

**Estudio taxonómico de las esponjas perforadoras (Porifera, Demospongiae)
de arrecifes de coral del Pacífico de Costa Rica**

Cristian Pacheco Solano

Tesis de Licenciatura en Biología con énfasis en Zoología

Escuela de Biología
Universidad de Costa Rica

Febrero 17 del 2012

Aprobación de la tesis “**Estudio taxonómico de las esponjas perforadoras (Porifera, Demospongiae) de arrecifes de coral del Pacífico de Costa Rica**” para optar por el grado de Licenciatura en Biología con énfasis en Zoología.

Cristian Pacheco Solano

Estudiante

Correo: cristian.pacheco@ucr.ac.cr

Jorge Cortés Núñez, Ph.D.

Universidad de Costa Rica

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología

Tutor

Rita Vargas Castillo, M.Sc.

Universidad de Costa Rica

Museo de Zoología, Escuela de Biología

Lectora

Odalisca Breedy Shadid, Ph.D.

Universidad de Costa Rica

Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas

Lectora

Juan José Luis Carballo, Ph.D.

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto en Ciencias del Mar y Limnología

Lector Externo

Yolanda Camacho García, Ph.D.

Universidad de Costa Rica

Representante Escuela de Biología

Miembro del Tribunal

Roberto Magaña, Ph.D.

Universidad de Costa Rica

Decano a.i. Facultad de Ciencias

Presidente del Tribunal

Dedicatoria

*A mis padres, por el apoyo incondicional que me dieron al emprender la aventura de la biología
y estar junto a mí en todo momento durante esta tesis,
Gracias por alentarme en el camino de la ciencia.*

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO DE LA SISTEMÁTICA	3
OBJETIVOS	7
Objetivo General:	7
Objetivos Específicos:	7
SITIO DE ESTUDIO	7
TAXONOMÍA Y DISTRIBUCIÓN	12
Orden Hadromerida Topsent, 1894	12
Familia Clionaidae d´Orbigny, 1851.....	13
<i>Cliona</i> Grant, 1826.....	13
<i>Cliona amplicavata</i> Rützler, 1974	14
<i>Cliona californiana</i> Laubenfels, 1932	18
<i>Cliona euryphylla</i> Topsent, 1887	22
<i>Cliona mucronata</i> Sollas, 1878.	26
<i>Cliona pocillopora</i> Bautista-Guerrero, Carballo, Cruz-Barraza & Nava 2006.	30
<i>Cliona vermifera</i> Hancock, 1867.....	34
<i>Pione</i> Gray, 1867	39
<i>Pione</i> cf. <i>carpenteri</i> (Hancock, 1867).....	40
<i>Thoosa</i> Hancock, 1849.....	44
<i>Thoosa mismalolli</i> Carballo, Cruz-Barraza & Gómez 2004.....	45
ESPONJAS PERFORADORAS MENCIONADAS EN ESTUDIOS PREVIOS	50
DISCUSIÓN	51
CONCLUSIONES	57
AGRADECIMIENTOS	58
REFERENCIAS	60
APÉNDICE A	72

RESUMEN

A nivel regional es poco lo que se conoce sobre las esponjas perforadoras. Algunas especies de dudosa identificación aparecen en la literatura mencionadas para Costa Rica, estas especies fueron revisadas en este trabajo y solo una especie y dos géneros conservan su validez. Con el fin de describir e identificar la diversidad de esponjas perforadoras en el Pacífico costarricense, se realizaron recolectas a lo largo de la costa abarcando los sitios de: Bahía Salinas y Bahía Culebra al norte, Playa Blanca en el Pacífico central e Isla del Caño en el Pacífico sur, así como algunos especímenes recolectados en el Parque Nacional Isla del Coco. También se estudiaron los especímenes depositados en la colección de esponjas del Museo de Zoología de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica. Con el material anteriormente mencionado, se realizó una descripción macroscópica y microscópica en la que se utiliza la microscopía electrónica de barrido para proporcionar imágenes de alta calidad de: las espículas de sílice, las galerías producto de la perforación y las marcas dejadas por las células en las paredes de estas galerías. Las esponjas encontradas en este trabajo, se agrupan en ocho especies y tres géneros de la familia Clionaidae. De estas especies siete son nuevos registros para el país: *C. amplicavata*, *C. californiana*, *C. euryphylla*, *C. mucronata*, *C. pocillopora*, *C. vermifera* y *Thoosa mismalolli*. Una especie del género *Pione* es posiblemente una nueva especie para la ciencia. Todas amplían el ámbito de distribución al sur del Pacífico Tropical Oriental. En este trabajo se esclarece la taxonomía de las esponjas perforadoras en la costa pacífica de Costa Rica y se deja una base de información y material de Museo para futuros estudios.

INTRODUCCIÓN

El Filo Porifera, está constituido por organismos sésiles con un sistema de poros inhalantes y exhalantes en parte recubiertos por una capa de células flageladas conocidas como coanocitos (Hooper *et al.* 2002). Se caracterizan por una relativa independencia celular la cual hace posible una alta capacidad de regeneración, gran movilidad celular y plasticidad en formas de crecimiento y organización únicas entre los metazoos (Hooper *et al.* 2002). Además de ser el único filo entre los animales cuyos representantes tienen un nivel de organización del tipo parazoo, es decir, un metazoo que carece de verdaderas capas germinales embrionarias (Brusca & Brusca 2005).

Con una historia evolutiva que parte de 500 millones de años atrás, las esponjas han desarrollado un cuerpo provisto de: fibrillas de colágeno, fibras de espongina y un esqueleto inorgánico constituido por espículas, de carbonato de calcio (CaCO_3) y/o dióxido de sílice (SiO_2) en la mayoría de las especies (Hopper *et al.* 2002). De hecho, el sílice a pesar de ser más costoso de utilizar biológicamente a diferencia del carbonato de calcio (CaCO_3), es utilizado preferencialmente por las esponjas en contraste con otros organismos (Uriz 2005).

Las espículas de dióxido de sílice, son producto de un proceso de biomineralización orgánica (deposición intracelular o extracelular). Este proceso ocurre en los organismos unicelulares y algas, a diferencia de la mayoría de organismos eucariotas, que comparten una mineralización matricial (la mineralización es inducida extracelularmente) (Uriz *et al.* 2003). Hecho que sugiere la importancia de este grupo como organismo eslabón en la comprensión evolutiva de los metazoos.

Actualmente se contabilizan unas 7 000 especies de esponjas, sin embargo se calcula que existen más de 15 000 (Hooper & Van Soest 2002a). Es uno de los grupos más prominentes en los arrecifes de coral, donde usualmente exceden a los corales y algas en

número de especies. Sin embargo en muchos casos son poco estudiadas o ignoradas en evaluaciones, monitoreos y restauración de arrecifes de coral (Diaz & Rützler 2001).

Entre las esponjas, podemos distinguir un tipo particular denominado esponjas perforadoras que viven en cavidades y galerías que ellas mismas excavan en estructuras de carbonato de calcio (corales y sustrato coralino, conchas de moluscos, tubos de poliquetos, algas calcáreas) (Barruca *et al.* 2007, Zea *et al.* 2007).

La excavación se logra mediante tallado mecánico y químico del sustrato por parte de las células que forman el epitelio basal, que disuelven el carbonato mediante enzimas ácidas como la fosfatasa (Pomponi 1979a). Posteriormente engloban y extraen fragmentos de sustrato, en forma de partículas de entre 40 a 60 μm de diámetro (Pomponi 1979b), que luego eliminan al medio en donde entran a formar parte del sedimento del arrecife (Zea *et al.* 2007); y las cavidades son ocupadas por la esponja (Rützler 2002a).

En las décadas de 1960 y 1970 el aspecto perforador de las esponjas cobró relevancia (Cobb 1969, Futterer 1974, Rützler 1975). En 1963, se demostró el efecto destructivo de las esponjas perforadoras en comunidades arrecifales de Jamaica y se sugirió que a su vez, este efecto contribuía a la producción de sedimentos en la comunidad arrecifal (Rützler 1975).

El papel de estos organismos en el ecosistema marino es importante ya que son uno de los principales bioerosionadores que modelan los arrecifes de coral en un proceso continuo de construcción y destrucción que está estrechamente balanceado (Risk & McGeachy 1978, Glynn 1997, Wulff 2001, Hutchings 2011) además de actuar fuertemente en la evolución de los arrecifes coralinos y otros bioconstructores de carbonato (Calcinai *et al.* 2007).

Se ha estimado que hasta un 40% de los sedimentos depositados en los arrecifes de coral, pueden ser originados por esponjas en su fase de perforación mecánica (Rützler 1975). Otros estudios destacan la relevancia de la fase química en el proceso de

perforación, con porcentajes de material disuelto de un 2% a un 75% según la especie de esponja (Rützler & Rieger 1973, Zundeleovich *et al.* 2007, Nava & Carballo 2008). Esto sugiere además, que desempeña un papel importante en el reciclaje del carbonato de calcio que beneficiaría las comunidades coralinas al acelerar la reincorporación de carbonato en la columna de agua (Nava & Carballo 2008).

Este estudio tiene como objetivo principal estudiar la diversidad de esponjas perforadoras en arrecifes de coral, a lo largo de la costa Pacífica costarricense y revisar las especies mencionadas para la zona en publicaciones anteriores. Con este trabajo se abre un nuevo capítulo de investigación en el Filo Porifera para Costa Rica.

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO DE LA SISTEMÁTICA

La sistemática del Filo Porifera se basa en el estudio de características morfológicas: forma, color, consistencia corporal, y textura de la superficie, así como la conformación estructural del esqueleto y morfología y tamaño de las espículas (Zea 1998). En las últimas décadas también se han incorporado caracteres relacionados con los ciclos de vida, composición química y genética (Zea 1998).

En cuanto al estudio de las espículas, debido a la gran variedad de formas que exhiben, se ha generado una compleja terminología de alrededor de 100 nombres que expresan tamaño, forma y condiciones de simetría (Rützler & Macintyre 1978), que en algunos casos, su uso no es muy consistente y ha generado confusión en el trabajo taxonómico de este grupo. Sumado a esto, una gran cantidad de nombres específicos con numerosos sinónimos y bajo diversas denominaciones genéricas y familiares, lo que hace problemática la asignación de nombres válidos (Zea 1998).

Boury-Esnault y Rützler (1997) comentan que a pesar de los esfuerzos realizados hasta el momento, la sistemática del Filo Porifera está aún en su infancia y es uno de los

filos en los que no se ha alcanzado acuerdos aún a nivel de orden. Por otro lado, Porifera es informado como el filo con el menor número de especialistas en proporción al número de especies (Boury-Esnault & Rützler 1997). En el 2002 se publica *Systema Porifera*, editado por Hooper y Van Soest (2002a), como compendio de literatura y claves dicotómicas que llegan a solucionar muchos de los problemas antes mencionados.

Las esponjas perforadoras se sitúan dentro de la Clase Demospongiae, donde se distinguen cuatro órdenes y cinco familias. En el Orden Hadromerida se agrupan las familias: Clionidae (Rützler 2002a) y Alectonidae (Rützler 2002b). En el Orden Spirophorida, una familia Samidae, con una especie (Van Soest & Hooper 2002). El Orden Haplosclerida con la Familia Phloeodictyidae (Desqueyroux-Faúndez & Valentine 2002) y el Orden Poecilosclerida con la Familia Acarnidae (Hooper 2002). Del total de familias Calcinaei *et al.* (2005) resaltan la importancia de las familias: Clionidae y Phloeodictyidae.

El análisis cladístico para clarificar la sistemática de las esponjas perforadoras ha llevado a la relocalización de algunas especies (Rosell & Uriz. 2002). Por ejemplo, el género *Cliona*, que es un grupo polifilético, dio origen al género *Pione*, por ser este un grupo monofilético (Rosell & Uriz. 2002). A pesar de los intentos que se han hecho en busca de aclaraciones para la filogenia de grupos de especies representativas, aún se está lejos de resolver el problema debido a la extremada plasticidad de las esponjas (Rosell & Uriz. 2002).

Una característica con posible valor taxonómico es el patrón de perforación dejado en el sustrato, sin embargo los investigadores están divididos en sus opiniones. Algunos estudios señalan que el tamaño y la forma de las cámaras perforadas son especie específico (Bromley & Tendal 1973, Rützler 1974, Risk & MacGeachy 1978), y recientemente Calcinaei *et al.* (2003) mostró un patrón diferencial entre el género *Cliona* y *Aka*. Para otros investigadores, el patrón de excavación está relacionado con las características del sustrato o con el estado de desarrollo de la esponja (Cobb 1975, Hoeksema 1983, Bromley & D'Alessandro 1990).

Se ha reconocido el valor taxonómico de las partículas producto de la excavación (su forma y tamaño); sin embargo, a excepción de las partículas producidas por esponjas del género *Alectona* que tienen una ornamentación peculiar, no hay muchas otras con relevancia taxonómica (Vacelet 1999).

En cuanto a la diversidad del filo, Wulff (1997) comparó dos sitios del istmo panameño en el Pacífico y en el Caribe. Concluyó que a pesar de que en el Caribe se reporta más riqueza y abundancia (640 spp. contra 134 spp.), esto puede deberse a que las esponjas del Pacífico Oriental Tropical (POT) son poco visibles o cripticas y es difícil identificarlas en el campo e inclusive queda un número significativo sin identificar (Wulff 2001).

En años recientes se han descrito las esponjas perforadoras del Pacífico Mexicano (Carballo *et al.* 2004, Bautista-Guerrero *et al.* 2006, Carballo *et al.* 2007). Carballo *et al.* (2008a) publican un libro guía que describe las esponjas perforadoras del Pacífico Mexicano y Cruz-Barraza *et al.* (2011) añade algunas especies más para un total de 22 especies para esta región. Las especies se agrupan en los siguientes géneros: *Cliona*, *Cliothesa*, *Pione*, *Sphaciospongia* y *Thoosa*, todas de la familia Clionidae y *Aka* de la familia Phloeodictyidae.

Se han empezado a obtener datos relevantes sobre diferentes aspectos de las esponjas perforadoras en México. Por ejemplo: Nava & Carballo (2008), estudian la riqueza de especies y frecuencia de invasión en corales, como también las tasas de disolución de carbonato (Nava & Carballo 2008). Carballo *et al.* (2008b) sobre la ecología e importancia de las esponjas perforadoras en la preservación de los arrecifes. Bautista-Guerrero *et al.* (2010) y Bautista-Guerrero (2011) han trabajado en aspectos reproductivos y ciclo de vida de algunas esponjas perforadoras. Por el momento los estudios se centran en las costas e islas del Pacífico de México.

En Costa Rica se han realizado once trabajos sobre esponjas. Para el Caribe hay tres: Risk *et al.* (1980) citan cuatro especies de esponjas perforadoras en el Parque

Nacional Cahuita de las familias Clionidae y Adociidae. Loaiza Coronado (1991) publica sobre las esponjas no perforadoras de Cahuita y de la Isla Uvita. Van der Hal (2006) menciona 70 especies de esponjas no perforadoras a lo largo de la costa caribeña.

Del Pacífico, hay más publicaciones, la primera realizada con especímenes recolectados en los alrededores de la Isla del Coco durante la expedición del Albatross en 1891 (Wilson 1904). Scott *et al.* (1988) mencionan cinco especies para la Reserva Biológica Isla del Caño y Guzmán (1988) informa dos especies más para el mismo sitio, estas especies también son mencionadas por Fonseca & Cortés (1998) y Fonseca (1999). Cortés (1996) publica la primera síntesis sobre el estado del conocimiento de las esponjas de Costa Rica. Posteriormente, Cortés *et al.* (2009a) publican una actualización de las esponjas informadas para Costa Rica, contabilizando un total de 62 especies para el Pacífico de las cuales solamente *Thoosa* sp. es perforadora. Más recientemente Reiswig (2010) describe una nueva especie de la clase Hexactinellida para la Isla del Coco.

Muchos otros especímenes, pendientes de su identificación, están depositados en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica y en otras instituciones fuera del país que han hecho recolectas en Costa Rica sin dejar colecciones voucher o datos de algún tipo.

Esta investigación representa un primer esfuerzo en el estudio taxonómico de esponjas perforadoras en el Pacífico de Costa Rica y tiene la finalidad de generar información sobre riqueza de especies que sirva de base para futuros estudios ecológicos, biológicos y farmacológicos.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Identificar taxonómicamente las especies de esponjas perforadoras de cuatro regiones representativas del Pacífico costarricense: Bahía Salinas y Bahía Culebra en el Golfo de Papagayo (Pacífico Norte); Playa Blanca (Pacífico Central), Isla del Caño (Pacífico Sur) y de la Isla del Coco.

Objetivos Específicos:

- i. Identificar las especies recolectadas hasta la menor categoría taxonómica posible.
- ii. Realizar la descripción morfológica del material recolectado.
- iii. Comparar los especímenes recolectados con material tipo o con colecciones de referencia.
- iv. Realizar una revisión de las esponjas perforadoras que han sido informadas para el país y verificar su validez taxonómica.

SITIO DE ESTUDIO

Para tener una visión global del Pacífico de Costa Rica, se eligieron sitios de muestreo en el Norte, Centro y Sur de la costa Pacífica y la Isla del Coco (Fig. 1.). Estos puntos de muestreo tienen una relevancia a nivel científico por el número de publicaciones e investigaciones que se han realizado y se realizan actualmente.

En el Pacífico Norte se ubican las bahías de Salinas y Culebra (Fig. 1.), estos se encuentran en uno de los tres sistemas de afloramiento costero en el Pacífico Tropical Oriental, el afloramiento de Papagayo (Willet *et al.* 2006, Sibaja-Cordero & Cortés 2008). Cortés y Murillo (1985) definen Bahía Culebra como la región más rica en especies de coral a lo largo de la costa Pacífica de Costa Rica, en total 17 especies de coral hermatípico bien desarrollados (Jiménez 1997, 2001, Cortés & Jiménez 2003).

El Pacífico Central es una zona que presenta relativamente pocos arrecifes, en total trece especies de coral hermatípico (Jiménez & Cortés 2001, Cortés & Jiménez 2003, Quesada-Alpizar & Cortés 2006), y es caracterizada principalmente por salida de sedimentos de ríos y abundantes playas de gran energía (Alvarado *et al.* 2005, 2009). En esta región se muestreó Playa Blanca, ubicada cerca de Punta Leona (Fig.1).

El Pacífico Sur, representado en este estudio por la Isla del Caño, se ubica en la plataforma continental del Pacífico de Costa Rica aproximadamente a 15 km de la costa, frente a la Península de Osa. Los arrecifes de esta zona se encuentran entre los ecosistemas mejor estudiados de Costa Rica (Guzmán & Cortés 1989, Cortés & Jiménez 2003, Cortés *et al.* 2009b). Existen cinco plataformas coralinas con extensiones que van desde 0.8 hasta 4.2 ha, formadas en su mayor parte por corales pocilopóridos muertos con colonias aisladas de pocilopóridos y porítidos y algunos microatolones de *Porites lobata*. En total 15 especies de corales hermatípico han sido identificadas en la Isla (Guzmán & Cortés 1989).

Por último, se analizaron muestras provenientes del Parque Nacional Isla del Coco (PNIC) a 530 km de la costa, centro de diversidad marina en el Pacífico Tropical Oriental (Cortés 2008). Cortés & Wehrtmann (2009) señalan los vacíos de investigación que hay en la Isla del Coco para algunos grupos de organismos entre ellos las esponjas, con publicaciones realizadas por: Wilson (1904), y últimamente por Reisinger (2010).

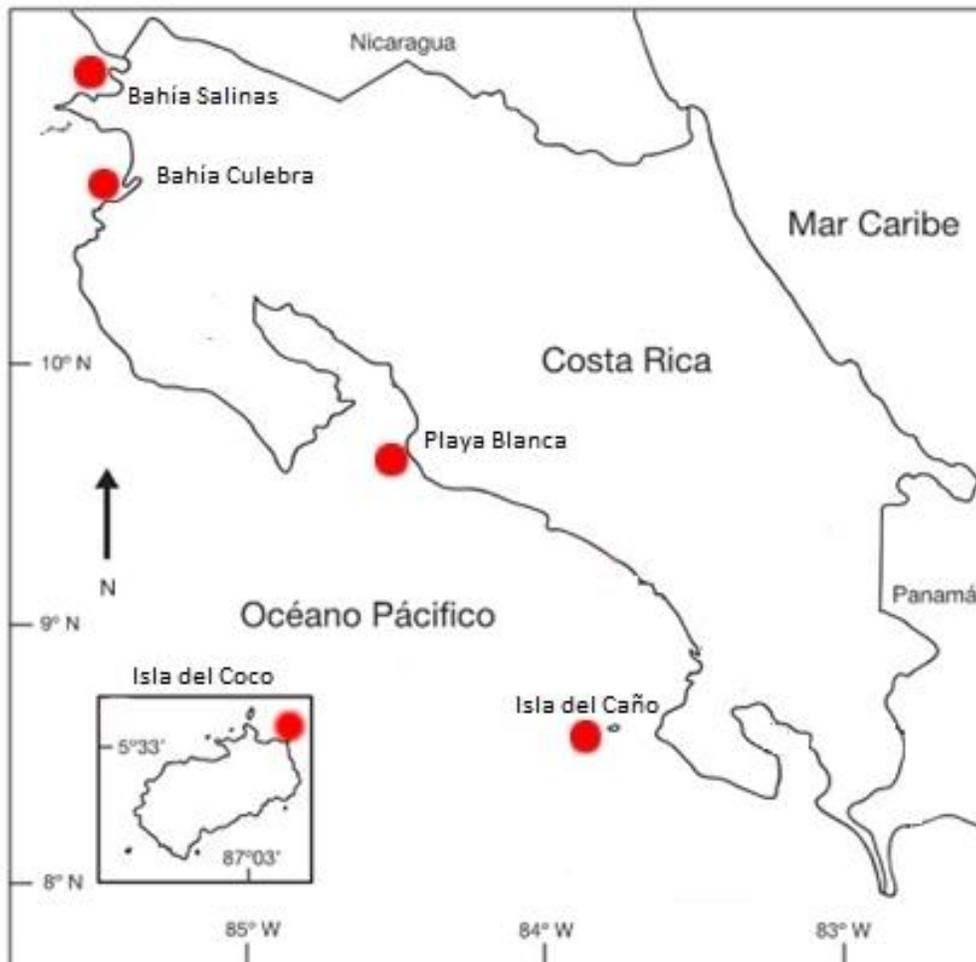


Fig. 1. Sitios muestreados en el Pacífico de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El material recolectado en esta tesis se extrajo durante el segundo semestre del 2010 y primer semestre del 2011, con el permiso de recolecta otorgado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación de la República de Costa Rica número: 161-2010-SINAC en el Pasaporte Científico número: 04841.

La recolecta de esponjas perforadoras se realizó en tres hábitats principales: coral vivo, fragmentos de coral muerto y en la matriz de carbonato de calcio de arrecifes. Cuando se encontró una esponja perforadora, se anotó la coloración en vivo de las papilas y después de romper en dos o más fragmentos el color interno; posteriormente se extrajo el material de cada especie de las cavidades perforadas.

Se dividió el material de un espécimen en al menos, dos fragmentos; uno se preservó en alcohol de 95 % para futuros análisis genéticos y, el otro se preservó en 4% formalina y 96% agua de mar con metenamina 20 g/L como buffer, y después de 2 o 3 días se colocó en alcohol de 70% (Zea & Weil 2003). Las muestras fueron trasladadas a los laboratorios del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica para su posterior análisis.

También se trabajó con especímenes que se encuentran en el Museo de Zoología de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, indicadas con las siglas MZ-UCR y el número de catálogo. El trabajo que se describe seguidamente, se aplicó por igual a las muestras provenientes de campo como del Museo.

Para la identificación de esponjas a nivel de género y especie es indispensable conocer la morfología externa e interna y sobre todo, la morfología y el tamaño de las espículas (Carballo *et al.* 2003). Este trabajo no fue posible hacerlo en el campo, por lo que en el laboratorio, y con material ya preservado, se realizó la descripción de las características macroscópicas utilizando un estereoscopio, para detallar: la forma y tamaño de las papilas y de las cámaras de perforación formadas por la esponja.

Para la observación microscópica se tomó un pedazo de la esponja utilizando un alfiler entomológico y se digirió con hipoclorito de sodio (NaClO) concentrado sobre un portaobjetos. Para montar las espículas en lámina fija, se colocó la muestra en un portaobjetos y se disolvió la materia orgánica con ácido nítrico (HNO₃) calentando a llama directa; posteriormente se agregó Permout, se colocó el cubreobjetos y se etiquetó.

En el microscopio de luz se observó, identificó y describió el tipo de espículas y se estableció ámbitos de longitud utilizando la escala del microscopio, al menos 20 espículas de cada tipo (los tipos de espículas vistos en esta tesis se presentan en Apéndice A).

Por último, para detallar la microestructura que presentan las espículas microscleras, se utilizó el microscopio electrónico de barrido (MEB) del Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas (CIEMic). Para la preparación de la muestra se siguieron los siguientes pasos para su posterior observación al microscopio electrónico:

1. Se extrajo la muestra de interés, y se colocó en tubos de ensayo
2. Se agregó ácido nítrico al 37% y se llevó a hervir a llama directa
3. Se centrifugó a 1000 rev/min durante 3 minutos para separar las espículas y decantar el sobrenadante
4. Se realizó un lavado con agua destilada, centrifugando y decantando posteriormente y otro lavado con agua des-ionizada
5. Se dejó las espículas en alcohol al 100%
6. Se agitó y tomó una muestra homogénea que se colocó en un cubreobjetos circular ajustado y adherido al porta-muestras del MEB.
7. Se dejó secar totalmente la preparación.
8. Se cubrió con un baño de oro utilizando una ionizadora específica del MEB.

Para estudiar el patrón de excavación de cada especie (Rützler & Rieger 1973, Carballo *et al.* 2008a), se usó un fragmento del sustrato excavado por la esponja, el cual se trató con hipoclorito de sodio para disolver restos del cuerpo de la misma y posteriormente fue analizado a través de microscopía electrónica de barrido (Cobb 1969, Rützler & Gieger 1973).

El equipo utilizado fue: un Cobertor iónico Giko IB-3 con electrodo Platino-Paladio y un Microscopio Electrónico de Barrido Hitachi S-570. La cámara adaptada al microscopio

electrónico fue una Pentax K 100. La edición de las imágenes y el montaje de las láminas con espículas fueron realizada a través del programa Photo Filtre para Windows 7.

Por último, se utilizó la Base de Datos de Especies Marinas para el filo (Van Soest *et al.* 2011) y se comparó la distribución de las especies con las informadas anteriormente para Costa Rica.

La confirmación de la identidad de las esponjas de esta tesis, se realizó durante una estancia de investigación con el Dr. José Luis Carballo, en las instalaciones del Instituto de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México en Mazatlán, del 26 de julio al 16 de agosto del 2011.

TAXONOMÍA Y DISTRIBUCIÓN

Orden Hadromerida Topsent, 1894

Diagnosis

Demospongiae con megascleras de tipo monoaxónicas, monoactinas o diactinas. Las más comunes son tilostilos o subtilostilos, pero también puede presentar exotilos, estrangiloxas, oxas, o modificaciones de éstas. Las especies en el Orden, son frecuentemente de forma de vaso y formas arborescentes ramificadas. Las megascleras usualmente se encuentran en más de una categoría de tamaño (en estos casos las espículas del ectosoma son más pequeñas que las espículas del coanosoma), y están orientadas en forma perpendicular a la superficie, de tal manera que sobresalen a través del ectosoma y forman una empalizada hispida. Esta estructura puede extenderse desde el centro de la esponja formando un esqueleto radial, o solo en la superficie formando un esqueleto cortical. Las fibras de espongina generalmente están poco desarrolladas, pero están presentes en todas las especies, por lo que los ejemplares poseen una consistencia firme no elástica y son fáciles de desmenuzar. Sin embargo, en algunos géneros

(*Caulospongia* y *Suberites*) la esponjina es abundante, dando una consistencia más compresible y elástica a las esponjas. Son comunes los colores como el amarillo, el naranja y el rojo. En algunos casos la coloración puede ser producida por simbiontes. Las microscleras pueden ser euásters, esterrásters, espirásters o derivadas como espímulas, microrhabdes, microxas o microstrongilos, pero están ausentes en dos familias (*Stylocorylidae* y *Sollasellidae*). La mayoría de los grupos son ovíparos, con huevos que se desarrollan en larvas parenquímulas directamente en el agua marina. La gemación es común en la familia *Tethyidae* (Hooper & Van Soest 2002b)

Familia Clionidae d'Orbigny, 1851

Diagnosis

Esponjas exclusivamente con capacidad perforadora. Las megascleras son principalmente tilostilos, que pueden estar acompañados por oxas o estilos. Las microscleras cuando están presentes, incluyen espirasters, anfiásters, microxas, microrabdes o ráfides. Algunos espirásters presentan espinas con dos o más ramificaciones. Los microrabdes pueden ser lisos o espinados, rectos, curvados o en espiral (Rützler 2002a).

Cliona Grant, 1826

Especie tipo: *Cliona celata* Grant, 1826.

Sinonimia

Cliona Grant, 1826. *Vioa* Nardo, 1833. *Poterion* Schlegel, 1858. *Raphyrus* Bowerbank, 1862. *Raphiophora* Gray, 1867. *Taguilla* Bowerbank, 1874. *Euryphylla* Duchassain & Michelotti, 1864. *Euryphyll*e Duchassaing & Michelotti, 1864. *Hymeniacidon sensu* Bowerbank, 1866. *Idomon* Gray, 1867. *Myle* Gray, 1867. *Pronax* Gray, 1867. *Sapline* Gray, 1867. *Osculina* Schmidt, 1868. *Spirastrella sensu* Ridley, 1884. *Papillella* Vosmaer, 1885.

Papillissa Lendenfeld, 1888. *Anthosigmella* Topsent, 1918. *Rhaphiophora* Laubenfels, 1936. *Delaubenfelsia* Dickinson, 1945. *Bernatia* Rosell & Uriz, 1997. *Cliona* Rützler, 2002.

Diagnosis

Cliona con tres formas típicas de crecimiento: alfa, beta y gamma. La forma de crecimiento alfa es la más común, y se caracteriza por su modo de vida endolítico salvo por las papilas que son el único contacto con la superficie. Algunas especies se desarrollan hasta la forma beta, por unión externa de las papilas. La fase gamma ocurre cuando la esponja destruye todo el material calcáreo y se convierte en masiva. Las megascleras son tilostilos. Las microscleras son principalmente espirásters, rectos, curvos, retorcidos o en espiral. También pueden poseer microrhabdes espinados, ondulados o rectos, anfiastrosas (derivados de espirásters) y ráfides. También puede tener microstrongilos completamente lisos, en forma de espiral o ligeramente doblados en el centro (Cruz-Barraza 2008).

Cliona amplicavata Rützler, 1974

Sinonimia

Cliona amplicavata Rützler, 1974. Rosell & Uriz, 2002. Carballo *et al.* 2004.

Material examinado

CIMAR-BS-12: Bahía Salinas, 15 m, 3.III.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-CU-12: Bahía Culebra, 3 m, 28.VI.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-PL-01, CIMAR-PL-04, CIMAR-PL-06, CIMAR-PL-07: Playa Blanca, 3 m, 11.IV.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-PL-103, CIMAR-PL-102: Playa Blanca, intermareal, 16.IX.2011, Cristian Pacheco Solano.

Descripción

La esponja en vivo y preservada es de color ocre. Con papilas circulares de 0,5 mm de diámetro en promedio (fig. 2). Se encontró en *Pavona gigantea* viva, y en fragmentos de *Porites lobata*. y *Pocillopora* sp. muerto.

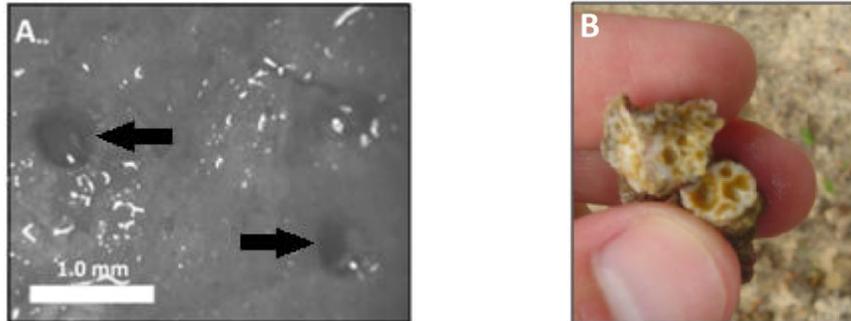


Fig. 2. *C. amplicavata*. A) Papilas, B) Coral del género *Pocillopora* donde se aprecian las cámaras perforadas por la esponja y el tejido de esta.

Presente tres tipos de espículas: Tilostilos, ligeramente curvados (Fig. 3A, B) de 115 a 282 μm de longitud, y de 1 a 7,5 μm de grosor. Los tilos de 3,5 a 10,5 μm de diámetro, en ocasiones presentan protuberancias apicales (Fig. 3E). También presenta estilos de 80 a 156 μm de longitud, y de 2,5 y 4,5 μm de grosor (Fig. 3C), y ráfides, delgados y ligeramente curvados de 65 a 140 μm de longitud, y de 1 a 2 μm de grosor (Fig. 3D).

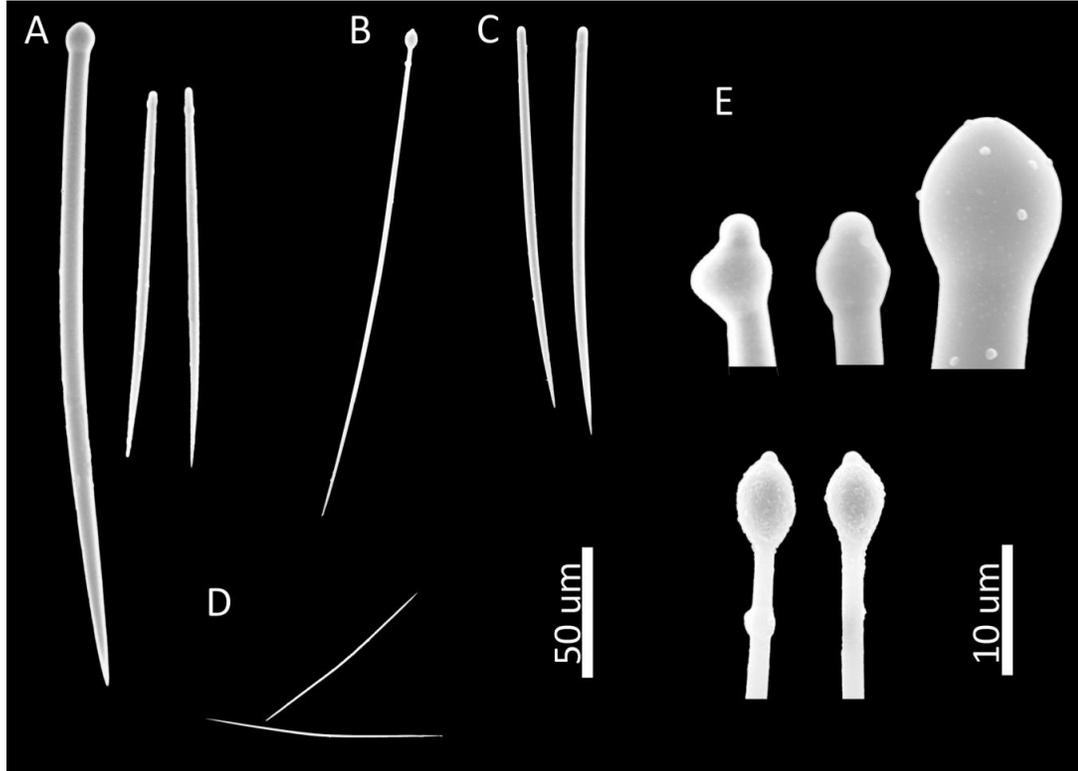


Fig. 3. Espículas de *C. amplicavata* al MEB. A) Tilostilos, B) Tilostilo inmaduro, C) Estilos, D) Ráfides, E) Variación morfológica de tilos.

Las cámaras excavadas por la esponja son de forma oval, las de mayor tamaño de 4,6 por 3,6 mm. Las cámaras se juntan a través de ductos de unión de 0,4 a 1,4 mm, de grosor. Las cámaras en ocasiones se pueden fusionar. Las marcas dejadas en el sustrato son áreas poligonales de 36 y 90 μm de diámetro menor y mayor respectivamente.

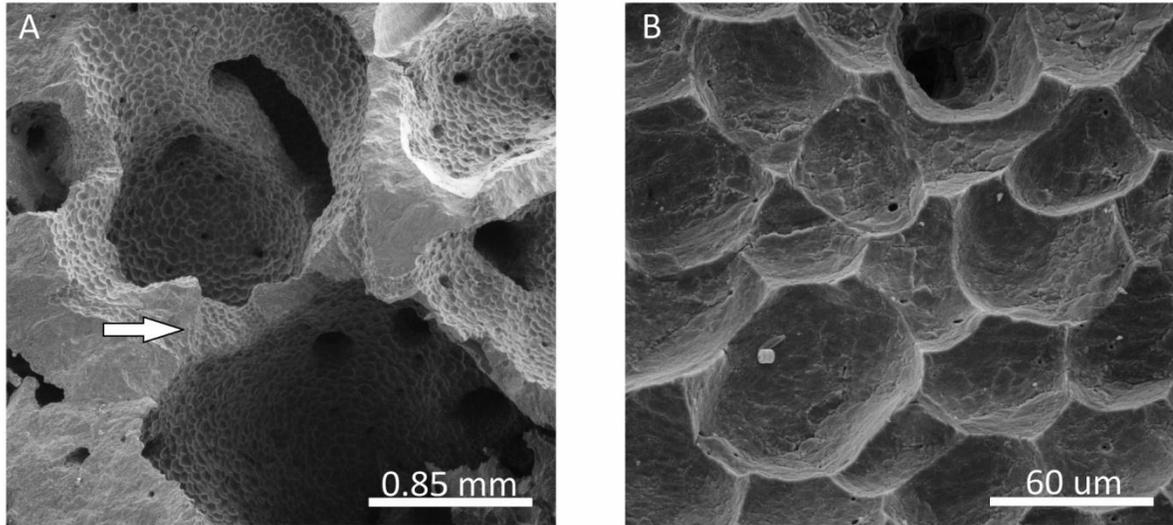


Fig. 4. Imagen de las cámaras excavadas por *C. amplicavata* al MEB. A) Cámaras y ducto de unión entre ellas (flecha), B) Marcas de erosión en las paredes de la cámara.

Distribución y hábitat

Cliona amplicavata se encontró originalmente en el Caribe (Rützler 1974), y posteriormente fue citada en el Mar Mediterráneo, donde llega a los 100 m de profundidad (Rosell & Uriz 2002). En el Pacífico se encuentra desde el Golfo de California hasta el estado de Oaxaca al Sur de México (Carballo *et al.* 2004), desde los 2 a los 18 m de profundidad.

En Costa Rica, la esponja fue encontrada en Bahía Culebra (Pacífico Norte) y Playa Blanca (Pacífico Central) a una profundidad entre 3 a 15 m.



Fig. 5. Distribución mundial de *C. amplicavata*.

Comentarios

Este es el primer registro en el país, y se amplía el ámbito de distribución de la especie al sur del Pacífico Tropical Oriental.

Algunas de las variaciones observadas en los tilostilos son la reducción de los tilos, en estos tilostilos la forma se asemeja a estilos. Además los tilostilos inmaduros se caracterizan por presentar el tilo granulado como se muestra en las imágenes.

Cliona californiana Laubenfels, 1932

Sinonimia

Cliona celata var. *californiana* Laubenfels, 1932. *Pseudosuberites pseudos* Dickinson, 1945. Hofknecht, 1978. *Cliona celata* Green & Gómez, 1986. *Cliona californiana* Carballo et al. 2004

Material revisado

CIMAR-BS-22, CIMAR-BS-24: Bahía Salinas, entre 10 y 21 m, 3.III.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-CU-11. Bahía Culebra, 8 m, 28.VI.2011, Cristian Pacheco Solano.

Descripción

La esponja en vivo tiene una coloración ocre, al preservarse se torna amarillo pálido o blanco. Las papilas característicamente sobresalen del sustrato inclusive una vez preservada. Estas tienen forma circular u oval, con un diámetro de 0,8 a 2,52 mm, y no se fusionan (fig. 6A). Los especímenes estudiados se encontraron en restos de coral muerto de los géneros: *Pocillopora* sp. y *Pavona* sp.

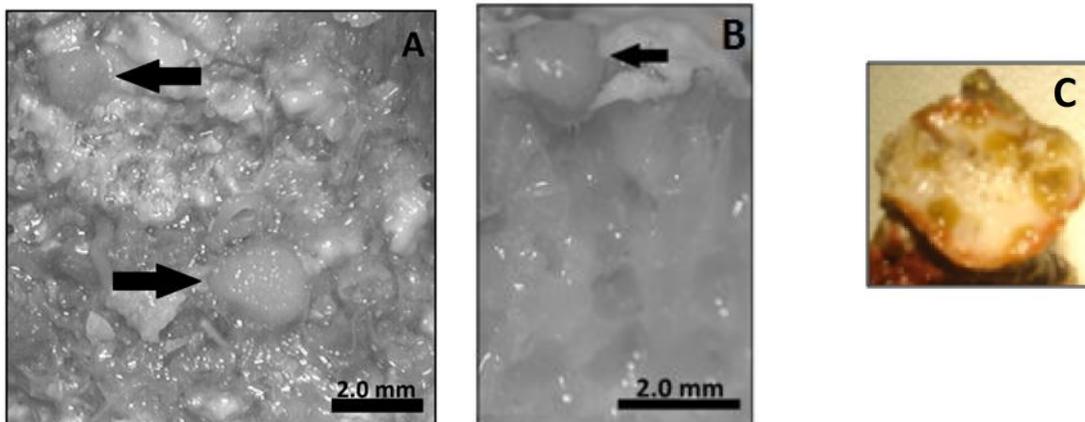


Fig. 6. Fotografías de *C. californiana* A) Papilas (flecha) en matriz arrecifal, B) corte transversal mostrando la papila (flecha), C) perforaciones en *Pocillopora* sp. con el tejido de la esponja, se aprecia la coloración en vivo.

La esponja presenta tilostilos, los cuales pueden ser rectos o curvados en su tercio superior de 125 a 272 μm de longitud, y de 0,8 a 8 μm de grosor, Los diámetros de los tilos están en un rango de 6 a 11,5 μm (Fig. 7A).

También presentan subtilostilos, los cuales son estilos con tilos desplazados hacia abajo o tilos casi imperceptibles a modo de estilos (Fig. 7B), con longitudes de 118 a 205 μm , y de 3,8 a 8 μm de grosor, y tilos de 4,5 a 9 μm de diámetro. En ocasiones el diámetro de la cabeza solo superaba al grosor de la espícula por menos de 0,5 μm o simplemente se notaba un leve engrosamiento.

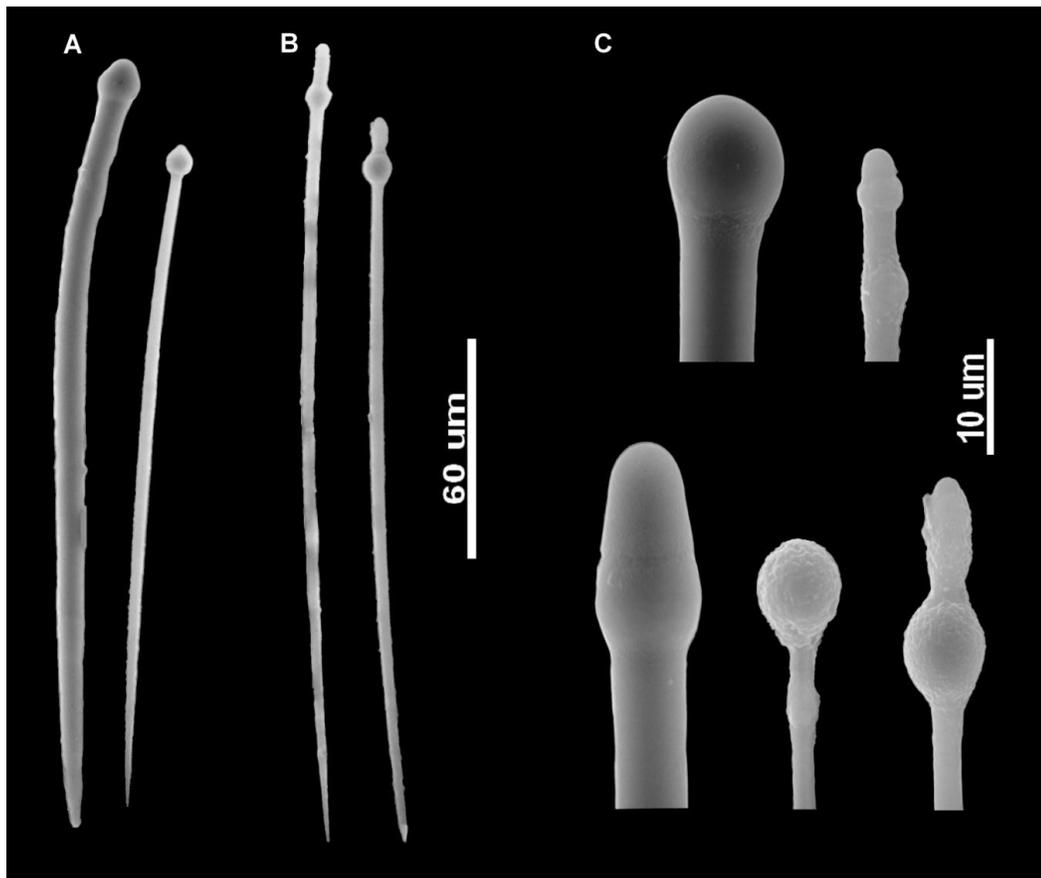


Fig. 7. Espículas *C. californiana*. Al MEB. A) Tilostilos, B) Subtilostilos, C) Tilos.

Cliona californiana forma galerías con una amplitud de 0,86 a 1,06 mm. La fusión de cámaras que conforman la galería hace que la perforación no tenga una forma

definida. Las marcas de la perforación son áreas poligonales que tienen rangos de 30 a 66 μm .

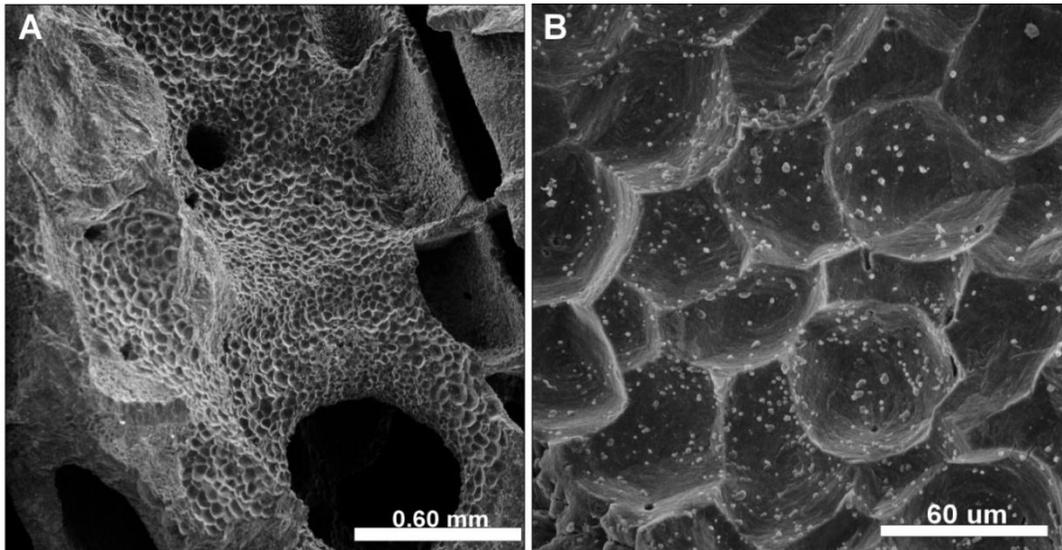


Fig. 8. Imagen de la perforación causada por *C. californiana* al MEB. A) Cámaras fusionadas, B) Marcas de perforación en las paredes de las cámaras.

Distribución y hábitat

La especie se encuentra en California, E.U.A., localidad tipo (Laubenfels 1932) y en el Golfo de California, México, donde también se ha reportado como *Pseudosuberites pseudos* (Dickinson 1945, Hofknecht 1978), y como *Cliona celata* (Green & Gómez 1986). Posteriormente ha sido encontrada en el Pacífico Mexicano a profundidades desde 1 a 53 m (Carballo *et al.* 2004).

En Costa Rica, se encontró en las bahías Culebra y Salinas, perforando coral de género *Porites lobata*, entre los 8 y los 21 m de profundidad.



Fig. 9. Distribución geográfica de *C. californiana*

Comentarios

La variación en los tilostilos de los ejemplares de Costa Rica es característica de *Cliona californiana*. Los tamaños espiculares también concuerda muy bien con Laubenfels (1932) y Carballo *et al.* (2008a).

Este es el primer registro de la especie para Costa Rica y amplía su distribución hacia el sur del Pacífico Tropical Oriental.

Cliona euryphylla Topsent, 1887

Sinonimia

Cliona euryphylla Topsent, 1887. *Cliona euryphylla* Laubenfels, 1954. Bergquist, 1968. Carballo *et al.* 2004.

Material examinado

CIMAR-BS-16, CIMAR-BS-20: Bahía Salinas, 20 m, 8.XII.2010, Cristian Pacheco Solano.
CIMAR-PL-04: Playa Blanca, 4 m, 11.IV.2011, Cristian Pacheco Solano. MZ-UCR-180. Isla del Caño, 4 m, 1984, Jorge Cortés Núñez.

Descripción

En vivo tiene una coloración naranja y preservada se torna blanca. Las papilas se aprecian a simple vista; se caracterizan por su forma irregular y tienen un diámetro promedio de 3 mm, además sobresalen del coral (Fig.10). Los especímenes analizados se encontraron en *Pavona* sp. y *Porites lobata* muerto, y en algunas muestras, también apareció *Cliona mucronata* (descrita más adelante).

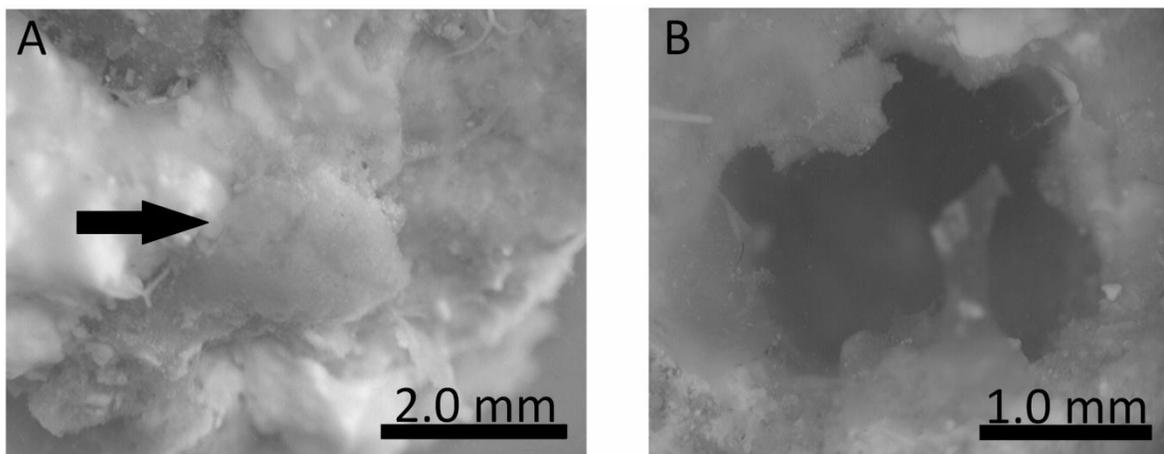


Fig. 10. A) Papila que se eleva sobre el alga calcárea que recubre superficialmente el coral, B) La papila fue removida para mostrar la perforación en el coral.

La especie presenta meglascleras y microscleras. El primer grupo consiste mayoritariamente de tilostilos de 120 μm a 300 μm de longitud y de 5 μm a 7,5 μm de grosor. El tilo mide de 6 a 10 μm de diámetro y puede presentar variaciones morfológicas (Fig.11A).

Las microscleras, presentes son las espirasters que son cortas y robustas con longitudes de 12 μm promedio, otras microscleras son largas y delgadas con longitud promedio de 24 μm , ambos grupos presentan espinas distribuidas a lo largo del tallo (Fig.11.B).

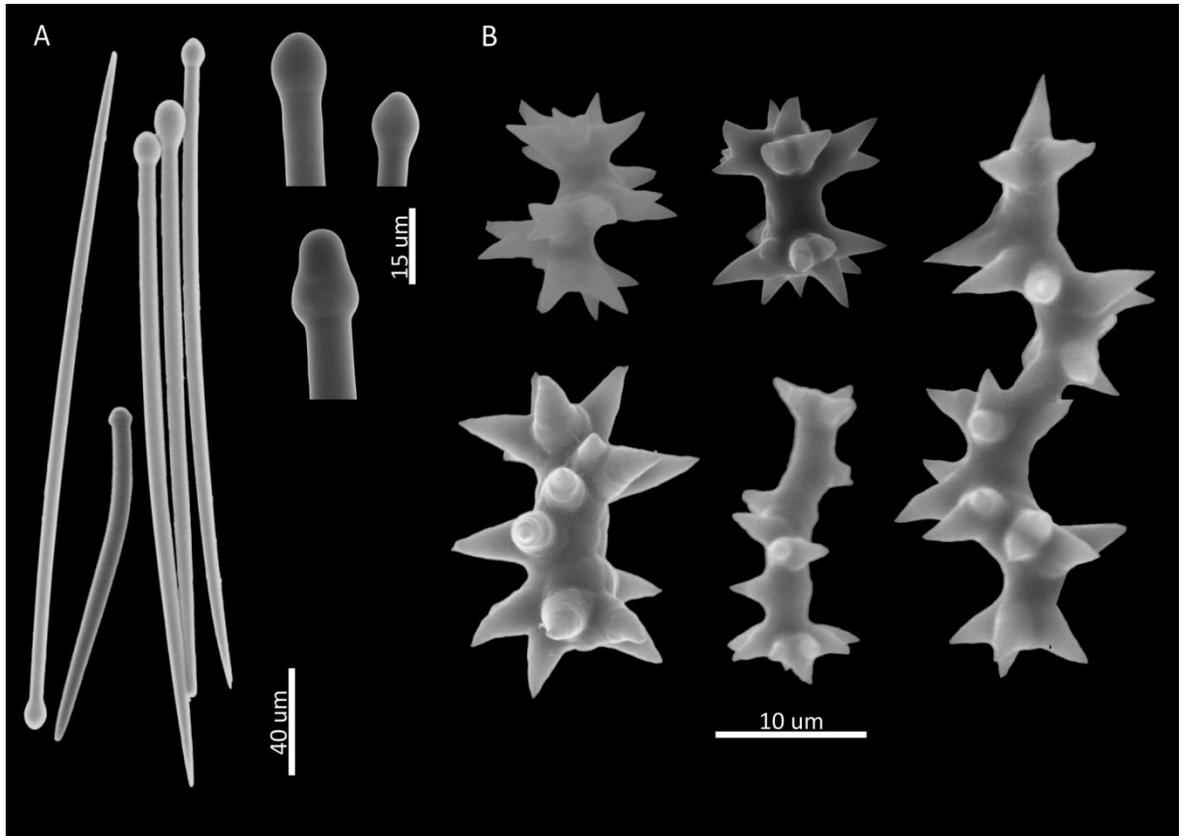


Fig. 11. Espículas de *C. euryphylla* al MEB, A) Tilostilos y la variación morfológica de los tilos, B) Espiraster cortos y largo.

La esponja excava galerías ovoides que van desde 1 a 2,5 mm de diámetro, posiblemente hay fusión de cámaras aunque no fue claro en los especímenes observados. Las marcas de erosión en las paredes de la cámara tienen diámetro de 28,2 a 70,5 μm .

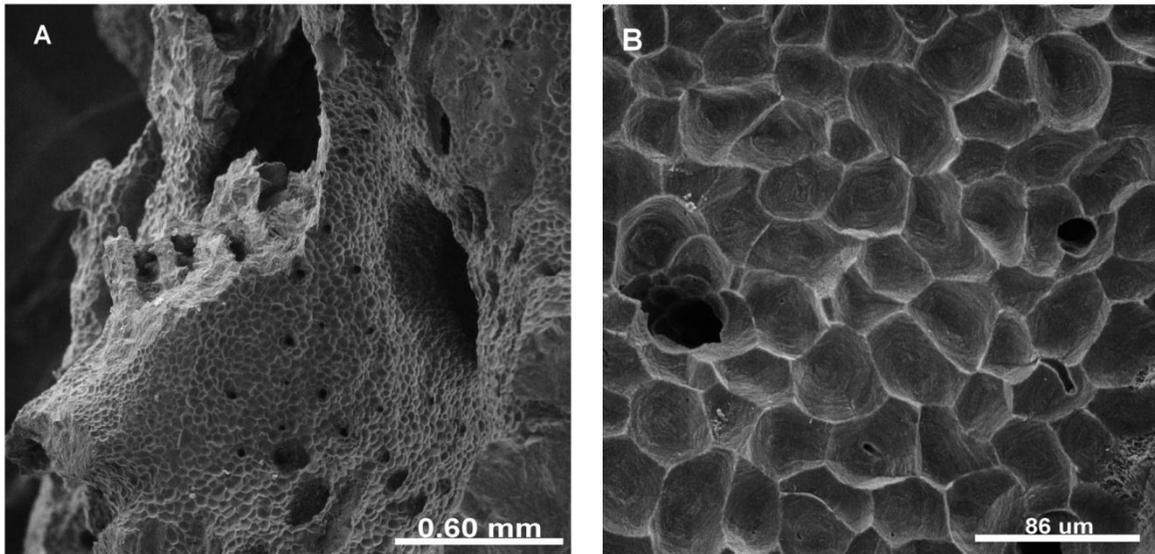


Fig. 12. A) Cámaras de perforación, B) marcas dejadas en las paredes de las cámaras.

Distribución:

La especie fue originalmente descrita del Golfo de México (Topsent 1888), posteriormente fue citada en Nueva Zelanda (Bergquist 1968). En el año 1954 es citada por primera vez en el Pacífico Central (Laubenfels 1954). Y Carballo *et al.* (2008a) reportan la especie en el Pacífico mexicano a profundidades entre 1 y 13 m.

En Costa Rica, *C euryphylla* se encontró en Bahía Salinas, Playa Blanca y se identificó en muestras del Museo provenientes de la Isla del Caño. El ámbito de profundidades es entre los 4 y 20 m.



Fig. 13. Distribución geográfica de *C. euryphylla*.

Comentarios

Este es primer registro de la especie en el país y amplía el ámbito de distribución de la especie hacia el sur del Pacífico Tropical Oriental.

Cliona mucronata Sollas, 1878.

Sinonimia

Cliona mucronata Sollas, 1878. *Cliona mucronata* Thomas 1972; Vacelet & Vasseur 1971; Desqueyroux-Faúndez 1981; Calcinai *et al.* 2005; Bautista *et al.* 2006.

Material examinado

CIMAR- BS-SA01, CIMAR-BS-11, CIMAR-BS-19: Bahía Salinas, 16 m. 8.XII.2010, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-BS-21, CIMAR-BS-22, CIMAR-BS-23, CIMAR-BS-25, CIMAR-BS-26, CIMAR-BS-50, CIMAR-BS-52, CIMAR-BS-53: Bahía Salinas, 8 a 20 m, 3.III.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-CU-05, CIMAR-CU-09(II), CIMAR-CU-09(III), CIMAR-CU-09(IV), CIMAR-CU-09(V), CIMAR-CU-05, CIMAR-CU-08, CIMAR-CU-14: Bahía Culebra, 8 a 15 m. 21.III.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-CU-120, CIMAR-CU-123, CIMAR-CU-127, CIMAR-CU-200, CIMAR-CU-201, CIMAR-CU-210/1, CIMAR-CU-191(I), CIMAR-CU-191(II), CIMAR-CU-191(III), CIMAR-CU-191(IV), CIMAR-CU-191(V): Bahía Culebra, 8 a 15 m, 18.VI.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-IC-21, CIMAR-IC-32: Isla del Caño, 10 m, 12.II.2011, Cristian Pacheco Solano.

Descripción

Su coloración en vivo es naranja, y preservada es parda. Las papilas poseen un diámetro promedio de 330 μm , y no se observó fusión entre ellas. Los especímenes se encontraron en coral vivo y muerto de *Pavona* sp, y coral muerto de *Porites lobata* y *Pocillopora* sp, además de conchas de moluscos muertos.

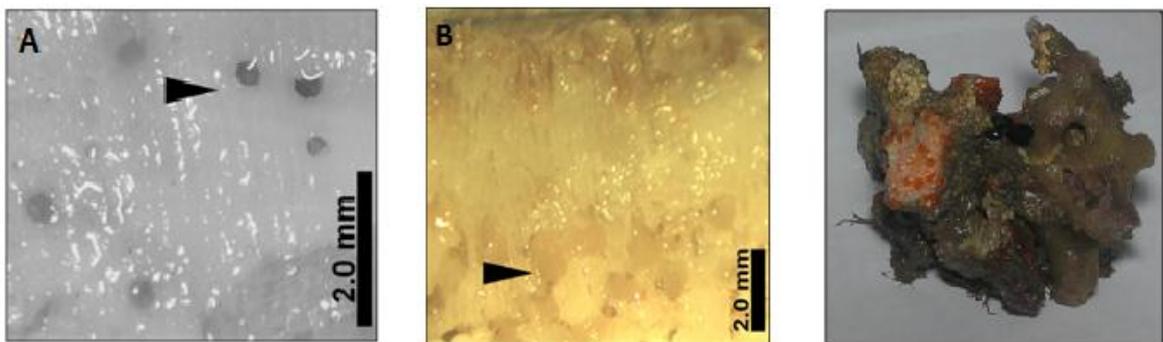


Fig. 14. Fotos de *C. mucronata*. A) Papilas (flecha), B) cámaras de perforaciones con tejido preservado (flecha), C) Perforaciones con tejido vivo y su coloración característica.

Presenta megascleras de los siguientes tipos: 1) tilostilos largos y delgados, con longitudes entre los 120 μm y los 162 μm , de 1,5 a 3 μm de ancho y de 3 a 6 μm de diámetro en la cabeza. 2) tilostilos ensiformes cortos con cabeza mucronada y longitudes

que van desde los 91 a los 102 μm , exhibiendo grosores entre 3 a 11 μm con cabezas de diámetros entre los 4,5 a los 15 μm (Fig. 15).

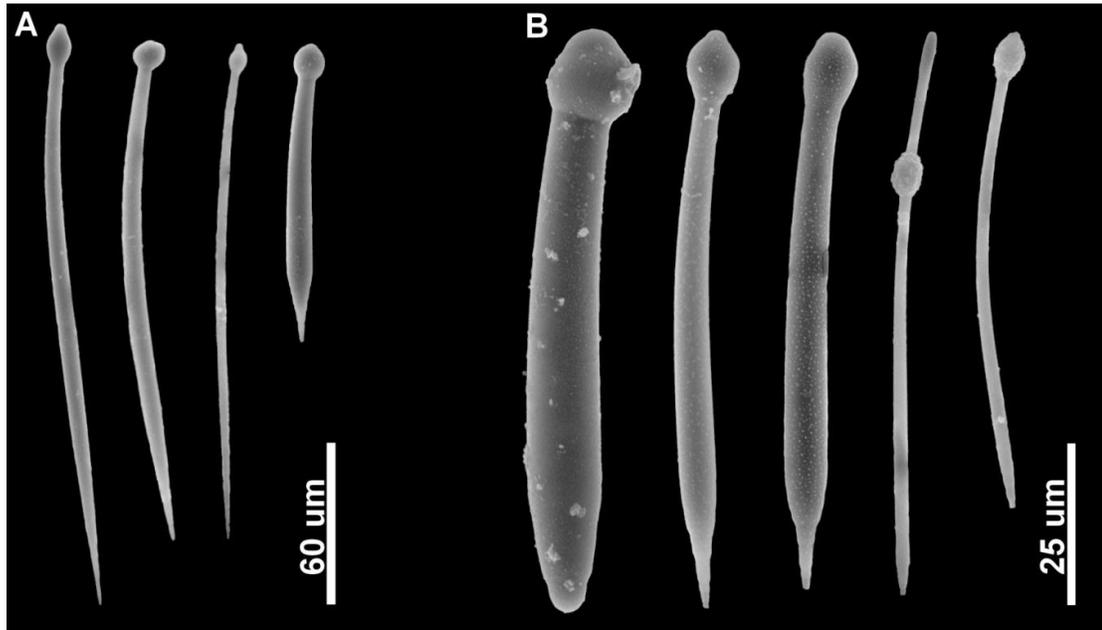


Fig. 15. Espículas de *C. mucronata* al MEB. A) Variación morfológica en los tilostilo, B) Tilostilos cortos característicos, a mayor magnificación.

Las perforaciones son poligonales, y las cámaras en promedio tienen un diámetro de 1 mm y posee ductos de unión con un grosor de 0.131 mm. En ocasiones se puede ver fusión de estas. Las marcas de perforación son áreas poligonales con diámetros entre los 24 y 66 μm .

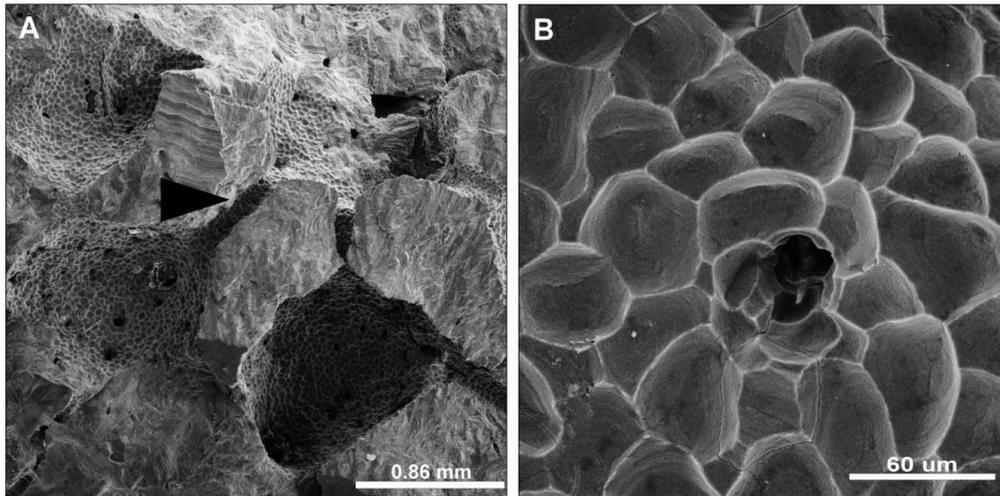


Fig. 16. Perforaciones de *C. mucronata* al MEB. A) Cámaras de perforación y ductos de unión (flecha), B) Marcas de perforación con perforación hecha por pseudopodios pioneros.
Distribución

Ha sido citada para el Indo-Pacífico y Australia (Sollas 1878, Thomas 1972, Vacelet & Vasseur 1971, Desqueyroux-Faúndez 1981, Calcinai *et al.* 2000, 2005), en costas americanas se tienen registros el Pacífico mexicano (Bautista-Guerrero *et al.* 2006, Carballo *et al.* 2008a). Ha sido encontrada a profundidades entre los 4 y 8 m.

En Costa Rica *C. mucronata* fue una de las especies más frecuentes en los muestreos del Pacífico Norte de Costa Rica, tanto para Bahía Salinas como Bahía Culebra y también se encontró en la Isla del Caño. Las muestras fueron recolectadas entre 8 y 20 m de profundidad.



Fig. 17. Distribución mundial de *C. mucronata*.

Comentarios

Estos son los primeros registros en el país y se amplía la distribución de la especie hacia el sur del Pacífico Tropical Oriental.

Cliona pocillopora Bautista-Guerrero, Carballo, Cruz-Barraza & Nava 2006.

Material examinado

CIMAR-ICo1, CIMAR-ICo-12. Parque Nacional Isla del Coco, 14 m, 4-11-2011, Jeffrey Sibaja Cordero.

Descripción

No se pudo observar la coloración en vivo, una vez preservada, la coloración del tejido es blanca o parda. Las papilas de forma circular, de 600 μm de diámetro en promedio, están dispersas por lo que son difíciles de observar. No se observó papilas fusionadas. Los especímenes analizados fueron encontrados en coral vivo del género *Pavona*.

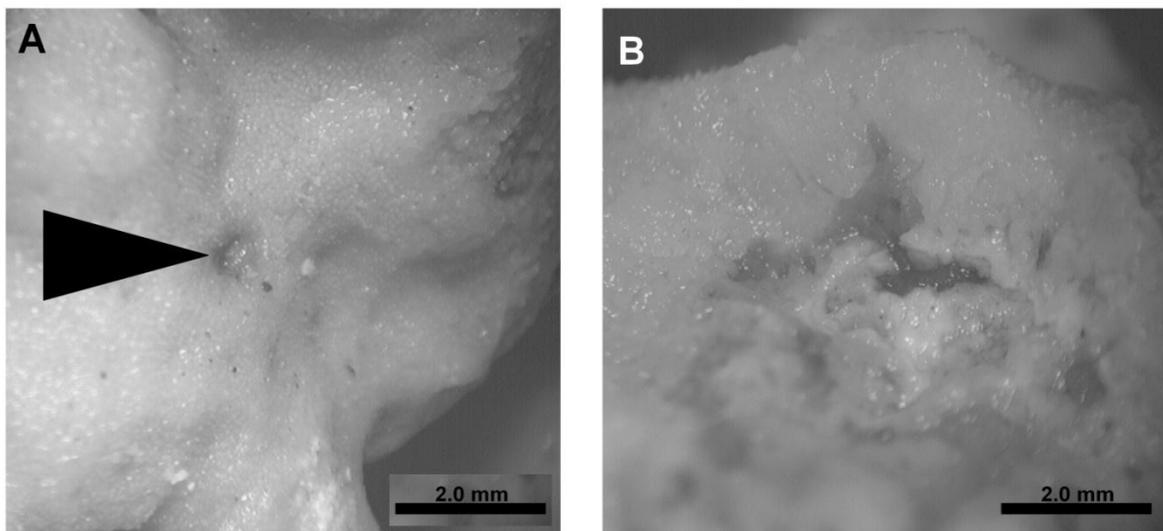


Fig. 18. Fotos de *C. pocillopora*. A) Papilas (flecha), B) Perforaciones en el coral con tejido de la esponja.

Las megascleras son tilostilos con formas muy variadas en donde los tilos se pueden ubicar en el extremo, o estar desplazados hacia la mitad de la espícula. La longitud de estos, varía entre 82 a 216 μm y el grosor entre 1,5 a 7 μm con diámetro de tilos entre los 3 y 9 μm . En algunos casos la diferencia entre el diámetro de la cabeza y el grosor de la espícula es pequeña y tiende a confundirse con un estilo.

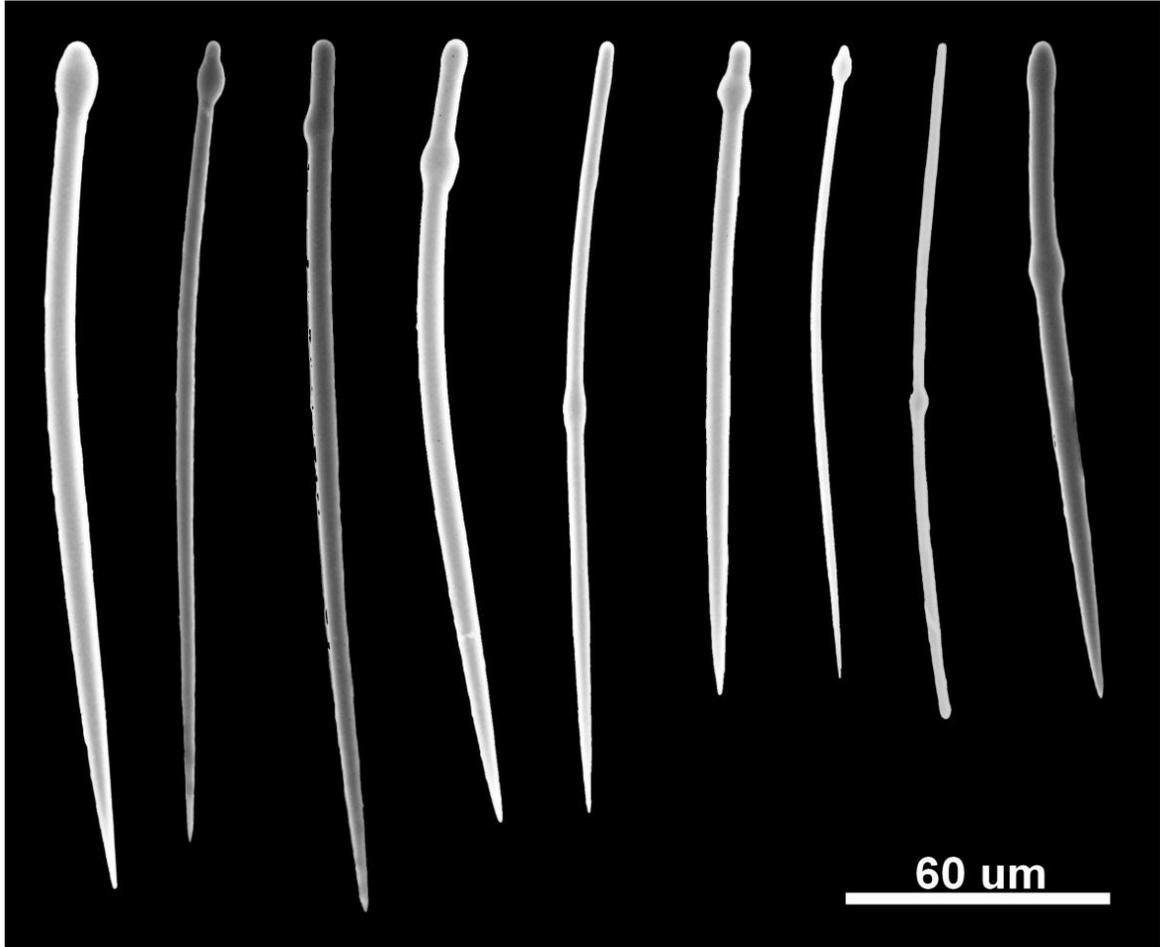


Fig. 19. *C. pocillopora* al MEB. Tilostilos en donde se aprecia las diferentes posiciones del tilo a lo largo de la espícula.

Las cámaras tienen un diámetro promedio de 860 μm y tienen ductos de unión de 152 μm promedio de grosor. No se observó fusión de cámaras. Las perforaciones son poligonales con diámetros entre 15 y 66 μm .

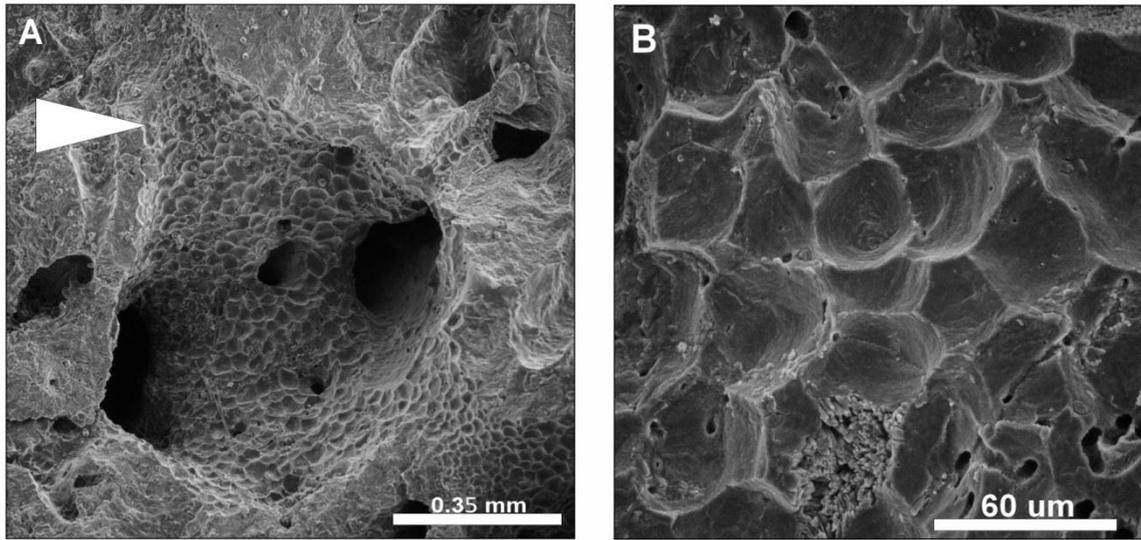


Fig. 20. Imágenes de las perforaciones de *C. pocillopora* al MEB. A. Cámara y ductos de unión con otras cámaras; B. marcas dejadas por la esponja durante el proceso de excavación.

Distribución

La especie fue descrita originalmente del Pacífico mexicano (Bautista-Guerrero *et al.* 2006) y aquí se informa para el Parque Nacional Isla del Coco, extendiendo su área de distribución hasta Centroamérica.



Fig. 21. Distribución geográfica de *C. pocillopora*

Comentarios

Estos son los primeros registros en el país y amplía la distribución hacia el sur del Pacífico Tropical Oriental.

Cliona vermifera Hancock, 1867.

Sinonimia

Cliona vermifera Hancock, 1867. *Cliona vermifera* Topsent 1889. *Cliona vermifera* Hechtel 1965. *Bernatia vermifera* Rosell & Uriz, 1997. *Cliona vermifera* Carballo et al. 2004

Material examinado

CIMAR-CU-06, CIMAR-CU-8.1, CIMAR-CU-09(I), CIMAR-CU-09(IIa) CIMAR-CU-09(V): Bahía Culebra, 10m, 21.III.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-CU-122, CIMAR-CU-123, CIMAR-CU-200, CIMAR-CU-201: Bahía Culebra, 10 m, 28.VI.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-IC-13, CIMAR-IC-21, CIMAR-IC-21.1, CIMAR-IC-34, CIMAR-IC-34.1: Isla del Caño, 5 m, 12.II.2011, Cristian Pacheco Solano.

Descripción

La especie presenta en vivo una coloración naranja, que al preservarla se torna parda o amarilla. Las papilas poseen una diámetro entre 0,6 y 1,2 mm. Los especímenes analizados fueron encontrados en coral muerto del género *Pocillopora* y *Porites*.

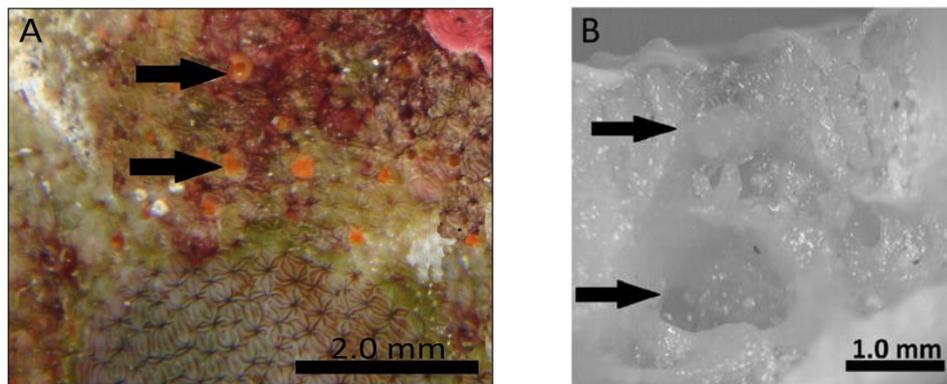


Fig. 22. A) Papilas de *C. vermifera* en vivo, B) vista transversal de la papila en la parte superior y la cámara perforada en la estructura coralina.

La espiculación está conformada por tilostilos con longitudes entre 100 a 294 μm . En la parte más gruesa de los tilostilos, los rangos son desde 1 hasta 9,5 μm y las cabezas tienen diámetros entre los 3 y los 13,5 μm . Un segundo tipo de espículas son los microstrongilos sinuosos con rangos de longitudes entre los 25 y los 64,5 μm y un grosor entre los 1,5 y 6 μm .

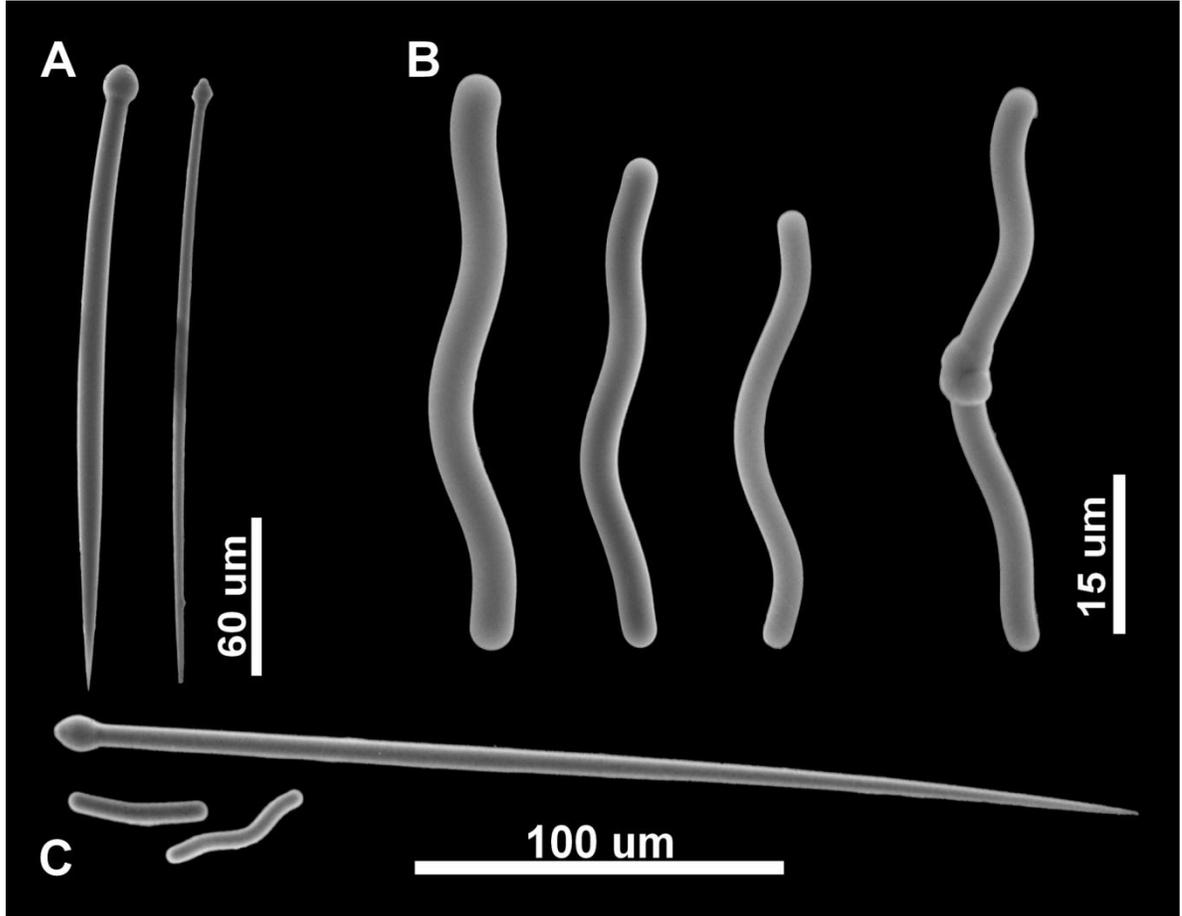


Fig. 23. Imagen de las espículas de *C. vermifera* al MEB. A) Tilostilo, B) Microstrongilos sinuosos y al margen derecho uno con malformación, C) Tilostilos y microstrongilos en la misma escala.

Las cámaras poseen una forma ovalada o irregular con amplitudes entre 0,8 y 3,04 mm, y pueden fusionarse. El ducto de unión tiene un grosor entre los 0,2 a los 0,8 mm. Las marcas producidas por la esponja son poligonales y miden entre 35,6 a 52.8 µm.

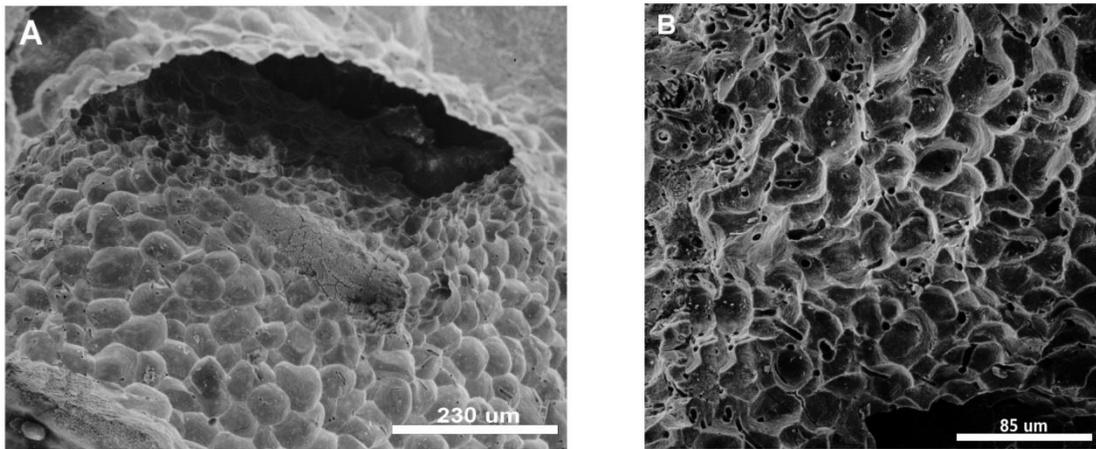


Fig. 24. Imagen de las perforaciones producidas por *C. vermifera* al MEB. A) Cámara de perforación, B) Marcas de perforación.

Distribución

C. vermifera es una especie cosmopolita encontrada en el Mediterráneo y océanos: Atlántico, Pacífico e Indico, y en el Mar Caribe (Carballo *et al.* 2008a). En el Pacífico Tropical Oriental, el punto más cercano a Costa Rica de donde se informa es la costa Sur de México.

En Costa Rica, las muestras se obtuvieron a profundidades de 10 m en Bahía Culebra, Pacífico Norte e Isla del Caño, Pacífico Sur. Se encuentra perforando coral del género *Pocillopora* y en matriz arrecifal.



Fig. 25. Distribución mundial de *C. vermifera*.

Comentarios

Las malformaciones, como la presentada en Fig.23.B, se distinguen debido a las formas poco comunes o únicas que se observan en las espículas. Este tema se abarcará en la discusión.

Cliona vermifera fue reportada por primera vez para la Isla del Caño por Guzmán (1988) y por Scott (1988). En este trabajo se vuelve a encontrar para la misma localidad y se agrega Bahía Culebra en el Pacífico Norte. Esta es, junto con *C. mucronata* la esponja más recurrente en los sitios muestreados.

Es notable la variedad que hay entre especímenes donde el número de microstrongilos sinuosos es más abundante en unos especímenes que en otros (Fig. 26). La Figura 26A solo tiene 9 microstrongilos sinuosos mientras que la Figura 26B posee una cantidad superior, en total 88, sin embargo se tuvo el cuidado de analizar una cantidad de

tejido similar en las dos. Los especímenes con las dos diferencias fueron encontrados en todos los sitios muestreados.

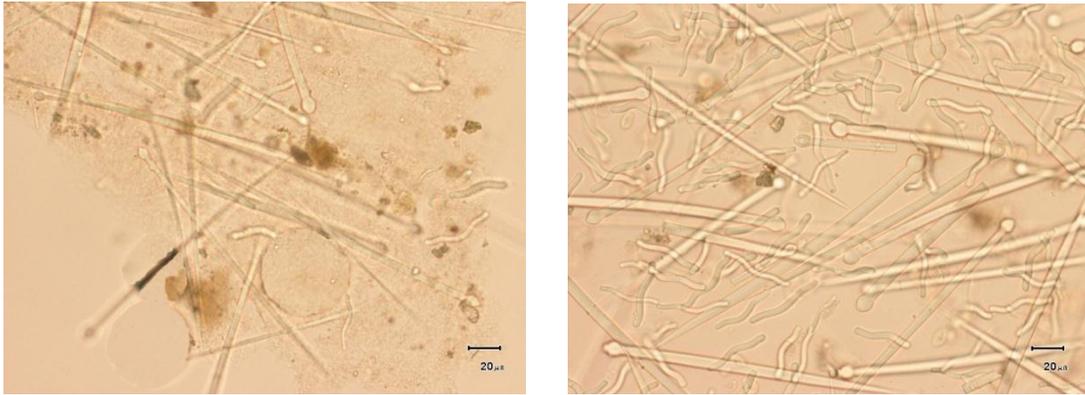


Fig. 26. Imagen de microscopía de luz para dos especímenes de *C. vermífera*. A) Se contabilizó 9 microstrongilos sinuosos, mientras que B) tiene 88 microstrongilos sinuoso.

Pione Gray, 1867

Especie tipo: *Cliona northumbrica* Hancock 1849.

Sinonimia

Pione Gray, 1867. *Archaeoclina* Czerniavsky, 1878. *Gapoda* Laubenfels, 1936. *Pione* Rützler, 2002. *Pione* Carballo *et al.* 2004.

Diagnosis

Esponja perforadora con formas de crecimiento alfa o beta. Las megascleras son tilostilos acompañados por microscleras, microxas microespinadas, raramente lisas y por microráfides microespinados. Los microráfides son normalmente rectos u ondulados pero también pueden ser centrotilotes. Las microxas no tienen una localización u orientación particular en el cuerpo de la esponja (Rützler 2002a).

Pione cf. carpenteri (Hancock, 1867)

Sinonimia

Cliona carpenteri Hancock, 1867. *Cliona bacillifera* Carter, 1887. *Pione carpenteri* Rosell & Uriz, 1997. *Pione carpenteri* Carballo et al. 2004.

Material examinado

CIMAR-Cu-19.22: Bahía Culebra, 3 m, 21.III.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-IC-10, CIMAR-IC-14: Isla del Caño, 5 m, 12.II.2011, Cristian Pacheco Solano. CIMAR-PL-101: Playa Blanca, 2 m, 16.IX.2011, Cristian Pacheco Solano.

Descripción

La esponja en vivo presenta una coloración amarilla. Los especímenes analizados fueron encontrados en coral muerto del género *Pocillopora* y conchas de moluscos muertos. Las papilas son muy pequeñas, de 390 μm de diámetro en promedio. En algunas muestras no se observaron.

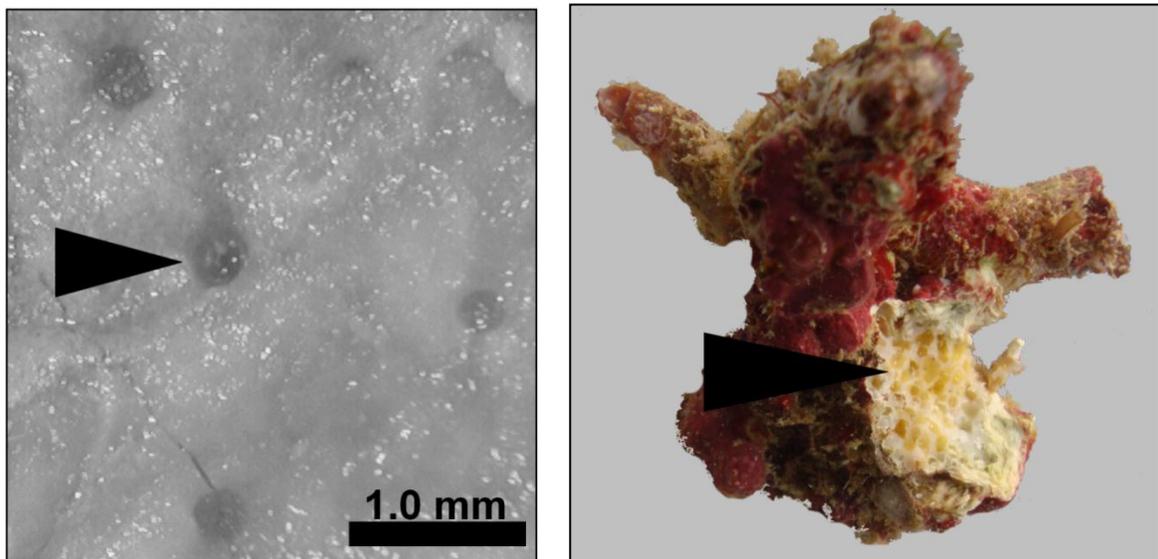


Fig. 27. Foto de las papilas y tejido (flecha) con la coloración en vivo de *P. cf. carpenteri*.

Presenta oxas con curvatura central, terminadas en punta por ambos extremos y cubiertas de espinas diminutas. Poseen longitudes entre rangos de 63 a 115 μm y de 3 a 6 μm de grosor. Los tilostilos son muy escasos en comparación con las oxas, son rectos, de 204 a 240 μm de longitud y de 3.8 μm de grosor en promedio. Los tilos miden de 4,5 a 6 μm de diámetro. También presenta microrhabdes que son muy numerosos, rectos y cubiertos de espinas robustas, de 9 y 12 μm de longitud.

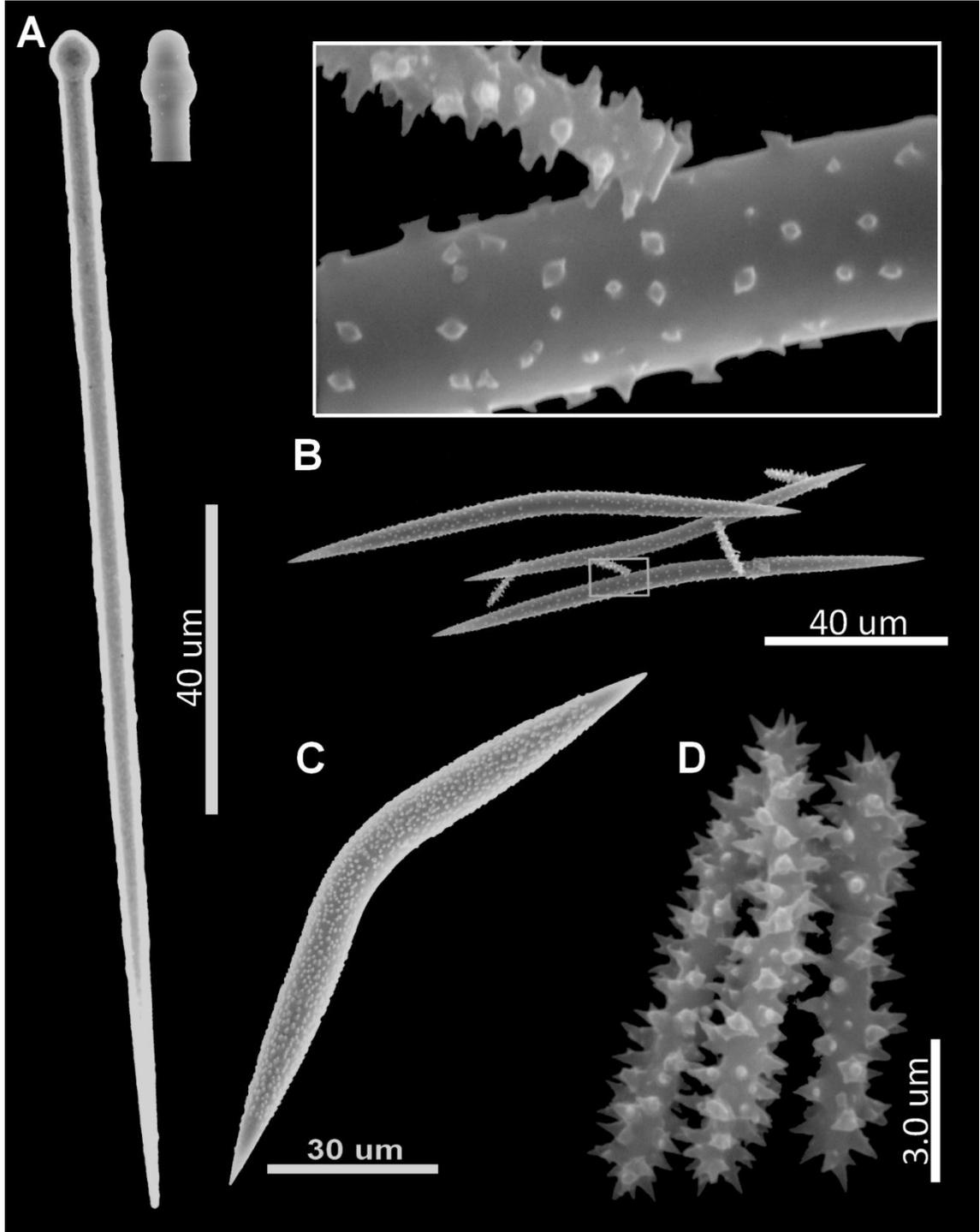


Fig. 28. Espículas de *Pione cf. carpenteri* al MEB. A) Tilostilo con variación de cabezas; B) Imagen de espículas oxas y microrhabdes, con magnificación del recuadro en donde se

muestra la microespinación de las oxas y un microrhabdes quebrado, C) Oxa, D) Tres microrhabdes.

Las cámaras perforadas en la estructura coralina tienen diámetros comprendidos entre 0,79 a 1,60 mm y están unidas por ductos de unión con un grosor de 315 μm promedio. No se observó fusión entre cámaras. Las marcas dejadas en las paredes de las cámaras son áreas poligonales que tienen un rango de diámetro entre los 20 y 102 μm

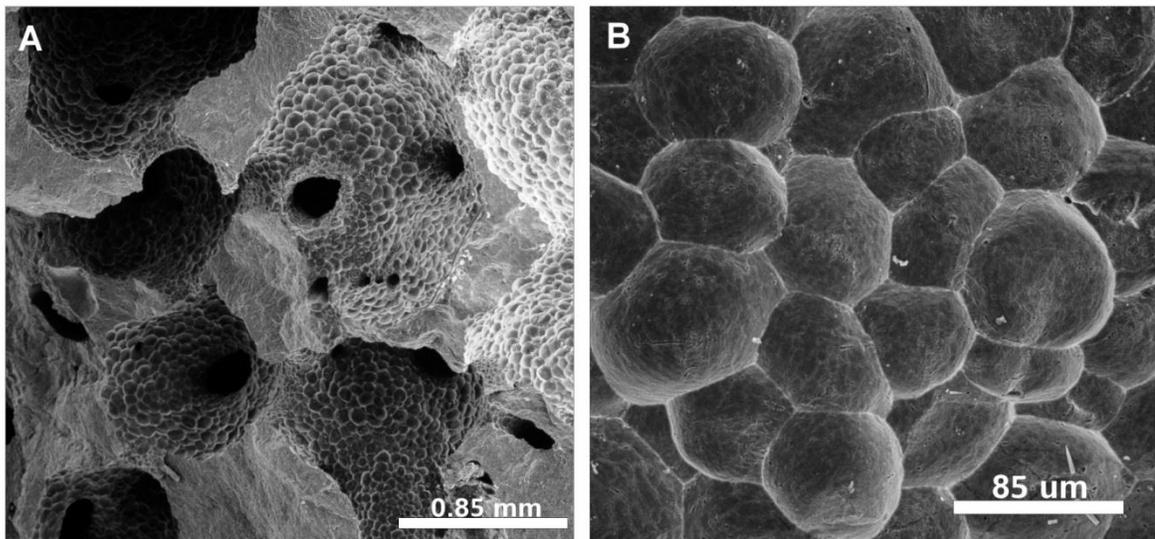


Fig. 29. Imágenes de *Pione cf. carpenteri* al MEB. A) Cámaras de perforación unidas por ductos, B) marcas de perforación.

Distribución

Los especímenes analizados fueron encontrados en Bahía Culebra, Playa Blanca e Isla del Caño (Fig. 30).

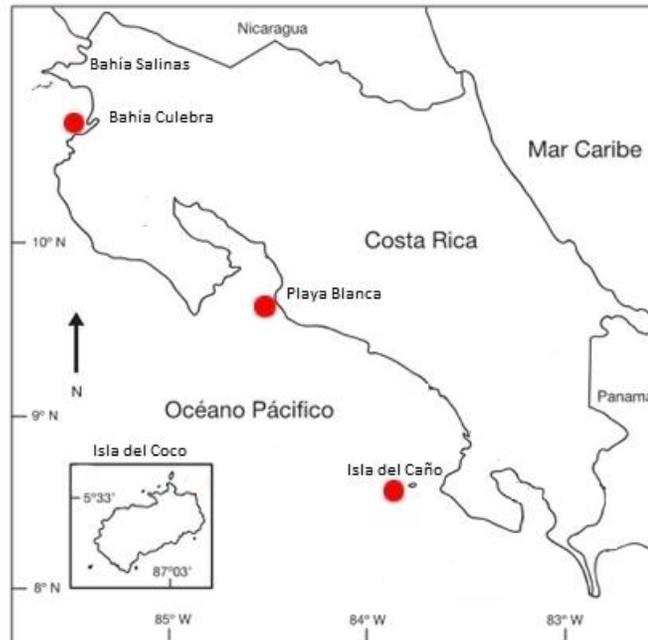


Fig. 30. Distribución en Costa Rica de *Pione* cf. *carpenteri*.

Comentarios

Las características morfológicas que se han descrito presentan algunas diferencias con otras especies de *Pione* descritas en el Pacífico (Carballo *et al.* 2004, 2008a). Estas diferencias se analizan más detenidamente en la discusión.

Thoosa Hancock, 1849

Especie tipo: *Thoosa cactoides* Hancock, 1849

Sinonimia

Thoosa Hancock, 1849. *Annandalea* Topsent 1928. *Annandalena* Topsent 1932. *Thooce* Laubenfels 1936. *Thoosa* Rützler 2002. *Thoosa* Carballo *et al.* 2004.

Diagnosis

Esponja perforadora con papilas. Las megascleras son tilostilos aunque pueden faltar en algunos individuos, poblaciones o especies. Normalmente hay muchos tipos y variaciones de microscleras, pero comúnmente son anfiásters y oxiásters. Los anfiásters son principalmente tilotes, microespinados en los extremos, pero varían en las distintas especies, incluyendo oxas con extremos lisos. Los oxiasteres presentan un centro pequeño, con 1 a 6 actinas largas y delgadas. La reducción de las espinas puede llevar a formas sigmoides centrotilotas o tiloestilos, debido a que las espinas tienden a ser curvadas o forma biradiada. Algunas especies pueden incluir microoxas y pseudoesterrásters (Rützler 2002a).

Thoosa mismalolli Carballo, Cruz-Barraza & Gómez 2004

Material examinado

MZ-UCR-182: Isla del Caño, 4 m, 1984, Jorge Cortés Núñez. CIAMR-IC-34,2: Isla del Caño, 10 m, 12.II.2011, Cristian Pacheco Solano.

Descripción

La coloración de las papilas no fue registrada en vivo, al preservar es blanca, tiene forma circular con diámetro promedio de 1,5 mm. Los especímenes se encontraron en coral muerto del género *Pocillopora*.

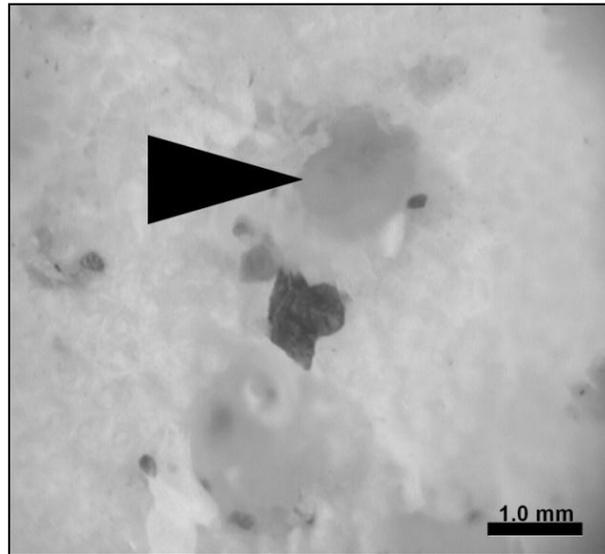


Fig. 31. Papilas de *T. mismalolli*.

En las espículas (Fig. 32) se distinguen: 1) Oxas centrotíloles que no son muy numerosos y tienen una longitud promedio de 53,4 μm y 1,1 μm de ancho. 2) anfiaster gruesos con 14 nódulos, siete a cada extremo del tallo, las tilos (proyecciones) presentan terminaciones con espinas reducidas. Además presentan una longitud de 24 μm y un grosor promedio de 9 μm . 3) anfiaster delgados con 14 nódulos, siete en cada extremo del tallo, superficie verrugosa y terminaciones irregulares o lisas, tienen en promedio 19 μm de largo y un grosor entre 1,5-3 μm . 4) Oxiásteres bi-radiales, tri-radiales o tetra-radiales, algunas con microespinas o abultaciones en extremos. Las longitudes promedio de cada espina en las bi-radiales y tri-radiales es de 35 μm y un grosor de 1,5 μm . Las tetra-radiales pueden presentar tallos de 15 μm . 5) Tilostilos que son muy escasos y no se pudo obtener su longitud.

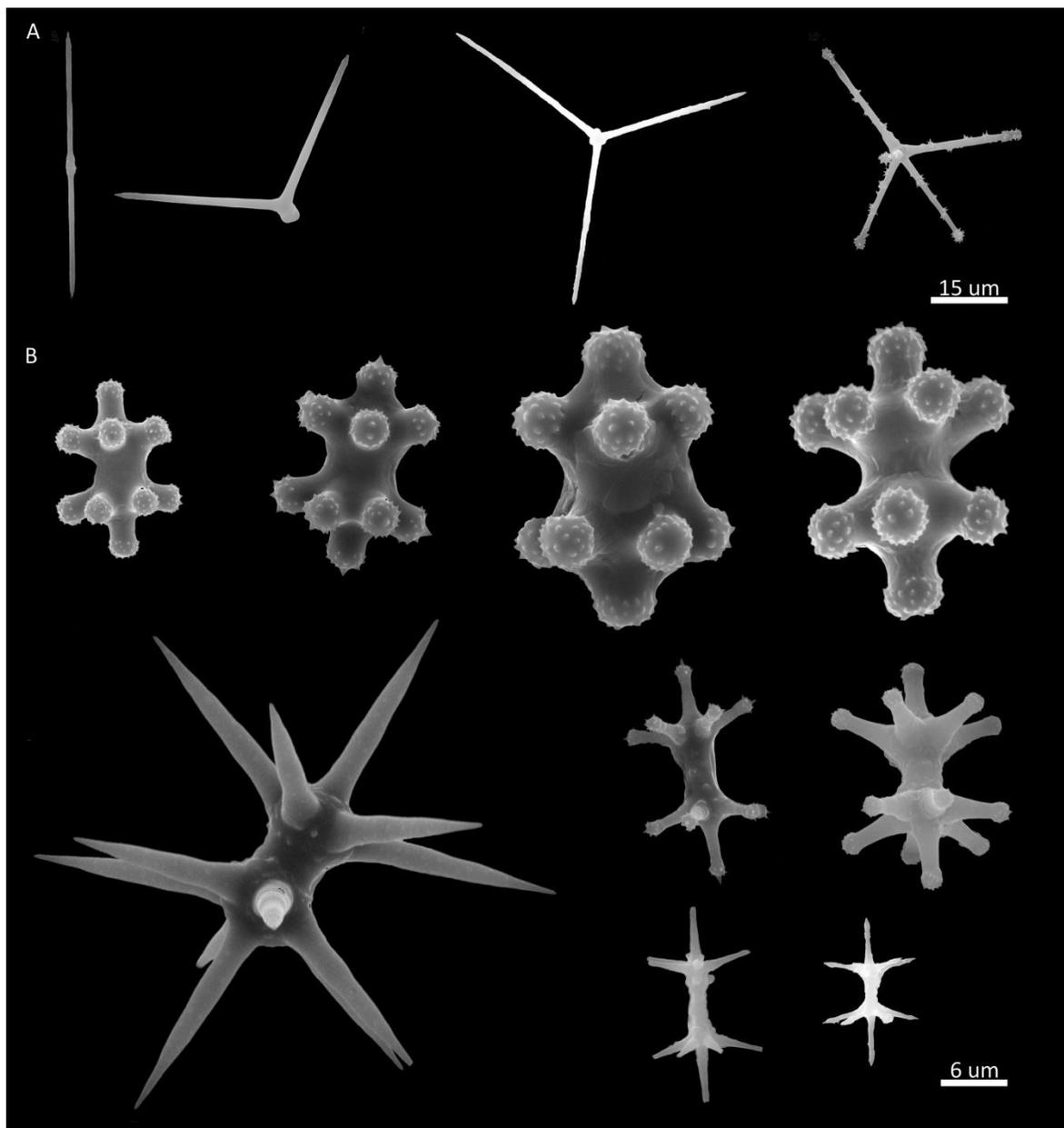


Fig. 32. Espículas de *T. mismalolli* al MEB. A) Oxa centrotílotos, Oxiasteres bi-radiales, tri-radiales y tetra-radiales, C) Anfiasteres gruesos y delgados.

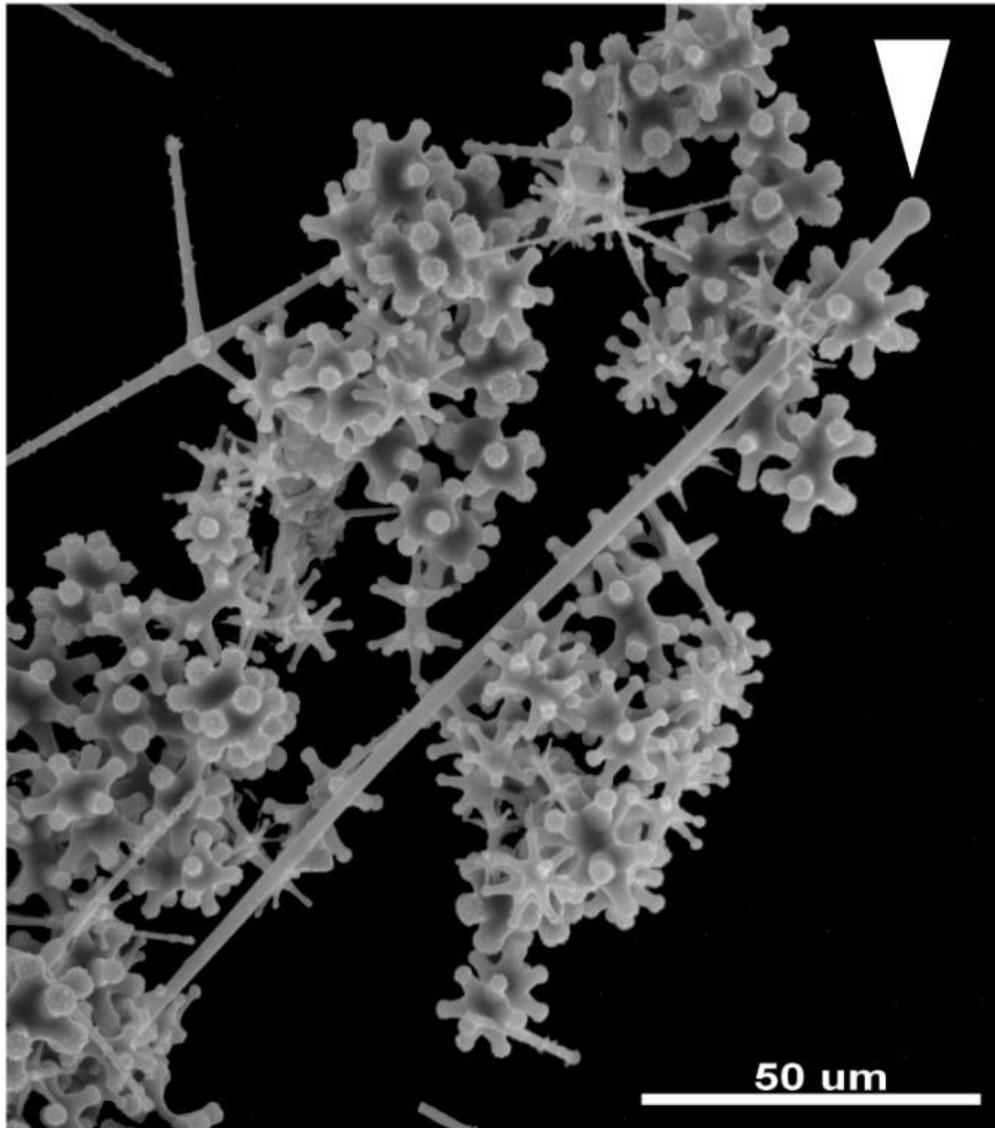


Fig. 33. Espícula de *T. mismalolli* al MEB. Tilostilo (flecha) rodeado por anfiasteres y algunos oxiasteres tetra-radiales.

Presenta un patrón de perforación formado por grandes galerías debido a la fusión de cámaras. Estas galerías pueden tener aberturas de 2 mm. Las marcas de perforación dejadas en las paredes son poligonales, de 29 a 55,6 μm de diámetro. Por otro lado, la superficie de estas áreas es irregular a diferencia de las analizadas para el género *Cliona* o *Pione*.

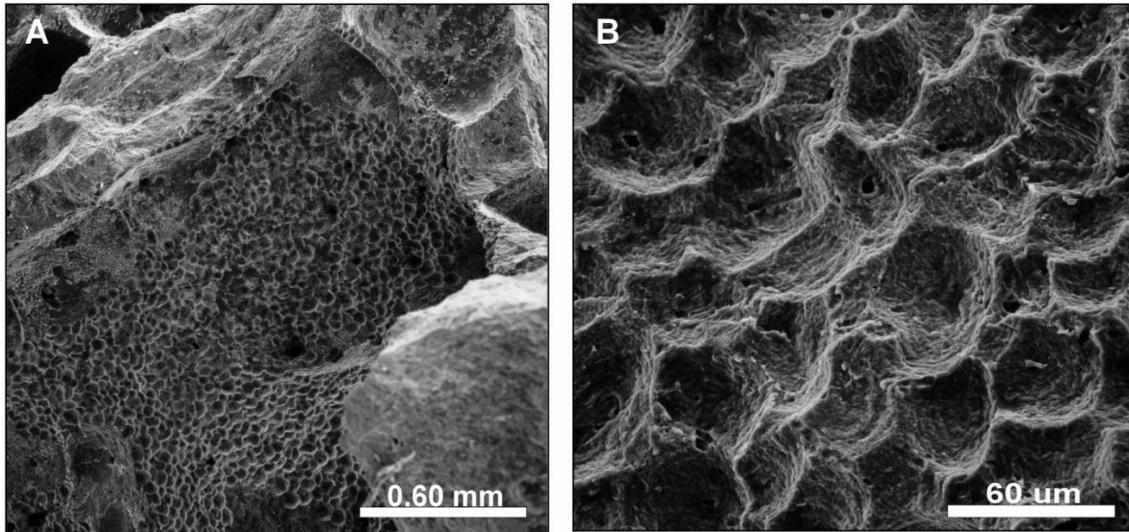


Fig. 34. Imagen del patrón de perforación en *T. mismalolli* al MEB. A) Galería producto de la fusión de cámaras, B) marcas de perforación, se observa lo irregular de su superficie.

Distribución

Los datos que se tienen para la distribución de *T. mismalolli* son del Pacífico México y las profundidades van desde el intermareal hasta los 7 m de profundidad (Carballo *et al.* 2008a).

En Costa Rica los especímenes fueron encontrados en la Isla del Caño a 4 y 10 m. de profundidad y también se revisó un espécimen de Museo proveniente de la misma localidad y recolectado en 1984.



Fig. 35. Distribución geográfica de *T. mismalolli*.

Comentarios

Este es un nuevo informe para el país y amplía el ámbito de distribución mundial al ser el primer registro de la especie fuera de México.

ESPONJAS PERFORADORAS MENCIONADAS EN ESTUDIOS PREVIOS

A continuación se resumen en el Cuadro 1 las especies reportadas para el Pacífico de Costa Rica y la información geográfica disponible que valida o pone en duda el registro.

Cuadro 1. Especies de esponjas perforadoras reportadas para el Pacífico costarricense, información de las publicaciones y su estado actual según la Base de Datos Porífera (Van Soest *et al.* 2011).

Especie	Sitio	Publicación	Estado	Información de Base de Datos Porífera
<i>Cliona viridis</i>	IC	Scott <i>et al.</i> 1988	?	No es válida para el Océano Pacífico
<i>Cliona lampa</i>	IC	Scott <i>et al.</i> 1988	?	Aceptada como <i>Pione lampa</i> . No es válida para el Océano Pacífico
<i>Cliona vermífera</i>	IC	Guzmán 1988	Válido	Informada para el Océano Pacífico
<i>Cliothisa hanckoki</i>	IC	Scott <i>et al.</i> 1988	?	Aceptada como <i>C. tylostrongylata</i> . Válida para el Océano Pacífico
<i>Thoosa sp.</i>	ND	Cortés <i>et al.</i> 2009a	Válido	Informada para Océano Pacífico
<i>Thoosa mollis</i>	IC	Guzmán 1988	?	No es válida para el Océano Pacífico
<i>Aka sp.</i>	IC	Scott <i>et al.</i> 1988	?	Informada para el Océano Pacífico
<i>Anthosigmella sp.</i>	IC	Scott <i>et al.</i> 1988	?	Aceptada como <i>Cliona</i> y válida para el Océano Pacífico

ND: no determina

IC: Isla del Caño

No se tienen los especímenes estudiados en los trabajos mencionados (Cuadro 1), y solo se encontró una colección de láminas fijas realizada por van der Hal (2006). Sin embargo, las láminas no están bien procesadas por lo que la identificación no es posible. Además, no se cuenta con datos como sustrato u otras características que ayuden a determinar la validez del registro.

DISCUSIÓN

Durante este estudio, se ha comprobado el valor taxonómico de las espículas de sílice en la identificación de las esponjas perforadoras. También han sido patente las

variaciones, malformaciones o inclusive estadios de desarrollo de las mismas, por lo que resulta interesante discutir brevemente estas observaciones.

Los esclerositos son las células especializadas en la formación de las espículas, donde el sílice es depositado alrededor del filamento axial, de origen proteico, incrementando el grosor de la espícula (Schönberg 2001, Uriz *et al.* 2003). Durante la formación de los tilostilos, se ha observado que los tilos presentan gránulos de sílice de 0,1 a 2 μm de diámetro (Schönberg 2001), dando la forma granulada al tilo en las espículas inmaduras. Las malformaciones aparecen al darse una deformación en el filamento axial o una quebradura en un estadio temprano en la formación de la espícula (Shönberg 2001).

Con respecto al patrón de perforación de las cámaras observado en todas las especies, las estructuras descritas como ductos de unión son los espacios ocupados por los diafragmas de la esponja, cuya función es la regulación del paso de agua entre las cámaras (Rosell & Uriz 2002). Por otro lado, las áreas poligonales que marcan las paredes de las cámaras son producto del proceso de erosión químico y físico por parte de las células de la esponja en el carbonato de calcio (Rosell & Uriz 2002).

La observación de un patrón diferente en las áreas poligonales para el género *Thoosa* puede ser debido a las diferentes formas de pseudópodos de las células perforadoras (Calcinai *et al.* 2003).

Por otro lado, la especie *Cliona vermifera*, presentó una variación en el número de espirasters sinuosos, la observación no se encontró reportada en otros artículos, caben tres posibles explicaciones: primera, se debe a la variación normal de la especie; segunda, se debe al estadio de desarrollo del espécimen, que permite que se observe una diferencia cuantificable en el número de espirasteres sinuosos, y la tercera; se podría tratar de dos especies diferentes que necesitarían ser comprobadas por análisis molecular, sin embargo al no haber diferencias morfológicas más que el número de espículas, las explicaciones más parsimoniosas serían las dos primeras, por lo que habría que recolectar y analizar más especímenes.

En cuanto a la especie descrita como *Pione* cf. *carpenteri* se debe considerar que a pesar de que la identificación del género es fácil debido al tipo de espículas, la identificación de las especies llega a ser compleja debido a que las características morfológicas que son diagnósticas se llegan a traslapar entre las especies (Ferrario *et al.* 2010). La especie descrita en esta tesis posee tres diferencias observables en los microrhabdes en comparación con *P. carpenteri*. La primera es que los microrhabdes tienen terminaciones obtusas para *P. carpenteri* (Carballo *et al.* 2004), no es así para las descritas en esta tesis. La segunda, las microespinaciones son muy pequeñas para *P. carpenteri* (Carballo *et al.* 2004) en comparación a las microespinaciones encontrados en el Pacífico costarricense. Por último Carballo *et al.* (2008a) informan una longitud promedio para los microrhabdes de 17,5 μm , mientras que la longitud hallada aquí es entre 9 a 12 μm (Fig. 37)

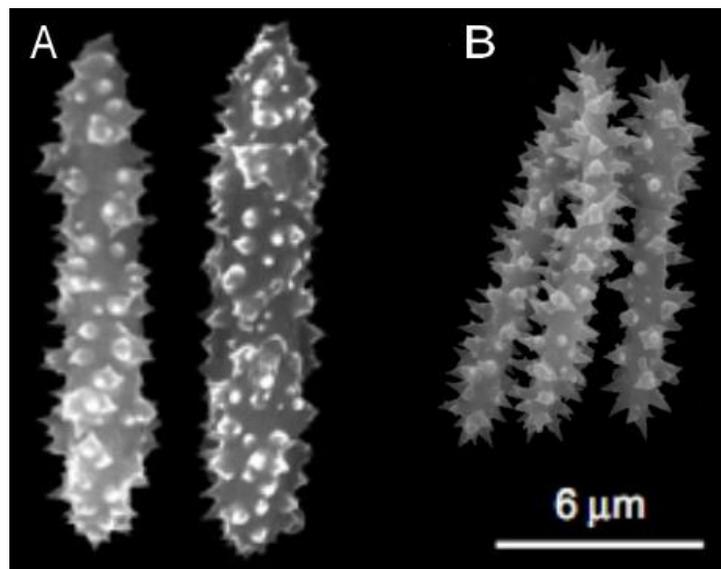


Fig. 36. A) Microrhabdes de *Pione carpenteri* tomado de Carballo *et al.* (2004). B) Microrhabdes del espécimen estudiado en esta tesis.

Estas diferencias en los microrhabdes sugieren la posibilidad de que el espécimen de Costa Rica sea una nueva especie para la ciencia. Las diferencias halladas en este trabajo, justifican una descripción exhaustiva de los especímenes encontrados y su posterior análisis molecular.

Teniendo en cuenta las especies estudiadas, se puede analizar los sitios que muestran mayor diversidad, estos son: el Pacífico Norte en las bahías Salinas y Culebra, y en el Pacífico Sur la Isla del Caño (Cuadro 2). Estos sitios coinciden con los que presentan mayor número de especies de coral (Cortés y Jiménez 2003).

Además Cortés y Murillo (1985) y Jiménez (1997) han destacado el desarrollo turístico de estos sitios como uno de los principales factores causantes de estrés y daños físicos en las comunidades arrecifales. Se ha indicado que el buceo recreativo genera rompimiento de corales (Hawkins & Roberts 1992). Ese daño físico puede ser un factor beneficioso para las esponjas, ya que el coral muerto aumenta la disponibilidad de sustrato calcáreo expuesto (Carballo *et al.* 2008a).

La combinación de factores como número de especies de coral y daño físico presentes en las comunidades arrecifales, podría asociarse a la variedad de sustratos que pueden estar vinculados con una alta diversidad de esponjas perforadoras. Esto coincide con la teoría de la diversidad animal dirigida por la heterogeneidad de hábitat (MacArthur & MacArthur 1961, Tews *et al.* 2004, Cramer & Willig 2005). Sin embargo no se cuenta con datos en este estudio que puedan sustentar esta hipótesis.

Cuadro 2. Presencia de esponjas perforadoras por sitios en la costa Pacífica de Costa Rica

	Bahía Salinas	Bahía Culebra	Playa Blanca	Isla del Caño	Isla del Coco
<i>Cliona amplicavata</i>	X	X	X		
<i>Cliona californiana</i>	X	X			
<i>Cliona euryphylla</i>	X		X	X	
<i>Cliona mucronata</i>	X	X		X	
<i>Cliona pocillopora</i>					X
<i>Cliona vermifera</i>		X		X	
<i>Pione cf. carpenteri</i>		X	X	X	
<i>Thoosa mismaloll</i>				X	
Total de especies	5	5	3	5	1

Los sitios con más riqueza de especies, están relacionados con el esfuerzo de muestreo efectuado durante este estudio. En el Pacífico Central se realizaron únicamente dos giras y en el caso de la Isla del Coco, las muestras fueron aportadas por otro investigador. Esto contrasta con el número de giras a Bahía Salinas (4 giras) y Bahía Culebra (3 giras) y la más larga a la Isla del Caño (1 gira de 5 días de trabajo).

De las esponjas perforadoras citadas previamente en la literatura, los géneros *Cliona* y *Thoosa* mantienen su valides y se informan de nuevo en esta tesis. El género *Antosigmella* Topsent, 1918, citado por Scott *et al.* 1988 es sustituido y en la actualidad es el género *Cliona* Rützler, 2002 (ver sinonimia de *Cliona*).

El género *Aka* fue informado por primera vez para el Pacífico mexicano cuando en el 2007 Carballo y colaboradores describieron la especie *Aka cryptica*. A la fecha no se ha obtenido otro informe de esta o ninguna otra especie de este género fuera del Pacífico Mexicano (Carballo *et al.* 2008a), así que la cita de Costa Rica del año 1988 es dudosa y no hay forma de corroborar el registro. Por otro lado, el género *Aka*, es fácilmente

confundido, ya que las mismas espículas están presentes en esponjas no perforadoras asociadas a cavidades perforadas por otras esponjas.

Cliothesa hancoki es mencionada por Scott *et al.* (1988) en la Isla del Caño, en este estudio no se encontró. Esta especie se informa para el Pacífico por Carballo *et al.* (2008a), pero posteriormente Cruz-Barraza *et al.* (2011) justifican el cambio a *Cliothesa tylostrongylata* debido a la presencia de tilostrongilos (tilostilos sin punta). Se coloca en estado dudoso al no tener espécimen que justifique el registro.

De las especies previamente informadas para el Pacífico costarricense, la única especie considerada como válida es *C. vermifera* informada por Guzmán en 1988, la cual también ha sido recolectada y analizada. Algunas otras especies pudieron ser confundidas con especies del Atlántico u otras regiones.

Durante este estudio la especie *Cliona viridis* informada por Scott *et al.* (1988), no se encontró presente en el sitio donde fue mencionada y se sospecha que fue confundida con la especie *Cliona tropicalis* descrita por Cruz-Barraza *et al.* (2011), ya que ambas especies pertenecen al complejo *Cliona viridis*. Scott *et al.* (1988) reportan también a *Cliona lampa* para la Isla del Caño, esta especie descrita en Bermudas (Laubenfels 1950) es aceptada como *Pione lampa* y su distribución se restringe al Atlántico (van Soest *et al.* 2011). Por otro lado *P. lampa* puede ser confundida con la especie que se informa como *Pione cf. carpenteri* hallada en este estudio.

Thoosa mollis fue citada tanto en el estudio de Scott *et al.* (1988) como por Guzmán (1988), sin embargo la distribución de esta especie está restringida al Mar Adriático, Croacia y aguas europeas. Es posible pensar que lo que realmente se encontró es *Thoosa mismalolli* descrita para el Pacífico por Carballo *et al.* (2004) y que fue identificada en este estudio.

Cortés *et al.* (2009a) al realizar el compendio de biodiversidad marina de Costa Rica descartan las especies antes mencionadas con excepción del género *Thoosa*, ellos citan la referencia MZ-UCR-182 que fue identificada en esta tesis como *T. mismalolli*. Sin embargo

la especie fue clasificada dentro de la familia Spirastrellidae y no Clionidae donde pertenece.

CONCLUSIONES

Comparando las especies de esponjas perforadoras informadas en la literatura con las que están depositadas en las colecciones del Museo de Zoología de la Escuela de Biología y las que se recolectaron durante el estudio realizado para esta tesis, se llega a las siguientes conclusiones:

Se incrementa en siete nuevos registros la lista de especies de esponjas perforadoras para el país, agrupadas en dos géneros: *Cliona*, y *Thoosa*. Las especies son: *C. amplicavata*, *C. californiana*, *C. euryphylla*, *C. mucronata*, *C. pocillopora*, *C. vermifera* y *Thoosa mismalolli*, y además se amplía el ámbito de distribución mundial de estas especies hacia el sur del POT. Los especímenes junto con láminas fijas y muestras preparadas para MEB serán depositados en el Museo de Zoología de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

Se informa un nuevo género de esponja perforadora para el país, *Pione*, y se ha empezado a trabajar con la descripción morfológica de esta especie sugerida como nueva para la ciencia. Se requerirá seguir buscando especímenes para un análisis genético con un poder de resolución capaz de aclarar la duda planteada en esta investigación.

De las esponjas perforadoras del Pacífico de Costa Rica informadas previamente, solamente una especie, *Cliona vermifera*, y el género *Thoosa*, son validos. Todas las muestras de esponjas perforadoras depositadas previamente en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica han sido identificadas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda un estudio más exhaustivo a lo largo de toda la costa pacífica costarricense y la Isla del Coco, que haga que la lista de especies de esponjas perforadoras crezca y posiblemente también se encuentren otras nuevas especies.

Todavía se desconoce lo que se pueda hallar en el resto de países centroamericanos por lo que se recomienda empezar a desarrollar trabajos que cubran ese vacío de información del POT. Además, de realizar estudios similares al expuesto aquí en la costa Caribe, que permitan conocer la diversidad así como establecer comparaciones con el Pacífico.

Por último, los estudios ecológicos sobre esponjas perforadoras, ayudarán a comprender de mejor forma las relaciones construcción-destrucción de los arrecifes en la región. Se deja el campo abierto y nuevas inquietudes para continuar con estudios futuros.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a todo el Comité Asesor, el tener un panorama más despejado y poder ver un poco más allá ha sido por el hecho de estar en hombros de gigantes:

Al Dr. Juan José Luis Carballo por su colaboración e instrucción en esta tesis y la rica experiencia que obtuve con su visita a Costa Rica en el 2010 y la posterior estadía de investigación que realicé en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2011. Gracias por su instrucción, correcciones, consejos y hospitalidad.

Al Dr. Jorge Cortés Núñez por el apoyo dado a esta tesis y la confianza puesta en mí durante este tiempo en el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Costa Rica. El contacto con el Filo Porifera no hubiera sido posible sin él, gracias por su continuo ánimo a seguir creciendo.

A la Dra. Odalisca Breedy Shadid, por su apoyo y consejos en el trabajo de microscopía y la oportunidad brindada para trabajar en el Centro de Investigación de Estructuras Microscópicas de la Universidad de Costa Rica.

A la Master Rita Vargas Castillo, por su consejo como profesora y su confianza y apoyo desde el Museo de Zoología de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica.

Un especial agradecimiento a mis colegas del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Autónoma Nacional de México que me han enseñado el valor del trabajo junto a porifólogos que compartieron su experiencia y entusiasmo: Eric Bautista Guerrero, José Antonio Cruz Barraza, Benjamín Yañez, Jesús Armando Chaves, Lilia Rendón, José María Aguilar y Cristina.

Se agradece también, la confianza y apoyo prestados por los directores de los centros de investigación en los que se desarrollo esta tesis: Dr. Álvaro Morales del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología y al Dr. Alberto Alape del Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas.

Y un agradecimiento a los que directa o indirectamente me han ayudado en las giras, laboratorio e identificación del coral: Celeste, Eddy, Eleazar y Oscar.

Por último, esta tesis no se hubiera logrado sin la colaboración financiera del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT) de la República de Costa Rica (177-2011) y el fondo de apoyo para trabajos finales de graduación a estudiantes de grado 2011, otorgado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, y el apoyo logístico del CIMAR y específicamente de los proyectos del Dr. Jorge Cortés Núñez (808-98-013, 808-A5-037 y 808-B0-854).

REFERENCIAS

- Alvarado, J.J., J. Cortés, C. Fernández & J. Nivia. 2005. Coral communities and reefs of Ballena Marine National Park, Pacific coast of Costa Rica. *Cienc. Mar.* 31: 641-651.
- Alvarado, J.J., C. Fernández & J. Cortés. 2009. Water quality conditions on coral reef at the Marino Ballena National Park, Pacific Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.* 84: 137-157.
- Barruca, M., F. Azzini, G. Bavestrello, M. Biscotti, B. Calcinai, A. Canapa, C. Cerrano & E. Olmo. 2007. The systematics position of some boring sponges (Demospongiae, Hadromerida) studied by molecular analysis. *Mar. Biol.* 151: 529-535.
- Bautista-Guerrero, E., J.L. Carballo, J.A. Cruz-Barraza & H.H. Nava. 2006. New coral reef boring sponges (Hadromerida: Clionaidae) from Mexican Pacific Ocean. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 86: 963-970.
- Bautista-Guerrero, E., J.L. Carballo & M. Maldonado. 2010. Reproductive cycle of the coral-excavating sponge *Thosa mismalolli* (Clionaidae) from Mexican Pacific coral reefs. *Invertebr. Biol.* 129: 285-296.
- Bautista-Guerrero, E. 2011. Biología reproductiva de esponjas excavadoras de corales hermatípicos del género *Pocillopora*. Tesis de Doctor, Univ. Nac. Aut. México, Mazatlán, México. 137p.
- Bergquist P.R. 1968. The marine fauna of New Zealand: Porifera, Demospongiae, Part 1 (Tetractinomorpha and Lithistida). *New Zealand Oceanogr. Inst. Mem.* 188: 1-105.
- Boury-Esnault, N. & K. Rützler. 1997. Thesaurus of Sponges Morphology. *Smithsonian Contr. Zool.* 596: 64p.

- Bromley, R.G. & O.S. Tendal. 1973. Example of substrate competition and phototropism between two clionid sponges. *J. Zool.* 169: 151-155.
- Bromley, R.G. & A. D'Alessandro. 1990. Comparative analysis of bioerosion in deep and shallow water, Pliocene to Recent, Mediterranean Sea. *Ichnos* 1: 43-49.
- Brusca, R.C. & G.J. Brusca. 2005. *Invertebrados*. 2da. Ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España. 1005 p.
- Calcinaï, B., C. Cerrano, M. Sara & G. Bavestrello. 2000. Boring sponges (Porifera, Demospongiae) from the Indian Ocean. *Italian. J. Zool.* 67: 203-219.
- Calcinaï, B., A. Arillo, C. Cerrano & G. Bavestrello. 2003. Taxonomy-related differences in the excavating micro-patterns of boring sponges. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 83: 37-39.
- Calcinaï, B., G. Bavestrello & C. Cerrano. 2005. Excavating sponges from the Indo-Pacific Ocean. *Zool. Stud.* 44: 5-18.
- Calcinaï, B., C. Cerrano & G. Bavestrello. 2007. Three new species and one re-description of *Aka*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 87: 1355-1365.
- Carballo, J.L., P. Gómez, J.A. Cruz-Barraza & D.M. Flores-Sánchez. 2003. Sponges of the Family Chondrillidae (Porifera: Demospongiae) from the Pacific coast of Mexico, with the description of three new species. *Proc. Biol. Soc. Washington* 116: 515-527.
- Carballo, J.L., J.A. Cruz-Barraza & P. Gómez. 2004. Taxonomy and description of clionid sponges (Hadromerida, Clionidae) from the Pacific Ocean of México. *Zool. J. Linn. Soc. Lond* 141: 353-397.

- Carballo, J.L., L. Hepburn, H.H. Nava, J.A. Cruz-Barraza & E. Bautista-Guerrero. 2007. Coral boring *Aka*-species (Porifera: Phloeodictyidae) from Mexico with description of *Aka cryptica* sp. nov. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 87: 1477-1484.
- Carballo, J.L., J.A. Cruz-Barraza, H. Nava & E. Bautista-Guerrero. 2008a. Esponjas perforadoras de sustratos calcáreos. Importancia en los ecosistemas arrecifales del Pacífico este. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México D.F, México. 183 p.
- Carballo, J.L., E. Bautista-Guerrero & G.E. Leyte-Morales. 2008b. Boring sponges and the modeling of coral reefs in the east Pacific Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 356: 113-122.
- Cobb, W.R. 1969. Penetration of calcium carbonate substrates by the boring sponge, *Cliona*. Amer. Zool. 9: 783-790.
- Cobb, W.R. 1975. Fine structural features of destruction of calcareous substrata by the burrowing sponge *Cliona celata*. Trans. Am. Microsc. Soc. 94: 197-202.
- Cortés, J. 1996. Biodiversidad marina de Costa Rica: Filo Porifera. Rev. Biol. Trop. 44: 911-914.
- Cortés, J. 2008. Historia de la investigación marina de la Isla del Coco, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 56 (Supl. 2): 1-18.
- Cortés, J. & M.M. Murillo. 1985. Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 33: 197-202.

- Cortés, J. & C. Jiménez. 2003. Corals and coral reefs of the Pacific of Costa Rica: History, research and status, p. 361-385. *In*: J. Cortés (ed.). Latin American Coral Reefs. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Cortés, J. & I. Wehrtmann. 2009. Diversity of Marine Habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica, p. 1-45. *In*: I.S. Wehrtmann, & J. Cortés (eds). Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America. Springer, Berlin.
- Cortés, J., N. Van Der Hal & R.W.M. Van Soest. 2009a. Sponges, Text: Pp. 137-142, Species List: Compact Disc Pp. 83-93. *In*: I.S. Wehrtmann, & J. Cortés (eds). Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America. Springer, Berlin.
- Cortés, J., H.M. Guzmán, A.C. Fonseca, J.J. Alvarado, O. Breedy, C. Fernández, A. Segura & E. Ruiz. 2009b. Ambientes y organismos marinos de la Reserva Isla del Caño, Área de Conservación Osa, Costa Rica. Serie Técnica: Apoyando los esfuerzos en el manejo y protección de la biodiversidad tropical, Número 13. The Nature Conservancy (TNC), San José, Costa Rica. 48 p.
- Cramer, M.J. & M.R. Willig. 2005. Habitat heterogeneity, species diversity and null models. *Oikos* 108:209-218.
- Cruz-Barraza, J.A. 2008. Taxonomía y distribución de las esponjas marinas (Porifera: Demospongiae) del Pacífico mexicano. Tesis de Doctor, Univ. Nac. Aut. México, Mazatlán, México. 571 p.
- Cruz-Barraza, J.A., J.L. Carballo, E. Bautista-Guerrero & H. Nava. 2011. New species of excavating sponges (Porifera: Demospongiae) on coral reefs from the Mexican Pacific Ocean. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 91: 999-1013.

- Desqueyroux-Faúndez, R. 1981. Revision de la collection d'éponge d' Amboine (Moluques, Indonésie) constitué par Bedot et Pictet et conservée au Muséum d'histoire naturelle de Geneve. *Rev. Suisse Zool.* 88: 723-764.
- Desqueyroux-Faúndez, R. & C. Valentine. 2002. Family Phloeodictyidae Carter, 1882, Pp. 893-905 *In*: J.N.A Hooper & R.W.M. Van Soest (eds.). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.
- Diaz, M.C. & K. Rützler. 2001. Sponges: an essential component of Caribbean coral reefs. *Bull. Mar. Sci.* 69: 535-546.
- Dickinson, M.G. 1945. Sponges of the Gulf of California. *Allan Hancock Pac. Exp.* 11: 1-251.
- Ferrario, F., B. Calcinai, D. Erpenbeck, P. Galli & G. Wörheide. 2010. Two *Pion* species (Hadromerida, Clionaidae) from the Red Sea: a taxonomical challenge. *Org. Divers. Evol.* 10: 275-285.
- Fonseca, A.C. 1999. Bioerosión y bioacreción en arrecifes coralinos del Pacífico Sur de Costa Rica. Tesis de Maestría, Univ. Costa Rica, San Pedro, Costa Rica. 206 p.
- Fonseca, A.C. & J. Cortés. 1998. Coral borers of the Eastern Pacific: *Aspidosiphon* (A.) *elegans* (Sipuncula: Aspidosiphonidae) and *Pomatogebia rugosa* (Crustacea: Upogebiidae). *Pac. Sci.* 52: 170-175.
- Futterer, D.K. 1974. Significance of the boring sponge *Cliona* for the origin of fine grained material of carbonate sediments. *J. Sed. Petrol.* 44: 79-84.
- Glynn, P.W. 1997. Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance, p. 69-98. *In* C. Birkeland (eds). *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall, New York, Estados Unidos.

- Green, G. & P. Gómez. 1986. Estudio taxonómico de las esponjas de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales Inst. Cienc. Mar Limnol. U.N.A México* 13: 273-300.
- Guzmán, H.M. 1988. Distribución y abundancia de organismos coralívoros en los arrecifes coralinos de la Isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36: 191-207.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1989. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 44: 1186-1194.
- Hawkins, J.P. & C.M. Roberts. 1992. Effects of recreational SCUBA diving on fore-reef slope communities of coral reefs. *Biol. Conserv.* 62: 171-178.
- Hoeksema, B.W. 1983. Excavation patterns and spiculae dimensions of the boring sponge *Cliona celata* from the SW Netherlands. *Senck. Marit.* 15: 55-85.
- Hofknecht, G. 1978. Descriptions and key to the intertidal sponges of the Puerto Peñasco area in the Gulf of California. *J. Arizona Nevada Acad. Sci.* 13: 51-56.
- Hooper, J.N.A. 2002. Family Acarnidae Dendy, 1922, p. 412-431. *In*: J.N.A. Hooper & R.W.M. Van Soest (eds.). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.
- Hooper, J.N.A. & R.W.M. Van Soest (Eds). 2002a. *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York. 1810 p.
- Hooper, J.N.A. & R.W.M. Van Soest. 2002b. Order Hadromerida Topsent, 1894, p. 169-172. *In* J.N.A. Hooper & R.W.M. Van Soest (eds). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.

- Hooper, J.N.A., Van Soest, R.W.M. & F. Debrenne. 2002. Phylum porífera Grant, 1836, p. 9-13. *In* J.N.A. Hooper & R.W.M. Van Soest (eds). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.
- Hutchings, P. 2011. Bioerosión: pp 139-156. *In* D. Hopley (ed.). *Encyclopedia of Modern Coral Reefs: Structure, Form and Processes*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Jiménez, C.E. 1997. Corals and coral reefs of Culebra Bay, Pacific coast of Costa Rica: anarchy in the reef. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, Panamá 1: 329-334.
- Jiménez, C. 2001. Arrecifes y ambientes coralinos de Bahía culebra, Pacífico de Costa Rica: aspectos biológicos, económicos recreativos y de manejo. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 215-231.
- Jiménez, C.E. & J. Cortés. 2001. Effects of the 1991-92 El Niño on scleractinian corals of the Costa Rica central Pacific coast. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 239-250.
- Laubenfels, M.W. de. 1932. The marine and freshwater sponges of California. *Proc. U.S. Natl. Mus.* 81: 1-40.
- Laubenfels, M.W. de. 1950. The Porifera of the Bermuda Archipelago. *Trans. Zool. Soc. London.* XXVII: 1-153.
- Laubenfels, M.W. de. 1954. The sponges of the West-Central Pacific. *Oregon State Coll. Monogr., Stud. Zool.* 7: 1-306.
- Loaiza, B. 1991. Estudio taxonómico de las esponjas del Parque Nacional Cahuita, Sector Puerto Vargas e Isla Uvita, Limón, Costa Rica. *Brenesia* 36: 21-62.
- MacArthur, R.H. & J.W. MacArthur. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42: 594-598.

- Nava, H. & J.L. Carballo. 2008. Chemical and mechanical bioerosion of boring sponges from Mexican Pacific coral reefs. *J. Exp. Biol.* 211: 2827-2831.
- Pomponi, S.A. 1979a. Cytochemical studies of acid phosphatase in etching cells of boring sponges. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 59: 785-789.
- Pomponi, S.A. 1979b. Ultrastructure of cells associated with excavation of calcium carbonate substrates by boring sponges. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 59: 777-784.
- Quesada-Alpizar, M.A. & J. Cortés. 2006. Los ecosistemas marinos del Pacífico Sur de Costa Rica: estado del conocimiento y perspectivas de manejo. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 101-145.
- Reiswig, H.M. 2010. A new species of *Tretodictyum* (Porifera: Hexactinellida: Tretodictyidae) from off Cocos Island, tropical eastern Pacific Ocean. *Proc. Biol. Soc. Washington* 123: 242-250.
- Risk, M.J. & J.K. MacGeachy. 1978. Aspects of bioerosion of modern Caribbean reefs. *Rev. Biol. Trop.* 26 (Supl. 1): 85-105.
- Risk, M.J., M.M. Murillo & J. Cortés. 1980. Observaciones biológicas preliminares sobre el arrecife coralino en el Parque Nacional de Cahuita, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 28: 361-382.
- Rosell, D. & M.J. Uriz. 2002. Excavating and endolithic sponge species (Porifera from the Mediterranean: species descriptions and identification key. *Org. Divers. Evol.* 2: 55-86.
- Rützler, K. 1974. The burrowing sponges of Bermuda. *Smithsonian Contr. Zool.* 165: 1-32.
- Rützler, K. 1975. The role of burrowing sponges in bioerosion. *Oecologia* 19: 203-216.

- Rützler, K. 2002a. Family Clionidae D'Orbigny, 1851, p. 173-185. *In*: J.N.A Hooper & R.W.M. Van Soest (eds.). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.
- Rützler, K. 2002b. Family Aleptonidae Rosell, 1996, p. 281-290. *In*: J.N.A Hooper & R.W.M. Van Soest (eds.). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.
- Rützler, K. & I.G. Macintyre. 1978. Siliceous sponge spicules in coral reef sediments. *Mar. Biol.* 49: 147-159.
- Rützler, K. & G. Rieger. 1973. Sponge burrowing: fine structure of *Cliona lampa* penetrating calcareous substrata. *Mar. Biol.* 21: 144-162.
- Schönberg, C.H.L. 2001. New mechanisms in demosponge spicule formation. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 81: 345-346.
- Scott, P.J.B., M.J. Risk & J.D. Carriquiry. 1988. El Niño, bioerosion and the survival of East Pacific reefs. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Townsville* 2: 517-520.
- Sibaja-Cordero, J.A. & J. Cortés. 2008. Vertical zonation of racky intertidal organisms in a seasonal upwelling area (Eastern Tropical Pacific). *Rev. Bio. Trop.* 56 (Supl. 4): 91-104.
- Sollas, M.A. 1878. On two new and remarkable species of *Cliona*. *J. Nat. Hist. Ser.* 5. 1: 54-69.
- Tews, J., U. Brose, V. Grimm, K. Tielbörger, M.C. Wichmann, M. Schwager & F. Jeltsch. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *J. Biogeogr.* 31: 79-92.

- Thomas, P.A. 1972. Boring sponges of the reefs of Gulf of Mannar and Palk Bay, p. 333-362. *In*. Mukundan, C & C.S.G. Pillai (eds.). Proc. 1st Symp. Corals Coral Reefs (1969). Mar. Biol. Assoc. India, Mandapam Camp, India.
- Topsent, E. 1888. Contribution a l'étude des Clionides. Tesis de Doctor, Univ. Strasbourg, París, Francia. 465 p.
- Uriz, M.J., X. Turón, M.A. Becerro & G. Agell. 2003. Siliceous spicules and skeleton frameworks in sponges: origin, diversity, ultrastructural patterns and biological functions. *Microsc. Res. Techniq.* 62: 279-299.
- Uriz, M.J. 2005. Mineral skeletogenesis in sponges. *Can. J. Zool.* 84: 322-356.
- Vacelet, J. 1999. Planktonic armoured propagules of the excavating sponge *Alectona* (Porifera: Demospongiae) are larvae: evidence from *Alectona wallichii* and *A. mesatlantica* sp. nov. *Mem. Queensland Mus.* 44: 627-642.
- Vacelet, J. & P. Vasseur. 1971. Eponges des récifs coralliens de Tuléar (Madagascar). *Tethys* 1: 51-126.
- Van der Hal, N. 2006. Presence and diversity of sponges species along the Caribbean coast of Costa Rica. Tesis de Maestría, Univ. Amsterdam, Holanda. 43 p.
- Van Soest, R.W.M. & J.N.A. Hooper. 2002. Family Samidae Sollas, 1888, p. 99-101. *In*: J.N.A Hooper & R.W.M. Van Soest (eds.). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Academic/Plenum, New York, New York.
- Van Soest, R.W.M, N. Boury-Esnault, J.N.A. Hooper, K. Rützler, N.J. de Voogd, B. Alvarez de Glasby, E. Hajdu, A.B. Pisera, R. Manconi, C. Schoenberg, D. Janussen, K.R.

- Tabachnick, M. Klautau, B. Picton, M. Kelly & J. Vacelet. 2011. World Porifera database. Available online at <http://www.marinespecies.org/porifera>.
- Willett, C.S., R. Leben & M.F. Lavín. 2006. Eddies and mesoscale processes in the Eastern Tropical Pacific. A review. *Progr. Oceanog.* 69: 218-238.
- Wilson, H.V. 1904. Reports on an exploration off the west coasts of México, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer Albatross, during 1891, Lieut. Commander Z.L. Tanner U.S.N., commanding. The sponges. *Mem. Mus. Comp. Zoöl. Harvard Coll.* 30: 1-164.
- Wulff, J. 1997. Causes and consequences of differences in sponge diversity and abundance between the Caribbean and Eastern Pacific of Panama. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panamá 2*: 1377-1382.
- Wulff, J. 2001. Assessing and monitoring coral reef sponges: why and how? *Bull. Mar. Sci.* 69: 831-846.
- Zea, S. 1998. Estado actual del conocimiento en sistematica de esponjas marinas (Porifera) del Caribe colombiano. *Bol. Ecotróp. Ecosist. Trop.* 33: 45-59.
- Zea, S. & E. Weil. 2003. Taxonomy of the Caribbean excavating sponge species complex *Cliona caribbaea* – *C. aprica* – *C. langae* (Porifera, Hadromerida, Clionaidae). *Carib. J. Sci.* 39: 348-370.
- Zea, S., C. Duque, L. Castellanos, A. Chaves-Fonnegra, J.C. Márquez, O. Osorno. 2007. Impacto de esponjas excavadoras incrustantes en arrecifes del Caribe colombiano II: mecanismos biológicos y químicos de agresión contra corales arrecifales. Informe Temático Divulgativo, Univ. Nac. Colombia, Bogotá, Colombia. 59 p.

Zundelovich, A., B. Lazar & M. Ilan. 2007. Chemical versus mechanical bioerosion of coral reefs by boring sponges-lessons from *Pione* cf. *vastifica*. J. Exp. Biol. 210: 91-96.

APÉNDICE A

Tipos de espículas (modificado de Carballo *et al.* 2008a).

Actina: Rayo de una espícula.

Anfiáster: Microsclera formada por un eje principal del que se desprenden de forma radial rayos bien definidos. Análogo a axón.

Espiráster: Microscleras en forma de bastón espirado con espinas alrededor.

Estilo: Espícula monoaxónica terminada en uno de sus extremos en punta y en el otro con cabeza redondeada.

Microrhabdes: Espículas microscleras monoaxónicas.

Oxa: Espícula monoaxónica con ambos extremos terminados en punta.

Oxa centriotilote: Oxa con tilo en el centro del axón.

Oxiaster: Microscleras asterosas, con actinas aceradas que parten de un centro común.

Ráfide: Microsclera muy delgada similar a un cabello.

Tilostilo: Estilo con un tilo (protuberancia globular) en uno de sus extremos.

