, de las cuales una especie para Crinoidea, dos para Asteroidea, seis en Echinoidea, una en Holothuroidea y ninguna para Ophiuroidea.

Jacobson (2014), reportó 16 especies de pepinos de mar de la familia Phylloporidae, pertenecientes a ocho géneros, tanto de zonas someras (0-200 m) como de zonas profundas (>200 m) del Golfo de California, Golfo de México y del Caribe y Pacífico mexicanos, distribuidas en nueve, seis, una y cuatro especies respectivamente, algunas especies compartidas. Obtuvo tres nuevos registros para México y elaboró un catálogo taxonómico de identificación para cada especie, incluyó la distribución geográfica y batimétrica, así como una clave dicotómica para la identificación de la familia.

Solís-Marín *et al.* (2014), realizaron un estudio de la biodiversidad de equinodermos en México, donde reportaron que hay 643 especies de equinodermos en el país con algunas



especies endémicas. La clase Ophiuroidea es la más rica con 197 especies, seguida de Asteroidea con 185, Echinoidea con 119, Holothuroidea 113 y Crinoidea con 29. Además, registraron que en el Golfo de México se encuentran 33 especies de holoturoideos, las especies más abundantes fueron: *Holothuria (Halodeima) grisea*, *Holothuria (Halodeima) floridana*, *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*, *Holothuria (Semperothuria) surinamensis* e *Isostichopus badiotus*. Mencionan que los estudios taxonómicos en México sobre este grupo han sido extensos, sin embargo, no es así para su ecología.

Vassallo *et al.* (2014), registraron las especies de invertebrados marinos de la costa rocosa intermareal de Montepío, Veracruz. Obtuvieron la información de la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR) del Instituto de Biología (IB) de la UNAM y registros adicionales de información publicada, y concluyeron que las 195 especies de invertebrados registradas, pertenecen a nueve grupos, de los cuales Crustacea fue el más diverso (73 spp.), seguido de Mollusca (69 spp.) y Echinodermata (18 spp.), de este último phylum reportaron cuatro especies de Asteroidea, seis de Ophiuroidea, cinco de Echinoidea y sólo tres especies de Holothuroidea.

González-Gándara *et al.* (2015), estudiaron la composición y distribución de los equinodermos en los arrecifes de Veracruz, México, al norte, Blanquilla, Medio, Lobos y Blake, y al sur La Perla, Zapotitlán, Palo Seco y Tripie. Registraron 45 especies distribuidas en 34 géneros y 26 familias (cinco registros nuevos para el estado de Veracruz). Los ofiuroideos obtuvieron mayor número de especies (15 spp.), seguida de los equinoideos (13 spp.), los holoturoideos (nueve spp.), asteroideos (siete spp.) y crinoideos (una sp.). Los sistemas arrecifales del norte mostraron mayor riqueza que los del sur, con 40 y 27 especies respectivamente. Concluyen que el tipo de arrecife, los atributos del sustrato y la profundidad tienen un papel importante en la riqueza y distribución de los equinodermos.

Reyes-Bonilla *et al.* (2016), compararon la abundancia de *Isostichopus fuscus* en la localidad de El Candelero en la isla Coronado de Baja California, durante el día y la noche. Obtuvieron que más organismos de esta especie de importancia comercial se observaron durante las horas de oscuridad, estimaron aproximadamente un 15% de menor abundancia en horas diurnas ya que durante el día se ocultan en oquedades.



Cervantes (2017), realizó la actualización del catálogo de las especies de holoturoideos distribuidas en el Golfo y Caribe Mexicano con los datos de la Colección Nacional de Equinodermos (CNE) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM. Examinó 2,742 ejemplares y obtuvo un total de 62 especies distribuidas en cinco órdenes, 14 familias, 34 géneros y ocho subgéneros, con 10 nuevos registros para especies de aguas profundas (>200 m) y un nuevo registro para una especie de aguas someras. Registró que 30 especies se distribuyen tanto en el Golfo de México como en el Caribe mexicano, 25 en el Golfo de México y siete en el Caribe mexicano.

López (2017), estudió la diversidad del phylum Echinodermata en el arrecife La Perla del Golfo, Veracruz, México, en el cual obtuvo 553 organismos distribuidos en cuatro clases, ocho órdenes, 12 familias, 13 géneros y 13 especies. La clase Ophiuroidea presentó mayor abundancia con el 80% de los organismos colectados, Asteroidea con el 9%, Echinoidea con 8% y Holothuroidea con sólo el 3%. En cuanto a la riqueza de especies, los ofiuroideos también obtuvieron mayor número con seis especies, seguidos de los equinoideos con tres especies y por último los asteroideos y holoturoideos, ambos con dos especies. Concluyó que el arrecife de coral La Perla del Golfo presentó una baja riqueza específica y que sólo comparte seis especies con el resto de los arrecifes de Veracruz.



OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la composición de holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz, México.

Objetivos Particulares

1. Identificar las especies de pepinos de mar de las playas de Montepío, El Jicacal y La Perla del Golfo, Veracruz, México.
2. Elaborar una diagnosis de cada especie que incluya, la distribución batimétrica, geográfica, reportes para el Golfo de México (parte mexicana), para la reserva de Los Tuxtlas, meses de aparición, talla, peso y hábitat.
3. Aportar información sobre el hábitat de las especies dentro de los tres sitios de estudio.
4. Realizar mapas de distribución mundial y dentro del Golfo de México (parte mexicana) de las especies de holoturoideos encontradas en este estudio.
5. Comparar la riqueza de los tres sitios de estudio con la riqueza total del estado de Veracruz.
6. Elaborar un catálogo fotográfico de las espículas de los holoturoideos de diferentes regiones del cuerpo: pies ambulacrales, tentáculos y pared corporal (dorsal, ventral y región anal).

ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas se ubica en la zona centro-sur del estado de Veracruz (Figura 5), entre los 18°10'-18°45' N y 94°42'-95°27' W, con una extensión total de 155,122 ha, ocupa parte de los municipios de San Andrés Tuxtla, Catemaco, Soteapan, Tatahuicapan de Juárez y Pajapan, y una parte pequeña de Santiago Tuxtla, Mecayapan y Ángel R. Cabada. La reserva consta de tres áreas que forman parte de la zona núcleo: el volcán San Martín Tuxtla, el volcán Santa Marta y el volcán San Martín Pajapan (Rodríguez *et al.*, 2011). En la región se encuentran los lagos de Catemaco, La Escondida, El Zacatal, La Encantada, el lago del cráter de San Martín y las lagunas de Sontecomapan y del Ostión (CONABIO, 2018). La sierra de Los Tuxtlas se compone de una sucesión de montañas que se orienta diagonalmente NW-SE. La cadena montañosa se localiza en la llanura costera del Golfo sur, en contacto directo con la costa (Dirzo *et al.*, 1997; Soto y Gama, 1997).

La zona presenta un clima cálido-húmedo con temperaturas promedio que van de los 27.3°C a los 21.5°C, y una precipitación anual de más de 4,500 mm en la porción este y noreste en las laderas que se encuentran orientadas al mar, mientras que, en las laderas continentales, a causa de la sombra de lluvia de la sierra, se llegan a encontrar valores de menos de 1,200 mm (Soto y Gama, 1997; Estación de Biología Los Tuxtlas, 2011-2012). Debido a esto se distinguen tres épocas estacionales con condiciones climáticas extremas: de marzo a mayo la temporada de secas, de junio a octubre la temporada de lluvias y tormentas tropicales, y de noviembre a febrero la temporada de vientos de invierno, mejor conocidos como “nortes” (Hernández-Álvarez y Álvarez, 2007).

Dentro de la región de Los Tuxtlas se encuentran las tres localidades que pertenecen al área de estudio de esta investigación: 1) Playa de Montepío, 2) Playa El Jicacal y 3) arrecife La Perla del Golfo (Figura 5).

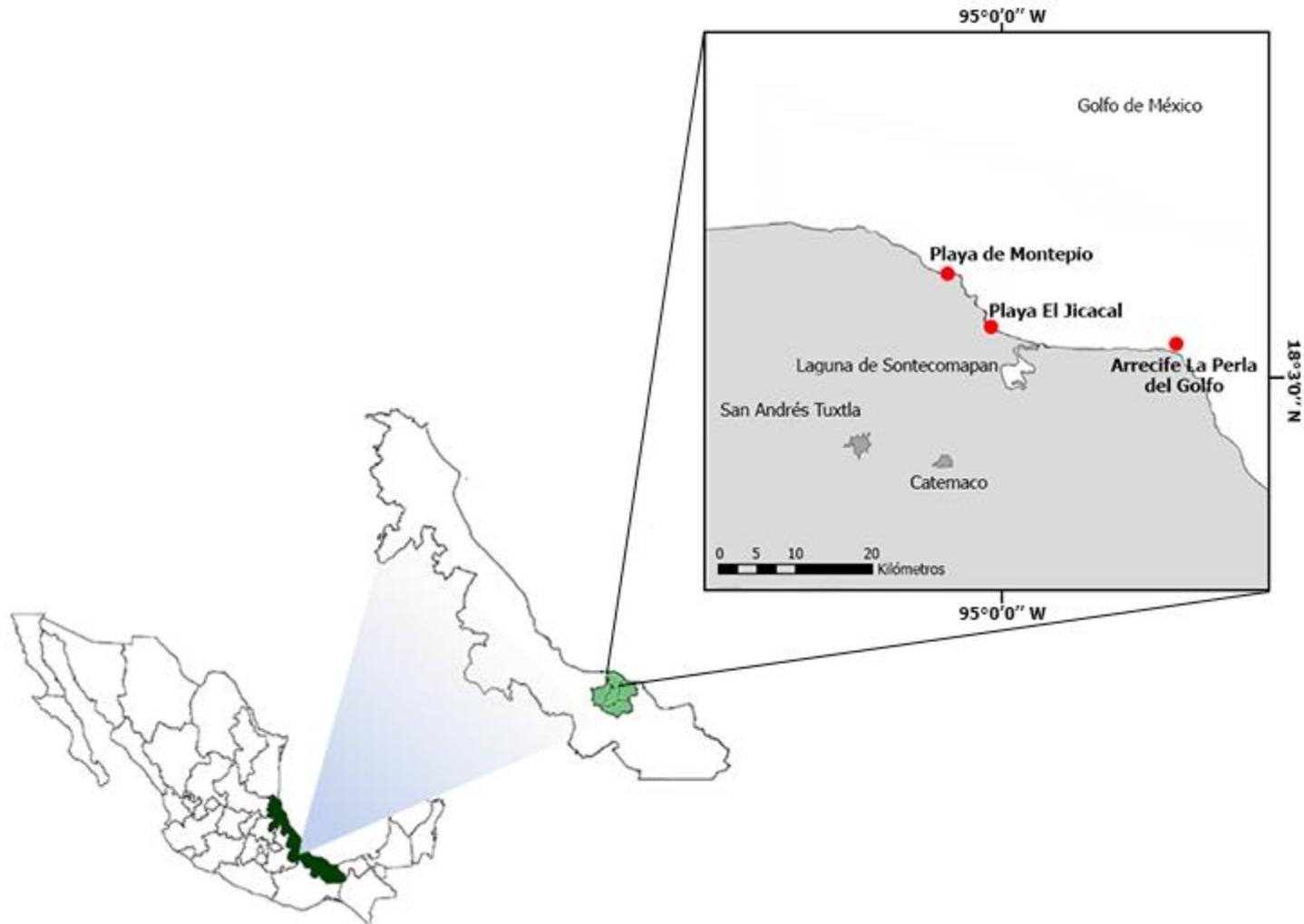


Figura 5. Área de estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz y ubicación de las playas de Montepío, El Jicacal, y el arrecife La Perla del Golfo (Modificado de Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

Playa de Montepío

La playa de Montepío (Figura 6a) se ubica entre los 18°38'42"-18°38'45" N y los 95°05'48"- 95°05'39" W, en el municipio de San Andrés Tuxtla en la región sur del Golfo de México, que abarca la parte tropical meridional del golfo y es considerada como una cuenca semicerrada con corrientes tropicales (Wilkinson *et al.*, 2009). Dicha playa está formada a lo largo de un antiguo derrame de lava proveniente del volcán San Martín, el cual se extiende 60 m desde la orilla hasta 1.5 m de profundidad. En esta playa también desembocan las aguas de los ríos Col y Máquinas (Hernández y Álvarez, 2007; Vassallo *et al.*, 2014).

El área se ve influenciada por disturbios cíclicos provocados por la época de “nortes”, la cual ocasiona un oleaje de mayor intensidad y con ello la resuspensión del sedimento y de la materia orgánica que se deposita sobre las rocas (Álvarez *et al.*, 1999; Hernández-Álvarez *et al.*, 2010). A lo largo de la playa, las grandes extensiones de roca basáltica quedan al descubierto en su mayoría durante las horas diurnas con la marea baja. Sin embargo, en los meses con mayor precipitación, a lo largo del día la marea cubre casi por completo estas formaciones. Este sitio cuenta con poco turismo local, pero se ve gravemente afectada por restos de basura de actividades antropogénicas y de basura orgánica posiblemente proveniente de los ríos.

Playa El Jicacal

La playa El Jicacal se encuentra en una costa arenosa semi-virgen (Figura 6b), en las coordenadas 18°35'22"-18°34'35" N y 95°03'08"-95°02'29" W, presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano y otoño, y la temperatura promedio de 27°C. La precipitación media anual es de 4,900 mm. Se distingue una época de lluvias en los meses de junio a febrero, y una época de secas, de marzo a mayo; así mismo, se ve afectada en invierno por la temporada de “nortes”. Cerca de la costa se encuentran pastizales que se suelen inundar de manera temporal o permanentemente (Cabral, 2017).



En el lado oeste de la playa se localiza una zona de rocas basálticas de gran tamaño, que va desde la orilla hasta aproximadamente metro y medio de profundidad. En pleamar estas rocas quedan cubiertas hasta la mitad de su extensión, mientras que, en bajamar permanecen descubiertas casi en su totalidad, y deja expuesta una extensión aproximada de 15 m a lo largo de la costa.

Arrecife La Perla del Golfo

El arrecife La Perla del Golfo se ubica en la zona sur del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, al sureste del estado de Veracruz, y dentro de la región de Los Tuxtlas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; Granados-Barba *et al.*, 2019). Es un arrecife de tipo marginal, que se localiza entre los 18°32'32.56" N y 94°49'24.65" W, su extensión es de aproximadamente 7 km, la anchura de 0.3 km y su profundidad máxima de 9 m (Figura 6c). Se encuentra sobre roca de origen volcánico, posee una planicie poco profunda con áreas de roca plana y arena, laberintos rocosos, pendientes pequeñas cubiertas por algas y ambientes coralinos como planicies rocosas con colonias aisladas de la especie de coral *Pseudodiploria clivosa*, que junto con *Porites porites* y *Siderastrea radians* son las especies formadoras de este arrecife (González-Gándara *et al.*, 2015; García, 2018). El arrecife se ubica aproximadamente a 40 minutos del embarcadero de la laguna de Sontecomapan, y su posición es bastante cercana a la costa. La visibilidad dentro del arrecife es limitada debido a la turbidez del agua, provocada por el fuerte oleaje y la marea, que al chocar con el arrecife resuspenden el sustrato en la columna de agua.





Figura 6. Vista panorámica de los sitios de estudio. a) Playa rocosa de Montepío, b) Playa El Jicacal y c) Arrecife La Perla del Golfo, Veracruz, México.



MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de campo

Se realizaron seis muestreos en total, tres en junio y tres en agosto de 2018, uno en cada sitio de estudio. En la playa de Montepío se localizó la zona rocosa, ubicada al este de la playa. En todos los muestreos se hicieron dos transectos de 30 m cada uno en paralelo a la costa; se tomaron los datos del número de individuos de pepinos de mar encontrados en cada metro del transecto y hacia metro y medio del lado derecho e izquierdo del transecto, con el fin de abarcar la mayor cantidad de rocas de la playa y las zonas donde la marea cubriera de agua, sitios con pozas de marea y lugares con escasez de agua (Figura 7). En el segundo transecto, el conteo se suspendió a partir del metro 20, debido a la inestabilidad del lugar y a que desde este punto no se encontraron organismos (Figura 8a). De todos los individuos que se localizaron entre las rocas, debajo de ellas y enterrados en la arena, se recolectaron sólo los que se pudieron separar o desenterrar del sustrato. Los organismos fueron colocados en cubetas de 20 L con agua de mar, se fotografiaron, y se midieron con ayuda de una cinta métrica y se pesaron en una báscula digital (Figuras 8b y 8c). De estos organismos se seleccionaron algunos, considerados por su tamaño (grandes, medianos y pequeños) y los que pertenecían a morfotipos distintos, para recolectarlos y transportarlos a la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, UNAM. El resto de los organismos fueron regresados al sitio y sustrato en el que fueron encontrados. Para el traslado de los pepinos de mar recolectados, se guardaron individualmente en bolsas herméticas con agua del medio y éstas a su vez en cubetas de 20 L.

En la playa El Jicacal, se trabajó en la parte rocosa ubicada al oeste, en la zona final de la playa. Se realizó una búsqueda manual de holoturoideos a lo largo de la zona rocosa totalmente expuesta y en zonas con pozas de marea, por medio del levantamiento de rocas principalmente medianas. A través de apneas se buscó en sitios rocosos y arenosos cercanos a la costa, con una profundidad aproximada de un metro. Los organismos se encontraron debajo de las rocas y en pozas de marea, se recolectaron, se midieron y pesaron, y finalmente



se guardaron en bolsas herméticas con agua marina para transportarlo a la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, UNAM.



Figura 7. Zona rocosa de la playa de Montepío en donde se realizaron los transectos de 30 m.

Para llegar al arrecife La Perla del Golfo, fue necesario realizar un recorrido en lancha de aproximadamente 40 minutos desde el embarcadero de la laguna de Sontecomapan. Dentro del arrecife se ubicó un sitio medianamente profundo (2 m) cerca de los $18^{\circ}32'$ N y $94^{\circ}49'$ W. A través de buceo libre se realizó búsqueda manual por medio del levantamiento de rocas de mediano tamaño. Además, se extrajo sustrato rocoso y pedacería de coral muerto, el cual fue desprendido con ayuda de cincel y martillo. El sustrato fue colocado en dos cubetas de 20 L y cubierto con agua de mar para mantener vivos a los organismos asociados a la roca.



Trabajo de gabinete

Una vez en el laboratorio de la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, UNAM, los organismos que fueron recolectados en bolsas herméticas se colocaron en una charola de plástico con agua de mar y se cubrieron ligeramente por encima del cuerpo (Figura 8d), esto con el fin de relajarlos y permitir que exhibieran la corona de tentáculos. Luego de aproximadamente cinco minutos, se añadió a la charola una mezcla de agua de mar con cloruro de magnesio ($MgCl_2$) para narcotizarlos. Después de un periodo de entre 30 y 45 minutos los organismos dejaron de presentar movimientos. La cantidad de cloruro de magnesio dependió del tamaño y la cantidad de organismos que se tenían en la charola, en la mayoría de los casos se añadieron dos cucharaditas (aproximadamente 21 g). Posteriormente fueron colocados individualmente en frascos de vidrio con alcohol al 70% para ser preservados, cada uno con su etiqueta de recolecta.

En el caso de las muestras de sustrato rocoso obtenidas en el arrecife (Figura 8e), se colocaron pequeñas partes en charolas de plástico para ser minuciosamente revisadas. Para ello se trozó la roca con las manos y con ayuda de cincel y martillo. Los organismos encontrados fueron procesados de la misma manera, primero relajados en charolas con agua de su medio, después narcotizados y finalmente se traspasaron a frascos de vidrio con alcohol al 70% para su preservación (Figura 8f).

Los organismos fueron transportados al laboratorio de la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR) del Instituto de Biología (IB) y a la Colección Nacional de Equinodermos “Dra. Ma. Elena Caso M.” del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM para su identificación. En cada uno de los ejemplares se realizó un pequeño corte de $\sim 2 \times 2$ mm del tejido de distintas partes del cuerpo: región dorsal, región ventral, pies ambulacrales, región anal y tentáculos (Figura 8g). Posteriormente cada uno de los cortes se colocó en un portaobjetos y se le agregó una gota de hipoclorito de sodio ($NaClO$), cloro comercial, para deshacer el tejido y obtener las espículas (Figura 8h). Luego de un minuto las muestras se observaron en el microscopio óptico Nikon ECLIPSE 55i, y se reconocieron las combinaciones de tipos de espículas presentes en cada región de cada organismo (Figura 8i) para su identificación a nivel específico.



Figura 8. a) Recolecta de holoturoideos, b) y c) Toma de peso y talla de los organismos, d) Narcotización, e) Muestra de sustrato rocoso, f) Preservación, g) Cortes de tejidos para identificación de especies, h) Preparaciones de espículas, i) Análisis e identificación con microscopio óptico.

Registro fotográfico

En cuanto a la preparación de muestras para la toma de fotografías en microscopía electrónica de barrido (MEB) se realizaron nuevos cortes de tejido (~5x5 mm), en nueve distintas partes del cuerpo de los ejemplares: región dorsal (parte anterior, media y posterior), región ventral (parte anterior, media y posterior), región anal, tentáculos y pies ambulacrales. Cada corte se colocó en un recipiente pequeño cóncavo de cristal, se añadieron de dos a tres gotas de hipoclorito de sodio para desintegrar el tejido y dejar que las espículas se precipitaran en el fondo del recipiente. Posteriormente se les adicionaron de dos a tres gotas





de agua destilada y se agitó la muestra con movimientos suaves al recipiente, con el fin de limpiar las espículas de restos de tejido (Figura 9a). Después de dos minutos se retiró el sobrenadante con ayuda de una pipeta Pasteur y se repitió el proceso dos veces con agua corriente, para que las espículas quedaran libres de tejido. Las muestras se deshidrataron con el mismo procedimiento mediante lavados de alcohol etílico en distintas concentraciones: dos veces con alcohol al 70% y una con alcohol al 90%. Una vez que se retiró el último sobrenadante, se dejó evaporar por completo el alcohol y se realizó el montaje de las espículas. Para ello se colocaron y dispersaron dichas estructuras sobre una etiqueta de carbón adherida a un portamuestras metálico para microscopía electrónica (Figura 9b). Finalmente, las muestras se llevaron al Laboratorio de Microscopía y Fotografía de la Biodiversidad I del Instituto de Biología de la UNAM, y se recubrieron de una capa de oro para la toma de fotografías en el microscopio electrónico de barrido (Figura 9c).

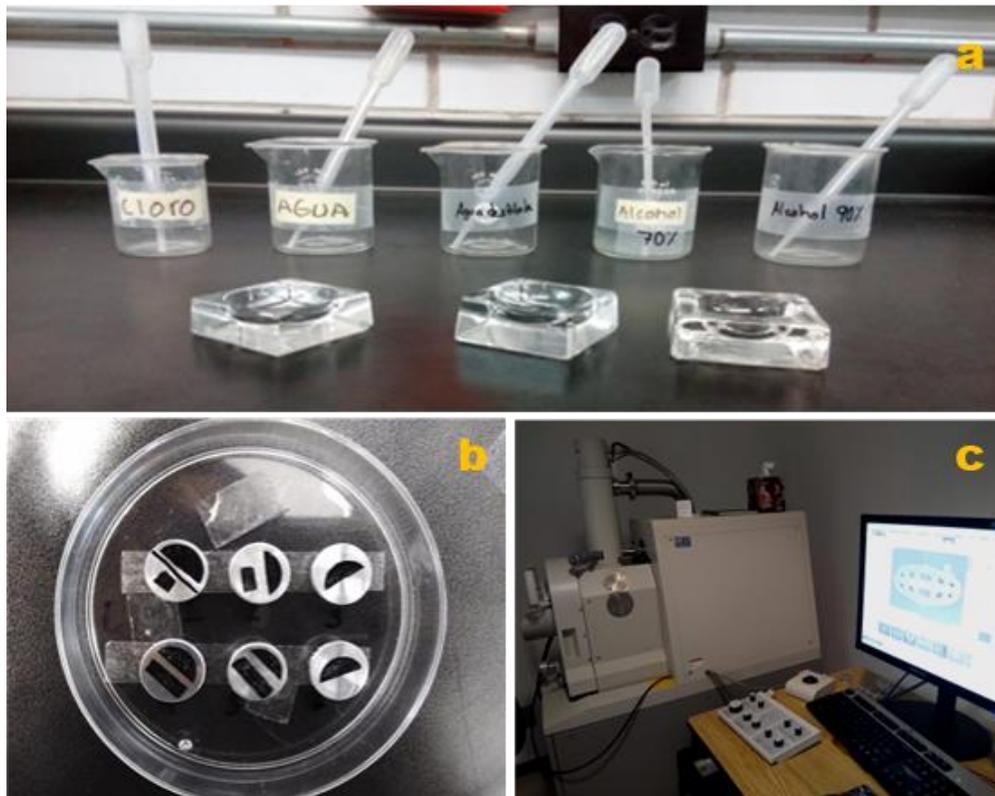


Figura 9. a) Lavado y deshidratación de espículas, b) Montaje de espículas en portamuestras y c) Toma de fotografías en Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).





Elaboración del catálogo fotográfico

Se analizaron todas las fotos tomadas en MEB para determinar los tipos de espículas presentes en las distintas regiones del cuerpo de las especies encontradas, así como para clasificar las variaciones observadas dentro de los tipos de espículas.

RESULTADOS

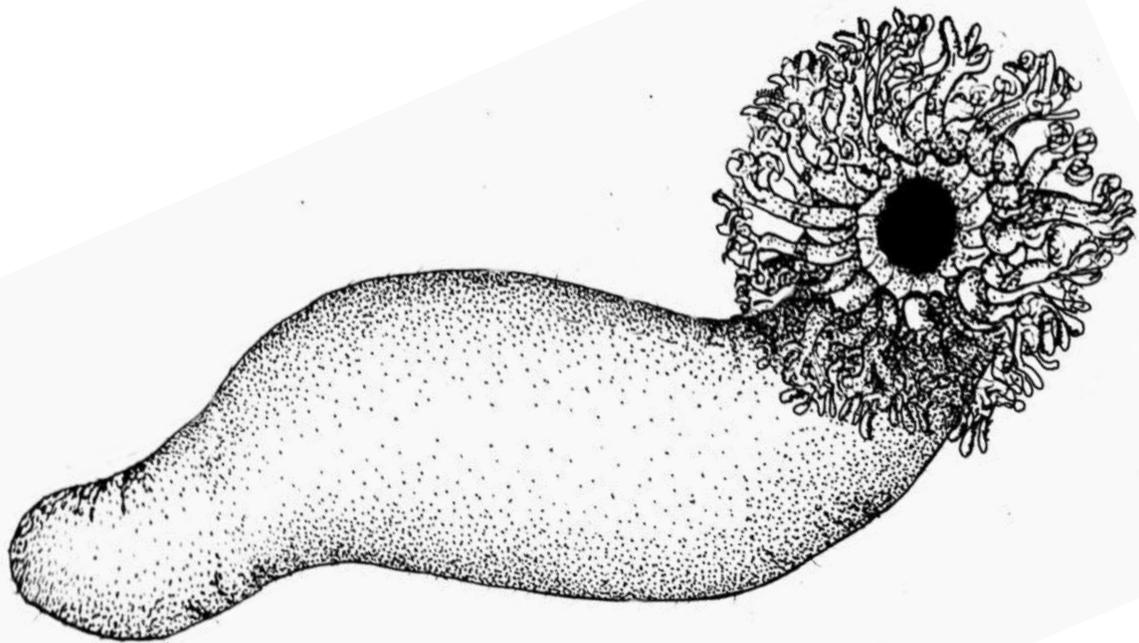
Se observaron 118 organismos pertenecientes a la clase Holothuroidea, de los cuales se recolectó un total de 19 organismos, agrupados en dos órdenes, dos familias, dos géneros, tres subgéneros y cuatro especies (Tabla 1). El listado taxonómico de los organismos se realizó siguiendo los criterios de Miller *et al.* (2017) y la clasificación aceptada en la base de datos WoRMS (2021).

Tabla 1. Listado taxonómico de las especies de holoturoideos encontradas en la playa de Montepío, playa El Jicacal y el arrecife La Perla del Golfo.

Phylum Echinodermata Bruguière, 1791 (ex Klein, 1734)
Clase Holothuroidea Blainville, 1834
Subclase Actinopoda Ludwig, 1891
Orden Holothuriida Miller, Kerr, Paulay, Reich, Wilson, Carvajal y Rouse, 2017
Familia Holothuriidae Burmeister, 1837
Género <i>Holothuria</i> Linnaeus, 1767
Subgénero <i>Halodeima</i> Pearson, 1914
<i>Holothuria (Halodeima) grisea</i> Selenka, 1867
Subgénero <i>Selenkothuria</i> Deichmann, 1958
<i>Holothuria (Selenkothuria) glaberrima</i> Selenka, 1867
Subgénero <i>Thymiosycia</i> Pearson, 1914
<i>Holothuria (Thymiosycia) arenicola</i> Semper, 1868
Orden Dendrochirotida Grube, 1840
Familia Sclerodactylidae Panning, 1949
Género <i>Pseudothyone</i> Panning, 1949
<i>Pseudothyone belli</i> (Ludwig, 1886)



**Descripciones y catálogo de espículas de las especies
de holoturoideos de La Reserva de la Biósfera Los
Tuxtlas, Veracruz**





En la tabla 2 se muestran los tipos de espículas observados en las especies de pepinos de mar de esta investigación. De acuerdo con la estructura y la región del cuerpo en la que se encuentran, se propone una posible función de cada una de ellas.

Tabla 2. Tipos de espículas que presentan los holoturoideos y sus posibles funciones (Tomado y modificado de Solís-Marín *et al.*, 2009).

Tipo de espículas	Posible función
Placas perforadas	Dar soporte y estructura a la pared corporal, pies ambulacrales, tentáculos e <i>introverso</i> .
Placas terminales	Se presentan en la parte final de los pies ambulacrales, dan soporte y sujeción a estas proyecciones del cuerpo.
Barrotes	Brindar soporte a los tejidos que los contienen, tales como los tentáculos, pies ambulacrales o <i>introverso</i> .
Mesas	Dar soporte y rigidez a los tejidos, ya que se encuentran en la pared del cuerpo.
Mesas de soporte	Se encuentran con mayor abundancia en los pies ambulacrales, por lo que su función puede ser dar soporte a estas estructuras.
Botones	Al encontrarse en la capa interna de la pared corporal, su función probablemente es dar sostén interno al cuerpo.
Rosetas	Se encuentran por lo general en los tentáculos y el <i>introverso</i> , por lo que la función de estas podría ser la de dar soporte a los tejidos de estas estructuras.



Holothuria (Halodeima) grisea Selenka, 1867
(Figura 10)

Descripción: Organismos que pueden alcanzar 25 cm de largo, cuerpo subcilíndrico, con una suela aplanada distintiva cubierta con numerosos pies ambulacrales (Figura 10a). La superficie dorsal del cuerpo presenta seis filas de papilas (cuatro en individuos juveniles) que salen de papilas más grandes, cada una rodeada por 5-10 pies ambulacrales pequeños. Boca proyectada ligeramente hacia abajo, con 20-25 tentáculos peltados (Figura 10b). Esta especie se caracteriza por presentar un color rojo o amarillo rojizo que contrasta con manchas cafés, y con las papilas blancas con puntas amarillas sobre la superficie dorsal del cuerpo. Los pies ambulacrales y tentáculos son amarillos. Los especímenes fijados en alcohol presentan tonalidades desde gris pálido hasta café oscuro con papilas y pies ambulacrales amarillentos.

Espículas en forma de tablas, placas y barrotes. Las tablas con base cuadrangular perforada, con cuatro perforaciones pequeñas periféricas y cuatro perforaciones grandes centrales, y con 12 espinas marginales. Las espiras de las tablas son piramidales con 12 dientes romos. Las placas perforadas tienen formas muy diversas, unas pequeñas (17-25 μm) generalmente gruesas, perforadas con bordes festonados e irregulares, y otras grandes alargadas con aspecto de barrotes con bordes irregulares y festonados (50-60 μm). Los barrotes delgados con extremos poco ramificados, los que se encuentran en los tentáculos y pies ambulacrales son espinulosos, mientras que los que se localizan en las papilas son lisos (Tomado y modificado de Caso, 1971; Hendler *et al.*, 1995).

Referencias de identificación: Caso, 1961: 329-332, láms. 6-7; Caso, 1971: láms. 3-4; Hendler *et al.*, 1995: 287-288, fig. 184; Cutress, 1996: 51-55; Cervantes, 2017: 97-102.

Distribución batimétrica: De 0 a 30 m (Solís-Marín *et al.*, 2013).

Distribución geográfica: Florida, Texas, México, Bahamas, Anguila, San Eustaquio, Cuba, Islas Caimán, Jamaica, Haití, Islas Turcas y Caicos, República Dominicana, Puerto Rico, Islas Vírgenes, San Martín, San Bartolomé, San Cristóbal y Nieves, Antigua y Barbuda, Montserrat, archipiélago de Guadalupe, Dominica, Santa Lucía, Barbados, San Vicente y las Granadinas, isla Martinica, isla Granada, Aruba, sur de Brasil, Curazao, Bonaire, Trinidad y Tobago, Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia,



Venezuela, Guyana, Surinam, Guyana Francesa, Isla Ascensión e Isla Santo Tomé en la costa oeste de África, Francia y Filipinas (Caso, 1971; Hendler *et al.*, 1995; Alvarado *et al.*, 2013a; Solís-Marín *et al.*, 2013; GBIF, 2021).

Reportes previos para la parte mexicana del Golfo de México: Isla Lobos, Barra Norte Tuxpan, El Morro, arrecife La Gallega, playa Norte, isla Verde, arrecife de Hornos, playa de Hornos, isla Sacrificios, isla de Enmedio, arrecife La Perla del Golfo y arrecife Zapotitlán, en Veracruz (Caso, 1971; Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; González-Gándara *et al.*, 2015; Cervantes, 2017; López, 2017; García, 2018), playa Norte, Puerto Real, playa Huarixe, playa Cuarache, playa Bonita, Punta San Julián, Punta San Juan, isla Aguada, Playuelas e isla Arena, en Campeche (Durán-González *et al.*, 2005; Cervantes, 2017).

Registros en la región de Los Tuxtlas: Playa de Montepío y playa El Jicacal.

Meses de aparición: Abril del 2017, junio y agosto del 2018.

Talla promedio: 18.54 cm.

Peso promedio: 166 g.

Hábitat: Arrecifes de coral, fondos fangosos, fondos rocosos, fondos arenosos y pastos marinos, en Florida se asocian comúnmente con *Phragmatopoma lapidosa* una especie de arrecifes de poliquetos (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).

Observaciones: Esta especie se encontró en la zona intermareal, tanto en sustrato rocoso como en sustrato arenoso, asociado a erizos de mar y generalmente en grupos de tres a cuatro individuos. Los organismos se localizaron en pequeñas pozas de marea y en sitios con agua escasa. Las tallas y los pesos de los organismos de esta especie son mayores en comparación con los de las otras especies de holoturoideos encontrados en este estudio. En uno de los ejemplares de la playa El Jicacal se observó un organismo del molusco *Balcis* sp. adherido a uno de los tentáculos; esta asociación la reportó Caso (1971) también para un espécimen del estado de Veracruz.





Figura 10. *Holothuria (Halodeima) grisea*. a) Vista lateral, b) Detalle de los tentáculos peltados.

Holothuria (Selenothuria) glaberrima Selenka, 1867
(Figura 11)

Descripción: Organismos pequeños que alcanzan una longitud de 15 cm, con cuerpo cilíndrico y pared corporal suave (Figura 11a). La superficie ventral forma una suela distintiva con numerosos pies ambulacrales cilíndricos, dorsalmente con pequeñas papilas cónicas. Presentan una corona de largos tentáculos dendríticos negros dirigidos ventralmente (Figura 11b). Color variable, a menudo negro a café, contrastan los tentáculos al ser más oscuros. Anillo calcáreo bien desarrollado con piezas radiales altas y cuadradas, y piezas interradales más cortas. Largas ámpulas tentaculares, una vesícula de Poli, sin órganos de Cuvier. No hay mesas en la pared del cuerpo, espículas únicamente en forma de barrotes curvos o rectos y ramificados en los extremos, las ramas pueden unirse formando una malla. Los pies ambulacrales con placas terminales bien desarrolladas (Tomada de Deichmann, 1930; Hendler *et al.*, 1995).

Referencias de identificación: Deichmann, 1930: 69-70, lám. 4; Hendler *et al.*, 1995: 293-294, fig. 165; Cutress, 1996: 67-70.

Distribución batimétrica: De 0 a 42 m (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).

Distribución geográfica: Florida, México, Bahamas, Anguila, Cuba, Islas Caimán, Jamaica, Haití, Islas Turcas y Caicos, República Dominicana, Puerto Rico, Islas Vírgenes, San Martín, San Bartolomé, San Cristóbal y Nieves, Antigua y Barbuda, Montserrat, Guadalupe, Dominica, isla Martinica, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Barbados, Granada, Belice, Guatemala, Honduras, Panamá, Colombia, Aruba, Curazao, Venezuela, Trinidad y Tobago, Francia e islas Andamán y Nicobar (Hendler *et al.*, 1995; Alvarado *et al.*, 2013b; Solís-Marín *et al.*, 2013; GBIF, 2021).

Reportes previos para la parte mexicana del Golfo de México: Playa Norte, Barra Cazonas, Boquilla de Piedra, en Veracruz, y playa Norte, en Campeche (Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Cervantes, 2017).

Registros en la región de Los Tuxtlas: Playa de Montepío y playa El Jicacal.

Meses de aparición: Junio del 2018.

Talla promedio: 10.7 cm.

Peso promedio: 56.6 g.

Hábitat: Comúnmente se localizan en las franjas intermareales debajo de rocas de tamaño medio, en fondos arenosos, fondos fangosos y fondos rocosos (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).

Observaciones: Esta especie se encontró debajo del sustrato rocoso, en pozas de marea, asociados a erizos de mar y en sitios cercanos donde se localizaron organismos de la especie *Holothuria (H.) grisea*.



Figura 11. *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*. a) Vista lateral, b) Detalle de los tentáculos peltados.

Holothuria (Thymiosycia) arenicola Semper, 1868
(Figura 12)

Descripción: Especie de tamaño mediano, que alcanza los 25 cm de largo. Cuerpo delgado, alargado y estrecho hacia los extremos, la superficie dorsal y ventral son similares en apariencia (Figura 12a). Pared corporal delgada y lisa en la región media, y rugosa en los extremos. Pies ambulacrales pequeños distribuidos dorsal y ventralmente en cinco bandas, más numerosos en los laterales y parte ventral. Boca terminal rodeada por 20 tentáculos pequeños transparentes amarillentos (Figura 12b). Anillo calcáreo bajo, con piezas radiales que a menudo se proyectan un poco más allá del borde posterior, ámpulas tentaculares pequeñas, una a dos vesículas de poli, árboles respiratorios y órganos de Cuvier presentes. Color variable de gris pálido a color canela o marrón claro, con dos filas de manchas contrastantes marrón oscuro o negro en la región ventral. Espículas en forma de tablas y botones (Figura 20). Tablas con un disco pequeño y delicado a veces cuadrado o circular con perforaciones centrales largas y generalmente entre cuatro a ocho perforaciones marginales, espira con cuatro pilares cortos que terminan en 12 espinas. En organismos juveniles la espira es más alta y presenta más vigas cruzadas. Botones de dos tipos, con dos filas paralelas de tres agujeros alargados y más alargados e irregulares con pocas o muchas perforaciones casi cerradas. En los pies ambulacrales se presentan largas placas terminales y barrotes de soporte con extremos perforados (Tomado y modificado de Deichman, 1930; Hendler *et al.*, 1995).

Referencias de identificación: Deichmann 1930: 66-67, lám. 4; Deichmann, 1958: 291-293, lám. 1; Caso, 1961: 346-349, lám. 13; Hendler *et al.*, 1995: 297-299, fig. 186; Cutress, 1996: 84-88; Cervantes, 2017: 124-128.

Distribución batimétrica: De 0 a 121 m (Solís-Marín *et al.*, 2013).

Distribución geográfica: Especie circumtropical. Desde Bermudas hasta Brasil. Florida, México, Belice, Guatemala, Honduras, Panamá, Colombia, Venezuela, Brasil, Cuba, República Dominicana, Puerto Rico (Deichmann, 1954; Pawson *et al.*, 2009; Borrero-Pérez *et al.*, 2012; Solís-Marín *et al.*, 2013). Samoa Americana, Angola, Anguila, Antigua y Barbuda, Australia, Bahamas, Bangladesh, Barbados, Belice, Benín, Bonaire, San Eustaquio y Saba, Territorio Británico del Océano Índico, Cabo Verde, Camboya, Camerún, Islas



Caimán, Chile, China, Isla de Navidad, Islas Cocos, Colombia, Comoras, Islas Cook, Costa Rica, Cuba, Curazao, Yibuti, República Dominicana, Ecuador, Egipto, El Salvador, Guinea ecuatorial, Eritrea, Fiyi, Guayana francesa, Polinesia francesa, Gabón, Gambia, Ghana, Granada, Guadalupe, Guam, Guatemala, Guinea, Guinea-Bissau, Guyana, Haití, Hawái, Honduras, India, Indonesia, Irán, Irak, Jamaica, Japón, Jordania, Kenia, Kiribati, Kuwait, Madagascar, Malasia, Maldivas, Islas Marshall, Mauritania, Islas Mauricio, Reunión, Mayotte, México, Estados Federados de Micronesia, Montserrat, Marruecos, Mozambique, Myanmar, Namibia, Nauru, Nueva Caledonia, Nueva Zelanda, Nicaragua, Nigeria, Niue, Isla Norfolk, Islas Marianas del Norte, Omán, Pakistán, Palau, Panamá, Papúa Nueva Guinea, Perú, Filipinas, Islas Pitcairn, Puerto Rico, Santa Elena Ascensión y Tristán de Acuña, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Martín, San Vicente y las Granadinas, Samoa, Santo Tomé y Príncipe, Arabia Saudita, Senegal, Seychelles, Sierra Leona, Singapur, Sint Maarten, Islas Salomón, Somalia, Sudáfrica, Sri Lanka, Sudán, Surinam, Taiwán, Tanzania, Tailandia, Togo, Tokelau, Tonga, Trinidad y Tobago, Islas Turcas y Caicos, Tuvalu, Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos, Vanuatu, Vietnam, Wallis y Futuna, Sahara Occidental y Yemen (Conand y Gamboa, 2013; GBIF, 2021).

Reportes previos para la parte mexicana del Golfo de México: Isla Lobos, arrecife Hornos, isla Sacrificios e isla de Enmedio, en Veracruz, y arrecife Alacranes, en Yucatán (Caso, 1961; Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Cervantes, 2017).

Registros en la región de Los Tuxtlas: Playa de Montepío.

Meses de aparición: Agosto del 2018.

Talla promedio: 10 cm.

Peso promedio: 36 g.

Hábitat: Arrecifes de coral, manglares, fondos fangosos, fondos arenosos y praderas de pastos marinos (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).

Observaciones: Esta especie se encontró debajo del sustrato rocoso, en el intermareal. A una profundidad aproximada de 20 cm.





Figura 12. *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*. a) Vista lateral, b) Detalle de los tentáculos peltados.

Pseudothyone belli (Ludwig, 1886)
(Figura 13)

Descripción: Organismos pequeños, alcanzan una longitud máxima de 5 cm, aunque la mayoría mide la mitad del tamaño. El cuerpo es usualmente curvo, algo hinchado en el parte ventral y ligeramente estrecho hacia los extremos (Figura 13a). La delgada pared del cuerpo es muy rígida debido a la gran cantidad de espículas. Posee numerosos y largos pies ambulacrales cilíndricos, que se dispersan por toda la superficie del cuerpo con tendencia a ser alineados en filas cerca de la boca y el ano. En la superficie ventral del cuerpo son más numerosos y largos, todos los pies ambulacrales parecen ser incapaces de contraerse completamente, probablemente debido a la densa capa de espículas en ellos. La punta de los pies ambulacrales está bordeada por un anillo café. En organismos juveniles de 0.5 cm de largo, los pies ambulacrales se arreglan en doble fila a lo largo de cada radio. Alrededor del ano hay cinco pequeños dientes calcáreos y dos pequeñas papilas situadas por encima de cada diente. La boca está rodeada por ocho largos, delgados y muy ramificados tentáculos y dos más pequeños ventrales, los tallos amarillentos y ramas naranjas con frondas negras (Figura 13b) de color blanco con manchas café o marrón; en organismos muy pequeños las manchas son grises y muy densas a lo largo de la superficie, especialmente cerca de los extremos del cuerpo. Estos pequeños organismos parecen ser negros a simple vista. Anillo calcáreo alto, radios e interradios altos y estrechos, de casi el mismo ancho, los radios tienen largas y delgadas prolongaciones, una vesícula de Poli, árboles respiratorios unidos en el interambulacro lateral. Espículas del cuerpo a manera de botones abollonados con cuatro perforaciones regulares, dos grandes abollonaduras centrales y 9-12 marginales. Pies ambulacrales con tablas de soporte con un disco delgado y curvo, espiras robustas con varios dientes pequeños en la parte terminal. Tentáculos con rosetas y barrotes perforados. Introverso y tallo de los tentáculos con tablas y rosetas (Tomada de Hendler *et al.*, 1995).

Referencias de identificación: Deichmann 1930: 176-177, lám. 14; Hendler *et al.*, 1995: 268-269, fig. 180; Cervantes, 2017: 70-73.

Distribución batimétrica: Entre 0 y 37 m (Solís-Marín *et al.*, 2013).



Distribución geográfica: Bermudas, Carolina del Norte, Florida, Dry Tortugas, México, Belice, Panamá, Venezuela, Brasil, Puerto Rico, y Trinidad y Tobago (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013; GBIF, 2021).

Reportes previos para la parte mexicana del Golfo de México: Isla Verde, arrecife Hornos, isla Sacrificios, isla de Enmedio y arrecife La Perla del Golfo, en Veracruz, y Boca de Palizada Vieja, en Campeche (Solís-Marín *et al.*, 2007; Cervantes, 2017; López, 2017; García, 2018).

Registros en la región de Los Tuxtlas: Arrecife La Perla del Golfo.

Meses de aparición: Junio y agosto del 2018.

Talla promedio: 1.8 cm.

Peso promedio: 12 g.

Hábitat: Pastos marinos, fondos fangosos, rocosos y arenosos (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).

Observaciones: Esta especie se encontró en el sustrato rocoso, dentro de pequeñas oquedades. Asociado al arrecife, en una zona con mucha turbulencia debido al oleaje, a una profundidad aproximada de 2 m.



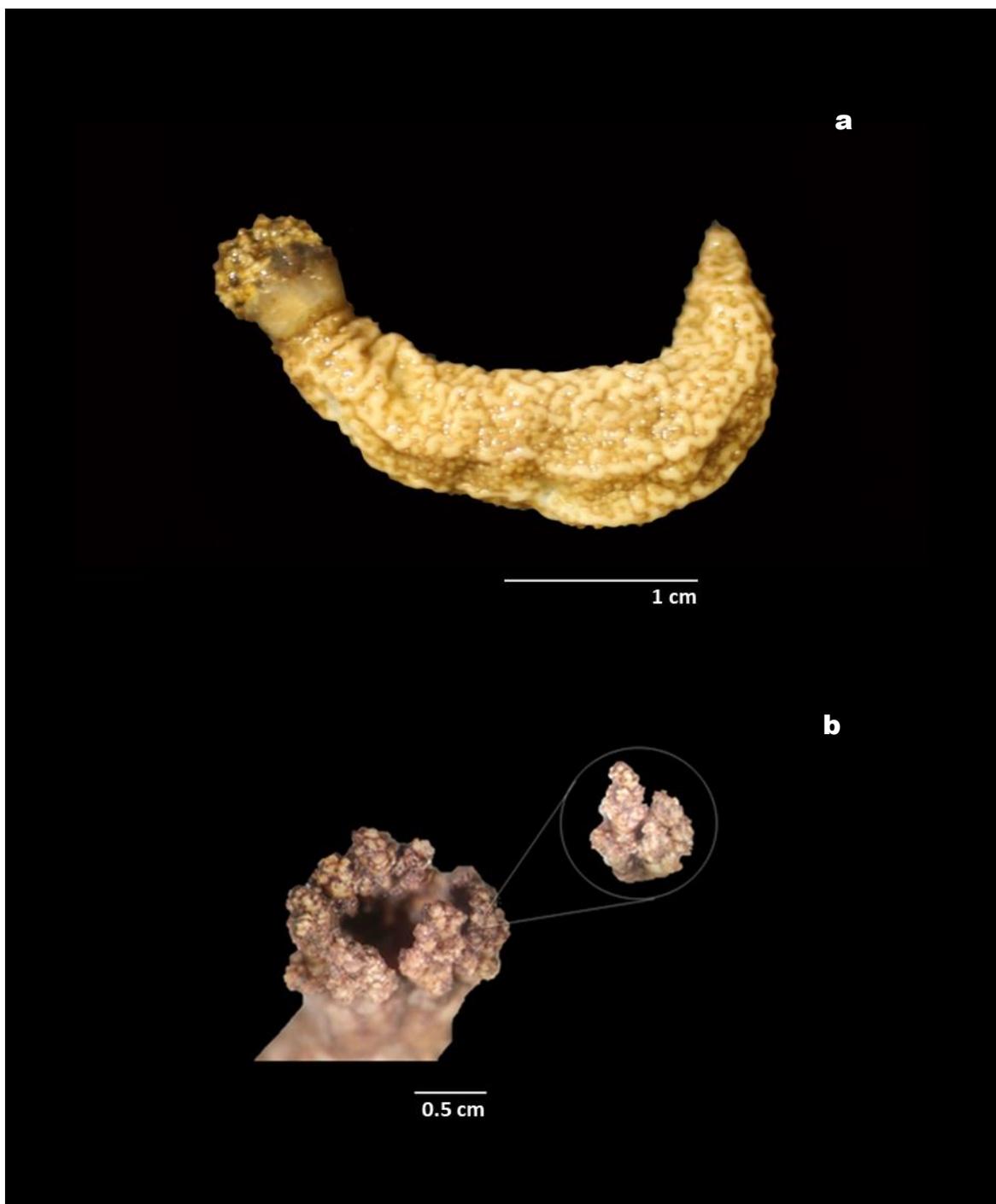


Figura 13. *Pseudothyone belli*. a) Vista lateral, b) Detalle de los tentáculos dendríticos.



Tabla 3. Cuadro comparativo de las características diagnósticas de las especies de pepinos de mar de la Reserva de Los Tuxtlas, Veracruz, México.

	<i>Holothuria grisea</i>	<i>Holothuria glaberrima</i>	<i>Holothuria arenicola</i>	<i>Pseudothyone belli</i>
Talla	25 cm	15 cm	25 cm	5 cm
Talla promedio (ejemplares recolectados)	18.54 cm	13 cm	10 cm	1.8 cm
Peso promedio (ejemplares recolectados)	166 g	56.6 g	36 g	12 g
Color	Rojo, amarillo rojizo con manchas cafés	Negro a café	Gris con dos filas de parches oscuros, negro o rojizo	Blanco con manchas café o marrón
Superficie dorsal del cuerpo (<i>bivium</i>)	Con seis filas de papilas	Con papilas cónicas	Con pequeños pies ambulacrales	Menor número de pies ambulacrales y de menor tamaño que en la superficie ventral, con tendencia a alinearse en filas cerca de la boca y el ano
Suela (<i>trivium</i>)	Con numerosos pies ambulacrales	Con numerosos pies ambulacrales	Con pequeños pies ambulacrales	Pies ambulacrales más numerosos y largos que en la superficie dorsal
Papilas	Con puntas amarillas	Pequeñas y cónicas	Ausentes	10 pequeñas papilas que rodean los dientes calcáreos presentes alrededor del ano
Pies ambulacrales	Amarillos	Cilíndricos	Pequeños	Numerosos, largos y cilíndricos, con la punta bordeada por un anillo café Anterodorsal*
Boca	Proyectada hacia abajo	Terminal	Terminal	
Tentáculos	20-25 tentáculos peltados, amarillos	Dendríticos, negros	20 tentáculos pequeños	Con tallos amarillentos y ramas naranjas con frondas negras. Ocho tentáculos largos, delgados y muy ramificados, dos tentáculos más pequeños ventrales
Espículas	Mesas con espira que termina en 12 dientes, placas perforadas con margen ondulado y de dos a cuatro perforaciones centrales	Barrotes curvos o rectos y ramificados en los extremos, placas terminales en los pies ambulacrales	Mesas con disco pequeño y espira con cuatro pilares cortos que terminan en 12 espinas; botones regulares, lisos con seis perforaciones. Placas perforadas y barrotes de soporte con extremos perforados en los pies ambulacrales.	Botones abollonados con cuatro perforaciones regulares, dos abollonaduras centrales grandes y 9-12 marginales. Pies ambulacrales con tablas de soporte. Tentáculos con rosetas y barrotes perforados. Introverso y tallo de los tentáculos con tablas y rosetas.
Distribución batimétrica	0-30 m	0-42 m	0-121 m	0-37 m





Hábitat	Arrecifes, fangos, rocas, arena y pastos marinos	Debajo de rocas, en fango y arena	Arrecifes de coral, manglares, fangos, arena y pastos marinos	Pastos marinos, fangos, rocas y arena
---------	--	-----------------------------------	---	---------------------------------------

*De acuerdo con descripciones de especies del mismo orden (Théel, 1886; Deichmann, 1930; Miller y Pawson, 1984).





En la playa de Montepío los holoturoideos fueron encontrados en la zona rocosa al final de la playa. Los organismos se localizaban debajo de grandes rocas, entre las oquedades de éstas y enterrados en la arena (Figura 14). En la mayoría de los sitios en los que se observaron los organismos, éstos se encontraban expuestos debido a que el nivel del agua era muy bajo e incluso ausente. Mientras que otros holoturoideos eran cubiertos momentáneamente con el agua del oleaje. Con frecuencia se observaron agrupaciones de pepinos de mar y la cercanía con erizos.



Figura 14. Holoturoideos encontrados en la zona rocosa de la playa de Montepío, Veracruz, México (cada flecha amarilla indica la presencia de un organismo).





Distribución mundial y dentro de la parte mexicana del Golfo de México

La distribución de *Holothuria (Halodeima) grisea* se restringe al océano Atlántico, desde Florida hasta el sur de Brasil y al oeste del continente africano. Sin embargo, se ha reportado en Francia en el mar Mediterráneo, Filipinas y el estado de Sonora en el Golfo de California (Figura 15).

En cuanto a su distribución dentro del Golfo de México (parte mexicana) se reporta desde el norte del estado de Veracruz en la isla Lobos, hasta la isla Arena en Campeche.

En la zona central de Veracruz se distribuye en varias localidades cercanas, sin embargo, en el sur se tiene el registro en tan sólo tres localidades (incluidas las de este trabajo). Para Campeche la mayor distribución se encuentra en los alrededores de la laguna de Términos, mientras que no se ha reportado para el estado de Tabasco (Figura 16).

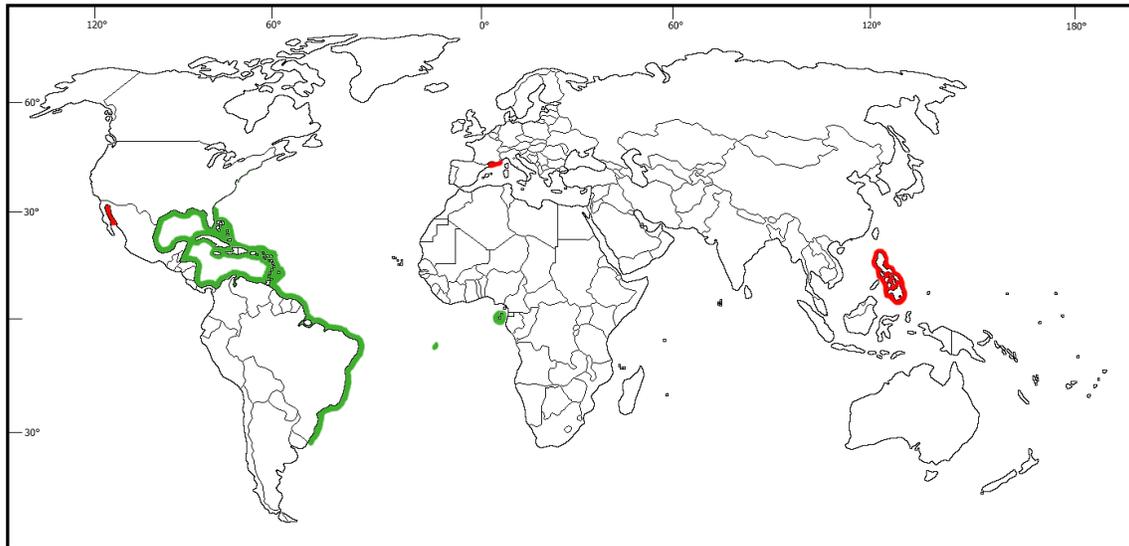


Figura 15. Distribución geográfica de *Holothuria (Halodeima) grisea* (registros poco consistentes en rojo).



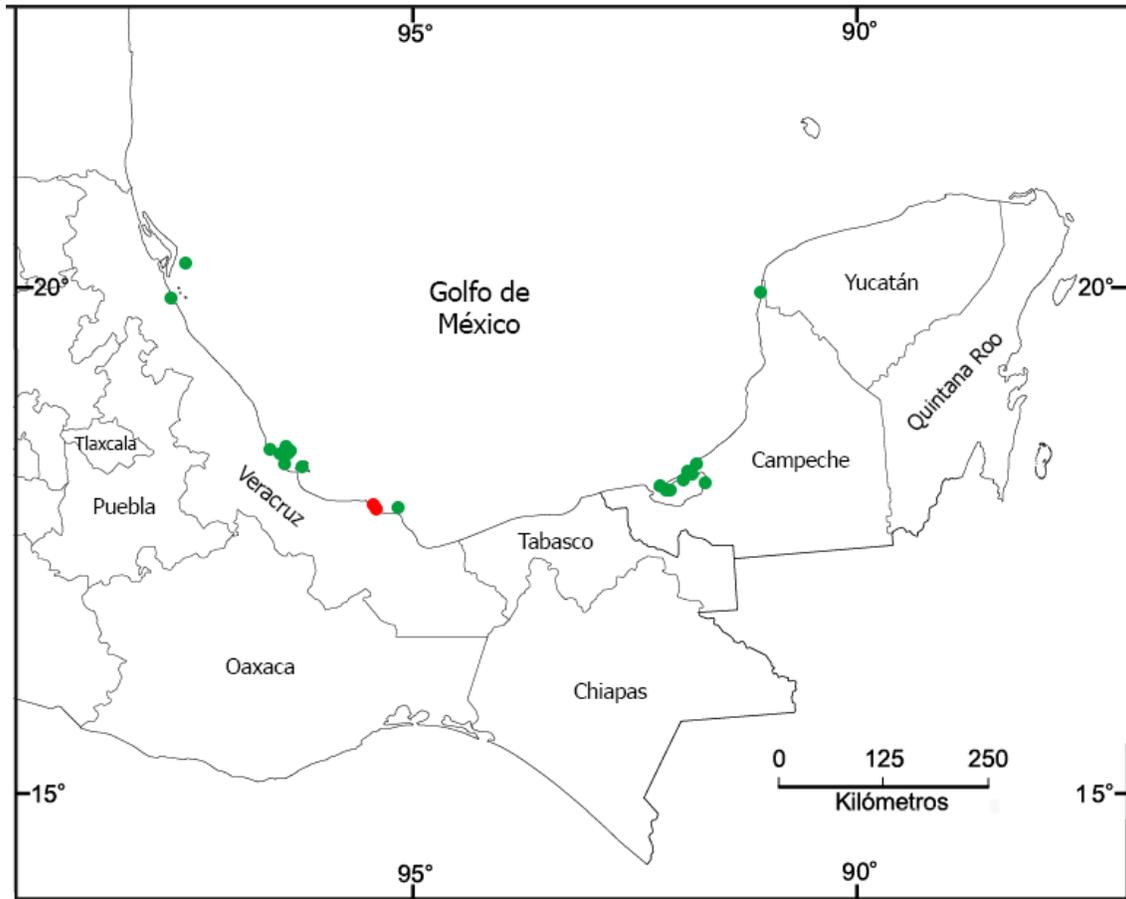


Figura 16. Distribución de *Holothuria (Halodeima) grisea* en la parte mexicana del Golfo de México (reportes previos en verde y registros de este estudio en rojo).

Holothuria (Selenkothuria) glaberrima se distribuye en la zona tropical en el océano Atlántico oeste, desde Florida, el Golfo de México, las islas del Caribe y gran parte de Centroamérica, ya que en Nicaragua y Costa Rica no hay registros de la presencia de esta especie. No obstante, se tiene un registro para Francia y otro para las islas Andamán y Nicobar (Figura 17). Mientras que, en la parte mexicana del Golfo de México, se tienen datos de su distribución al norte, centro y sur del estado de Veracruz, además en la laguna de Términos en Campeche. No se tienen registros para los estados de Tamaulipas, Tabasco y Yucatán (Figura 18).





Figura 17. Distribución geográfica de *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima* (registros poco consistentes en rojo).

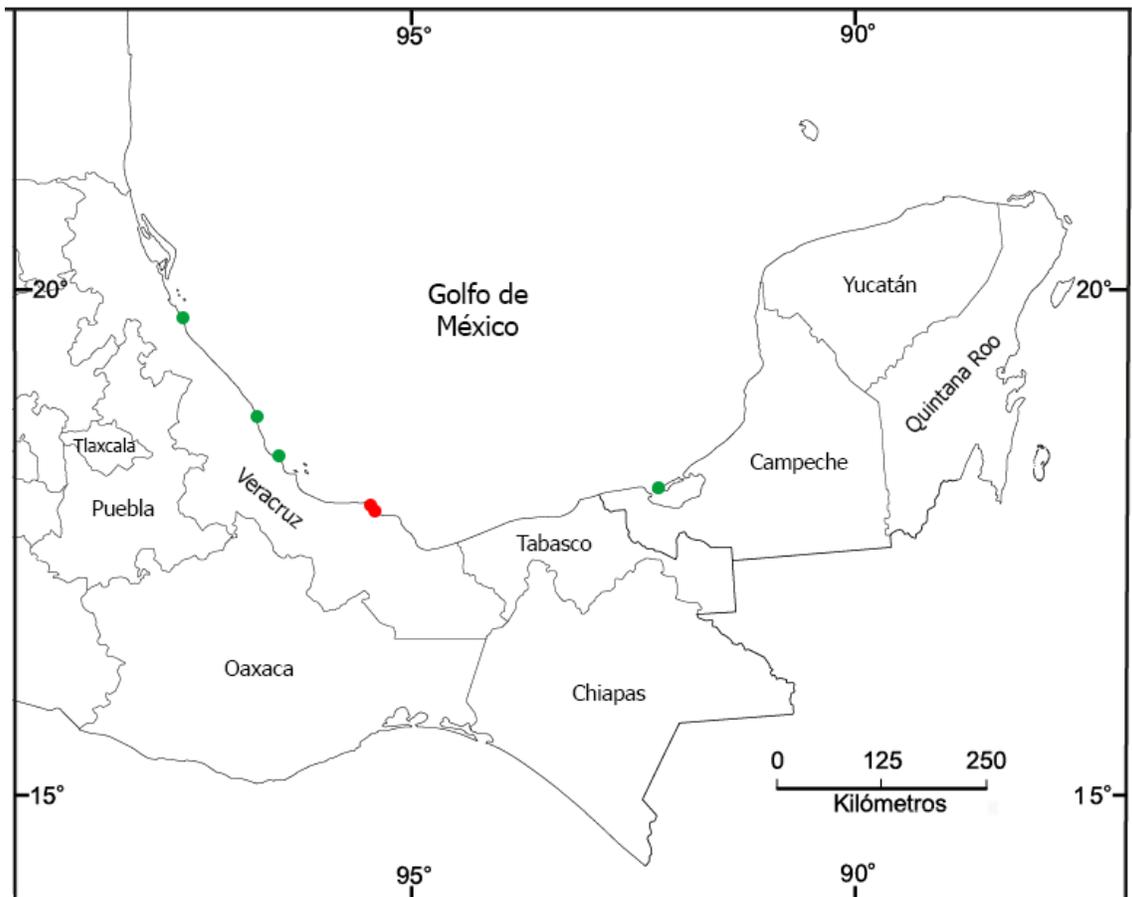


Figura 18. Distribución de *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima* en la parte mexicana del Golfo de México (reportes previos en verde y registros de este estudio en rojo).



Holothuria (Thymiosycia) arenicola es una especie con distribución circuntropical, es decir, se encuentra entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Desde México hasta Chile en el Pacífico, de Bermudas y Florida a Brasil en el Atlántico oeste, y rodea desde África en el Atlántico este hasta Asia y parte de Australia en los océanos Índico y Pacífico oeste (Figura 19).

Sin embargo, en el Golfo de México (parte mexicana) se tienen pocos registros de su distribución; en el estado de Veracruz uno al norte, tres en el centro y al sur el nuevo registro presentado en este estudio. Además de que está reportado para el estado de Yucatán en el arrecife Alacranes (Figura 20).

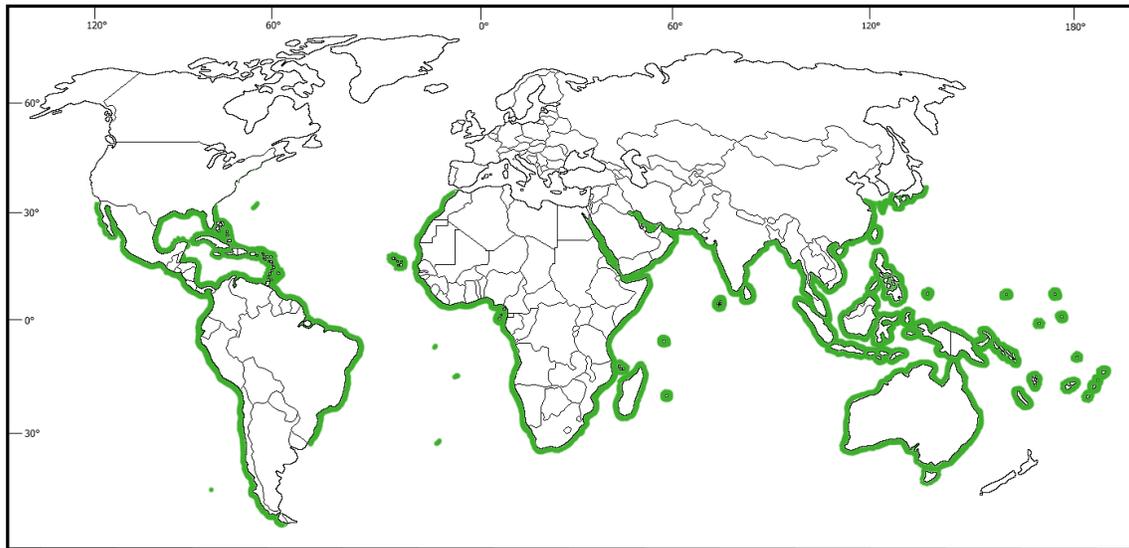


Figura 19. Distribución geográfica de *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*.

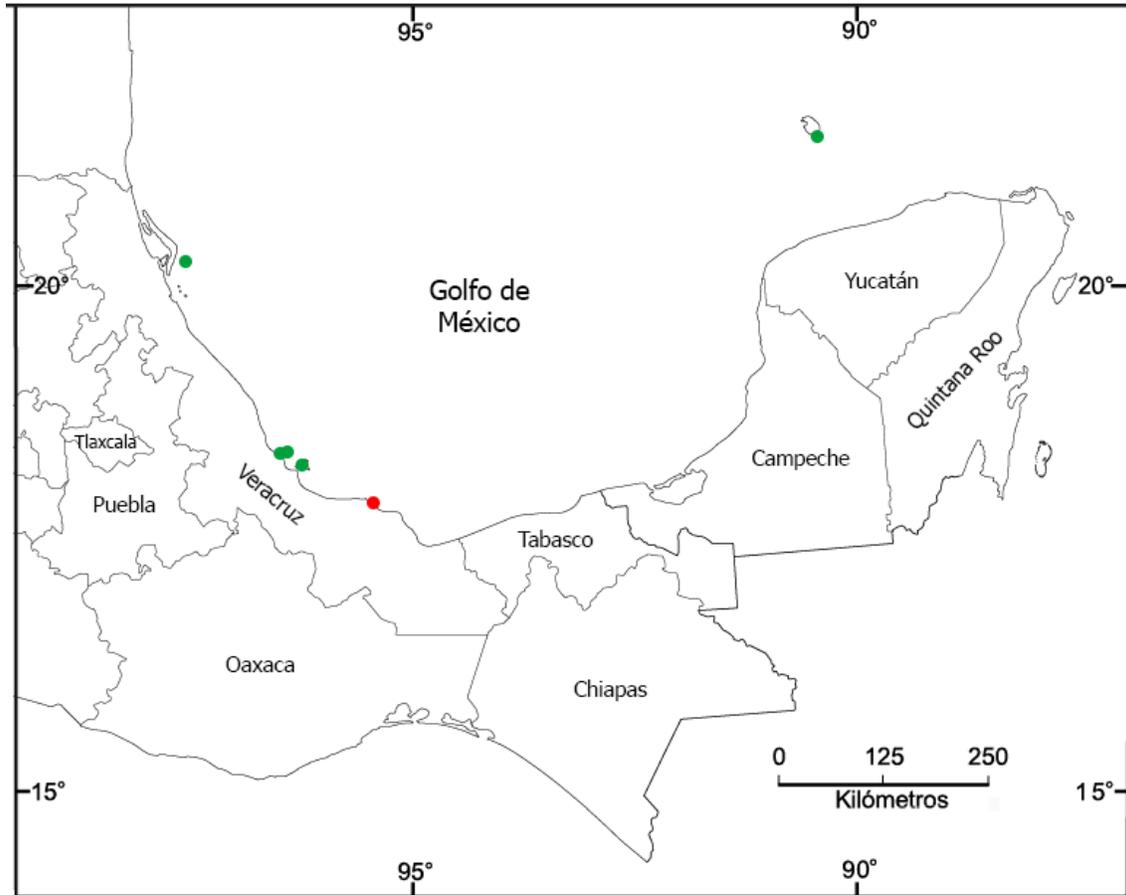


Figura 20. Distribución de *Holothuria (Thymiosycia) arenicola* en la parte mexicana del Golfo de México (reportes previos en verde y registros de este estudio en rojo).

La distribución de *Pseudothyone belli* se encuentra restringida al Atlántico oeste desde Bermudas y Carolina del Norte a Belice, parte de Centroamérica y el Caribe y Brasil (Figura 21).

Dentro de su distribución en la parte mexicana del Golfo de México, se ha localizado en algunas localidades al centro y sur del estado de Veracruz, y al oeste de la laguna de Términos en Campeche (Figura 22).

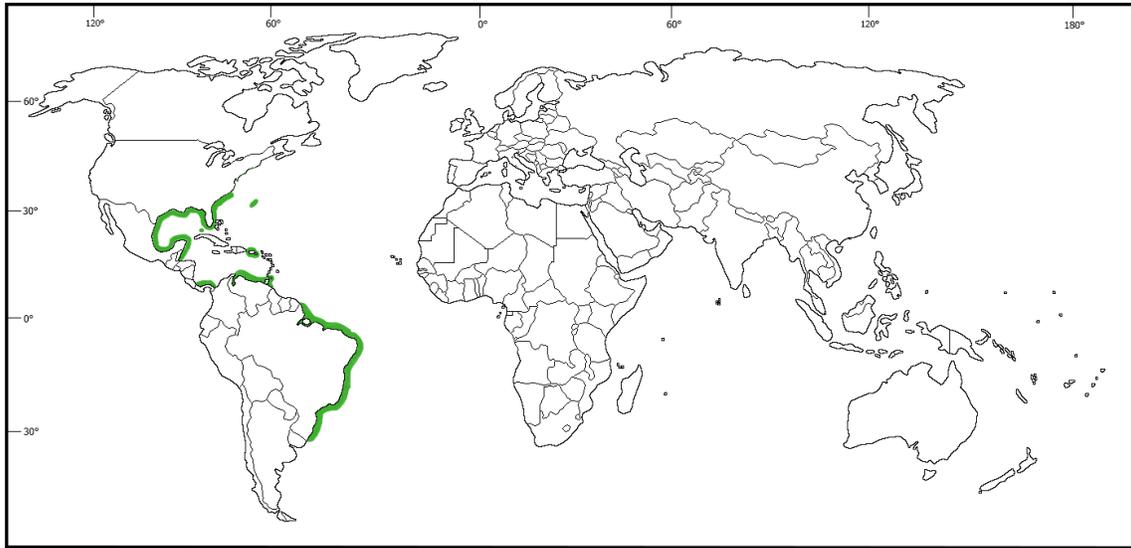


Figura 21. Distribución geográfica de *Pseudothyone belli*.

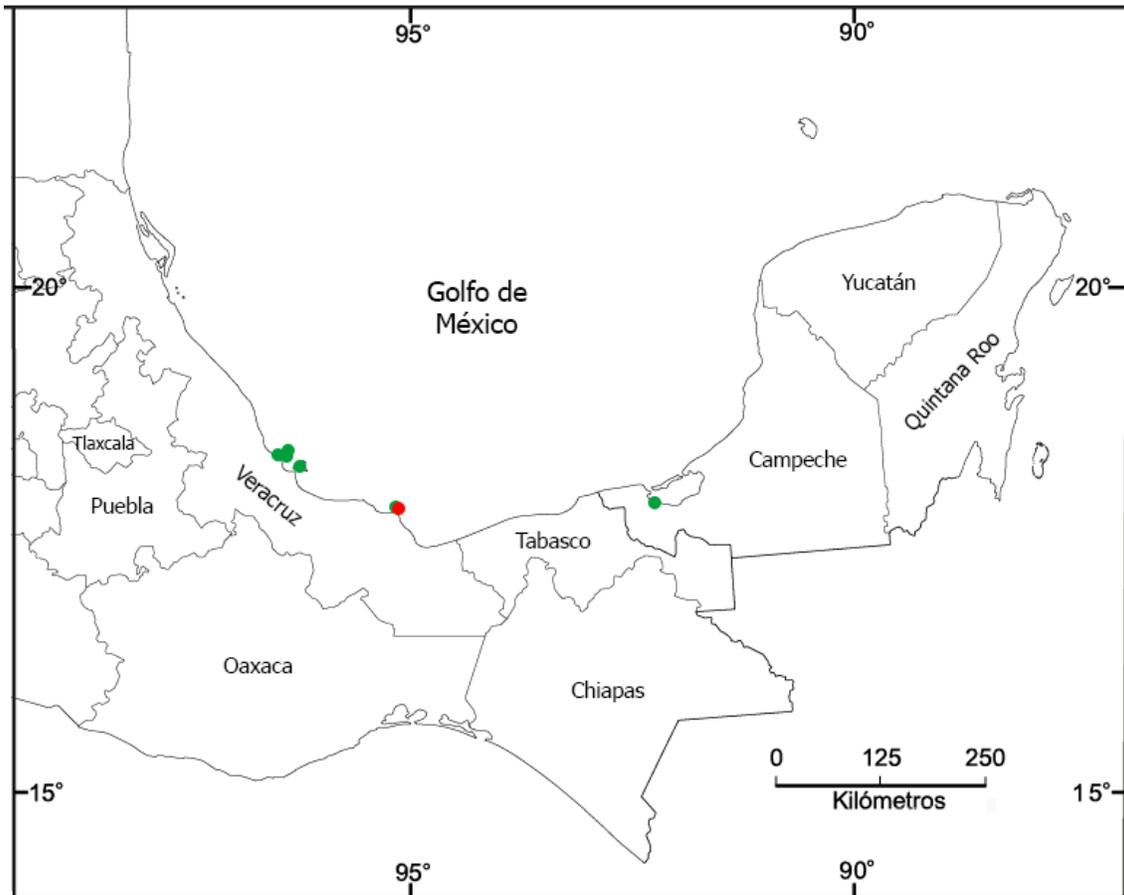


Figura 22. Distribución de *Pseudothyone belli* en la parte mexicana del Golfo de México (reportes previos en verde y registros de este estudio en rojo).





Riqueza de especies por localidad

Las especies *Holothuria (Halodeima) grisea* y *H. (Selenkothuria) glaberrima* se presentaron tanto en la playa de Montepío como en la de El Jicacal, *H. (Thymiosycia) arenicola* se observó únicamente en la playa de Montepío y *Pseudothyone belli* sólo en el arrecife La Perla del Golfo (Tabla 4).

Tabla 4. Presencia de las especies de holoturoideos encontradas en playa de Montepío, El Jicacal y arrecife La Perla del Golfo, Veracruz, México.

Especie	Montepío	El Jicacal	La Perla del Golfo
<i>Holothuria (Halodeima) grisea</i>	X	X*	
<i>Holothuria (Selenkothuria) glaberrima</i>	X	X	
<i>Holothuria (Thymiosycia) arenicola</i>	X		
<i>Pseudothyone belli</i>			X

*Los ejemplares de este registro se obtuvieron en muestreos previos del taller de invertebrados de la zona costera y arrecifal del Golfo de México.

El sitio con mayor riqueza es la playa de Montepío, ya que presentó un total de tres especies, seguida de la playa El Jicacal con dos especies. Mientras que el arrecife La Perla del Golfo presentó el menor número, con sólo una especie observada (Figura 23).

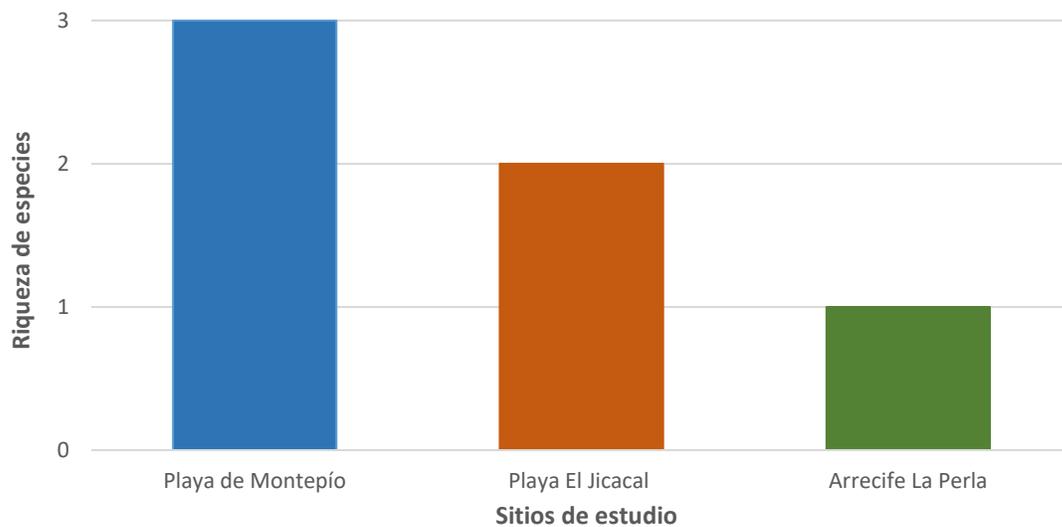


Figura 23. Número de especies encontradas en cada uno de los sitios de estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz.





Se obtuvo un registro de una especie, *Holothuria (H.) grisea* para el mes de abril del 2017. En los muestreos de junio y agosto del 2018 se encontró el mismo número de especies. Sin embargo, en junio se registraron *H. (H.) grisea*, *H. (S.) glaberrima* y *P. belli*, mientras que en agosto *H. (H.) grisea*, *P. belli* y una especie que no se había encontrado los meses anteriores, *H. (T.) arenicola*. Finalmente, en el mes de mayo no se obtuvo ningún registro debido a las condiciones climáticas (Tabla 5).

Tabla 5. Especies encontradas en los meses de muestreo en los tres sitios de estudio dentro de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz, México.

Meses de muestreo	<i>Holothuria (Halodeima) grisea</i>	<i>Holothuria (Selenkothuria) glaberrima</i>	<i>Holothuria (Thymiosycia) arenicola</i>	<i>Pseudothyone belli</i>
Abril, 2017	X*			
Junio, 2018	X	X		X
Agosto, 2018	X		X	X
Mayo, 2019				

*Registro del material previo.

Comparación de las especies de holoturoideos reportadas con las del estado de Veracruz

De acuerdo con las localidades de los estudios que se han hecho en el estado de Veracruz, *Holothuria (Halodeima) grisea* es la especie que se encuentra en más localidades (12 en total), con el 80%, seguida de *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima* (cinco localidades) y *Pseudothyone belli* ambas con el 33%, mientras que *Holothuria (Thymiosycia) arenicola* es la especie que se encontró en menos localidades (tres), con sólo el 13% de los sitios (Tabla 6). Si se toma en cuenta que la Isla Lobos es la localidad más norteña y el arrecife Zapotitlán la más sureña, se puede notar que *H. (H.) grisea* es la especie que presenta mayor distribución latitudinal dentro del estado, seguida de *H. (T.) arenicola*, ya que van desde la Isla Lobos hasta el sur de Veracruz. Mientras que *H. (S.) glaberrima* y *P. belli* tienen una distribución latitudinal más corta, que va del centro al sur del estado.





Tabla 6. Localidades con reportes previos en el estado de Veracruz, México para las especies de pepinos de mar encontradas en este estudio.

Localidad	<i>Holothuria</i> (<i>Halodeima</i>) <i>grisea</i>	<i>Holothuria</i> (<i>Selenkothuria</i>) <i>glaberrima</i>	<i>Holothuria</i> (<i>Thymiosycia</i>) <i>arenicola</i>	<i>Pseudothyone</i> <i>belli</i>
Isla Lobos	x		x	
El Morro, Punta Delgada	x			
Boquilla de Piedra		x		
Arrecife La Gallega	x			
Playa Norte	x	x		
Isla Verde	x			x
Arrecife Hornos			x	x
Playa de Hornos	x			
Isla de Sacrificios	x			x
Barra Cazones		x		
Isla de Enmedio	x			x
Playa de Montepío	x	x	x	
Playa El Jicacal	x	x		
Arrecife La Perla del Golfo	x			x
Arrecife Zapotitlán	x			

De las 12 localidades del estado de Veracruz en las que se encuentra distribuida *Holothuria (Halodeima) grisea*, comparte tres (25%) con *H. (S.) glaberrima* (playa Norte, playa El Jicacal y la de Montepío), dos (17%) con *H. (T.) arenicola* (isla Lobos y playa de Montepío) y cuatro (33%) con *Pseudothyone belli* (isla Verde, isla de Sacrificios, isla de Enmedio y arrecife La Perla del Golfo). *Holothuria (S.) glaberrima* también comparte una localidad (playa de Montepío) con *H. (T.) arenicola*, mientras que con *Pseudothyone belli* no comparte ninguna. Por otro lado, *H. (T.) arenicola* y *P. belli* comparten sólo la localidad arrecife Hornos (Figura 24).



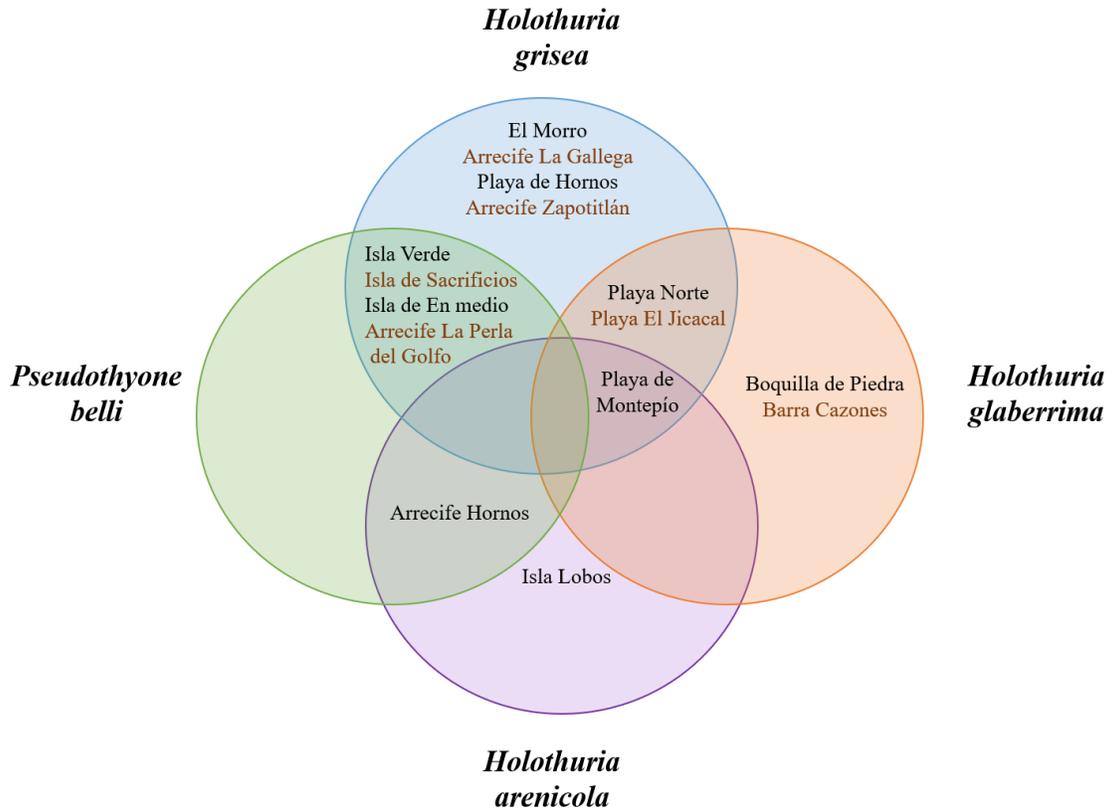


Figura 24. Localidades compartidas entre las cuatro especies de pepinos de mar encontradas en la región de Los Tuxtlas con registros previos en el estado de Veracruz, México.

Catálogo fotográfico de las espículas

Holothuria (Halodeima) grisea presentó un total de 12 tipos de espículas en todas las regiones corporales analizadas. En la región dorsal se observaron placas perforadas tipo I: placas con forma ovalada y margen ondulado, con dos perforaciones centrales grande y 2-4 perforaciones marginales pequeñas (Figura 25a). Placas perforadas tipo II: forma ovalada y margen ondulado, con 3-4 perforaciones grandes centrales, de las cuales una sobresale por ser más alargada. De 2-4 perforaciones marginales más pequeñas (Figura 25b). Placas perforadas tipo III: placas con forma ovalada alargada, cuatro perforaciones centrales grandes de tamaño similar entre sí y 2-4 perforaciones marginales de menor tamaño (Figura 25c). Placas perforadas tipo IV: placas con forma irregular, margen ondulado, de 2-5 perforaciones centrales y varias perforaciones marginales más pequeñas, que pueden presentarse de 4-15





(Figura 25d). Placas perforadas tipo V: placas circulares con margen ondulado, 3-5 perforaciones centrales y varias perforaciones marginales pequeñas que se presentan aproximadamente entre 5-19. Su margen muy ondulado les da una apariencia similar a las rosetas (Figura 25e). Placas perforadas tipo VI: placas con forma triangular, tres perforaciones centrales grandes y dos marginales pequeñas (Figura 25f). Placas perforadas tipo VII: placas alargadas con un eje evidente y varias perforaciones de distintos tamaños a lo largo de este eje (Figura 25g). Mesas tipo I: mesas con disco poco desarrollado, pequeño y de forma cuadrangular, con aproximadamente 4-6 espinas poco evidentes o sin espinas y cuatro perforaciones centrales grandes. La espira es alta con cuatro pilares que se unen por medio de una viga transversal en el centro de la espira, la punta de la espira termina con 12-15 espinas (Figura 25h). Mesas tipo II: disco espinoso y más desarrollado y con forma ovalada, con alrededor de siete espinas pequeñas, cinco perforaciones centrales y aproximadamente 10 perforaciones marginales más pequeñas. Los cuatro pilares de la espira se unen por una viga transversal con forma de cruz en medio de la espira, la cual termina con 15 espinas (Figura 25i).

En la región ventral también se observaron placas perforadas tipo I (Figura 26a), II (Figura 26b), III (Figura 26c), IV (Figura 26d), V (Figura 26e), y VI (Figura 26f), además de las mesas tipo I (Figuras 26g). Mientras que, en la zona anal, placas perforadas tipo II (Figura 27a), III (Figura 27b), IV (Figura 27c), V (Figura 27d) y VII (Figura 27e), todas estas con las mismas características que en la región dorsal. Finalmente, en los pies ambulacrales se presentaron barrotes perforados cilíndricos tipo I: barrotes cortos con ambos extremos perforados y bifurcados (Figura 27f). Barrotes perforados aplanados tipo 1: barrotes cortos con ambos extremos en forma de flecha y múltiples perforaciones (Figura 27g). Placas terminales: bien desarrolladas, con las perforaciones del margen más cerradas, lo cual forma una especie de anillo (Figura 27h).



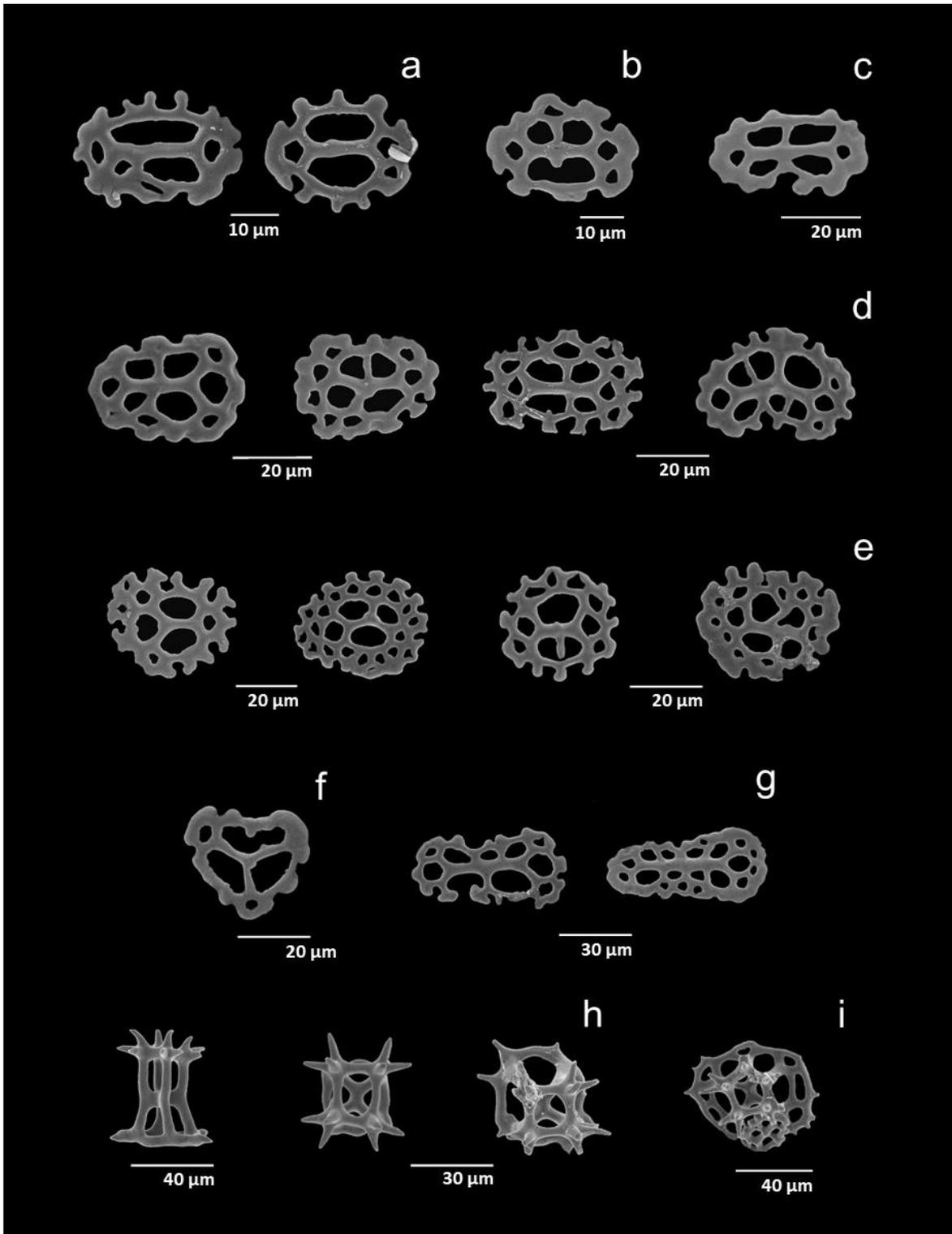


Figura 25. Espículas de *Holothuria (Halodeima) grisea*. Región dorsal. a) Placas perforadas tipo I, b) Placas perforadas tipo II, c) Placas perforadas tipo III, d) Placas perforadas tipo IV, e) Placas perforadas tipo V, f) Placas perforadas tipo VI, g) Placas perforadas tipo VII, h) Mesas tipo I en vista lateral y superior e i) Mesa tipo II en vista superior.

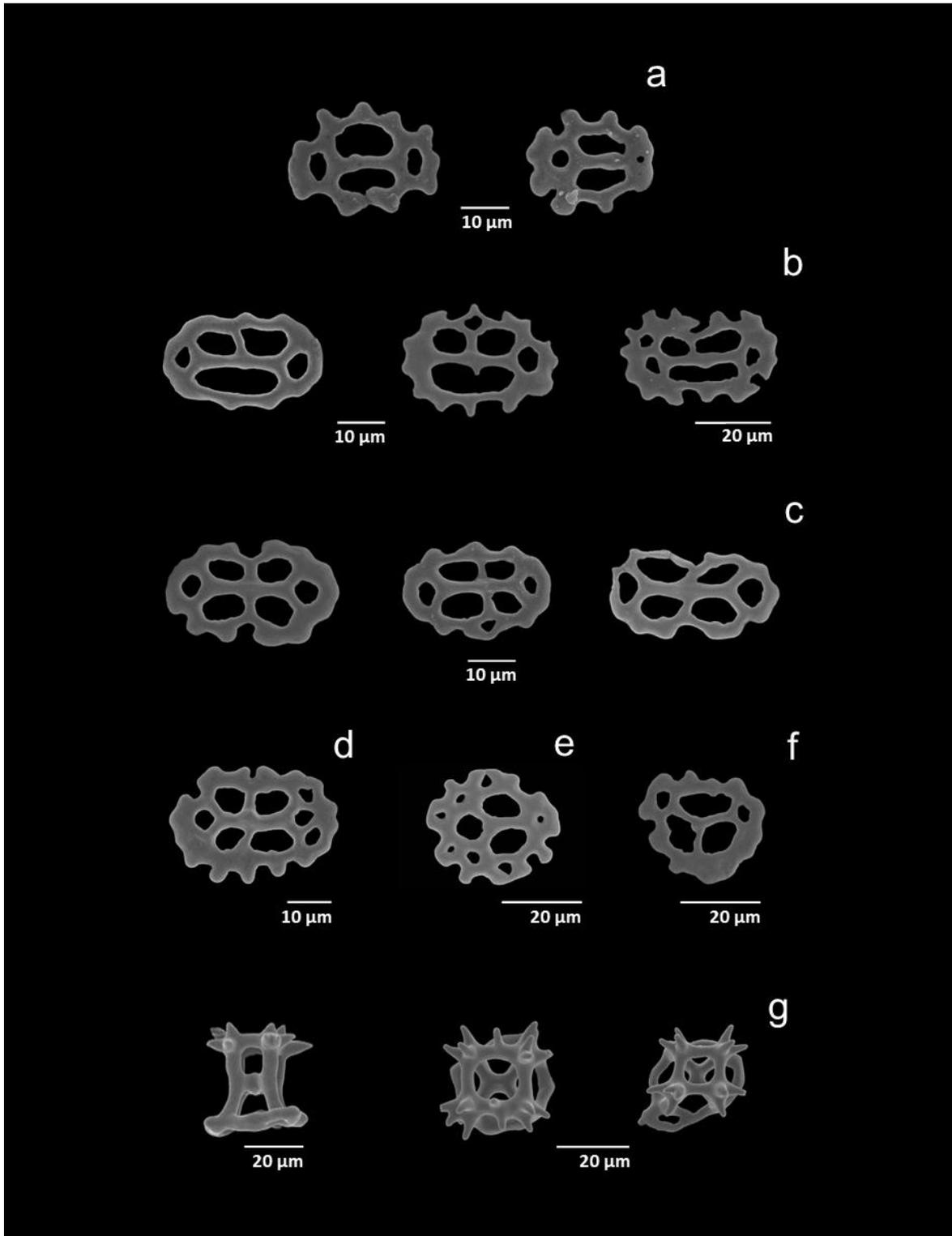


Figura 26. Espículas de *Holothuria (Halodeima) grisea*. Región ventral. a) Placas perforadas tipo I, b) Placas perforadas tipo II, c) Placas perforadas tipo III, d) Placas perforadas tipo IV, e) Placas perforadas tipo V, f) Placas perforadas tipo VI y g) Mesas tipo I en vista lateral y superior.

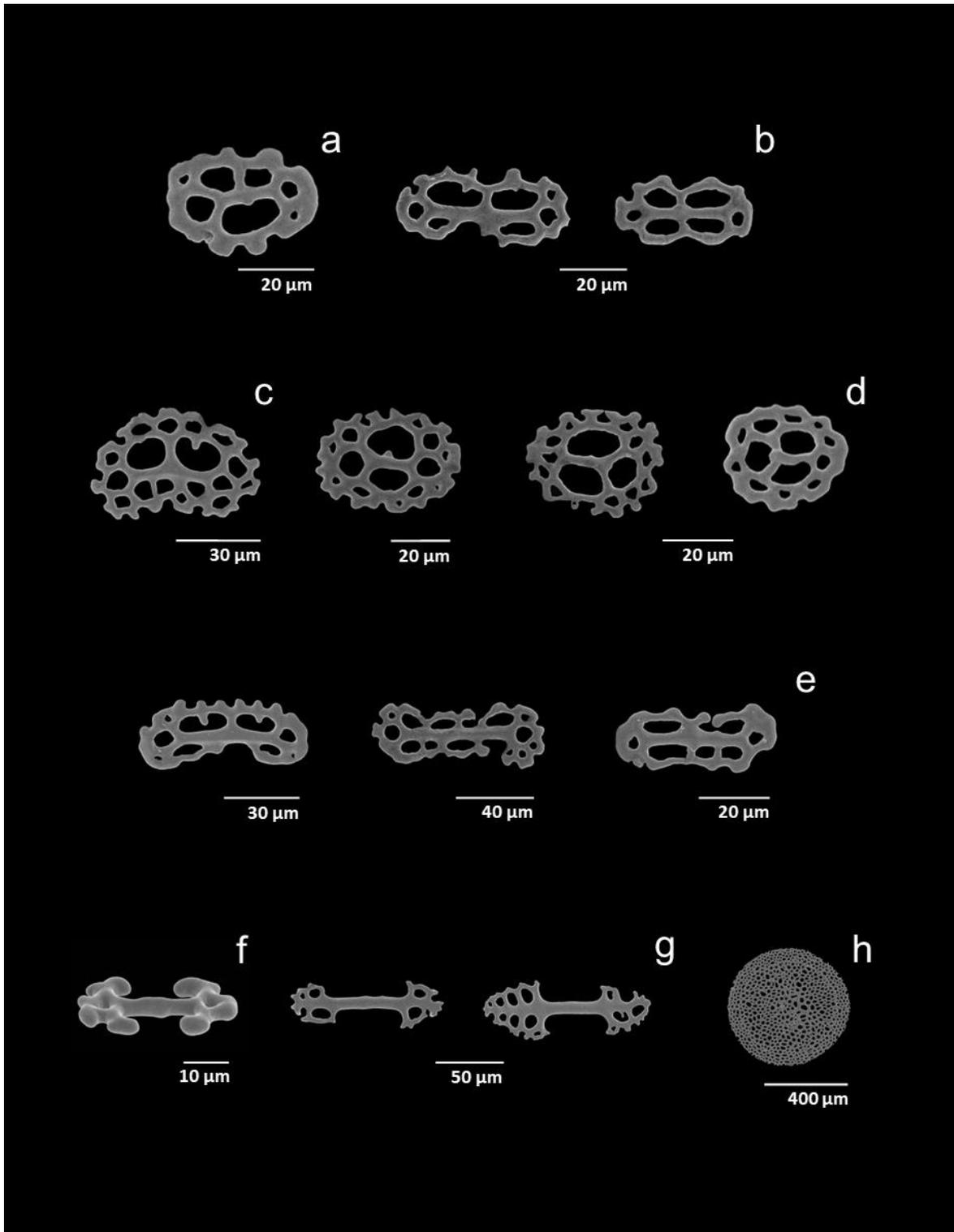


Figura 27. Espículas de *Holothuria (Halodeima) grisea*. Zona anal. a) Placas perforadas tipo II, b) Placas perforadas tipo III, c) Placas perforadas tipo IV, d) Placas perforadas tipo V y e) Placas perforadas tipo VII. Pies ambulacrales. f) Barrotes perforados cilíndricos tipo I, g) Barrotes perforados aplanados tipo I y h) Placas terminales.



Holothuria (Selenkothuria) glaberrima obtuvo un total de 17 tipos de espículas en las distintas regiones del cuerpo, los cuales de manera general son barrotes de rectos a curvos, con ramificaciones o perforaciones en los extremos (formadas por la unión de estas ramificaciones) y con pequeñas protuberancias hacia los extremos. En los tentáculos se observaron barrotes rectos tipo IV: barrotes alargados con ramificaciones diversas en ambos extremos y pequeñas protuberancias en la mayor parte de su superficie (Figura 28a). Barrotes curvos tipo II: barrotes ligeramente curvos, cortos y ensanchados, con protuberancias en la superficie (Figura 28b). Barrotes curvos tipo V: barrotes ligeramente curvos y alargados, presentan perforaciones en ambos extremos (Figura 28c).

La región dorsal presentó barrotes rectos tipo I: barrotes cortos que exhiben algunas ramificaciones pequeñas a lo largo de su eje (Figura 28d). Barrotes rectos tipo II: barrotes que cuentan con un solo extremo ramificado, algunas de estas ramificaciones son un poco más desarrolladas que otras (Figura 28e). Barrotes rectos tipo III: barrotes delgados con un solo extremo perforado (Figura 28f). Barrotes rectos tipo V: barrotes alargados con ambos extremos perforados (Figura 28g). Barrotes curvos tipo I: barrotes ligeramente curvos, cortos y ensanchados, con protuberancias evidentes en la superficie (Figura 28h). Barrotes curvos tipo III: barrotes curvados y alargados, con ambos extremos bifurcados (Figura 28i). Barrotes curvos tipo VII: barrotes muy curvados, ensanchados y con varias ramificaciones en ambos extremos, algunas también en la parte media. Presentan pequeñas protuberancias principalmente cerca de los extremos (Figura 28j). Barrotes curvos tipo IX: barrotes muy curvados, ensanchados y con diversas perforaciones en ambos extremos, presentan pocas protuberancias pequeñas en los extremos (Figura 28k).

Para la región ventral también se identificaron barrotes rectos tipo II (Figura 29a), barrotes rectos tipo IV (Figura 29b) y barrotes curvos tipo IX (Figura 29e). Además de barrotes curvos tipo VI: barrotes curvados, alargados y con diversas ramificaciones en ambos extremos (Figura 29c). Barrotes curvos tipo VIII: barrotes ligeramente curvos, delgados y con perforaciones en ambos extremos (Figura 29d). Barrotes trifurcados tipo I: barrotes con tres ejes o ramificaciones principales que terminan en perforaciones o ramas más pequeñas, presentan una forma de “E” invertida (Figura 29f). Barrotes trifurcados tipo II: barrotes con tres ejes principales que se ramifican en la parte final, presentan una forma de “Y” (Figura 29g).





En la zona anal se presentaron algunos barrotes presentes en los tentáculos y en las regiones dorsal y ventral, barrotes rectos tipo II (Figura 29h), barrotes rectos tipo IV (Figura 29i), barrotes curvos tipo II (Figura 29j), barrotes curvos tipo VII (Figura 29l), barrotes curvos tipo IX (Figura 29m) y barrotes trifurcados tipo II (Figura 29n), además de barrotes curvos tipo IV: barrotes curvados con una perforación en un extremo y protuberancias a lo largo de la superficie (Figura 29k). Finalmente, en los pies ambulacrales sólo se observaron barrotes curvos tipo VII (Figura 29ñ), barrotes trifurcados tipo II (29o) y placas terminales: bien desarrolladas, con perforaciones de mayor tamaño en el centro y perforaciones más pequeñas hacia la periferia, lo cual forma una especie de anillo (Figura 29p).

Las fotografías de esta especie no presentan escala debido a que fueron tomadas en microscopio óptico, con excepción de algunos barrotes de las figuras 28j, 28k, y la placa terminal de los pies ambulacrales, con las cuales podría darse una idea del tamaño del resto de las espículas.



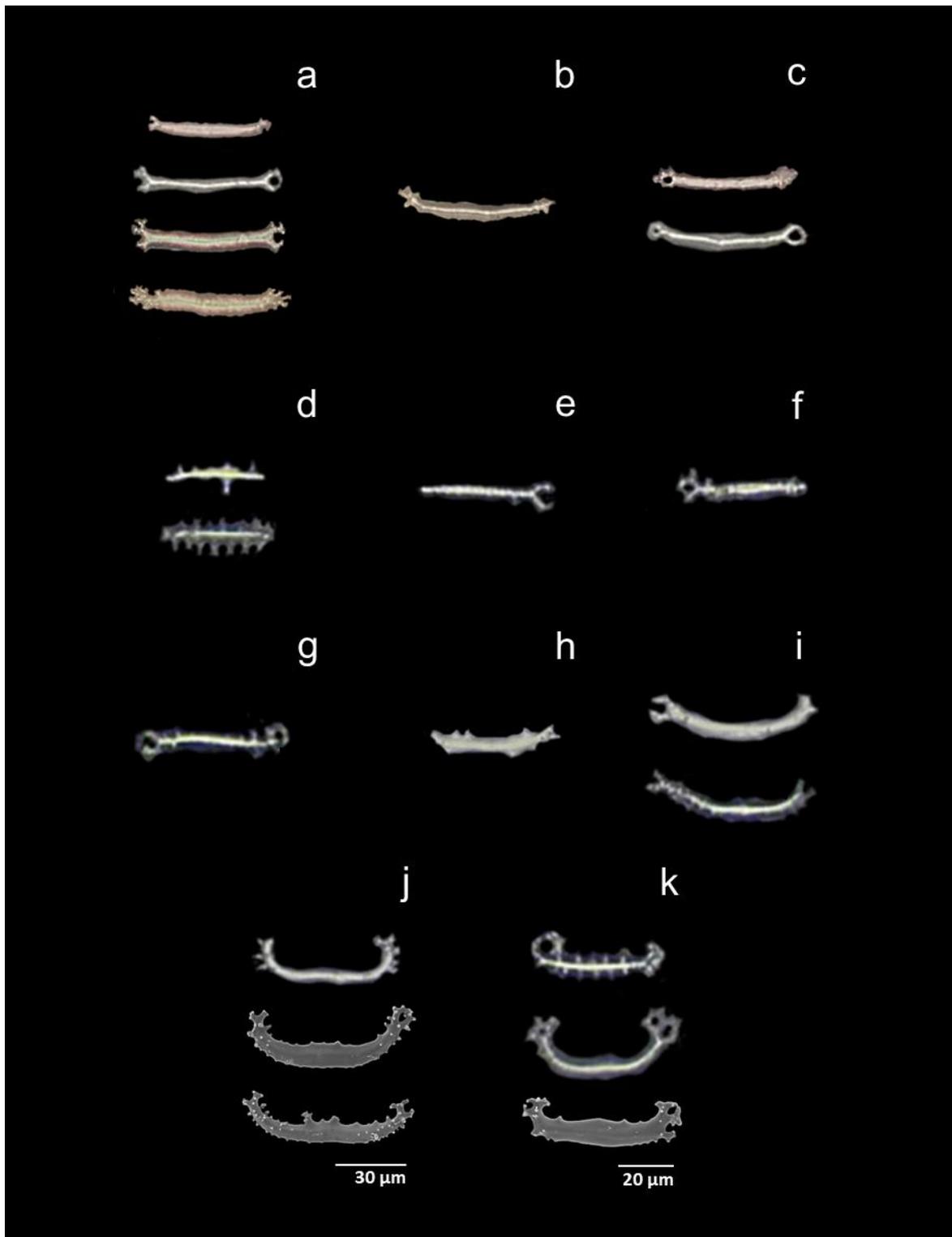


Figura 28. Espículas de *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*. Tentáculos. a) Barrotes rectos tipo IV, b) Barrotes curvos tipo II y c) Barrotes curvos tipo V. Región dorsal. d) Barrotes rectos tipo I, e) Barrotes rectos tipo II, f) Barrotes rectos tipo III, g) Barrotes rectos tipo V, h) Barrotes curvos tipo I, i) Barrotes curvos tipo III, j) Barrotes curvos tipo VII y k) Barrotes curvos tipo IX.



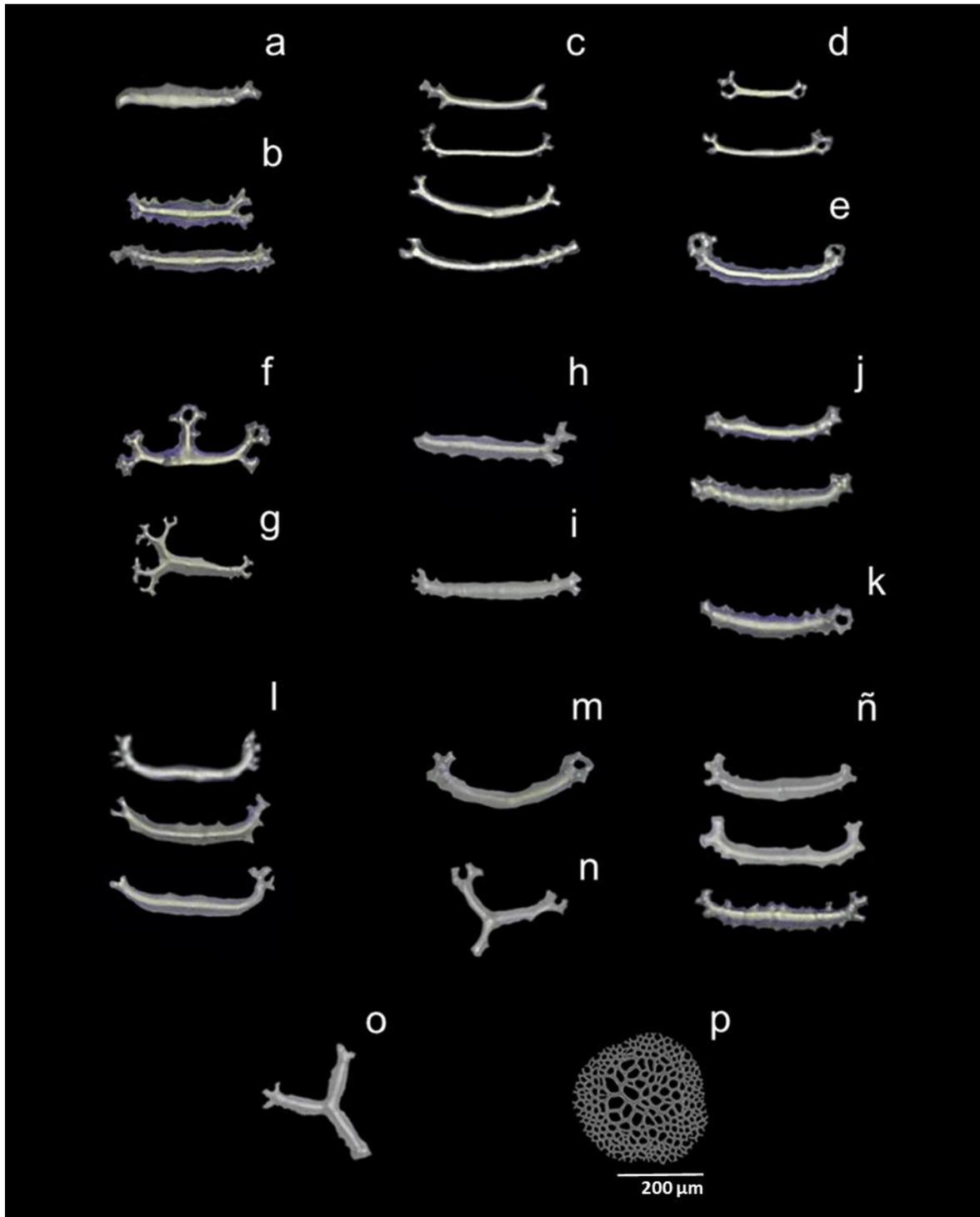


Figura 29. Espículas de *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*. Región ventral. a) Barrotes rectos tipo II, b) Barrotes rectos tipo IV, c) Barrotes curvos tipo VI, d) Barrotes curvos tipo VIII, e) Barrotes curvos tipo IX, f) Barrotes trifurcados tipo I y g) Barrotes trifurcados tipo II. Zona anal. h) Barrotes rectos tipo II, i) Barrotes rectos tipo IV, j) Barrotes curvos tipo II, k) Barrotes curvos tipo IV, l) Barrotes curvos tipo VII, m) Barrotes curvos tipo IX, n) Barrotes trifurcados tipo II. Pies ambulacrales. ñ) Barrotes curvos tipo VII, o) Barrotes trifurcados tipo II y p) Placas terminales.



En *Holothuria (Thymiosycia) arenicola* se observó un total de 10 tipos de espículas, distribuidas en las distintas regiones del cuerpo. Los tentáculos presentaron dos de estos. Barrotes espinosos tipo I: barrotes delgados con 5-8 μm de ancho y 58-110 μm de longitud, forma recta a ligeramente curvada, espinas en los extremos y en ocasiones a lo largo del eje. Los extremos también llegan a tener pequeñas perforaciones (Figura 30a). Barrotes espinosos tipo II: barrotes gruesos con 12-19 μm de ancho y 100-170 μm de longitud, forma recta a ligeramente curvada, espinas en los extremos y en ocasiones a lo largo de la espícula. Los extremos presentaron pequeñas perforaciones más evidentes (Figura 30b).

En la región dorsal se observaron botones lisos tipo I: botones lisos con forma regular, contorno ondulado y seis perforaciones grandes, distribuidas en dos filas paralelas con tres perforaciones cada una (Figura 30c). Botones lisos tipo II: botones lisos con forma más o menos regular y perforaciones que pueden ir de 8 a 15, distribuidas en dos filas paralelas (Figura 30d). Además de mesas tipo III: disco pequeño de forma cuadrada a circular con cuatro perforaciones centrales alargadas y de mayor tamaño que las perforaciones marginales, las cuales van de cuatro a 11. Espira corta, formada por cuatro pilares y una viga transversal. La espira termina con 12-19 espinas (Figuras 30e y 30f).

La región ventral al igual que la región dorsal presentó botones lisos tipo I (Figura 31a) y botones lisos tipo II, en estos últimos las perforaciones se observaron en ocasiones más cerradas y con un rango de 7-13 (Figura 31b). Botones lisos tipo III: botones con forma ovalada irregular y 11 perforaciones con distribución en dos líneas paralelas (Figura 29d). Botones lisos tipo IV: botones fusiformes con 13-18 perforaciones paralelas (Figura 31c). Y mesas tipo III (Figuras 31e y 31f).

En la zona anal se observaron los botones lisos tipo I (Figura 32a) y II (Figura 32b), y mesas tipo III (Figura 32c). Mientras que en los pies ambulacrales barrotes de soporte tipo I: barrotes casi rectos con la parte media y los extremos perforados y ensanchados (Figura 32d). Barrotes de soporte tipo II: barrotes planos ensanchados en forma de huso, con una serie de perforaciones a lo largo de los lados y con bordes lisos (Figura 32e). Barrotes de soporte tipo III: barrotes planos a manera de placas, con perforaciones laterales a lo largo y los bordes dentados (Figura 32f).

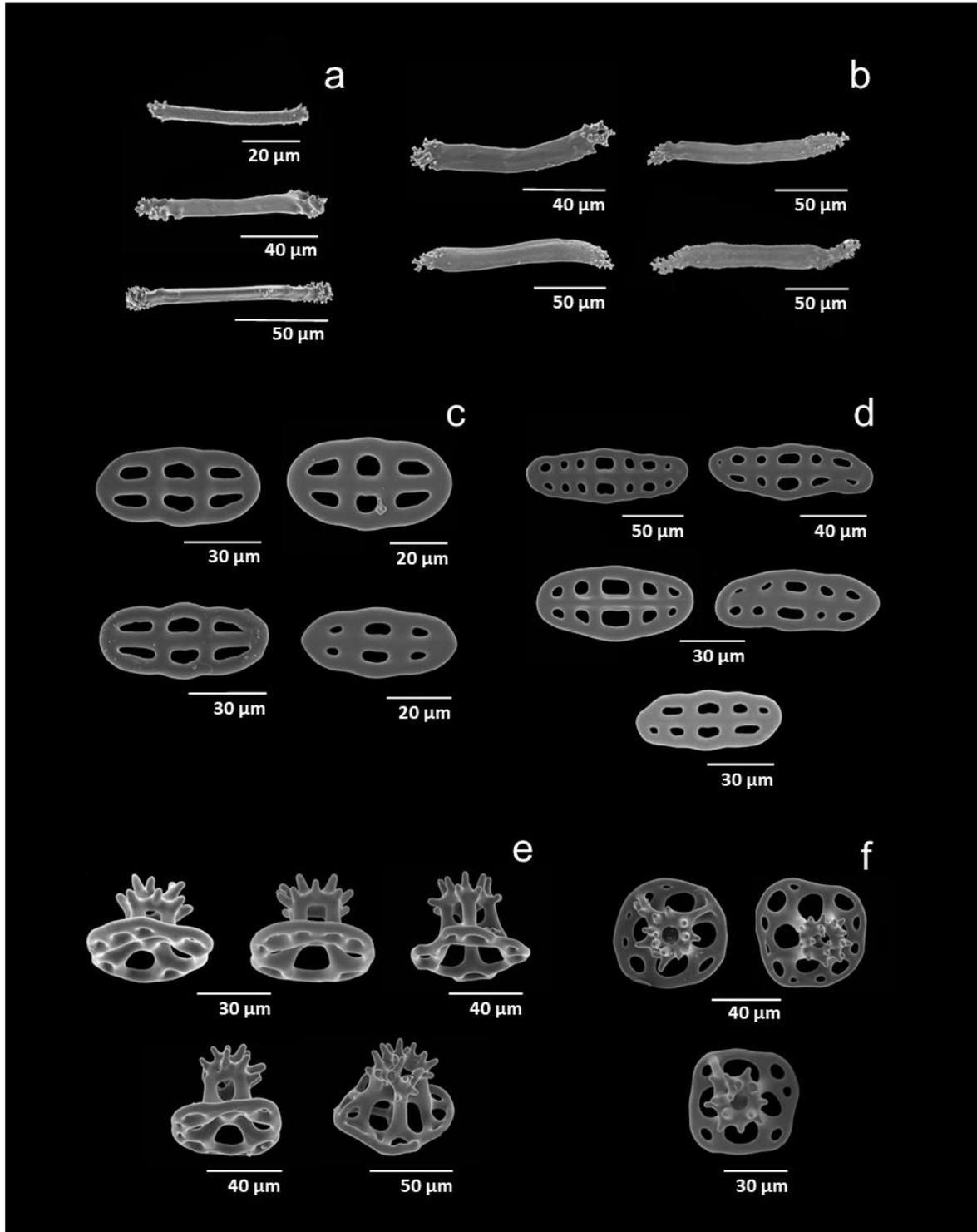


Figura 30. Espículas de *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*. Tentáculos. a) Barrotes espinosos tipo I y b) Barrotes espinosos tipo II. Región dorsal. c) Botones lisos tipo I, d) Botones lisos tipo II, e) Mesas tipo III en vista lateral y f) Mesas tipo III en vista superior.

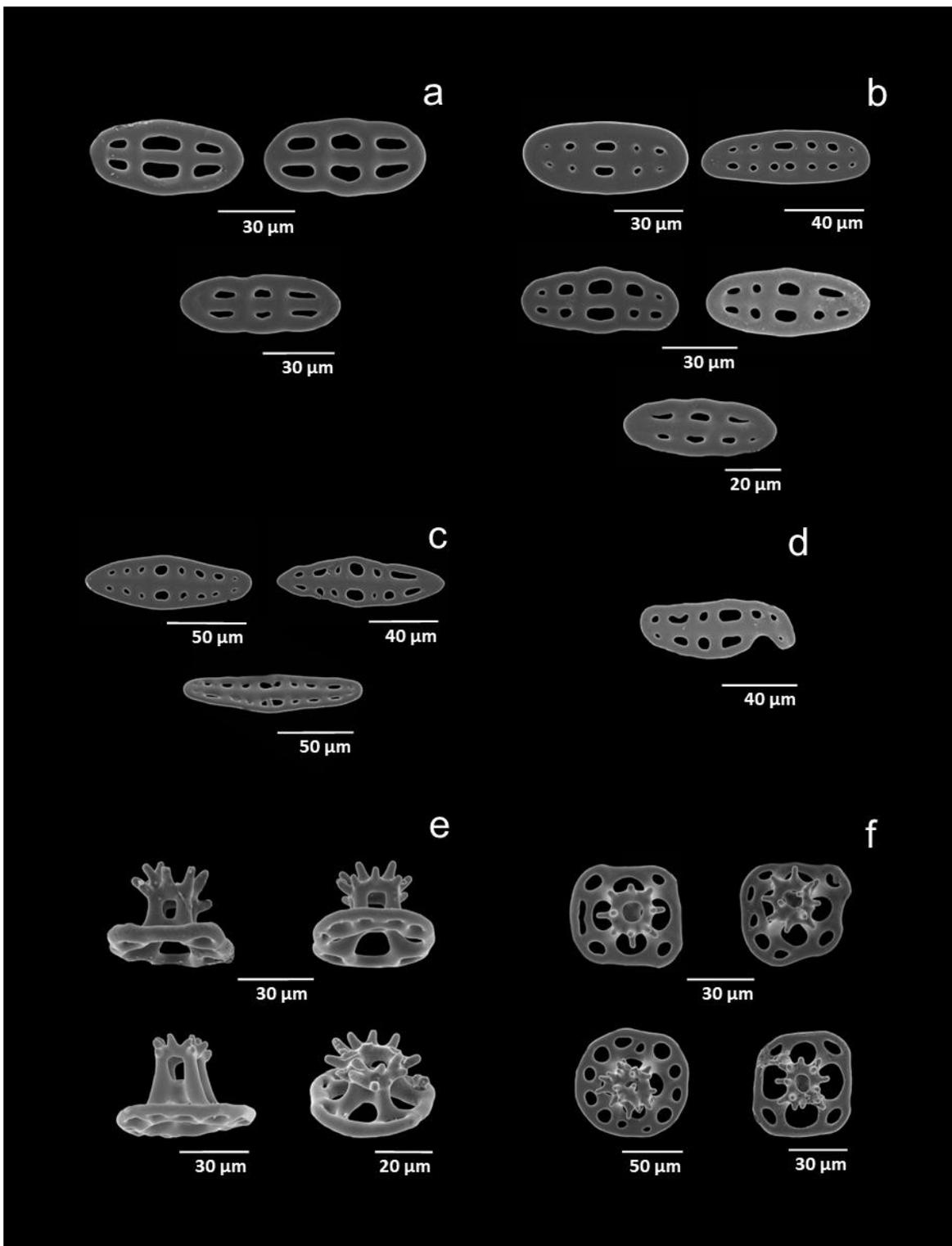


Figura 31. Espículas de *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*. Región ventral. a) Botones lisos tipo I, b) Botones lisos tipo II, c) Botones lisos tipo IV, d) Botones lisos tipo III, e) Mesas tipo III en vista lateral y f) Mesas tipo III en vista superior.



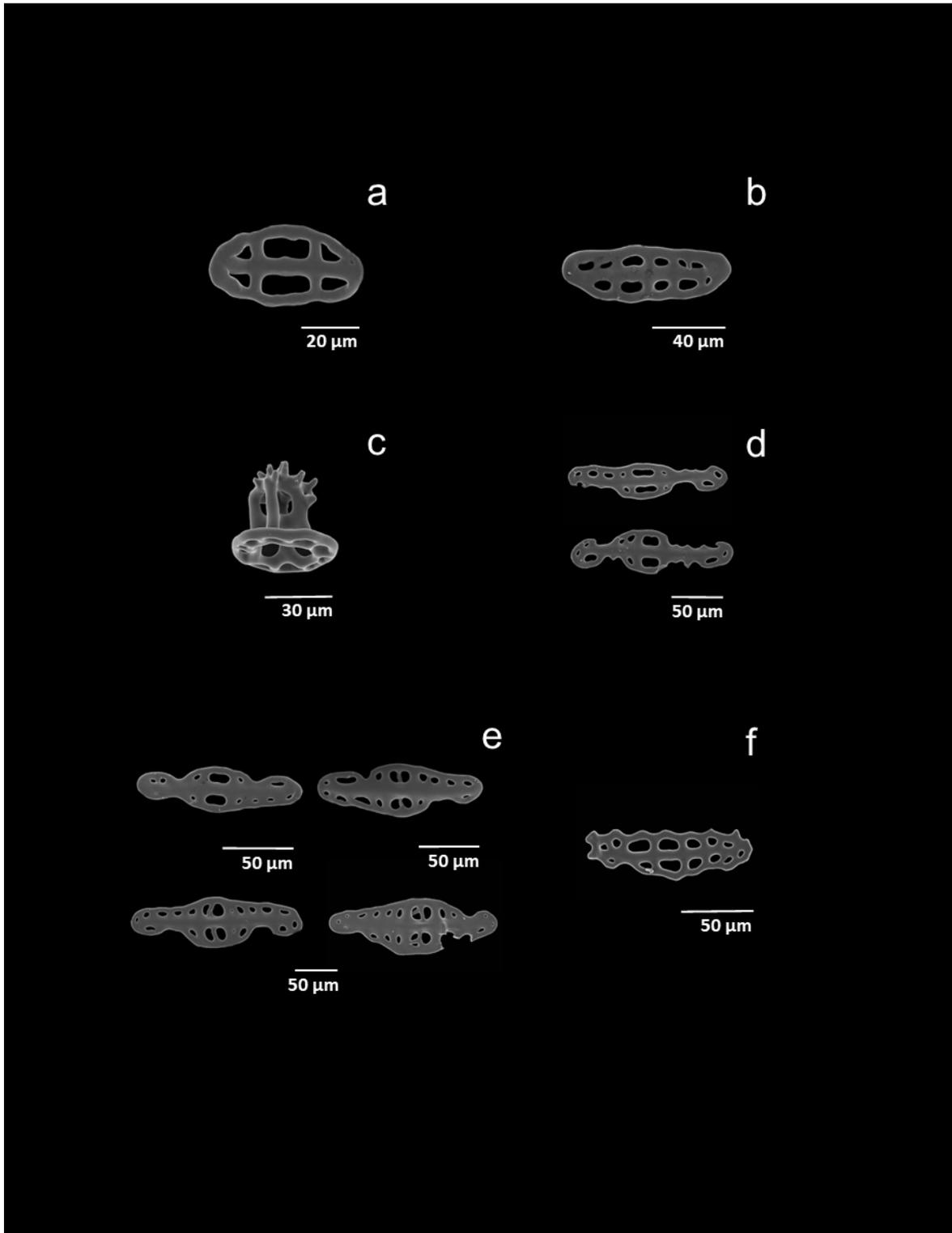


Figura 32. Espículas de *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*. Zona anal. a) Botones lisos tipo I, b) Botones lisos tipo II y c) Mesa tipo III en vista lateral. Pies ambulacrales. d) Barrotes de soporte tipo I, e) Barrotes de soporte tipo II y f) Barrotes de soporte tipo III.



Pseudothyone belli presentó 10 tipos de espículas en el cuerpo. En los tentáculos se observaron barrotos perforados tipo I: barrotos delgados y alargados, ligeramente curvados y con perforaciones a lo largo del eje (Figura 33a). Barrotos perforados tipo II: barrotos con forma placoidal, ensanchados del centro y con perforaciones en toda la superficie (Figura 33b). Barrotos perforados tipo III: barrotos trirradiados, con forma placoidal y perforaciones a lo largo de los tres ejes (Figura 33c). Rosetas tipo I: formadas por una barra central que se ramifica hacia los extremos, con terminaciones cortas y redondeadas (Figura 33d). Rosetas tipo II: formadas por una barra central menos evidente, que se ramifica a lo largo de su eje, con diversas terminaciones cortas que se enroscan. Presentan una forma similar a una peinetas (Figura 33e).

En la región dorsal se determinaron botones abollonados tipo I: botones con cuatro perforaciones regulares, de 1-3 abollonaduras centrales y de 8-10 abollonaduras marginales (Figura 34a). Botones abollonados tipo II: cuentan con seis perforaciones, tres abollonaduras centrales y 11 abollonaduras marginales (Figura 34b). La región ventral y la zona anal presentaron botones abollonados tipo I, en la primera a diferencia de la región dorsal con 9-12 abollonaduras marginales (Figura 34c y 34d).

Mientras que en los pies ambulacrales se presentaron mesas de soporte tipo I: disco curvo y elongado, con 2-4 perforaciones en cada extremo y 2-4 perforaciones centrales. La espira es baja y está formada por 2-4 pilares que se fusionan en la cúspide, con terminación en varias espinas que pueden ir de 3-6 (Figura 34e y 34f). Mesas de soporte tipo II: disco curvo y elongado, con 1-2 perforaciones en cada extremo y 2-4 perforaciones centrales. Espira alta formada por 2-4 pilares que se fusionan a lo largo de esta, con una terminación en 2-6 espinas (Figura 34g). Placas terminales: placas circulares perforadas, bien desarrolladas, con las perforaciones hacia el centro más pequeñas y cerradas (Figura 34h).



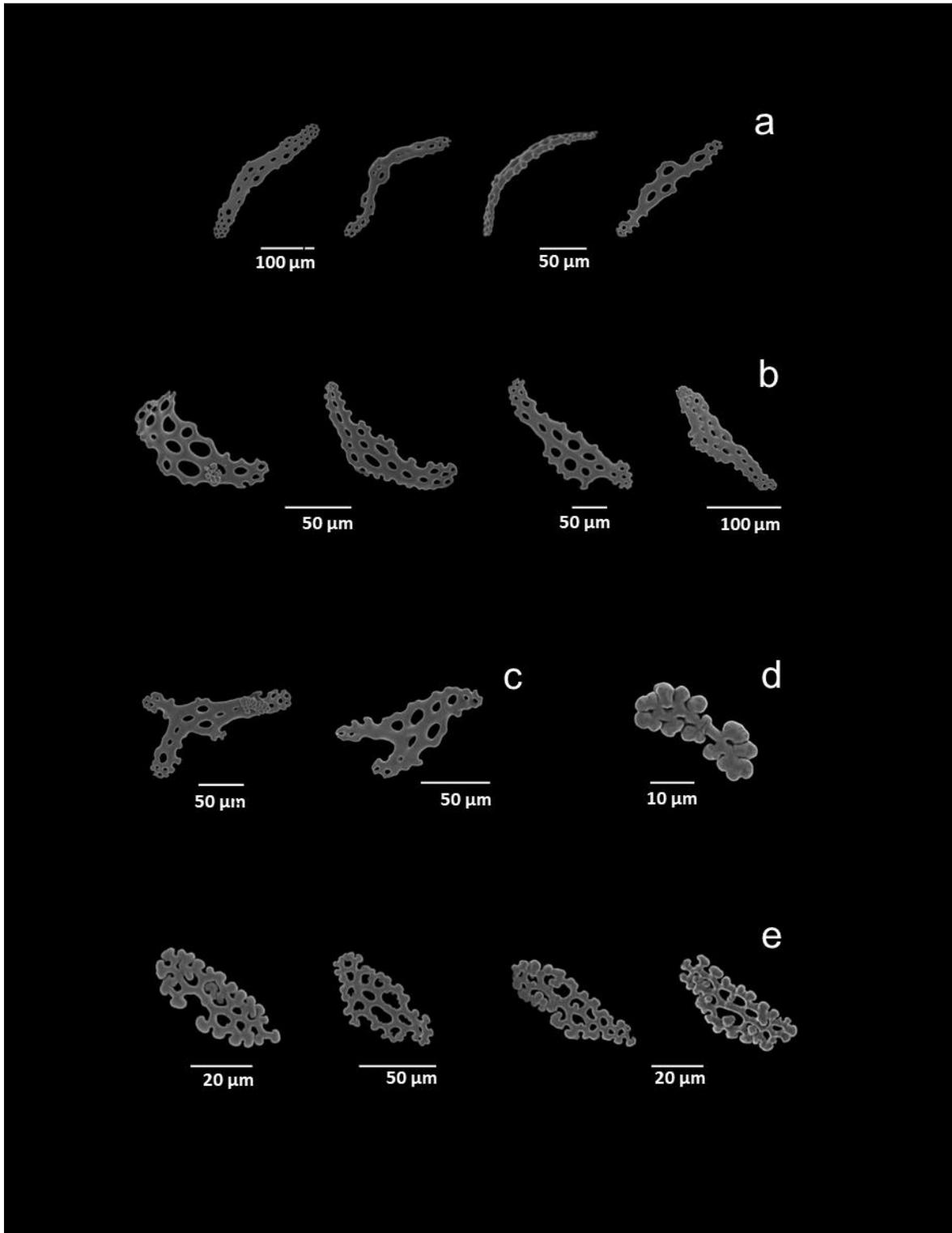


Figura 33. Espículas de *Pseudothyone belli*. Tentáculos. a) Barrotes perforados tipo I, b) Barrotes perforados tipo II, c) Barrotes perforados tipo III, d) Rosetas tipo I y e) Rosetas tipo II.

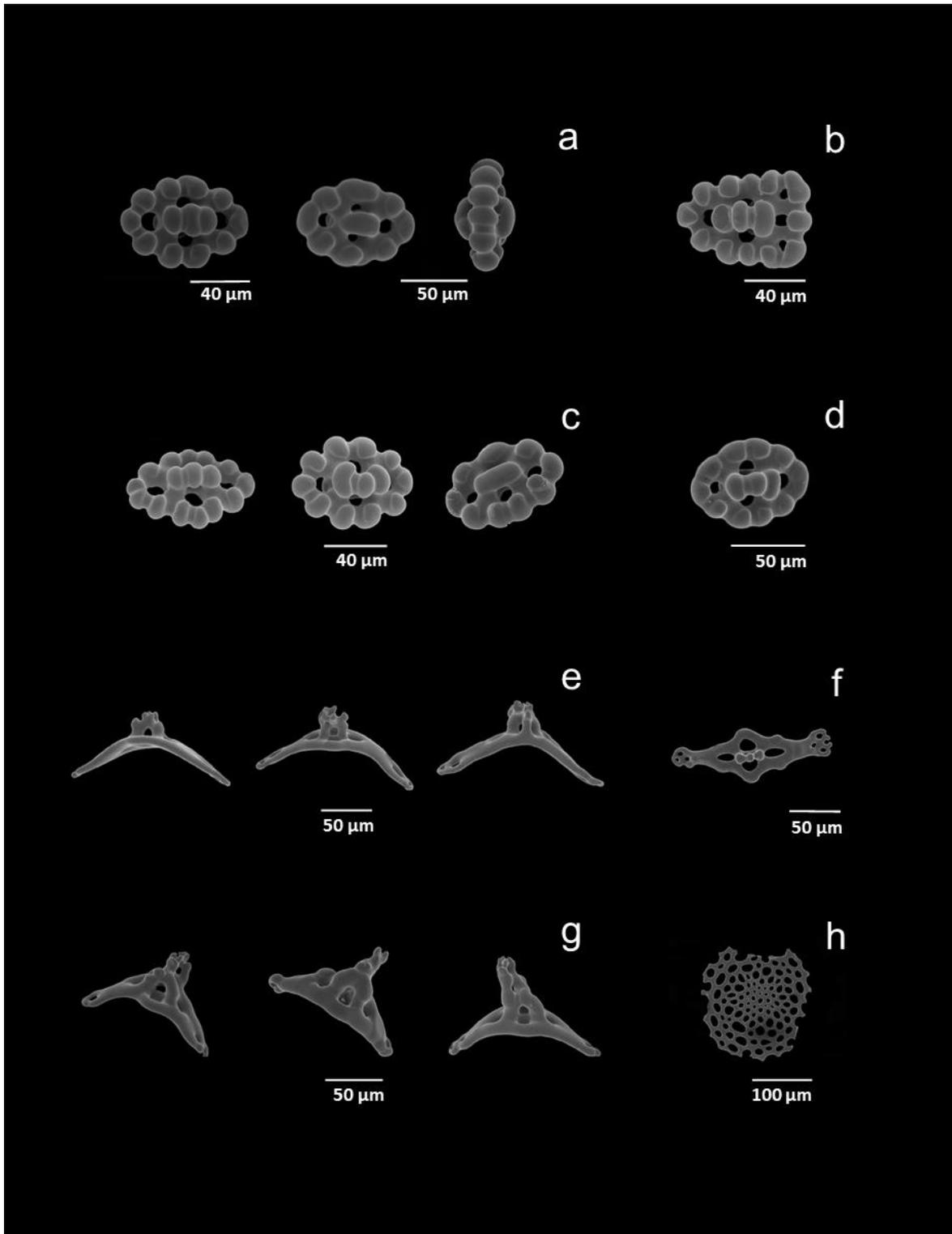


Figura 34. Espículas de *Pseudothyone belli*. Región dorsal. a) Botones abollonados tipo I y b) Botones abollonados tipo II. Región ventral. c) Botones abollonados tipo I. Zona anal. d) Botones abollonados tipo I. Pies ambulacrales. e) Mesas de soporte tipo I en vista lateral, f) Mesas de soporte tipo I en vista superior, g) Mesas de soporte tipo II y h) Placa terminal.





Comparación/Análisis de los tipos de espículas

En los pepinos de mar pueden observarse diferentes tipos de espículas de acuerdo con la región o zona de la cual se trate. En los organismos de las especies encontradas en este estudio, de manera general pueden apreciarse, en los tentáculos, barrotes y rosetas; en la pared corporal, barrotes, botones, placas perforadas y mesas; mientras que, en los pies ambulacrales, mesas de soporte, barrotes y placas terminales (Figura 35).

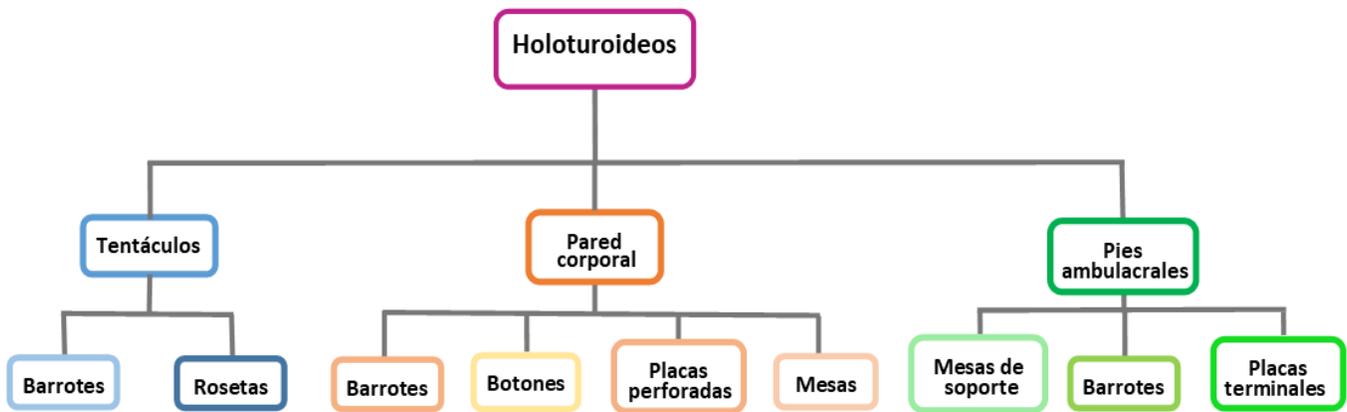


Figura 35. Distribución de los tipos de espículas en las distintas zonas del cuerpo de los holoturoideos encontrados en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México.

En *Holothuria (H.) grisea* se identificaron siete tipos distintos de placas perforadas, dos tipos de mesas, dos tipos de barrotes perforados (cilíndricos y aplanados) y placas terminales (las espículas que se presentan en los tentáculos de esta especie no pudieron analizarse debido a la falta de revisión de las muestras de tejido, por lo que se carece de dicha información). Por otro lado, para *Holothuria (S.) glaberrima* que sólo presenta espículas en forma de barrotes, se describieron cinco tipos de barrotes rectos, nueve tipos de barrotes curvos y dos de barrotes trifurcados, además de las placas terminales. En *Holothuria (T.) arenicola* se determinaron dos tipos de barrotes espinosos, tres tipos de barrotes de soporte, cuatro de botones lisos y un tipo de mesas. Finalmente, *Pseudothyone belli* contó con tres tipos de barrotes perforados, dos tipos de rosetas, botones abollonados y mesas de soporte, además de las placas terminales (Figura 36 y Tabla 7).





Tabla 7. Tipos de espículas observadas en las especies de pepinos de mar de la Reserva de Los Tuxtlas, Veracruz, México, de acuerdo con la región corporal.

	<i>Holothuria (Halodeima) grisea</i>	<i>Holothuria (Selenkothuria) glaberrima</i>	<i>Holothuria (Thymioscycia) arenicola</i>	<i>Pseudothyone belli</i>
Tentáculos		Barrotes rectos tipo IV Barrotes curvos tipo II Barrotes curvos tipo V	Barrotes espinosos tipo I Barrotes espinosos tipo II	Barrotes perforados tipo I Barrotes perforados tipo II Barrotes perforados tipo III Rosetas tipo I Rosetas tipo II
Región Dorsal	Placas perforadas tipo I Placas perforadas tipo II Placas perforadas tipo III Placas perforadas tipo IV Placas perforadas tipo V Placas perforadas tipo VI Placas perforadas tipo VII Mesas tipo I Mesas tipo II	Barrotes rectos tipo I Barrotes rectos tipo II Barrotes rectos tipo III Barrotes rectos tipo V Barrotes curvos tipo I Barrotes curvos tipo III Barrotes curvos tipo VII Barrotes curvos tipo IX	Botones lisos tipo I Botones lisos tipo II Mesas tipo III	Botones abollonados tipo I Botones abollonados tipo II
Región Ventral	Placas perforadas tipo I Placas perforadas tipo II Placas perforadas tipo III Placas perforadas tipo IV Placas perforadas tipo V Placas perforadas tipo VI Mesas tipo I	Barrotes rectos tipo II Barrotes rectos tipo IV Barrotes curvos tipo VI Barrotes curvos tipo VIII Barrotes curvos tipo IX Barrotes trifurcados tipo I Barrotes trifurcados tipo II	Botones lisos tipo I Botones lisos tipo II Botones lisos tipo III Botones lisos tipo IV Mesas tipo III	Botones abollonados tipo I
Zona Anal	Placas perforadas tipo II Placas perforadas tipo III Placas perforadas tipo IV Placas perforadas tipo V Placas perforadas tipo VII	Barrotes rectos tipo II Barrotes rectos tipo IV Barrotes curvos tipo II Barrotes curvos tipo IV Barrotes curvos tipo VII Barrotes curvos tipo IX Barrotes trifurcados tipo II	Botones lisos tipo I Botones lisos tipo II Mesas tipo III	Botones abollonados tipo I
Pies ambulacrales	Barrotes perforados cilíndricos tipo I Barrotes perforados aplanados tipo I Placas terminales	Barrotes curvos tipo VII Barrotes trifurcados tipo II Placas terminales	Barrotes de soporte tipo I Barrotes de soporte tipo II Barrotes de soporte tipo III	Mesas de soporte tipo I Mesas de soporte tipo II Placas terminales



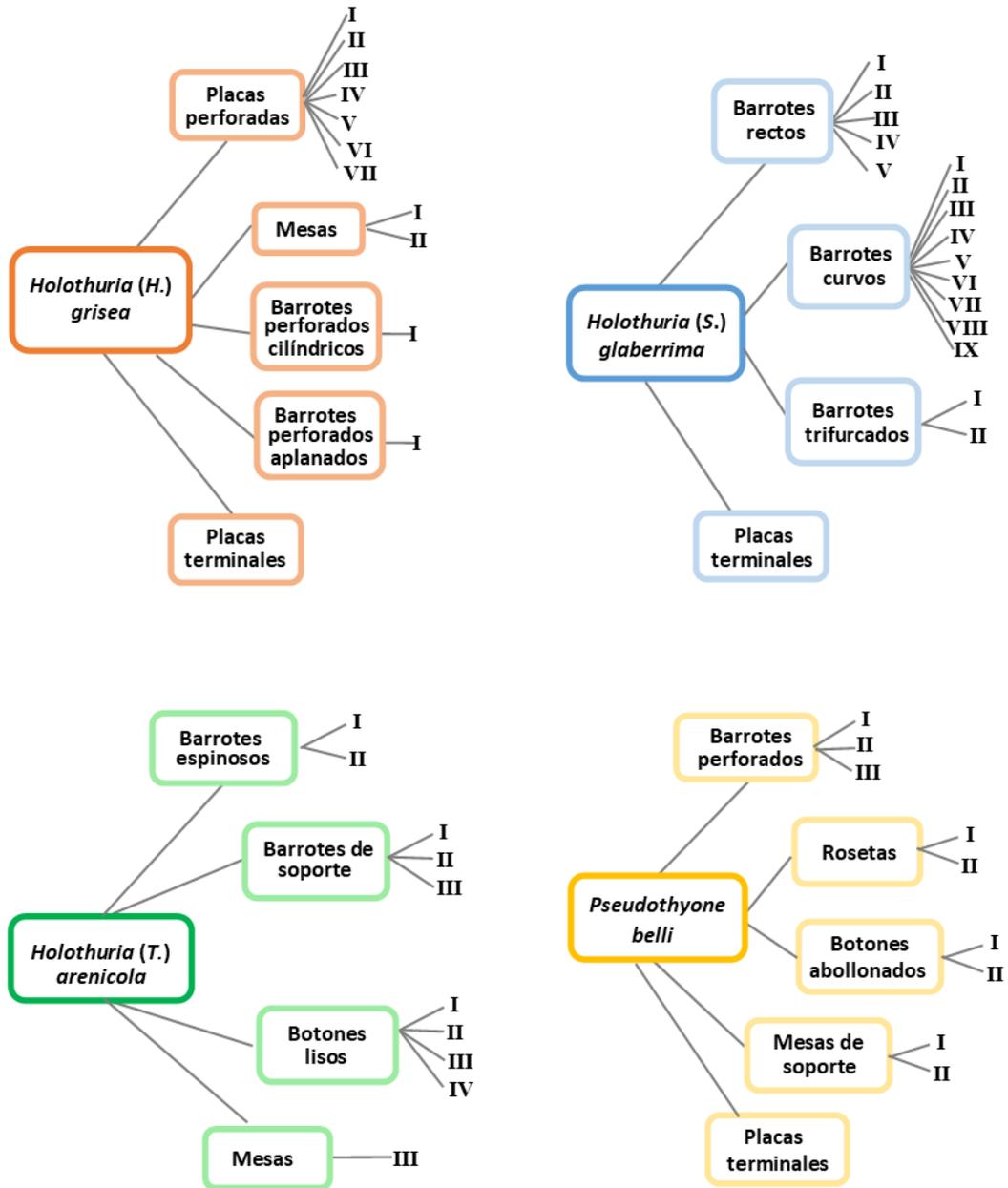
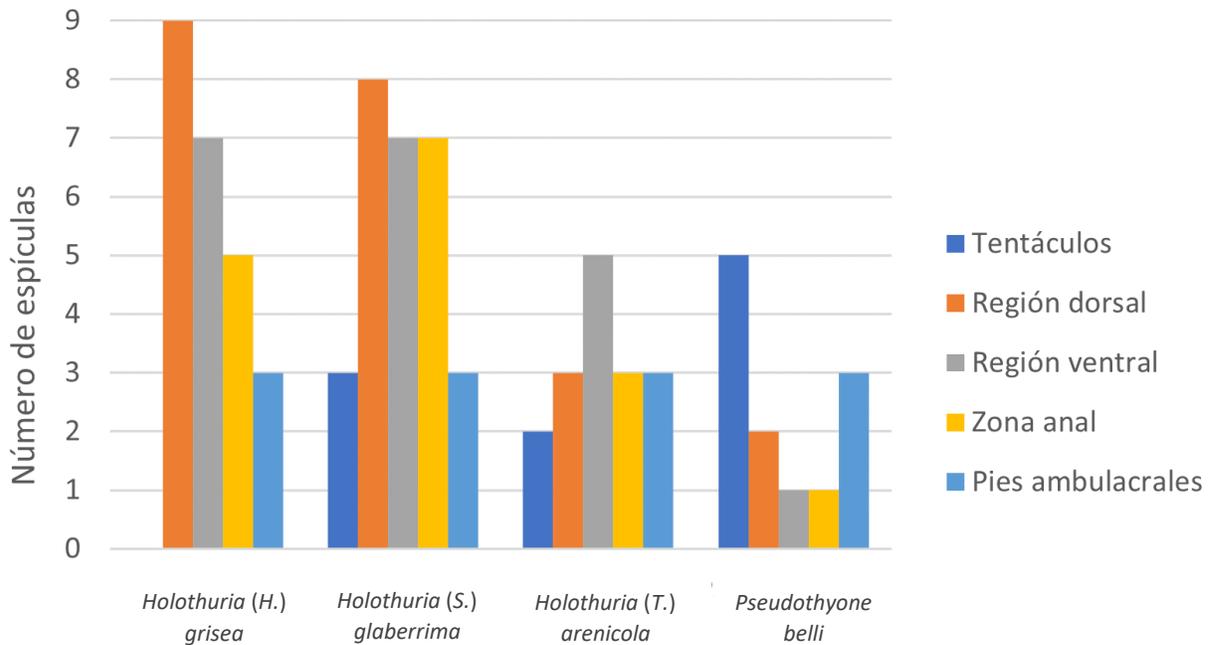


Figura 36. Tipos y morfologías de las espículas presentes en las especies de holoturoideos encontradas en la Reserva de Los Tuxtlas, Veracruz, México.



El número de tipos de espículas que se presenta en cada una de las regiones del cuerpo de los holoturoideos es distinto entre las cuatro especies estudiadas (Figura 37). *Holothuria (H.) grisea* mostró mayor diversidad de espículas en la región dorsal, con un total de nueve, seguido de la región ventral en donde obtuvo siete tipos distintos. En la zona anal presentó cinco y en los pies ambulacrales tres tipos de espículas (Figura 38a). *H. (S.) glaberrima* exhibió ocho tipos de espículas en la región dorsal, en la región ventral y zona anal siete tipos, y tanto en los tentáculos como en los pies ambulacrales tres tipos (Figura 38b). *Holothuria (T.) arenicola* mantuvo más tipos de espículas en la región ventral, con cinco tipos, seguida de la región dorsal, zona anal y pies ambulacrales en donde presentó tres tipos de espículas, mientras que en los tentáculos sólo se encontraron dos tipos (Figura 39a). Finalmente, *Pseudothyone belli* mostró cinco tipos de espículas en los tentáculos, tres en los pies ambulacrales, dos en la región dorsal y sólo un tipo en la región ventral y zona anal (Figura 39b).



Especies de holoturoideos de Los Tuxtlas, Veracruz

Figura 37. Número de espículas presentes en las distintas regiones del cuerpo de los holoturoideos presentes en Los Tuxtlas, Veracruz, México.



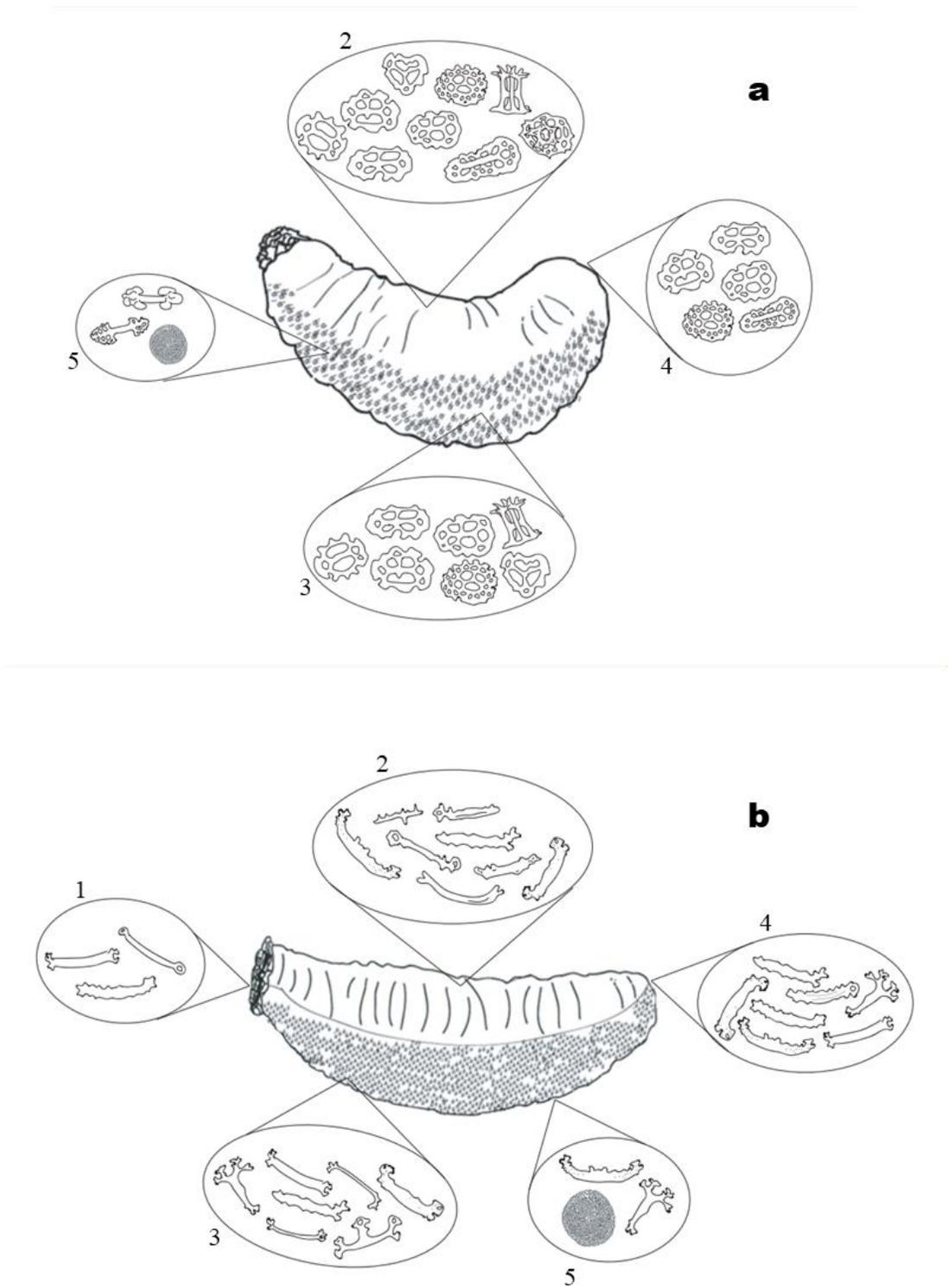


Figura 38. Tipos de espículas presentes en: 1) tentáculos, 2) región dorsal, 3) región ventral, 4) zona anal y 5) pies ambulacrales. a) *Holothuria (Halodeima) grisea* y b) *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*.

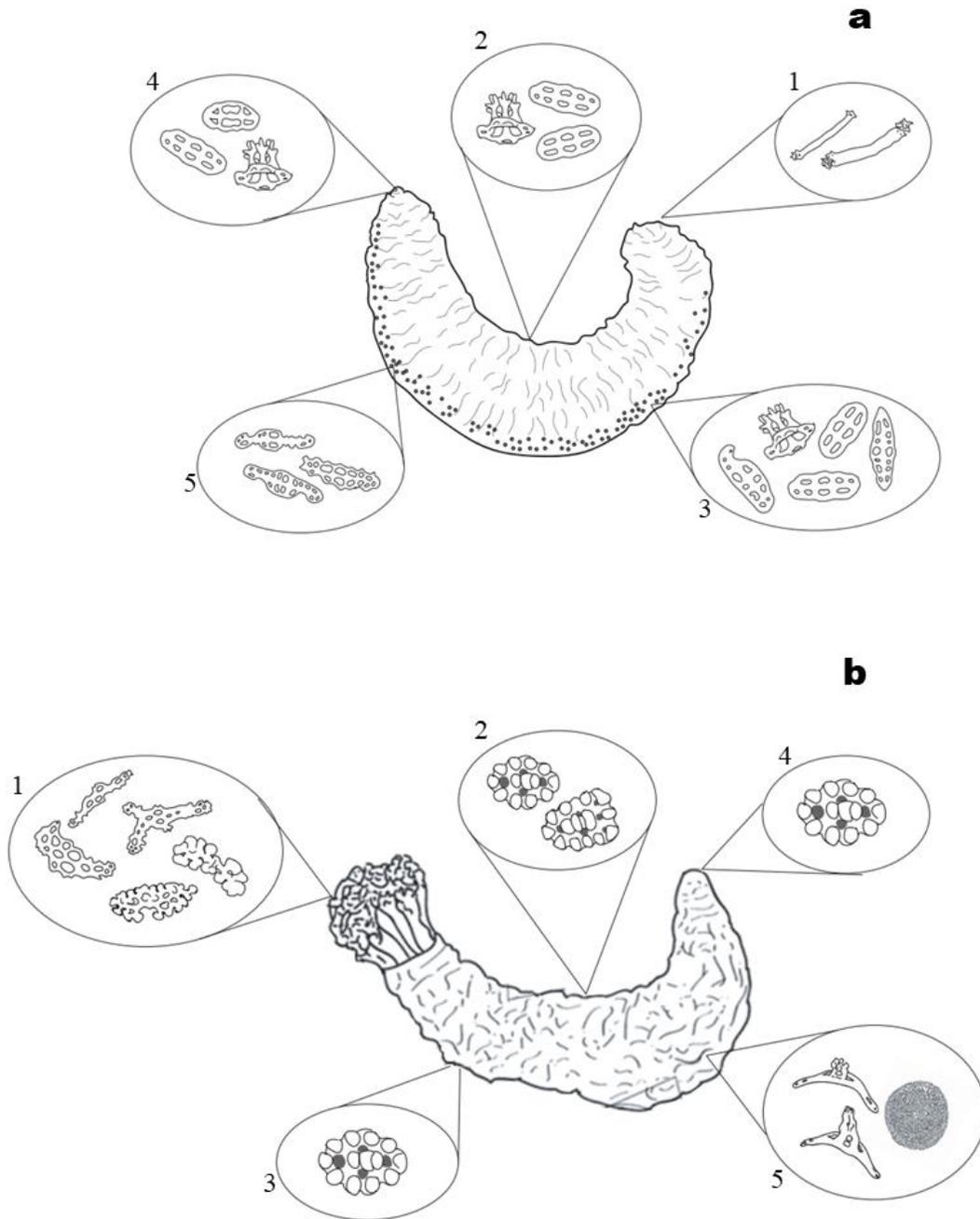


Figura 39. Tipos de espículas presentes en: 1) tentáculos, 2) región dorsal, 3) región ventral, 4) zona anal y 5) pies ambulacrales. a) *Holothuria (Thymiosycia) arenicola* y b) *Pseudothyone belli*.

En la figura 40 se muestra el porcentaje de la composición particular de espículas por especie, además de representar las diferencias en porcentaje entre ellas. Se observa que en el caso de *Holothuria (Halodeima) grisea* el mayor porcentaje de espículas estuvo en la región dorsal (37%), seguido de la región ventral (29%), los porcentajes menores se presentaron en la zona anal (21%) y en los pies ambulacrales (13%). Para *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima* la región dorsal obtuvo el mayor porcentaje de espículas (28%), seguido de la región ventral (25%) y zona anal (25%), los tentáculos y pies ambulacrales presentaron el menor porcentaje (11%). En *Holothuria (Thymiosycia) arenicola* el mayor porcentaje de las espículas se encontró en la región ventral (31%), mientras que la región dorsal, zona anal y pies ambulacrales presentaron el mismo porcentaje (19%), y los tentáculos el menor porcentaje (12%). Finalmente, para *Pseudothyone belli* el mayor porcentaje de espículas se presentó en los tentáculos (42%), seguido de los pies ambulacrales (25%), mientras que la región dorsal (17%), la región ventral y la zona anal obtuvieron el menor porcentaje (8%).

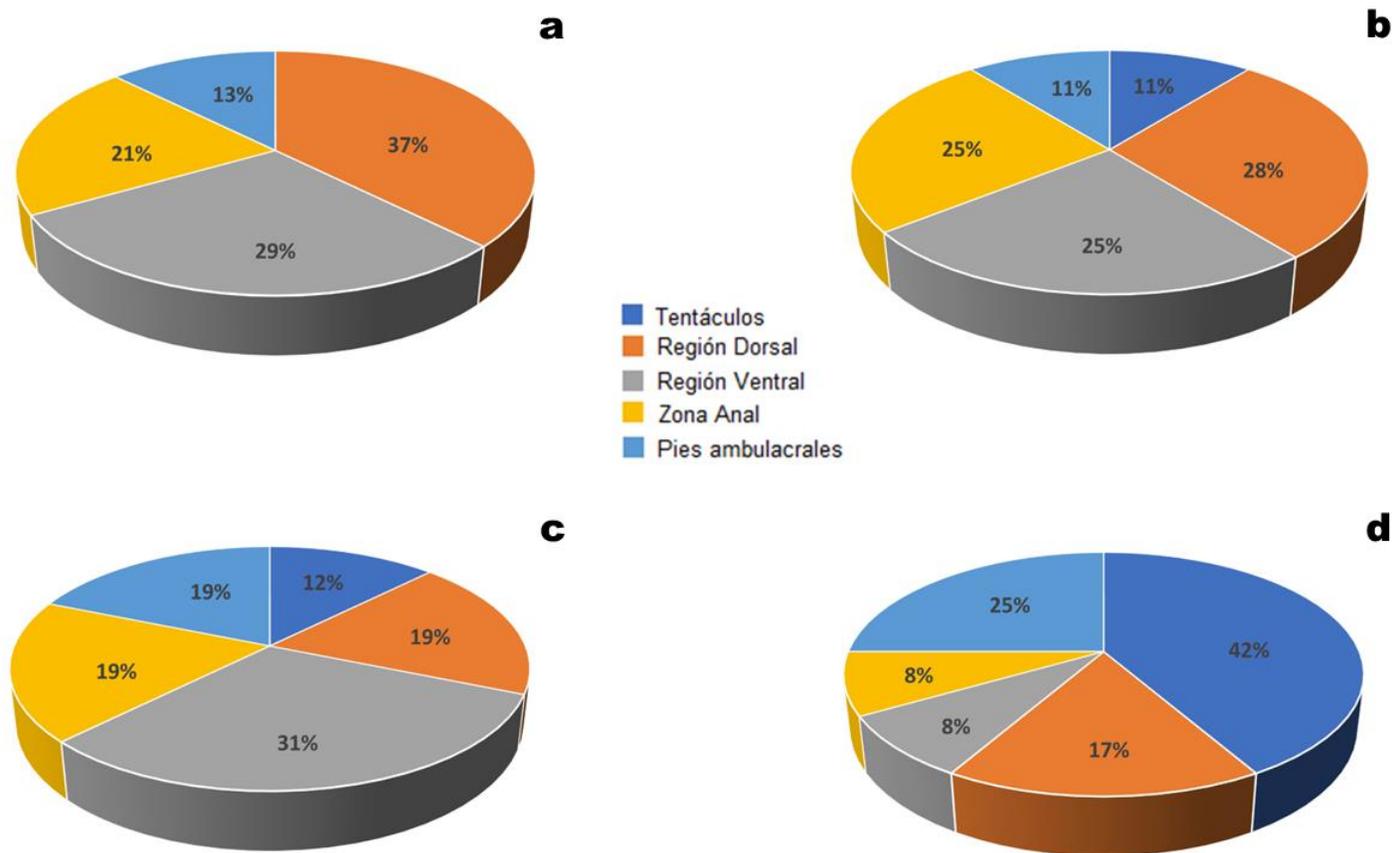


Figura 40. Porcentaje de espículas presentes en las distintas regiones del cuerpo de las especies de holoturoideos de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz. a) *Holothuria (Halodeima) grisea*, b) *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*, c) *Holothuria (Thymiosyca) arenicola* y d) *Pseudothyone belli*.

DISCUSIÓN

Aspectos taxonómicos

El género *Holothuria* cuenta con alrededor de 160 especies que presentan gran variación morfológica, lo cual ha llevado a la creación de 18 subgéneros (Samyn *et al.*, 2005; Honey-Escandón *et al.*, 2012). Uno de éstos es el subgénero *Selenkothuria* el cual ha presentado controversias respecto a su estado taxonómico. De acuerdo con Honey-Escandón y colaboradores (2012) la presencia de espículas casi idénticas es irrelevante para su filogenia, ya que, de acuerdo con datos moleculares, se trata de un grupo no monofilético. Sin embargo, la diferenciación y caracterización de los tipos de barrote que presentan las especies de este subgénero, como la que se realizó en este estudio - en donde se hizo la distinción de 16 tipos de barrotes en la especie *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima* - han ayudado a la identificación y diferenciación de las espículas de nuevas especies que se incluyen en este grupo. Tal como lo hizo Massin, (2013) quien utilizó las características de los barrotes para relacionar y distinguir a *H. parvispinea* de las especies de este subgénero, lo que dio como resultado un total de 13 especies válidas (Honey-Escandón *et al.*, 2011; Honey-Escandón *et al.*, 2012). Entre las características que consideró este autor estuvieron la ausencia de perforaciones en los barrotes, la ausencia o presencia de espinas, la forma de los extremos, su grosor y si compartían algún tipo de barrotes en los tentáculos.

En este trabajo se tuvieron algunos problemas al momento de la identificación de las espículas de *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*, entre los botones presentes en la pared del cuerpo y los barrotes de soporte de los pies ambulacrales, debido a que en algunos trabajos que se utilizaron como referencia se presentan unas cuantas incongruencias entre la descripción de las espículas y las ilustraciones que las complementan. Deichmann (1930) menciona la presencia de dos tipos de botones en la pared corporal, los primeros tienen una forma regular y cuentan con seis perforaciones, mientras que los segundos los describe como botones con pocas o muchas perforaciones. La confusión ocurre cuando en las ilustraciones nombra una serie de espículas como barrotes de soporte, sin embargo, algunos de estos dibujos empatan con la descripción del segundo tipo de botón. No obstante, en la descripción



de los barrotos de soporte indica que pueden presentar tantas perforaciones, que suelen parecerse a los botones del segundo tipo, pero no ilustra éstos últimos. Por otro lado, Cutress (1996) hace una descripción más detallada de los barrotos de los pies ambulacrales y de la transición en su forma con el crecimiento de los organismos, lo cual los hace parecidos a los botones, sin embargo, no especifica cuáles son unos y otros.

Tomando en cuenta este conflicto de identificación en las espículas de *Holothuria* (*T.*) *arenicola* y que se reporta como una especie de distribución circumtropical (Pawson *et al.*, 2009; Solís-Marín *et al.*, 2013), podría esperarse que varios de sus registros sean erróneos y que se encuentre en un complejo de especies. Tal como lo menciona Francois Michonneau en el 2010 por medio de comentarios personales a Caballero-Ochoa (2011), confirmando que la sistemática molecular de esta especie se encontraba en revisión, ya que para *Holothuria* (*Thymiosycia*) *impatiens*, otra especie que se creía de distribución circumtropical, se encontró que se trata de un complejo de 11 o más especies.

Distribución mundial y dentro de la parte mexicana del Golfo de México

La distribución de estos holoturoideos puede estar relacionada con la dispersión de las larvas debido a las corrientes que concurren en el océano Atlántico, ya que las larvas pelágicas tardan alrededor de dos semanas a dos meses o incluso tan solo siete días en asentarse en el sustrato (Felder y Camp, 2009; Guisado *et al.*, 2012). En el caso de *Holothuria* (*H.*) *grisea* y *H. (S.) glaberrima* que se distribuyen en la costa occidental de este océano, el tiempo que pasa desde su formación hasta su último estadio larvario y asentamiento, depende de distintos factores como la temperatura, salinidad y disponibilidad de alimento (Ramofafia *et al.*, 2003; Dabbagh *et al.*, 2011). La principal corriente que podría intervenir en su dispersión es la Corriente Ecuatorial del Atlántico Sur, la cual a la mitad de Brasil se bifurca y se dirige hacia el norte y sur del continente. Esta corriente hacia el norte recorre hasta América Central, el Caribe y el Golfo de México, mientras que hacia el sur se convierte en la corriente de Brasil y recorre toda la costa de este país (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2013). Además de los factores fisicoquímicos, la estructura del sustrato es importante para la distribución de los holoturoideos (Arriaga-Ochoa y Solís-Marín, 2011); las costas de los países del occidente



del océano Atlántico cuentan con distintos hábitats que pueden ser colonizados por estos organismos, como arrecifes de coral, lechos de pastos marinos y plataformas carbonatadas (Cortés, 2007).

Los registros que presenta *Holothuria (H.) grisea* en la isla Ascensión y la isla de Santo Tomé en África, podrían estar relacionados con el flujo de las corrientes de Brasil y de las Malvinas, las cuales convergen al sur del continente americano y se dirigen hacia las costas del oeste de África uniéndose con la corriente de Benguela (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2013).

De acuerdo con la base de datos de GBIF (2021) tanto *Holothuria (H.) grisea* como *H. (S.) glaberrima* se han registrado en Francia y Filipinas, y en Francia y las islas Andamán y Nicobar respectivamente. Sin embargo, se desconfía de dichos datos debido a que los registros de la primera especie se obtuvieron mediante observaciones en buceo deportivo y no fueron corroborados por especialistas. Mientras que los datos de la segunda especie mencionada presentan inconsistencias en la información de origen respecto a los sitios de colecta y las coordenadas de estos.

De igual forma GBIF (2021) reporta la presencia de *Holothuria (H.) grisea* en el Golfo de California en la costa del estado de Sonora, de acuerdo con la actualización del listado de equinodermos de México (Laguarda-Figueras *et al.*, 2017), no obstante, se considera este registro como erróneo debido a que en trabajos previos del Golfo de California y el Pacífico mexicano no se ha reportado esta especie (Solís-Marín *et al.*, 2005, 2009; Caballero-Ochoa, 2011). Además, de que en este listado actualizado no se especifican los estados donde se distribuyen las especies, ni se menciona una ampliación de distribución para *Holothuria (H.) grisea*.

Pseudothyone belli también presenta una distribución en las costas del Atlántico occidental entre Carolina del Norte y Brasil, por lo que las corrientes que pueden intervenir en la dispersión de larvas de esta especie son la Corriente Ecuatorial del Atlántico Sur y la corriente del Golfo (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2013). En comparación con *Holothuria (H.) grisea* y *H. (S.) glaberrima*, ésta se encuentra en menor número de países de Centroamérica y el Caribe lo cual podría explicarse debido a que los sitios en los que se distribuye *P. belli* son someros, ya que la profundidad máxima a la que se ha registrado es de 37 m (Solís-Marín *et*



al., 2013), tal es el caso de la morfología de las costas de países como Belice y Panamá (Cortés, 2007). Además, estos organismos pueden ser difíciles de encontrar debido a que se trata de una especie pequeña que alcanza apenas los 5 cm y se encuentra generalmente escondida en sedimentos blandos o en pequeñas grietas entre las rocas (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).

En cuanto a su distribución en la parte mexicana del Golfo de México, la cual incluye Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán, las cuatro especies reportadas para la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, se presentan en dos estados, Veracruz y Campeche (con excepción de *H. (T.) arenicola* que tiene un registro para Yucatán). Esto podría deberse en parte a que son sitios muy estudiados y a las características de sus costas. El estado de Veracruz se caracteriza por presentar una zona costera muy heterogénea, además de ser privilegiada por tener complejos arrecifales de importancia ecológica: Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013), los cuales pueden funcionar como reservorios y puntos de diseminación de especies entre las áreas arrecifales del Caribe y Florida (Vargas-Hernández *et al.*, 1993). Por lo cual, estas especies encuentran en las costas de Veracruz distintos hábitats, como sustratos rocosos, fondos arenosos, fangosos y estructuras coralinas (Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; González-Gándara *et al.*, 2015; Cervantes, 2017; López, 2017; García, 2018).

Además de estas características, las distintas corrientes que se presentan en el Golfo de México intervienen en la dispersión de las larvas en esta área (Salas-Monreal *et al.*, 2019). Por lo que la distribución de estas cuatro especies entre el estado de Veracruz y Campeche puede deberse a la circulación del giro ciclónico “Giro de Campeche”, que se encuentra en la zona oeste de la bahía de Campeche y a pocos kilómetros del Corredor Arrecifal del Sur del Golfo de México (CASGM). Éste presenta una circulación contraria a las manecillas del reloj y parece tener un aporte directo en la zona sur del CASGM; sin embargo, se ha sugerido que esta circulación alcanza la parte exterior del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) (Athié *et al.*, 2019), pudiendo transportar hasta estas latitudes las larvas de los holoturoideos. Al conectarse la circulación del “Giro de Campeche” con la circulación de la plataforma continental del occidente del Golfo de México, las larvas alcanzarían su distribución a lo





largo de la plataforma continental, en las regiones Tamaulipas-Veracruz y el Banco de Campeche occidental. Esto debido a que estas corrientes tienen un sentido ciclónico, de norte a sur (septiembre a marzo) o anticiclónico, de sur a norte (mayo a agosto) (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003); lo cual establecería una conexión en primer lugar entre la costa de Campeche y la de Veracruz, y en segundo lugar, entre los distintos sitios a lo largo de la costa de Veracruz.

Riqueza de especies por localidad

Se habían reportado hasta el momento tres especies de pepinos de mar en la playa de Montepío, Veracruz. Las cuales son *Holothuria (Cystipus) cubana*, *H. (Semperothuria) surinamensis* y *Euapta lappa* (Vassallo *et al.*, 2014). En el presente trabajo se encontró el mismo número de especies. Sin embargo, ninguna de ellas fueron las reportadas anteriormente, ya que se obtuvieron los primeros registros de *Holothuria (Halodeima) grisea*, *H. (S.) glaberrima* y *H. (T.) arenicola* para esta localidad. Lo cual sugiere que posiblemente existan seis o más especies de holoturoideos en la playa de Montepío.

Si se toma en cuenta que cinco de las seis especies reportadas hasta este momento en la playa de Montepío pertenecen al género *Holothuria*, el cual es rico en especies (160) y de amplia distribución (Honey-Escandón *et al.*, 2012), es de esperarse que más especies de dicho género se encuentren en esta playa. Debido a la diversidad y variación morfológica que presentan las especies de *Holothuria*, se ha dividido en 18 subgéneros (Samyn *et al.*, 2005) de los cuáles, en adición de las especies reportadas por Vasallo *et al.*, 2014 y las de este estudio, se representan cinco de estos subgéneros: *Cystipus*, *Semperothuria*, *Halodeima*, *Selenkothuria* y *Thymiosycia*.

En diferentes trabajos que se han realizado en la playa de Montepío, se ha observado una variación estacional en las poblaciones de distintos grupos de invertebrados. Se destaca la época de lluvias, ya que fue en la que se trabajó en este estudio. En esta se ha encontrado que los crustáceos presentan poca abundancia y baja riqueza de especies, debido a que con las lluvias se evita el reclutamiento de especies nuevas o remueven a las especies frágiles (Hernández, 2009; Hernández *et al.*, 2010). Lo mismo ocurre con algunos opisthobranchios



que durante la época de lluvias desaparecen de la playa debido al estrés causado por los fuertes oleajes y la resuspensión del sedimento (Cárdenas, 2019).

Por el contrario, en el caso de los holoturoideos, se observó gran abundancia en esta época. Lo cual podría deberse a que los organismos encuentran protección del oleaje y los cambios abióticos como la temperatura, luz y humedad, en la complejidad estructural del sustrato de la zona rocosa intermareal de la de playa de Montepío (Hernández *et al.*, 2010; Vasallo *et al.*, 2014). Esto se ha presenciado también para algunos moluscos como los gasterópodos, bivalvos y polioplacóforos, que ante las intensas perturbaciones estacionales (lluvias y nortes), se refugian entre las oquedades de las rocas (Dávila, 2013; Luviano, 2013).

Lo anterior contrasta con las observaciones hechas por Caso (1971) al mencionar que *Holothuria (H.) grisea* vive en aguas tranquilas, ya que los organismos encontrados en Montepío se localizaron debajo de las rocas y entre las grietas de éstas; las rocas al ser de gran tamaño y al estar formando una cadena, actúan como rompeolas por lo que se presenta mucha actividad del oleaje. Así mismo, cuando las mareas son muy bajas, y los organismos quedan parcialmente desprovistos de agua, los pepinos de mar pueden tolerar condiciones adversas como la desecación y temperaturas superiores a 35° C (Hendler *et al.*, 1995).

Por otro lado, la diferencia de especies reportadas por Vasallo *et al.* (2014) con las de este estudio, podría deberse a un recambio de especies. Se ha visto que existe cierto porcentaje de remplazo de especies mes a mes influenciado por los cambios estacionales, por lo que la comunidad de esta playa se regenera año con año (Hernández y Álvarez, 2007).

En la playa arenosa El Jicacal no se han realizado estudios previos sobre holoturoideos, por lo que en el presente trabajo se obtuvo el primer reporte de este grupo para la localidad. De modo que *Holothuria (H.) grisea* y *H. (S.) glaberrima* son los primeros registros para esta playa. En consideración de que la playa de Montepío es muy cercana a la de El Jicacal, y a que comparten las dos especies anteriormente mencionadas, podría suponerse que *H. (T.) arenicola* también se localice en El Jicacal, ya que estas tres especies tienen hábitats muy similares, tales como fondos rocosos, fangosos y arenosos (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2013).



De acuerdo con trabajos previos, en el arrecife La Perla del Golfo se encuentran cuatro especies de holoturoideos: *Pseudothyone belli*, *Holothuria (Halodeima) grisea* (López, 2017; García, 2018), *Isostichopus badionotus* y *Parathyone suspecta* (González-Gándara *et al.*, 2015). Sin embargo, en este estudio solo se registró *Pseudothyone belli*; esta especie se encontró dentro de las oquedades del material rocoso extraído del arrecife. Aunque generalmente tiene hábitos excavadores de sustratos suaves, también se han encontrado organismos debajo de rocas y dentro de las grietas de éstas, donde aparentemente se reclutan para llegar al estado adulto (Hendler *et al.*, 1995).

Posiblemente, el resto de las especies previamente reportadas no fueron observadas, ya que estas se encontraron en las zonas arenosas de los arrecifes debido a sus hábitos alimenticios (González-Gándara *et al.*, 2015). En cuanto a este estudio, la observación y búsqueda manual se vio limitada a causa de las condiciones climáticas, el oleaje y la poca visibilidad debido a la turbidez del agua. La baja representatividad de pepinos de mar dentro de este arrecife puede deberse a que presenta una baja riqueza específica de equinodermos en general (López, 2017)

Solís-Marín y colaboradores (2018) señalan como las especies más comunes dentro del Golfo de México a: *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima*, *H. (Halodeima) grisea*, *H. (H.) floridana*, *H. (Semperothuria) surinamensis* e *Isostichopus badionotus*, por lo que se podría esperar que las últimas tres especies también se distribuyan en algunas de las localidades de este trabajo. Para las playas de Montepío y El Jicacal se esperaría la presencia de *H. (H.) floridana* debido a que entre los distintos hábitats de esta especie se encuentran zonas someras como las pozas de marea (Hendler *et al.*, 1995; Pawson *et al.*, 2009), las cuales son sitios abundantes en las zonas rocosas de ambas playas, principalmente en la de Montepío.

Holothuria (Semperothuria) surinamensis ya se ha reportado para la zona intermareal de Montepío; sin embargo, también se esperaría su presencia en el arrecife La Perla del Golfo debido a que está asociada a sustratos duros y zonas coralinas en agua someras cerca de la costa (Hendler *et al.*, 1995). Mientras que *Isostichopus badionotus* que ya está reportada para La Perla del Golfo, podría presentarse también en la playa de Montepío y el Jicacal, pues se



asocia a fondos arenosos con macroalgas y fondos arenosos entre corales y rocas (Purcell *et al.*, 2010; Borrero-Pérez *et al.*, 2012).

Comparación de las especies de holoturoideos reportadas con las del estado de Veracruz

De acuerdo con los trabajos y listados más actuales de holoturoideos realizados para el estado de Veracruz, los registros se distribuyen en 15 sitios de estudio a lo largo del estado (Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; González-Gándara *et al.*, 2015; Cervantes, 2017; López, 2017; García, 2018).

Las cuatro especies reportadas en este trabajo se han localizado en la mayoría de estos sitios (Figura 31 y Tabla 4). *Holothuria (Halodeima) grisea* es la especie con mayor número de registros, desde la Isla Lobos que es el punto más norteño, hasta los arrecifes del sur La Perla del Golfo y Zapotitlán. Aunque la mayoría se localiza en el centro del estado: arrecife La Gallega, Playa Norte, Isla Verde, Playa de Hornos, Isla de Sacrificios e Isla de En medio.

Por su parte, *Holothuria (Selenkothuria) glaberrima* se localizó sólo en cinco de estos sitios: Boquilla de Piedra, Playa Norte y Barra Cazonas, hacia el centro, además de la Playa de Montepío y de El Jicacal al sur. *Holothuria (Thymiosycia) arenicola*, a pesar de tener amplia distribución dentro de Veracruz y en general una amplia distribución mundial, tiene tan sólo tres registros, incluido el presente estudio: Isla Lobos, arrecife Hornos y la Playa de Montepío. Finalmente, *Pseudothyone belli* se ha observado en cinco localidades: Isla Verde, arrecife Hornos, Isla de Sacrificios, Isla de En medio y el arrecife La Perla del Golfo.

El Golfo de México tiene registrada una riqueza de 53 especies de holoturoideos, de las cuales 35 se distribuyen en el estado de Veracruz (Cervantes, 2017; Solís-Marín *et al.*, 2018). Las cuatro especies encontradas en este estudio representan el 7% del total de especies reportadas para el Golfo de México y el 11% de las especies de Veracruz. Mientras que para la zona costera de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, representan el 44% de un total de nueve especies. Si se considera que el área ha sido poco estudiada comparada con la zona norte y centro de Veracruz, y que a lo largo de la reserva se encuentran alrededor de 30 formaciones coralinas (Ortíz-Lozano *et al.*, 2013) que posiblemente sirven para el refugio y



establecimiento de varias especies, se puede esperar que más especies de pepinos de mar se localicen en estos sitios.

Comparación/Análisis de los tipos de espículas

Para la realización del catálogo fotográfico de las espículas de las cuatro especies registradas en este estudio, se tomaron un total de 195 fotografías en microscopía electrónica de barrido y 27 con microscopio óptico. Estas imágenes se analizaron para hacer un reconocimiento minucioso de los tipos de espículas presentes en las diferentes partes del cuerpo, así como las variaciones dentro de éstas, con el fin de proporcionar una distinción más detallada de las espículas y una mejor identificación de las especies.

La descripción de las espículas de *Holothuria (H.) grisea* que se han realizado en trabajos previos, dan una caracterización más o menos detallada de estas estructuras (Cutress, 1996; Hendler *et al.*, 1995; Cervantes, 2017). Sin embargo, al generalizar la forma de algunas de ellas o al no recalcar las variaciones de éstas, sería fácil confundirlas en primera instancia con las espículas de otras especies. Tal es el caso de las placas perforadas de la pared del cuerpo que presenta *Holothuria (H.) grisea* y que son parecidas a las de *Holothuria (H.) floridana* (Caso, 1971).

En los trabajos de Caso (1961, 1971) en donde describe ejemplares de *Holothuria (H.) grisea* del centro de Veracruz, hace una pequeña distinción en donde determina que hay dos tipos de placas perforadas basándose en su forma y tamaño: unas pequeñas con diversas formas, entre ellas, algunas parecidas a rosetas y otras grandes con aspecto de barrote. En el presente estudio se reconocieron siete tipos de placas perforadas, las cuales se clasificaron del I al VII según su forma, ovaladas, irregulares, triangulares, alargadas, circulares con forma de roseta y el número de perforaciones.

En cuanto a las mesas presentes en la pared corporal de la región dorsal y ventral, en estos mismos trabajos, Caso (1961, 1971) hace una distinción entre dos tipos de mesas, las mesas jóvenes que presentan un disco menos desarrollado y que carece de espinas, y las más desarrolladas que en el disco cuadrangular presentan 12 espinas. En este trabajo de igual manera se lograron identificar ambos tipos de mesas, no obstante, en las mesas con disco más



desarrollado sólo se observaron siete espinas. En la parte final de las espiras osciló entre 12-15 espinas, mientras que Caso (1961, 1971), Hendler y colaboradores (1995) y Cervantes (2017) reportan sólo 12.

Las espículas de la pared del cuerpo de la zona anal no se describen en los trabajos anteriormente mencionados, por lo que con los datos obtenidos se observa que la mayoría de las espículas del resto del cuerpo también se localizan en esta zona. Se encontraron cinco del total de nueve tipos identificados de placas perforadas. Para referir las formas de los barrotes observados en los pies ambulacrales, se utilizaron las descripciones e ilustraciones de Caso (1961) y Cutress (1996). Este último los describe como barrotes perforados cilíndricos y barrotes perforados aplanados, misma clasificación que se utilizó en este catálogo. Los barrotes espinosos que se encuentran en los tentáculos (Cutress, 1996; Caso 1971) no pudieron ser observados ni fotografiados en MEB por lo que no se incluyeron en este trabajo debido a la falta de material para su descripción detallada.

En el caso de *Holothuria (S.) glaberrima* los trabajos realizados por Deichmann (1930) y Hendler y colaboradores (1995) generalizan la descripción de los barrotes presentes en la pared del cuerpo, ya que mencionan que se trata de barrotes curvos o rectos que tienen ramificaciones en los extremos, las cuales pueden unirse y formar agujeros, además de presentar pequeñas protuberancias. En el análisis realizado para este trabajo se siguió la separación entre barrotes curvos y rectos, y se añadieron los trifurcados. Pese a la poca definición de las espículas por falta de fotografías en MEB, se logró hacer una distinción de las variaciones que presentan en cuanto a la forma, tamaño y ornamentación.

Cutress (1996), a pesar de dar una descripción igual de generalizada que en los trabajos ya mencionados, analiza e ilustra las distintas variaciones de los barrotes en ejemplares de distintas tallas (9-132 mm). Las variaciones de las espículas observadas en este estudio tienen mayor similitud con las de los ejemplares de mayor tamaño, puesto que se analizó el tejido de un ejemplar de 72 mm. Esto apoyado con lo que el autor indica respecto a que los barrotes en organismos pequeños son más grandes y más ornamentados, y que al llegar a los 37 mm de longitud, se vuelven cortos, menos ornamentados y por consiguiente presentan menos perforaciones. En las variaciones de los barrotes que ilustra Cutress (1996)



también se presentan los trifurcados tanto en la pared del cuerpo como en los tentáculos y pies ambulacrales. En los organismos del presente trabajo los barrotes trifurcados se presentaron solamente en la pared del cuerpo y pies ambulacrales. Así mismo, se menciona que los barrotes que se encuentran en el cuerpo también se localizan en los tentáculos, sin embargo, en este caso sólo se encontraron tres tipos de barrotes debido a que las fotografías obtenidas fueron deficientes para la descripción de otras espículas presentes.

Aunque el análisis de las espículas de esta especie fue lo más minucioso posible, con las fotografías utilizadas sólo se describieron las espículas en las que se lograba distinguir su forma y características, y se descartaron las espículas que no tenían una forma clara. Es probable que por este hecho y por la alta variabilidad de los barrotes (Massin, 2013) algunos tipos no se hayan incluido; de ser así, tanto el número de espículas identificadas como la presencia de éstas en las distintas regiones sea mayor.

Deichmann (1930, 1958) y Cutress (1996) reportan la presencia de espículas en forma de barrotes espinosos en los tentáculos de *Holothuria (T.) arenicola*. En los organismos revisados para este estudio se encontró el mismo tipo de barrotes; sin embargo, se distinguieron dos tipos de éstos: barrotes gruesos y alargados y otros delgados y de menor longitud. Para la pared corporal de la región dorsal, ventral y la zona anal, se encuentran espículas en forma de botones y mesas. En cuanto a los botones, Deichmann (1930, 1958) y Hendler y colaboradores (1995), reconocieron dos tipos de botones lisos según el número de perforaciones presentes: los primeros con seis perforaciones y de tamaño regular y los segundos más alargados y con varias perforaciones de menor tamaño. En las espículas observadas en el presente estudio se identificaron cuatro tipos de botones lisos. El primer tipo concuerda con los análisis de los trabajos mencionados anteriormente, mientras que los tres restantes se dividieron de acuerdo con la forma del botón y el número de perforaciones.

En las mesas que se identificaron, se observaron algunas variaciones pequeñas con lo reportado en otras descripciones (Deichmann, 1930, 1958; Caso, 1961; Hendler *et al.*, 1995; Cutress, 1996; Cervantes, 2017). En el disco reportan entre 4-8 perforaciones marginales y en la espira entre 8-12 espinas finales. En cambio, en las mesas fotografiadas para este catálogo presentaron entre 4-11 perforaciones marginales y de 12-19 espinas en la parte





superior de la espira, además de una sola viga transversal. De acuerdo con lo estudiado por Cutress (1996), las vigas se reducen en número con el crecimiento de los organismos (pueden presentar hasta cuatro vigas) así como se reducen en tamaño y número las perforaciones marginales por esta misma razón.

En los pies ambulacrales se identificaron barrotes de soporte al igual que en los trabajos de Deichmann (1930, 1958) y Cutress (1996). Sin embargo, en este segundo trabajo se identifican dos tipos de barrotes de soporte para organismos con menos de 6 cm de longitud, a los que se suma un tercer tipo de barrote en los organismos mayores a este tamaño. En los organismos de la Reserva de la Biósfera de Los Tuxtlas, se reconocieron los dos tipos de barrotes de soporte presentes en los organismos más grandes y uno de los dos tipos de los de menor tamaño. Cutress (1996) menciona que con el crecimiento de los ejemplares los barrotes se modifican cambiando su forma.

Deichmann (1930) y Cervantes (2017) reportan para los tentáculos de *Pseudothyone belli* la presencia de rosetas y barrotes, pero no las describen ni las ilustran. Aquí se lograron identificar tres tipos de barrotes perforados de acuerdo con su forma y dos tipos de rosetas según sus ramificaciones.

En las regiones dorsal, ventral y la zona anal se encontraron los botones abollonados mencionados por Deichmann (1930) y Hendler y colaboradores (1995). No obstante, los botones identificados en este análisis varían ligeramente en cuanto al número de perforaciones, abollonaduras centrales y marginales. Lo reportado previamente fueron botones con cuatro perforaciones, 2 abollonaduras centrales y entre 9-12 abollonaduras marginales. Mientras que lo encontrado consistió en botones abollonados con cuatro perforaciones, 1-3 abollonaduras centrales y entre 8-12 abollonaduras marginales, así como otros botones con seis perforaciones, tres abollonaduras centrales y 11 marginales.

Estos mismos autores reportan para los pies ambulacrales la presencia de mesas de soporte, las mismas que se identificaron para este catálogo, para las cuales se hace una descripción más detallada que las anteriores. Por lo que se logran diferenciar dos tipos de estas mesas, con la principal diferencia en el tamaño de la espira, una baja y la otra más alta.





Cervantes (2017) describe que las espiras de las mesas están formadas por dos pilares que se fusionan, mientras que lo que se encontró fueron tablas con espiras de 2-4 pilares.

En cada una de las especies, los diferentes tipos de espículas y sus variantes se encontraron en distintas partes del cuerpo, y en algunos casos son característicos de alguna región. En *Holothuria (Halodeima) grisea* el mayor número de espículas se presentó en la región dorsal y la región ventral, lo cual contrasta un poco con lo que reportan Brites y colaboradores (2010) sobre que esta especie tiende a presentar una mayor concentración de espículas en la parte posterior. Aunque en este estudio no se consideró la densidad de las espículas, la presencia de una mayor cantidad de tipos distintos de estas estructuras podría estar relacionado con este mismo hecho, ya que para el análisis de las espículas se consideró la parte posterior en ambas regiones del cuerpo. Estos autores también mencionan que dichas estructuras calcáreas se relacionan con la selección de hábitat. En el caso de *H. (H.) grisea*, que presenta barrotes perforados en los pies ambulacrales, aluden la posición paralela de los barrotes con respecto a la pared del cuerpo, con el hecho de que de esta forma confieren mayor fuerza para sujetarse al sustrato; esta especie suele encontrarse en las zonas intermareales haciendo frente a la fuerte hidrodinámica de las olas y las mareas. Este podría ser el caso no sólo para *H. (H.) grisea* sino también para *H. (S.) glaberrima* y *H. (T.) arenicola* que de igual forma tienen hábitos en sustratos rocosos y se encontraron adheridas en las rocas de la playa de Montepío.

CONCLUSIONES

- En la zona costera de la Reserva de la Biósfera de Los Tuxtlas se encontraron cuatro especies de pepinos de mar, las cuales son *Holothuria (H.) grisea*, *Holothuria (S.) glaberrima*, *Holothuria (T.) arenicola* y *Pseudothyone belli*.
- En Montepío se registraron tres especies, *H. (H.) grisea*, *H. (S.) glaberrima* y *H. (T.) arenicola*; en El Jicacal también se localizaron las especies *H. (H.) grisea* y *H. (S.) glaberrima* (primeros registros para esta playa), y en el arrecife La Perla del Golfo se encontró *P. belli*.



- Los holoturoideos obtienen protección del oleaje y los cambios abióticos en el sustrato de la zona rocosa intermareal de la de playa de Montepío en la época de lluvias.
- Dentro del arrecife La Perla del Golfo, las especies de holoturoideos que se han registrado utilizan los sustratos suaves como *H. (H.) grisea* e *Isostichopus badiotus*, y los sustratos rocosos como *Pseudothyone belli*.
- *Holothuria (H.) grisea* es la especie con mayor distribución dentro del estado de Veracruz, seguida de *H. (T.) arenicola*; mientras que *H. (S.) glaberrima* y *Pseudothyone belli* cuentan con un rango más reducido y sureño.
- Las cuatro especies localizadas en este estudio representan el 7% del total de especies reportadas para el Golfo de México, el 11% de las especies de Veracruz y el 44% de las especies de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas.
- En *Holothuria (H.) grisea* se observaron 12 tipos distintos de espículas, en *Holothuria (S.) glaberrima* 17 tipos y tanto en *Holothuria (T.) arenicola* como en *Pseudothyone belli* se encontraron 10 tipos de espículas.



LITERATURA CITADA

- Alvarado, J. J., E. P. Ortiz, M. Benavides y M. V. Toral-Granada. 2013a. *Holothuria grisea*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013a: e. T180385A1623664. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T180385A1623664.en>
- Alvarado, J. J., E. P. Ortiz, M. Benavides y M. V. Toral-Granada. 2013b. *Holothuria glaberrima*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013b: e.T180252A1606029. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T180252A1606029.en>
- Álvarez, F., J. L. Villalobos, Y. Rojas y R. Robles. 1999. Listas y comentarios sobre los crustáceos decápodos de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, **70**: 1-27.
- Arriaga-Ochoa, J. A. 2016. Filogenia y biogeografía de la Familia Psolidae Burmeister, 1837. Tesis de Doctorado, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (Biología Marina). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 121 pp.
- Arriaga-Ochoa, J. A. y F. A. Solís-Marín. 2011. Pepinos de mar. *In*: Riqueza biológica de Quintana Roo, un análisis para su conservación. Tomo II. Capítulo cuatro. Invertebrados acuáticos, C. Pozo, N. Armijo y S. Calmé (eds.). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD). México, D. F. 148-152 pp.
- Athié, G., D. Salas-Monreal y M. Marín-Hernández. 2019. Circulación sobre la Plataforma de Veracruz Asociada al Giro de Campeche y su Efecto en los Sistemas Arrecifales. *In*: Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. 37-53 pp.
- Barnes, R. D. 1984. Zoología de los invertebrados. 3 ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F. 1124 pp.
- Borrero-Pérez, G. H., M. Benavides-Serrato y C. M. Díaz-Sánchez. 2012. Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea. Serie de publicaciones especiales de Invemar. Santa Marta. 250 pp.
- Bribiesca-Contreras, G., T. Pineda-Enríquez, F. Márquez-Borrás, F. A. Solís-Marín, H. Verbruggen, A. F. Hugall y T. D. O'Hara. 2019. Dark offshoot: Phylogenomic data sheds light on the evolutionary history of a new species of cave brittle star. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **136**: 151-163.
- Brites, A. D., V. F. Hadel y C. G. Tiago. 2010. The relationship between the shape and distribution of dermal ossicles with habitat selection in some species of Holothuroidea. *In*: Echinoderms: Durham, L. G. Harris, S. A. Böttger, C. W. Walker y M. P. Lesser (eds.). Taylor & Francis Group, Londres. 313 pp.
- Brusca, R. C., W. Moore y S. M. Shuster. 2016. Invertebrates. 3 ed. Sinauer Associates, Inc. USA, Massachusetts. 1104 pp.
- Brusca, R. C. y G. J. Brusca. 2005. Invertebrados. Mc.Graw-Hill Interamericana de España S. L., España. 1005 pp.



- Caballero-Ochoa, A. 2011. Zoogeografía de holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Pacífico mexicano. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 77 pp.
- Cabralles, A. S. 2017. Estudio poblacional de *Mellita quinquesperforata* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinoidea: Mellitidae) en la playa arenosa El Jicacal, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx. 59 pp.
- Cárdenas, D. I. 2019. Estructura poblacional y variación estacional del género *Aplisia* (Mollusca: Gastropoda) en las playas de Montepío y El Jicacal, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 75 pp.
- Caso, M. E. 1961. Los equinodermos de México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 338 pp.
- Caso, M. E. 1971. Contribución al estudio de los holoturoideos de México. Morfología externa e interna y ecología de *Holothuria grisea* Selenka. *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Ciencias del Mar y Limnología, **1**: 31-40.
- Cervantes, I. P. 2017. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) de las aguas mexicanas del Golfo de México y el Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Edo. de México. 288 pp.
- CONABIO. 2018. Los Tuxtlas. Tomado de: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_080.html. Fecha de recuperación: 18 de octubre de 2018.
- Conand, C. y R. Gamboa. 2013. *Holothuria arenicola*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013: e.T180437A1630561. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T180437A1630561.en>
- Cortés, J. 2007. Coastal morphology and coral reefs. *In: Central America: geology, resources and hazards*. Vol. 1. J. Bundschuh y G. E. Alvarado (eds.). Taylor and Francis. Londres. 185-200 pp.
- Cutress, B. M. 1996. Changes in Dermal Ossicles During Somatic Growth in Caribbean Littoral Sea Cucumbers (Echinoidea: Holothuroidea: Aspidochirotida). *Bulletin of Marine Science*, **58**(1): 44-116.
- Dabbagh, A., M. R. Sedaghat, H. Rameshi y E. Kamrani. 2011. Breeding and larval rearing of the sea cucumber *Holothuria leucospilota* Brandt (*Holothuria vagabunda* Selenka) from the northern Persian Gulf, Iran. *SPC Beche-de-mer information bulletin*, **31**: 35-38.
- Dávila, Y. 2013. Estructura comunitaria de la fauna poliquetológica en la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx. 62 pp.
- Deichmann, E. 1930. The holothurians of the western part of the Atlantic Ocean. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*. Harvard, **71**(3): 41-226.
- Deichmann, E. 1954. The holothurians of the Gulf of Mexico. *In: Gulf of Mexico, its origin, waters, and marine life*. P. S. Galtsoff (coord.). *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service*, **55**(89): 381-410.



- Deichmann, E. 1958. The Holothuroidea collected by the Velero III and IV during the years 1932 to 1954. Part II. Aspidochirota. *Allan Hancock Pacific Expedition*, **11**(2): 253-348.
- Dirzo, R., E. González y R. C. Vogt. 1997. Introducción general. *In: Historia Natural de Los Tuxtlas*, E. González, R. Dirzo y R. C. Vogt (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 3-6 pp.
- Durán-González, A., A. Laguarda-Figueras, F. A. Solís-Marín, B. E. Buitrón Sánchez, C. Gust Ahearn y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, Universidad de Costa Rica, **53** (Supl. 3): 53-68.
- Estación de Biología Los Tuxtlas. (2011-2012). Instituto de Biología. UNAM. México. Tomado de: <http://www.ibiologia.unam.mx/tuxtlas/localizacion/frame.htm>. Fecha de recuperación: 18 de octubre de 2018.
- Felder, D. L. y D. K. Camp. 2009. Gulf of Mexico: Origin, Waters and Biota. Vol. 1, Biodiversity. Texas A&M University Press, Estados Unidos de América. 1385 pp.
- García, A. 2018. Comparación de la diversidad y complejidad estructural de dos arrecifes de coral: La Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx. 56 pp.
- GBIF, 2021. GBIF: The Global Biodiversity Information Facility. Recuperado de <https://www.gbif.org>
- González-Gándara, C., F. A. Solís-Marín, V. de la Cruz-Francisco, A. Granados-Barba, J. de J. Salas-Pérez, J. Arguelles-Jiménez y P. A. Escárcega-Quiroga. 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, Universidad de Costa Rica, **2**(63): 183-193.
- González, P. 2012. Biología y ecología de las holoturias (Echinodermata: Holothuroidea) de la isla de la Gran Canaria (Atlántico Central-Oriental). Tesis de Doctorado, Departamento de Biología, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria. 239 pp.
- Granados-Barba, A., L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). 2019. Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 pp.
- Guisado, C., S. A. Carrasco, D. Díaz-Guisado, R. Maltrain y H. Rojas. 2012. Embryonic development, larval morphology and juvenile growth of the sea cucumber *Athyonidium chilensis* (Holothuroidea: Dendrochirotida). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. **47** (1): 65-73.
- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P. M. Kier. 1995. Sea Stars, Sea Urchins and Allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press. 390 pp.
- Hernández, A. C., R. E. Armenta, X. Guzmán e I. Guerrero. 2018. Bioactividad del pepino de mar. *In: Utilización de pescados y mariscos: tecnologías e innovación*, I. Guerrero, M. R. Rosmini y R. E. Armenta (eds.). Editorial Académica Española. 112-142 pp.
- Hernández, C. 2009. Estructura de la comunidad carcinológica y reclutamiento en sustrato duro, en Veracruz, México. Tesis de Doctorado, Posgrado de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 112 pp.



- Hernández-Álvarez, C. y F. Álvarez. 2007. Changes in the crustacean community of a tropical rocky intertidal shore: is there a pattern? *Hidrobiológica*, **17**: 25-34.
- Hernández-Álvarez, C., F. Álvarez y J. L. Villalobos. 2010. Crustáceos asociados a sustrato duro en la zona intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **81**: S141-S151.
- Honey-Escandón, M., F. A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras. 2011. *Holothuria (Selenkothuria) carere*, a new species of sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) from the Mexican Pacific. *Zootaxa*, **2922**: 27-33.
- Honey-Escandón, M., A. Laguarda-Figueras y F. A. Solís-Marín. 2012. Molecular phylogeny of the subgenus *Holothuria (Selenkothuria)* Deichmann, 1958 (Holothuroidea: Aspidochirotida). *Zoological Journal of the Linnean Society*, **165**: 109-120.
- Hooker, Y., F. A. Solís-Marín y M. Lleellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). *Revista Peruana de Biología*, **12**(1): 77-82.
- Hyman, L. H. 1955. The Invertebrates, vol. 4: Echinodermata, the Coelomate Bilateria. Mc. Graw-Hill, New York. 763 pp.
- Laguarda-Figueras, A., F. A. Solís-Marín, A. Durán-González, C. G. Ahearn, B. E. Buitrón-Sánchez y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, Universidad de Costa Rica, **53**(Suppl. 3): 109-122.
- Laguarda-Figueras, A., F. A. Solís-Marín y A. A. Caballero-Ochoa. 2017. Actualización del Catálogo de los Equinodermos Recientes de México (Fase III). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CNABIO. Proyecto No. HA018. Ciudad de México.
- Lawrence, J. 1987. A Functional Biology of Echinoderms. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- López, C. 2017. Diversidad del Phylum Echinodermata en el Arrecife de Coral Perla del Golfo, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx. 69 pp.
- Luviano, N. 2013. Ecología de la comunidad de moluscos de la criptofauna (Bivalbia, Gastropoda) de la zona intermareal rocosa de Montepío, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx. 75 pp.
- Massin, C. 2013. *Holothuria (Selenkothuria) parvispinea n. sp.* (Echinodermata, Holothuroidea, Holothuriidae) with key to the sub-genus Selenkothuria. *Zootaxa*. **3609**(3): 343-348.
- Miller, A. K., A. M. Kerr, G. Paulay, M. Reich, N. G. Wilson, J. I. Carvajal y G. W. Rouse. 2017. Molecular phylogeny of extant Holothuroidea (Echinodermata). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **111**: 110-131.
- Miller, J. E. y D. L. Pawson. 1984. Holothurians (Echinodermata: Holothuroidea). *Memoirs of the Hourglass Cruises*, **7**(1): 1-79.

- Mohedano, I. R. 2010. Comunidad de equinodermos en la Planicie Arrecifal de Anegada de Adentro, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Edo. de México. 80 pp.
- Jacobson, C. O. 2014. Revisión de la Familia Phylloporidae (Holothuroidea: Dendrochirotida) de las aguas mexicanas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 88 pp.
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez y J. Martos. 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, Elsevier, **86**: 22-32.
- Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, **1668**: 749-764.
- Pawson, D. L., D. J. Pawson y R. A. King. 2010. A taxonomic guide to the Echinodermata of the South Atlantic Bight, USA: Sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea). *Zootaxa*, **2449**: 1-48.
- Pawson, D. L., D. J. Vance, C. G. Messing, F. A. Solís-Marín y C. L. Mah. 2009. Echinodermata of the Gulf of Mexico. *In*: Gulf of Mexico. Origin, waters and biota. Vol. 1, D. L. Feder y D. K. Camp (eds.). Texas A&M University Press. 1177-1204 pp.
- Pechenik, J. A. 2000. Biology of the invertebrates. 4 ed. McGraw Hill, New York. 574 pp.
- Pérez-Ruzafa, A., J. J. Alvarado, F. A. Solís-Marín, J. C. Hernández, A. Morata, C. Marcos, M. Abreu-Pérez, O. Aguilera, J. Alió, J. J. Bacallado-Aránega, E. Barraza, M. Benavides-Serrato, F. BenítezVillalobos, L. Betancourt-Fernández, M. Borges, M. Brandt, M. I. Brogger, G. H. Borrero-Pérez, B. E. Buitrón-Sánchez, L. S. Campos, J. R. Cantera, S. Clemente, M. Cohen-Renfijo, S. E. Coppard, L. V. Costa-Lotufo, R. del Valle-García, M. E. Díaz de Vivar, J. P. DíazMartínez, Y. Díaz, A. Durán-González, L. Epherra, M. Escolar, V. Francisco, C. A. Freire, J. E. García-Arrarás, D. G. Gil, P. Guarderas, V. F. Hadel, A. Hearn, E. A. Hernández-Delgado, A. Herrera-Moreno, M. D. Herrero-Pérezrul, Y. Hooker, M. B. I. Honey-Escandón, C. Lodeiros, M. Luzuriaga, C. L. C. Manso, A. Martín, M. I. Martínez, S. Martínez, L. Moro-Abad, E. Mutschke, J. C. Navarro, R. Neira, N. Noriega, J. S. Palleiro-Nayar, A. F. Pérez, E. Prieto-Ríos, J. Reyes, R. Rodríguez-Barreras, T. Rubilar, T. I. Sancho-Mejías, C. Sangil, J. R. M. C. Silva, J. I. Sonnenholzner, C. R. R. Ventura, A. Tablado, Y. Tavares, C. G. Tiago, F. Tuya and S. M. Williams. 2013. Latin America Echinoderm Biodiversity and Biogeography: Patterns and Affinities. *In*: Echinoderm Research and Diversity in Latin America, J. J. Alvarado y F. A. Solís-Marín (eds.). Red Iberoamericana de Equinodermos. Springer. 511-542 pp.
- Purcell, S. W., Y. Samyn y C. Conand. 2012. Commercially important sea cucumbers of the world. Catálogo de especies de la FAO para fines pesqueros. No. 6. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, Roma. 223 pp.
- Ramofafia, C., M. Byrne y S.C. Battaglene. 2003. Development of three commercial sea cucumbers, *Holothuria scabra*, *H. fuscogilva* and *Actinopyga mauritiana*: larval structure and growth. *Marine and Freshwater Research*, **54**: 657-667.

- Reyes-Bonilla, H., G. Ramírez-Ortiz, M. D. Herrero-Pérezrul y L. E. Calderon-Aguilera. 2016. Subestimación de la abundancia del pepino café *Isostichopus fuscus* (Holothuroidea: Echinodermata) en muestreos diurnos con respecto a nocturnos en el Golfo de California. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Universidad Nacional Autónoma de México, **87**: 519-522.
- Roberts, D., A. Gebruk, V. Levin y B. A. D. Manship. 2000. Feeding and digestive strategies in deposit-feeding holothurians. *Oceanography and marine biology*, **38**: 257-310.
- Rodríguez, E., A. Gómez-Pompa, J. C. López, N. Velázquez, Y. Aguilar y M. Vázquez. 2011. Atlas de los espacios naturales protegidos de Veracruz. Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. México. 354 pp.
- Ruppert, E. E. y R. D. Barnes. 1996. Zoología de los invertebrados. 6 ed. McGraw Hill, Interamericana. México. 1114 pp.
- Salas-Monreal, D., G. Athié y M. Marín-Hernández. 2019. Frentes Térmicos, Partículas Suspendidas, Clorofila y Corrientes del Suroeste del Golfo de México. *In: Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*, A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. 55-73 pp.
- Samyn, Y., W. Appeltans y A. M. Kerr. 2005. Phylogeny of *Labidodemas* and the Holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotida) as inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **144**: 103-120.
- Schneider, K., J. Silverman, E. Woolsey, H. Eriksson, M. Byrne y K. Caldeira. 2011. Potential influence of sea cucumbers on coral reef CaCO₃ budget: A case study at One Tree Reef. *Journal of Geophysical Research*, **116**(G04032): 1-6.
- Sibuet, M. y K. Olu. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Research II*, **45**: 517-567.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2007. Phylum Echinodermata. *In: Niveles de organización en animales*, M. A. Fernández-Álamo y G. Rivas (eds.). México, UNAM, Facultad de Ciencias. Las prensas de ciencias. 307-322 pp.
- Solís-Marín, F. A., J. J. Alvarado, M. Abreu-Pérez, O. Aguilera, J. Alió, J. J. Bacallado-Aránega, E. Barraza, M. Benavides-Serrato, F. Benítez-Villalobos, L. Betancourt-Fernández, M. Borges, M. Brandt, M. I. Brogger, G. H. Borrero-Pérez, B. E. Buitrón-Sánchez, L. S. Campos, J. Cantera, S. Clemente, M. Cohen-Renjifo, S. Coppard, L. V. Costa-Lotufu, R. del Valle-García, Y. Díaz, M. E. Díaz de Viver, J. P. Díaz-Martínez, A. Durán-González, L. Epherra, M. Escolar, V. Francisco, C. A. Freire, J. E. García-Arrarás, D. G. Gil, P. Guarderas, V. F. Hadel, A. Hearn, J. C. Hernández, E. A. Hernández-Delgado, A. Herrera-Moreno, M. D. Herrero-Pérezrul, Y. Hooker, M. B. I. Honey-Escandón, C. Lodeiros, M. Luzuriaga, C. L. C. Manso, A. Martín, M. I. Martínez, S. Martínez, L. Moro-Abad, E. Mutschke, J. C. Navarro, R. Neira, N. Noriega, J. S. Palleiro-Nayar, A. F. Pérez, A. Pérez-Ruzafa, E. Prieto-Rios, J. Reyes, R. Rodríguez, T. Rubilar, T. Sancho-Mejía, C. Sangil, J. R. M. C. Silva, J. I. Sonnenholzner, C. R. Ventura, A. Tablado, Y. Tavares, C. G. Tiago, F. Tuya y S. M. Williams. 2013. Appendix. Table



- A. 2. *In*: Echinoderm Research and Diversity in Latin America, J. J. Alvarado y F. A. Solís-Marín (eds.). Red Iberoamericana de Equinodermos. Springer. 648-650 pp.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. G. Ahearn y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, Universidad de Costa Rica, **53**(Supl. 3): 123-137.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras y M. A. Gordillo-Hernández. 2007. Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *In*: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano, A. Granados-Barba, L. G. Abarca-Arenas y J. M. Vargas-Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. 73-100 pp.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2010. A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from an anchialine cave in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Universidad Nacional Autónoma de México, **81**: 663-668.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras y M. Honey-Escandón. 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Universidad Nacional Autónoma de México, (Supl. 85): S441-S449.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, M. Honey-Escandón, L. López, B. Zúñiga-Arellano, A. A. Caballero, C. A. Conejeros, C. Martín-Cao-Romero, A. Durán-González y M. E. Diupotex. 2018. Equinodermos (Echinodermata) de México: Estado actual del conocimiento de su biodiversidad, biogeografía, estudios bioquímicos y nuevos descubrimientos arqueozoológicos. *Biología y sociedad*, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León, 6-21.
- Solís-Marín, F. A., J. A. Arriaga-Ochoa, A. Laguarda-Figueras, S. C. Frontana-Urbe y A. Durán-González. 2009. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. CONABIO, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 179 pp.
- Soto, M. y L. Gama. 1997. Climas. *In*: Historia Natural de Los Tuxtlas, E. González, R. Dirzo y R. C. Vogt (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 7-23 pp.
- Stricker, S. A. 1985. The ultrastructure and formation of the calcareous ossicles in the body Wall of the sea cucumber *Leptosynapta clarki* (Echinodermata, Holothuroidea). *Zoomorphology*, **105**: 209-222.
- Théel, H. 1886. Report on the Holothurioidea dredged by HMS Challenger during the years 1873-1876. Part II. Scientific Results of HMS. Challenger 1873-1876. *Zoology*, **4**(34): 1-290.
- Thurmond, F. A. y J. A. Trotter. 1996. Morphology and biomechanics of the microfibrillar network of sea cucumber dermis. *The Journal of Experimental Biology*, **199**: 1817-1827.
- Trujillo, M. 2012. Estudio de la comunidad de equinodermos del arrecife “La Blanquilla” del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Edo. de México. 57 pp.



- 
- Vargas-Hernández, J. M., A. Hernández-Gutierrez y L. F. Carrera-Parra. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. *In: Biodiversidad Marina y Costera de México*, S. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). CONABIO-CIQRO, México. 559-575 pp.
- Vassallo, A., Y. Dávila, N. Luviano, S. Deneb-Amozurrutia, X. G. Vital, C. A. Conejeros, L. Vázquez y F. Álvarez. 2014. Inventario de invertebrados de la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Universidad Nacional Autónoma de México, **85**: 349-362.
- Vicencio, F. 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. 109 pp.
- Wilkinson, T., E. Wiken, J. Bezaury, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. Ecorregiones marinas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 200 pp.
- WoRMS, 2021. World Registered of Marine Species. Recuperado de <https://www.marinespecies.org>
- Zamora, L. N. y A. G. Jeffs. 2011. Feeding, selection, digestion and absorption of the organic matter from mussel waste by juveniles of the deposit-feeding sea cucumber, *Australostichopus mollis*. *Aquacultura*, Elsevier, **1-4** (317): 223-228.
- Zavala-Hidalgo, J., S. L. Morey y J.J. O'Brien. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*, **108**(C12): 1-19.

GLOSARIO

A

Acidificación: Descenso del pH en las aguas de mares y océanos debido a la absorción del CO₂ presente en la atmósfera, producido principalmente por la quema de combustibles fósiles.

Alimentación por suspensión: Los organismos se alimentan de partículas suspendidas, las cuales toman directamente de la columna de agua. En el caso de los holoturoideos, se llevan estas partículas hasta la boca con ayuda de sus tentáculos.

Ambulacro: Sección de la pared del cuerpo de los equinodermos en donde se presentan los pies ambulacrales. Los organismos generalmente presentan cinco de estas secciones, y cada ambulacro se encuentra separado por un interambulacro. También suele ser llamado radio.

Ámpula tentacular: Prolongación del sistema vascular acuífero en forma de saco, que funciona como reservorio de fluido para el soporte de los tentáculos, además de que permite su retracción y turgencia.

Anillo calcáreo: Composición en forma anular formada por 10 piezas calcificadas, cinco radiales y cinco interradales. Rodea al esófago y sirve de sostén para el tubo digestivo y para el anillo del sistema vascular acuífero. Además, es una zona de inserción de los músculos longitudinales de la pared del cuerpo y de los retractores de los tentáculos.

Anillo vascular: Canal del Sistema Vascular Acuífero que se localiza en la base de los tentáculos y rodea al esófago. De este canal surgen las vesículas de Poli, el canal pétreo y los canales radiales.

Anquihalino: Ambiente que presenta una conexión subterránea limitada con el mar. Dicha conexión ocurre entre el agua dulce y el agua marina; esta última se desplaza debajo de la primera, debido a su mayor densidad.

Árboles respiratorios: Estructuras presentes en holoturoideos, con forma de túbulos ramificados que surgen de la parte anterior de la cloaca, se extienden y localizan en el celoma, a ambos lados del tubo digestivo. Su función es el intercambio de gases.

Arrecife: Unidad rocosa en aguas someras y cercanas a la costa, con una composición distinta a la del suelo marino circundante. Por su morfología, cambian el flujo de las corrientes y funcionan como sitios de reproducción de animales que en su estadio adulto migran a otros ecosistemas.

Arrecife de coral: Formaciones de organismos de la clase Anthozoa (phylum Cnidaria), la cual incluye a las anémonas, corales, corales blandos, corales tubulares, gorgonáceos y plumas de mar.

B

Barrote: Tipo de espícula en forma de barra alargada, pueden ser lisos o espinosos, y simples o ramificados. También presentan otras morfologías, en forma de “S” o “C”, fusiformes o curvados. Se encuentran principalmente en los tentáculos, aunque también se presentan en la pared del cuerpo, papilas, el introverso o los pies ambulacrales. Su función es dar soporte al tejido que los contiene.

Bentónico: Organismo o especie que forma parte de las comunidades del fondo marino. Asociados al sustrato.

Bivium: Región dorsal del cuerpo de los holoturoideos, formada por dos ambulacros o radios.

Botón: Tipo de espícula con forma de placa que va de ovalada a redonda y presenta un número variable de perforaciones centrales, generalmente en pares. Pueden presentar bordes lisos o irregulares, y superficies lisas o abollonadas.

Botón abollonado: Tipo de botón en el que se distinguen nódulos o protuberancias centrales y en el borde. Pueden ser regulares o irregulares.

C

Calcita: Forma mineral del carbonato de calcio, de la cual está formado el endoesqueleto de los equinodermos.



Canal pétreo: Conducto que comienza en la parte superior del anillo vascular y termina en una madreporita.

Canales radiales: Cinco conductos que forman parte del sistema vascular acuífero, surgen del canal anular y sostienen a los pies ambulacrales.

Celoma: Cavity corporal de los animales celomados; es la segunda cavidad en aparecer después del blastocele a lo largo del desarrollo embrionario. En los equinodermos se desarrolla de manera tripartita: procele, mesocele y metacele (típico de los deuterostomados), y origina al sistema vascular acuífero.

D

Dermis: Capa de la piel que se sitúa debajo de la epidermis, dentro de la cual, se establece el endoesqueleto de los equinodermos.

Descripción: En taxonomía consiste en una serie de frases que contienen las características de un taxón a manera de definición.

Detritívoro: Organismo que se alimenta de partículas depositadas en el sedimento marino, las cuales son recolectadas con los tentáculos. Hay especies selectivas y no selectivas; estas últimas también se comen los granos de arena.

Deuterostomado: Animal en el que la abertura bucal del adulto durante el desarrollo embrionario no deriva del blastoporo (el cual da origen al ano), ya que ésta se forma secundariamente.

Dientes calcáreos: Pequeñas papilas calcificadas que suelen encontrarse alrededor del ano de algunas especies de holoturoideos.

Disco: Parte inferior o la base de las mesas. El disco generalmente es circular, aunque también puede ser curvo y elongado; en ambos casos se puede presentar un número variable de perforaciones.

Distribución batimétrica: Rango de profundidad en la que se puede encontrar una especie.





Distribución geográfica: Espacio geográfico en el que se presenta una especie e interactúa con el ambiente.

E

Endoesqueleto: En los equinodermos, estructura interna de soporte de origen mesodérmico, compuesta de carbonato de calcio (calcita) y formada por placas u osículos que pueden estar fusionados o no.

Epibentónico: Organismo que vive sobre el sustrato en el fondo marino.

Epibionte: Organismo que vive encima de otro. La relación entre ambos organismos puede ser benéfica sólo para uno de ellos, mientras que el otro no se ve afectado (comensalismo), o puede ser benéfica para ambos (mutualismo).

Epidermis: Capa más superficial de la piel, la cual contiene neuronas sensoriales que responden al tacto, sustancias químicas disueltas, corrientes de agua y a la luz.

Espículas: En holoturoideos, corpúsculos calcáreos microscópicos que forman su endoesqueleto, y que se encuentran embebidos en la pared del cuerpo, pies ambulacrales, papilas, tentáculos y otros órganos internos. También suelen ser llamados osículos.

Espina marginal: Prolongación calcárea que puede presentarse en el disco de las espículas en forma de mesa o tabla.

Espira: Parte alta que sobresale del disco de las espículas en forma de mesas; está formada generalmente por tres o cuatro pilares.

Estereoma: Malla interna de carbonato de calcio que forma a las placas del endoesqueleto.

Estroma: Tejido que rellena al estereoma.

Estuario: Desembocadura de un río de gran extensión y profundidad, que es invadida por el mar debido a las mareas, por lo cual hay un constante intercambio de agua salada y agua dulce.



F

Fisiparidad: Forma de reproducción asexual en la cual, a partir del fraccionamiento de una parte del cuerpo se origina un nuevo organismo, que resulta genéticamente igual al primero.

H

Hábitat: Ambiente con condiciones adecuadas para que una especie pueda establecerse.

Hermafrodita: Organismo que presenta órganos sexuales de macho y hembra, además de ser capaz de producir los gametos de ambos sexos.

I

Interambulacro: Sección de la pared del cuerpo de los equinodermos que se presenta entre los ambulacros, puede o no presentar pies ambulacrales o papilas. Son cinco secciones y también suelen ser llamadas interradios.

Intermareal: Zona de la costa que se encuentra entre el mar y la tierra; se sitúa entre el punto más alto en el que llega la marea y el punto en donde comienza el mar.

Introverso: Región que se ubica entre los tentáculos y el resto del cuerpo, comprende al anillo calcáreo y a los mismos tentáculos retraídos. Permite la inmersión de los tentáculos mediante contracciones de los músculos retractores. Presente sólo en las especies del orden Dendrochirotida.

M

Madreporita: Placa por la cual entra agua de mar al sistema vascular acuífero, comunicándolo con el exterior. Presenta numerosas perforaciones o poros, y se une al resto del sistema vascular por medio del canal pétreo. En los pepinos de mar es una estructura interna, por lo cual el sistema vascular no tiene conexión con el exterior; por lo tanto, el líquido que lo recorre se constituye por fluido celómico. Los pepinos de mar de acuerdo a la familia y género pueden presentar más de una madreporita.

Materia orgánica: Compuestos provenientes de resto de organismos muertos como plantas y animales, y sus productos de desecho.

Mesas: Tipo de espícula tridimensional formada por varios componentes.

Disco basal. Puede presentar forma circular, semicircular o cuadrangular, un número variable de perforaciones y con un borde liso, abollonado, dentado, espinoso u ondulado.

Espira. Formada por dos, tres o cuatro pilares que surgen del disco y terminan en una punta o corona. La altura de la espira se determina de acuerdo con el diámetro del disco; se considera alta si excede el diámetro, moderada al ser igual y baja si es menor.

Vigas o barras transversales. Estructuras que conectan por el interior los pilares de la espira.

Espinas. Presentes en el borde de la espira.

Mesas de soporte: Tipo de mesas que se difiere por tener el disco curvado y elongado, con un número variable de perforaciones. La espira puede ser alta o baja y con espinas en la parte final; presenta de dos a cuatro pilares que se unen desde la base o en la cúspide. Estas espículas se encuentran con mayor abundancia en los pies ambulacrales.

Mesenterio: Membrana que recubre la cavidad corporal, sostiene y conecta al intestino con la pared del cuerpo.

Mucus: Sustancia viscosa.

O

Oquedad: Espacio o hueco en el interior de las rocas.

Oleaje: Movimiento de la superficie del agua de los mares hacia la costa, causado por la fricción del viento sobre el agua.



Osículos: Corpúsculo calcáreo que se encuentra embebido en la pared del cuerpo, pies ambulacrales, papilas, tentáculos y otros órganos internos, y que forma el endoesqueleto de los holoturoideos. Sinónimo de espícula o depósito calcáreo.

P

Papilas: Pies ambulacrales modificados (sin disco de succión), presentes en la parte dorsal del cuerpo de los holoturoideos.

Papila cónica: Papila con la base ancha y que se hace más delgada hacia la punta.

Pared corporal: Formada por la epidermis y la dermis; en esta última se encuentran embebidas las espículas.

Pelágico: Organismo o especie que habita en aguas poco profundas, cercanas a la superficie.

Pies ambulacrales: Proyecciones del sistema vascular acuífero que sobresalen de la pared del cuerpo, con forma cilíndrica y un disco de succión en la parte terminal. Intervienen en la alimentación, locomoción, intercambio gaseoso y fijación al sustrato. En los holoturoideos se presentan a lo largo de la pared corporal, principalmente en el *trivium*. También llamados podios.

Pieza radial: Pieza calcificada que forma parte del anillo calcáreo. Se presentan cinco en cada anillo.

Placa perforada: Tipo de espícula plana con gran cantidad de orificios; puede presentar distintas formas como alargadas, triangulares, cuadrangulares e irregulares.

Placa terminal: Espícula con forma de disco y numerosas perforaciones; se localiza en la parte final de los pies ambulacrales de los holoturoideos. Su diámetro es variable, puede ir de 75 a 500 μm .

R

Reserva de la Biósfera: Regiones protegidas que se establecen con el fin de conservar y proteger la biodiversidad, proveer sitios para la investigación, además de albergar





comunidades humanas. Se conforman por tres zonas; la zona núcleo que cuenta con ecosistemas con perturbaciones mínimas, la zona de amortiguamiento que es el área alrededor de la núcleo con actividades moderadas como el uso tradicional de la tierra, y la zona de transición en donde se desarrollan actividades económicas de producción.

Rosetas: Tipo de espículas pequeñas; presentan una barra central de la cual surgen ramificaciones cortas y redondeadas, con terminaciones diversas con mayor o menor grado de complejidad. Se encuentran en los tentáculos y el introverso.

S

Sedimento: Conjunto de partículas sólidas que se depositan.

Sedentario: Organismo con poca movilidad de desplazamiento, generalmente permanece en un mismo lugar.

Simetría: División del cuerpo de los organismos en partes iguales, respecto a uno o más ejes.

Simetría bilateral: División del cuerpo de los organismos en dos partes iguales, basada en un eje antero-posterior, en donde la parte izquierda es una imagen espejo de la parte derecha.

Simetría pentarradial secundaria: Tipo de simetría que presentan los equinodermos en su etapa adulta. El cuerpo es dividido en cinco partes a lo largo de cinco ejes, proporciona una regionalización del cuerpo en oral y aboral.

Sistema hemal: Conjunto complejo de conductos y cavidades que participan en el transporte de gases. En su mayoría se encuentran encerrados dentro de canales celomáticos llamados senos perihemales. En los holoturoideos el sistema tiene una disposición bilateral, está conformado por un conjunto de vasos y asociado con el sistema digestivo y los árboles respiratorios.

Sistema Vascular Acuífero (SVA): Serie de canales y reservorios llenos de fluidos (agua de mar y fluido celómico) que intervienen en la alimentación, locomoción, intercambio gaseoso y excreción. Está constituido por un canal anular que rodea al esófago y del cual surgen cinco canales radiales, el canal pétreo que sostiene a la madreporita, y las vesículas





de Poli. A lo largo de los canales radiales se encuentran los pies ambulacrales, que conforman la parte final del sistema, al proyectarse hacia fuera del cuerpo.

Suela: Parte ventral o *trivium*, la cual se distingue por presentar gran cantidad de pies ambulacrales, y da una visible simetría bilateral en algunas especies de holoturoideos.

Surcos ambulacrales: Radios del sistema vascular acuífero que corren a lo largo del cuerpo de los equinodermos, de los cuales surgen los pies ambulacrales.

Sustrato: Superficie o medio en la que un organismo puede establecerse.

T

Tallo de los tentáculos: Eje principal del cual surgen las ramificaciones de los tentáculos; puede ser largo o corto, y delgado o grueso.

Tentáculos: En los holoturoideos, pies ambulacrales modificados que rodean la boca, presentes en número y forma variables de acuerdo con el orden al que pertenecen; son utilizados para la alimentación.

Tentáculos dendríticos: Cuentan con un tallo alargado desde el cual se extienden numerosas ramificaciones, que disminuyen de tamaño hacia el ápice. Presentes en el orden Dendrochirotida.

Tentáculos digitados: Tienen uno o dos pares de dígitos y carecen de dígito terminal central; con apariencia aplanada o de cruz en la parte final. Presentes en el orden Molpadida.

Tentáculos digitiformes: Tallos simples, no ramificados y con forma de dedo. Presentes en el orden Dendrochirotida.

Tentáculos peltados: Estructuras en forma de escudo, cuentan con un disco terminal que puede ser liso o con numerosas proyecciones cortas. Presentes en los órdenes Elasipodida, Holothuriida, Persiculida y Synallactida.

Tentáculos peltado-digitados: Poseen de tres a nueve pares de dígitos y no tienen dígito central; éstos se disponen en un semicírculo y dan al tentáculo forma de palma. Presente en el orden Apodida.





Tentáculos pinados: Estructuras con apariencia de hoja; poseen un solo dígito terminal y varios pares de dígitos que abarcan gran parte de la longitud del tentáculo. Presentes en el orden Apodida.

Trivium: Región ventral del cuerpo de los holoturoideos, formada por tres ambulacros o radios; presenta gran cantidad de pies ambulacrales. También llamada suela.

Túbulos de Cuvier: Estructuras tubulares elásticas que surgen de la base de los árboles respiratorios de los holoturoideos de la familia Holothuriidae, y se extienden a ambos lados del tubo digestivo. Sirven como defensa contra los depredadores, al ser expulsados por el ano se adhieren sobre el depredador en segundos. También llamados órganos de Cuvier.

V

Vesículas de Poli: Saco que forma parte del sistema vascular acuífero que surgen del canal anular y almacenan el exceso de fluido.

Vigas cruzadas: Uniones transversales en los pilares que forman las espiras de las espículas en forma de mesas.

