



Acta Botanica
Mexicana

Registro de estructuras de reproducción de tres especies del Orden Bryopsidales (Chlorophyta, Ulvophyceae) del Caribe mexicano

Record of reproductive structures of three species of the Order Bryopsidales (Chlorophyta, Ulvophyceae) from the Mexican Caribbean

Julio Adolfo Acosta-Calderón¹ , Luz Elena Mateo-Cid¹ , Ángela Catalina Mendoza-González^{1,2} , Deisy Yazmín García-López¹ 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: A pesar de la importancia ecológica de las especies del Orden Bryopsidales en los ecosistemas tropicales marinos, se conoce poco sobre los aspectos reproductivos de las especies que se desarrollan en el Caribe mexicano. El estudio de las estructuras de reproducción aporta elementos útiles al entendimiento del ciclo de vida, taxonomía y filogenia. El objetivo de este trabajo es describir e ilustrar las estructuras reproductoras de *Avrainvillea digitata*, *A. nigricans* f. *floridana* y *Halimeda incrassata*.

Métodos: Fueron recolectados talos fértiles de cuatro localidades en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Se realizaron descripciones de su morfología y anatomía, así como de la estructura y tamaño de sus estructuras reproductivas.

Resultados clave: En *Avrainvillea digitata* los esporangios son claviformes mientras que en *A. nigricans* f. *floridana* son elipsoidales. En ambas especies de *Avrainvillea* las estructuras se desarrollan como proyecciones del ápice de los sifones de la porción apical del talo. En *Halimeda incrassata* el gametóforo surge del utrículo terciario y sostiene de ocho a 10 gametangios piriformes.

Conclusiones: Este trabajo representa la primera descripción morfológica de las estructuras de reproducción de *Avrainvillea digitata*, *A. nigricans* f. *floridana* y *Halimeda incrassata* del Caribe mexicano.

Palabras claves: *Avrainvillea*, esporangios, gametangios, *Halimeda*, Quintana Roo.

Abstract:

Background and Aims: Despite the ecological importance of Bryopsidales species in marine tropical ecosystems, little is known about the reproductive aspects of the Mexican Caribbean species. The study of the reproductive structures contributes useful elements to the understanding of aspects of the life cycle, taxonomy and phylogeny. The main objective is to describe and illustrate the reproductive structures of *Avrainvillea digitata*, *A. nigricans* f. *floridana* and *Halimeda incrassata*.

Methods: Fertile thalli were collected from four sample sites in the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. Descriptions of the morphology and anatomy of the thalli, as well as of the structure and size of the reproductive structures were elaborated.

Key results: In *A. digitata*, sporangia are claviform whereas they are ellipsoidal in *A. nigricans* f. *floridana*. In both species of *Avrainvillea* the structures develop as projections of the siphons from the thalli apical portion. In *H. incrassata*, gametophores arise from the tertiary utricle and carry eight to 10 piriform gametangia.

Conclusions: This work represents the first morphological description of reproductive structures of *Avrainvillea digitata*, *A. nigricans* f. *floridana* and *Halimeda incrassata* from the Mexican Caribbean.

Key words: *Avrainvillea*, gametangia, *Halimeda*, Quintana Roo, sporangia.

1 Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica, Carpio y Plan de Ayala s/n, colonia Santo Tomás, 11340 Cd. Mx., México.

2 Autor para la correspondencia: am7124@gmail.com

Recibido: 2 de octubre de 2018.

Revisado: 16 de noviembre de 2018.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 18 de febrero de 2019.

Publicado Primero en línea: 15 de marzo de 2019.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 126 (2019).

Citar como:

Acosta-Calderón, J. A., L. E. Mateo-Cid, A. C. Mendoza-González y D. Y. García-López. 2019. Registro de estructuras de reproducción de tres especies del Orden Bryopsidales (Chlorophyta, Ulvophyceae) del Caribe mexicano. Acta Botanica Mexicana 126: e1459. DOI: 10.21829/abm126.2019.1459



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Las algas verdes cenocíticas del Orden Bryopsidales son uno de los principales productores primarios en ambientes marinos tropicales, también son el alimento y refugio de diversos organismos y contribuyen a la formación del sustrato arenoso en los arrecifes coralinos, lagunas costeras, manglares y praderas de pastos marinos (Hillis-Colinvaux, 1980; Littler et al., 2004; Bedinger et al., 2013). A pesar de su importancia ecológica se sabe poco sobre los aspectos reproductivos de sus especies, particularmente de las que se desarrollan en el Atlántico Tropical Occidental (Clifton y Clifton, 1999; Tussenbroek et al., 2006; Clifton, 2013).

Los procesos de reproducción son más conocidos en las especies de *Halimeda* J.V. Lamouroux que en las de *Avrainvillea* Decaisne; diversos estudios en laboratorio y campo han demostrado que las primeras presentan un ciclo de vida monogenético diplobionte. En este ciclo el talo erguido diploide desarrolla prolongaciones de los sifones llamados gametóforos, quienes a su vez sostienen a los gametangios a partir de los cuales son liberados gametos biflagelados haploides al medio; tras la fertilización generan un cigoto diploide que formará un nuevo talo diploide (Hillis-Colinvaux et al., 1965; Lee, 2008; Mayakun et al., 2012). La actividad reproductiva tiene una duración de 5 a 20 minutos durante la madrugada y posteriormente el talo muere. Este tipo de reproducción se conoce como holocárpica. (Clifton, 1997, 2008, 2013; Clifton y Clifton, 1999).

En contra parte, la presencia de estructuras reproductoras en el género *Avrainvillea* resulta un hecho poco documentado en la literatura. La propagación vegetativa es más común y constante a lo largo del año (Olsen-Stojkovich, 1985). Algunas observaciones sugieren una reproducción holocárpica con un ciclo reproductivo similar a los géneros *Udotea* J.V. Lamouroux y *Halimeda* (Young, 1977; Olsen-Stojkovich, 1985). Sin embargo, diversos autores refieren la presencia de esporangios en la porción terminal del sifón de la lámina de *Avrainvillea* (Howe, 1907; Kusel, 1972; Cabrera, 2010; Cabrera et al., 2012), mientras que otros autores registran gametangios terminales o laterales en los sifones de la lámina (Young, 1977; Olsen-Stojkovich, 1985; Verlaque et al., 2017). El ciclo de vida de este género no ha sido verificado experimentalmente para corroborar la naturaleza de las estructuras de reproducción en *Avrainvillea* (Verlaque et al., 2017).

Por lo mencionado anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivo describir e ilustrar las estructuras reproductoras de *Avrainvillea digitata* D.S. Littler & M.M. Littler, *A. nigricans* f. *floridana* D.S. Littler & M.M. Littler y *Halimeda incrassata* (J. Ellis) J.V. Lamouroux del Caribe mexicano.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Los especímenes fértiles fueron recolectados de cuatro localidades en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México; durante junio 2010, diciembre 2011, y abril y agosto 2012 (Fig. 1). Las características y coordenadas geográficas de cada localidad se presentan en el Cuadro 1.

Trabajo de campo y laboratorio

Fueron recolectados, a mano y con ayuda de espátulas y navajas de campo, talos fértiles de los géneros *Avrainvillea* y *Halimeda*, a una profundidad de 0.5 y 1 m mediante buceo libre. Las muestras se etiquetaron y se fijaron en una solución de formaldehído al 4% en agua de mar.

Para el análisis de las estructuras reproductivas se elaboraron preparaciones semipermanentes. Para *Avrainvillea* se desprendieron, con ayuda de una pinza de punta fina, fragmentos del margen de la lámina con sifones que poseían las estructuras de interés. Después estos fragmentos fueron teñidos con verde luz al 1% y montados en miel Karo® con un poco de fenol para evitar el desarrollo de hongos. En el caso de *Halimeda* fueron descalcificados con ácido nítrico a 0.6 N varios segmentos del talo a los que posteriormente se les realizaron cortes transversales con una navaja de doble filo. Los cortes fueron teñidos con verde luz al 1% y montados en miel Karo® con fenol.

Las observaciones de las estructuras se realizaron con ayuda de un microscopio estereoscópico y óptico (Carl Zeiss, Axiolab, Jena, Alemania). Se tomaron fotografías con una cámara digital (Sony MPEGMOVIEVX, Tokio, Japón), acoplada a un microscopio óptico (Olympus, CX31, Manila, Filipinas).

Las imágenes fueron editadas con el software GIMP ver. 2.8 (GIMP, 2012). Los ejemplares se determinaron taxonómicamente con los trabajos de Hillis-Colinvaux (1980), y Littler y Littler (1992, 2000). El estatus taxonómico y arreglo sistemático

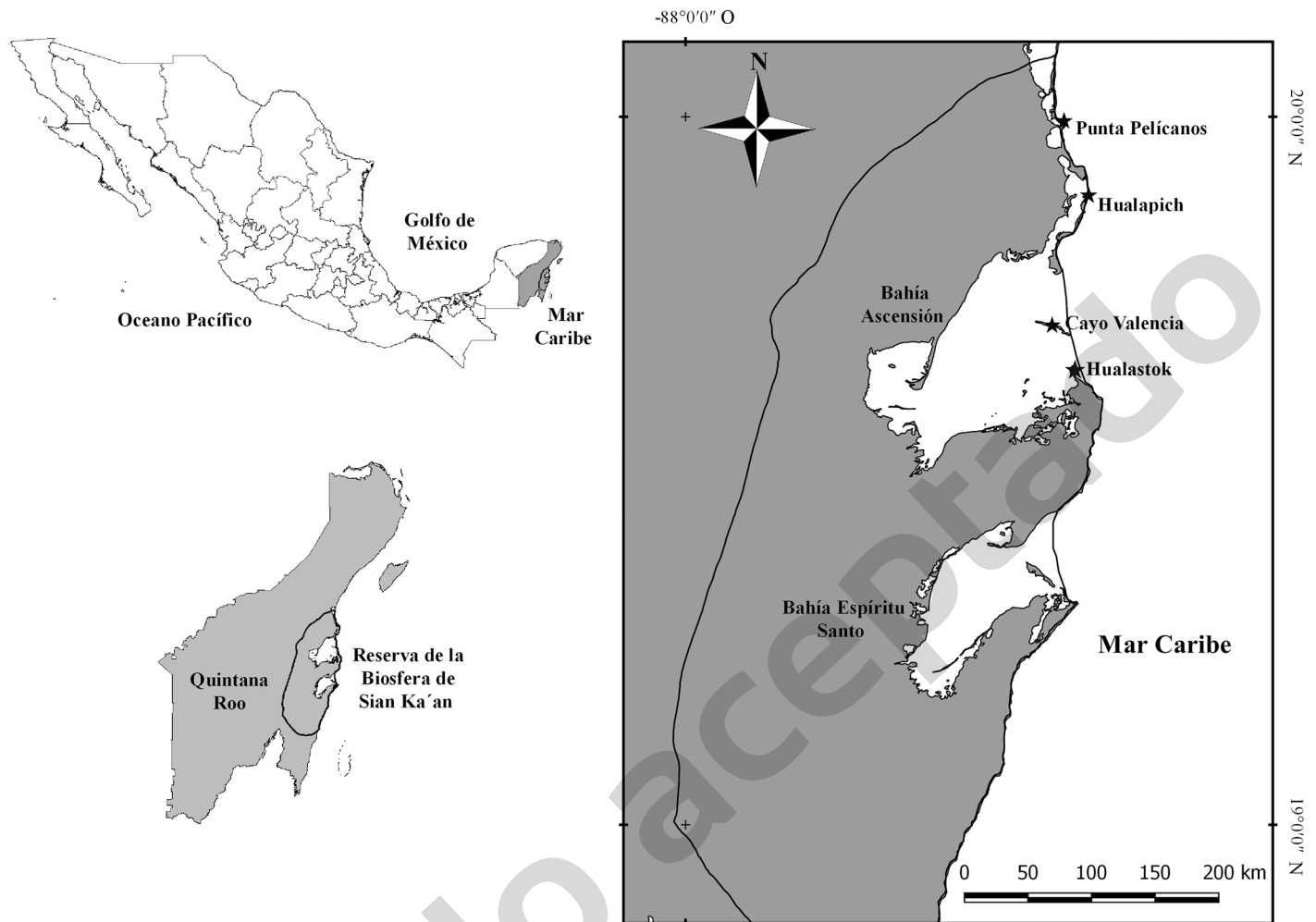


Figura 1: Ubicación de las localidades de muestreo de tres especies del Orden Bryopsidales en Quintana Roo, México.

Cuadro 1: Características y coordenadas geográficas de las localidades de recolecta de tres especies del Orden Bryopsidales en Quintana Roo, México.

Localidad	Características	Coordenadas geográficas
1. Punta Pelicanos	Playa con una pendiente suave y protegida del oleaje, posee un fondo rocoso calcáreo y algunas áreas arenosas asociadas a pastos marinos.	19°59'38"N, 87°27'55"O
2. Hualapich	Playa con una pendiente suave y expuesta al oleaje, el fondo es arenoso con rocas calcáreas de diferentes dimensiones.	19°53'20"N, 87°25'50"O
3. Cayo Valencia	Zona con un fondo arenoso cubierto por praderas de pastos marinos y protegido del oleaje.	19°42'19"N, 87°25'56"O
4. Hualastok	Playa con pendiente suave, el fondo es arenoso asociado a pastos marinos, protegida del oleaje por una punta arenosa que se extiende hacia el sur de la playa.	19°37'28"N, 87°25'41"O

co se verificó con Wynne (2017) y Guiry y Guiry (2018).

La forma y tamaño de las estructuras reproductivas fueron descritas de acuerdo con Howe (1907), Kusel (1972), Hillis-Colinvaux (1980), Littler y Littler (1992), Graham y Wilcox (2000), Cabrera (2010), Cabrera et al. (2012) y Mayakun et al. (2012).

Resultados

Avrainvillea digitata D.S. Littler & Littler, Phycologia 31: 379, fig. 3. 1992.

TIPO: BAHAMAS. Abraham Bay, 8.XII.1907, M. Howe 5436 (US!).

Talo erguido, no calcificado, gregario, color verde oscuro a pardo, 10.5-12.3 cm de alto, adherido al sustrato por una masa rizoidal, estipe no diferenciado; lámina con proyecciones digitiformes, consistencia esponjosa (Fig. 2A); sifones ligeramente moniliformes, 40-50 µm de diámetro, ramificados dicotómicamente, ápices redondeados (Figs. 2B, C); un esporangióforo en cada dicotomía de los sifones conectado por una prolongación del sifón; estructuras reproductivas, esporangios, sobresaliendo del margen del talo, presentes en su porción apical (Fig. 2D); esporangios claviformes, 300-350 µm de largo, 120-240 µm de diámetro; contenido celular concentrado en la parte basal de la estructura (Figs. 2E-J).

Material examinado: MÉXICO. Quintana Roo, municipio Felipe Carillo Puerto, Hualapich, Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, rocoso, 1 m de profundidad, 18.IV.2012, J. A. Acosta Calderón et al. 20763 (ENCB).

Avrainvillea nigricans* Decaisne f. *floridana D.S. Littler & M.M. Littler, Phycologia 31: 402, fig. 16. 1992.

TIPO: ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. Florida, Content Keys, Monroe Country, 2 m depth, 15.XII.1987, D. Littler y M. Littler 19442 (US!).

Talo erguido, no calcificado, solitario, color marrón, 7 cm de alto, sin masa rizoidal; estipe corto; lámina ovalada, consistencia esponjosa, (Fig. 3A); sifones de la lámina pro-

fundamente moniliformes, 30-45 µm de diámetro, ramificados dicotómicamente, un esporangio en cada ápice (Figs. 3B, C, D); esporangios surgiendo directamente del ápice del sifón, elipsoidales a elongados, 240-270 µm de largo, 80-100 µm de diámetro mayor (en la parte más ancha), 40-70 µm de diámetro menor (en las porciones adelgazadas); contenido celular concentrado en la parte basal de la estructura (Figs. 3E, F).

Material examinado: MÉXICO. Quintana Roo, municipio Felipe Carillo Puerto, Punta Pelicanos, Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, rocoso, 0.5 m de profundidad, 19.XII.2011, J. A. Acosta Calderón et al. 20830 (ENCB).

Halimeda incrassata (J. Ellis) J.V. Lamouroux, Histoire des polypiers coralligènes flexibles, vulgairement nommés zoophytes: 307. 1816.

≡ *Corallina incrassata* J. Ellis, Philosophical Transactions (Royal Society of London) 57: 408, pl. XVII(17): figs. 20-27. 1768. TIPO: ANTILLAS. Sin localidad, sin fecha, sin colector (tipo perdido, lectotipo: se designaron las ilustraciones de Ellis publicadas en 1767, reproducidas en Hillis-Colinvaux (1980: p. 20) (Verbruggen et al., 2006)).

= *Corallina tridens* J. Ellis & Solander, Nat. Hist. Zoophytes 109, pl. 20: fig. a. 1786.

= *Corallina crassa* Esper, Pflanzenthier, Corallina Taf. II. 1789.

= *Halimeda tridens* (J. Ellis & Solander) J.V. Lamouroux, Hist. Polyp. 308. 1812.

= *Halimeda brevicaulis* Kützing, Tab. Phyc. 8: 11, pl. 25, fig. II. 1858.

= *Halimeda incrassata* f. *lamourouxii* J. Agardh, Alg. Syst. 23(2): 86. 1887.

= *Halimeda incrassata* f. *ovata* J. Agardh, Alg. Syst. 23(2): 86. 1887.

= *Halimeda incrassata* f. *tridentata* Duchassaing ex J. Agardh, Alg. Syst. 5: 86. 1887.

= *Halimeda incrassata* f. *rotunda* Barton, Siboga-Exped. Monogr. 60: 28, pl. IV: fig. 45. 1901.

= *Halimeda incrassata* f. *tripartita* E.S. Barton, Siboga-Exped. Monogr. 60: 27, pl. IV: fig. 43. 1901.

= *Halimeda incrassata* f. *gracilis* Børgesen, Dansk Botanisk

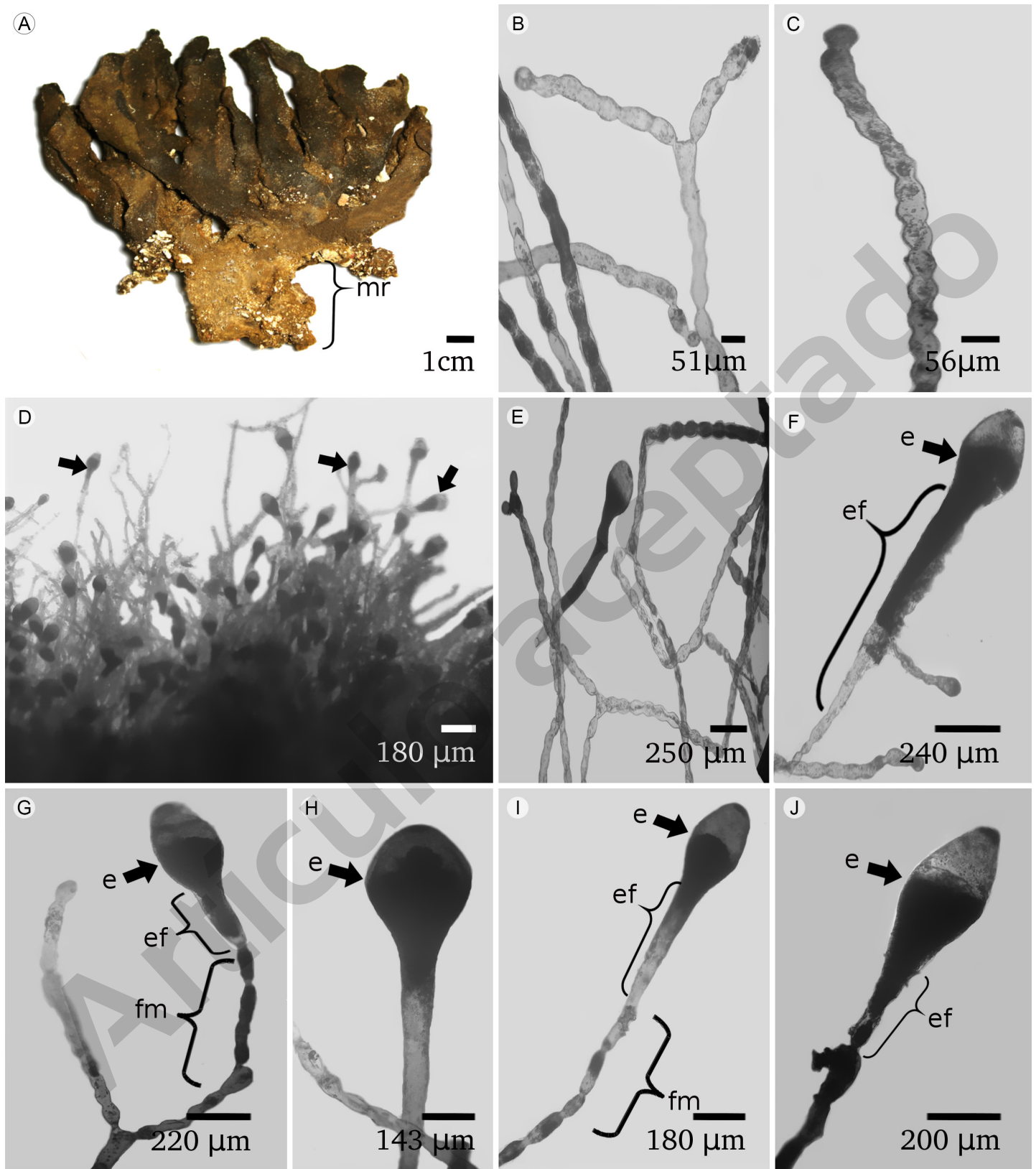


Figura 2: *Avrainvillea digitata* D.S. Littler & M.M. Littler. A. aspecto general del talo (mr: masa rizoidal); B. sifones moniliformes; C. detalle del ápice del sifón; D. esporangios sobresaliendo del margen del talo; E. sifones con esporangios; F, G, H, I, J. detalle del sifón moniliforme (fm), esporangióforo (ef) y esporangio (e).

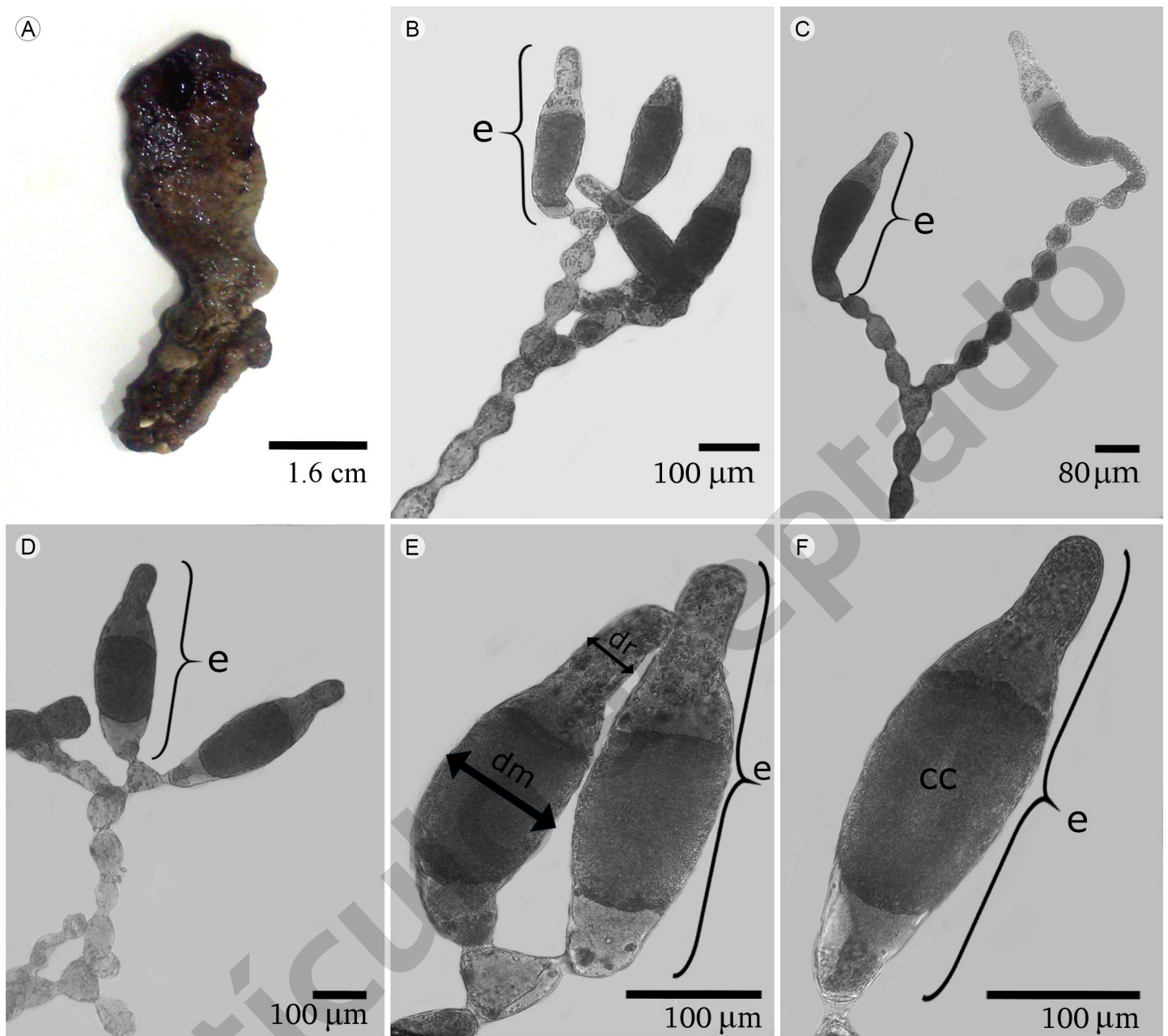


Figura 3: *Avrainvillea nigricans* f. *floridana* D.S. Littler & M.M. Littler. A. morfología del talo; B, C, D. sifones constrictos con esporangios (e); E. detalle del esporangio (e) con una porción menos ancha (dr) en el ápice y una más ancha (dm); F. disposición del contenido celular (cc) en el esporangio (e).

Arkiv 1(4): 1-160. 1913.

= *Halimeda tridens* f. *typica* W.R. Taylor, nom. inval., Publications of the Carnegie Institution of Washington 379: 219. 1928.

Talo erguido, segmentos calcificados de formas variadas, color blanquecino, 11.5-13.5 cm de alto, adherido al sustrato por una masa rizoidal robusta; segmentos ba-

sales flabelados, cilíndricos trilobulados en la parte apical, algunos de cuatro lóbulos (Fig. 4A), segmentos cilíndricos surgiendo, agregados gametangiales sobresaliendo del margen de los segmentos (Fig. 4B); utrículos primarios 2-4, oblongos, 95-110 µm de largo, 35-45 µm de diámetro, los secundarios ovalados, 85-110 µm de largo, 40-45 µm de diámetro, los terciarios oblongos a ovalados, 110-130 µm de largo, 70-100 µm de diámetro (Fig. 4C); gametóforo sur-

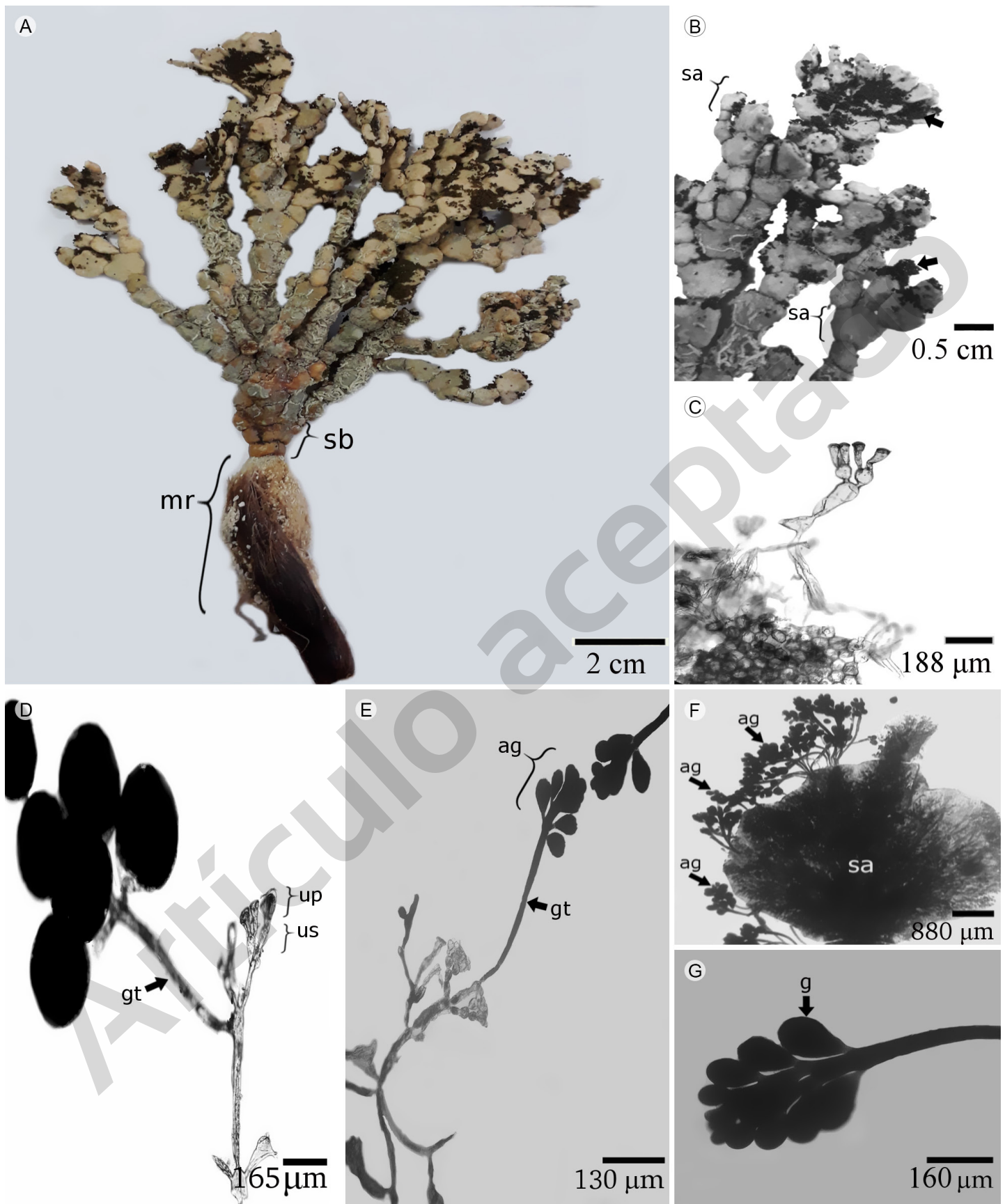


Figura 4: *Halimeda incrassata* (J. Ellis) J.V. Lamouroux. A. aspecto general del talo (mr: masa rizoidal, sb: segmentos basales); B. segmentos apicales (sa) y agregados gametangiales (flecha); C. detalle de los utrículos; D. utrículos primarios (up), secundarios (us) y gametóforo (gt); E. gametóforo (gt) con agregados gametangiales (ag); F. agregados gametangiales (ag); G. gametangios piriformes (g).

giendo del utrículo terciario, 600-1500 µm de largo, 48-60 µm de diámetro en la región basal, 75-90 µm de diámetro en la superior (Figs. 4D, E); gametóforo con 8-10 gametangios piriformes, 280-330 µm de largo, 180-330 µm de diámetro (Figs. 4F, G).

Material examinado: MÉXICO. Quintana Roo, municipio Felipe Carrillo Puerto, Hualastok, Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, arenoso asociado a praderas de *Thalassia testudinum* K.D. Koenig, 1.5 m de profundidad, 21.VI.2010, L. E. Mateo Cid et al. 20453 (ENCB); Cayo Valencia, Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, arenoso asociado a praderas de *Thalassia testudinum*, 1 m de profundidad, 17.VIII.2012, J. A. Acosta Calderón et al. 21587 (ENCB).

Discusión

Las algas del grupo Bryopsidales se reproducen de forma asexual y sexual. De manera asexual por prolongación de los rizoides en el sustrato, por fragmentación y por la formación de esporas, y por la vía sexual mediante la formación de gametos en estructuras especializadas denominadas gametangios (Hillis-Colinvaux, 1980; Vroom et al., 2003; Clifton, 2008). Ambos tipos de reproducción tienen un papel importante en la dinámica de las poblaciones tropicales; a pesar de esto el conocimiento sobre la fenología, estacionalidad y los factores que modulan estos procesos en las algas Bryopsidales permanecen poco documentados (Tussenbroek et al., 2006; Clifton, 2013).

Al respecto, se considera que los cambios en la temperatura del agua de mar son el agente que desencadena el inicio de la reproducción sexual (Clifton, 1997, 2008; Tussenbroek et al., 2006). En este sentido, se han desarrollado algunos estudios en los que se abordan los patrones reproductivos, en una escala temporal, en poblaciones de *Halimeda incrassata* en algunas zonas del Caribe (Clifton, 1997, 2008; Tussenbroek et al., 2006). En Panamá, la presencia sincrónica de talos fértiles y la liberación de gametos de *Halimeda incrassata* se ha relacionado con el incremento de la temperatura del agua durante el periodo de marzo a julio (Clifton, 1997).

En Florida, la actividad reproductiva de *H. incrassata* se ha observado durante el mes de septiembre (Clifton, 2008), mientras que, en el Caribe mexicano, Tussenbroek et

al. (2006) registraron un incremento inusual en la densidad de talos fértiles después de que el huracán Wilma impactara la zona de Puerto Morelos en diciembre 2005. Estos autores indican que el descenso de la temperatura del agua y su posterior recuperación después del paso del huracán pudo activar la formación de estructuras de reproducción.

Lo anterior puede explicar la presencia de talos fértiles de *H. incrassata* durante agosto 2012 en la zona de estudio, la cual se vio afectada por el huracán Ernesto en ese mismo mes (CONAGUA, 2012). Los efectos de los cambios repentinos de la temperatura del agua, derivado de los huracanes sobre la actividad reproductiva de las poblaciones algales en ambientes tropicales, merece una investigación más a fondo (Tussenbroek et al., 2006).

Para el caso de *Avrainvillea*, los trabajos son más limitados ya que solo mencionan la presencia de estructuras reproductivas en determinada fecha. Young (1977) describe de manera general los cambios morfológicos de *A. rawsonii* (Dickie) M. Howe y *A. longicaulis* (Kützting) G. Murray & Boodle en el Caribe panameño, pero no menciona el periodo en el que se ubicaron estos ejemplares fértiles. Trabajos más recientes realizados en Cuba indican la ocurrencia de esporangios en *A. asarifolia* Børgesen durante marzo (Cabrera, 2010), en *A. digitata* durante mayo, y en *A. elliotti* A. Gepp & E.S. Gepp y *A. longicaulis* durante agosto (Cabrera et al., 2012). En el presente trabajo se ubicaron *A. digitata* durante abril y *A. nigricans* f. *floridana* en diciembre, por lo que se requieren más esfuerzos para ampliar el conocimiento sobre actividad reproductiva de las especies de *Avrainvillea*. Diversos autores señalan que presentan un ciclo de vida semejante a *Halimeda* (Young, 1977; Olsen-Stojkovich, 1985), por lo que es posible que el factor que influya en los eventos reproductivos de *Avrainvillea* sea la temperatura.

Actualmente no se cuenta con un registro iconográfico de las estructuras reproductivas de las especies de *Halimeda* y *Avrainvillea* para aguas marinas mexicanas. Tussenbroek et al. (2006) y Tussenbroek y Barba-Santos (2011) han documentado la presencia de talos con agregados gametangiales de *Halimeda incrassata* en praderas de pastos marinos en Puerto Morelos, Quintana Roo. Sin embargo, no muestran evidencia gráfica de los gametangios. En este sentido, este trabajo representa el primer registro

iconográfico de las estructuras de reproducción sexual de *H. incrassata* y de estructuras asexuales de *A. digitata* y *A. nigricans* f. *floridana* que habitan en el Caribe mexicano.

Respecto a las especies de *Halimeda*, el origen de los gametóforos, así como el tamaño y forma de los gametangios, puede variar dentro de una misma especie y entre especies (Hillis-Colinvaux, 1980; Vroom y Smith, 2003). Evidencia de esto es que Verbruggen et al. (2005) indican que los gametóforos de *H. incrassata* de Panamá surgen de los utrículos secundarios, contrario a lo observado para esta especie en este trabajo. En cambio, para *Halimeda cuneata* Hering se ha observado que el gametóforo surge del utrículo primario (Bandeira-Pedrosa et al., 2004). Así mismo, el número y diámetro de los gametangios se encuentran dentro del intervalo conocido para esta especie en Puerto Rico (Howe, 1907).

En cuanto a *Avrainvillea* se identificó que los esporangios son las estructuras de reproducción asexual debido a las semejanzas morfológicas reportadas por Howe (1907), Kusel (1972), Cabrera (2010) y Cabrera et al. (2012). Los esporangios de *A. digitata* ubicados en este trabajo fueron similares a los observados por Cabrera et al. (2012) para esta misma especie en Cuba; en ambos casos estos son claviformes. Para *A. nigricans* f. *floridana* es el primer registro para la zona del Caribe. La morfología de los esporangios es diferente entre las especies de este estudio respecto a las descritas para *A. asarifolia*, *A. elliotti* y *A. longicaulis* f. *laxa* (Cabrera, 2010; Cabrera et al., 2012). Estas observaciones pueden ser útiles para complementar las descripciones de las especies estudiadas. No obstante, es importante mencionar que algunos autores reconocen las estructuras de reproducción como gametangios (Young, 1977; Olsen-Stojkovich, 1985; Verlaque et al., 2017). Ante este escenario es indispensable implementar cultivos de las especies de *Avrainvillea*, en laboratorio para dilucidar las características del ciclo de vida y tipos de estructuras de reproducción. Considerando que el género *Avrainvillea* fue reubicado de la familia Udoteaceae a Dichotomosiphonaceae (Curtis et al., 2008) es probable que el ciclo de vida y estructuras de reproducción sean diferentes a *Halimeda* o *Udotea*.

Conclusiones

Este es el primer registro ilustrado sobre las estructuras reproductivas de *Avrainvillea digitata*, *A. nigricans* f. *flo-*

ridana y *Halimeda incrassata*, que habitan en el Caribe mexicano. En *Avrainvillea digitata* se ubicaron esporangios en abril y en *A. nigricans* f. *floridana* en diciembre. En *Halimeda incrassata* se identificaron gametangios en el mes de agosto. No se logró identificar si el contenido celular de las estructuras de *Avrainvillea* eran esporas o gametos.

Contribución de autores

JAAC, LEMC, ACMG y DYGL contribuyeron en el trabajo de campo. JAAC, LEMC y ACMG participaron en la redacción del manuscrito. JAAC Y LEMC determinaron taxonómicamente el material recolectado. JAAC Y ACMG colaboraron en la descripción de los resultados. DYGL colaboró con la toma y edición de las fotografías.

Financiamiento

Este estudio recibió apoyo económico del Instituto Politécnico Nacional (SIP-20150767 y SIP-20150850), además facilitó las instalaciones y proporcionó el equipo necesario para el desarrollo de este trabajo. LEMC y ACMG agradecen la beca otorgada por la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA) y al programa “Estímulo al Desempeño de Investigadores-IPN (EDI)” por los incentivos recibidos.

Agradecimientos

A la Dirección General de Ordenamiento Pesquero y Acuicola de México por el permiso especial Pesca de Fomento para la recolecta en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an No. DGOPA.08980.011111.3063.

Literatura citada

- Bandeira-Pedrosa, M. E., S. Pereira y E. Oliveira. 2004. Taxonomy and distribution of the green algal genus *Halimeda* (Bryopsidales, Chlorophyta) in Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 27(2): 263-377. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-84042004000200015>
- Bedinger, L. A., S. S. Bell y C. J. Dawes. 2013. Rhizophytic algal communities of shallow, coastal habitats in Florida: components above and below the sediment surface. *Bulletin of Marine Science* 89(2): 437-460. DOI: <https://doi.org/10.5343/bms.2011.1151>

- Cabrera, R. 2010. Presencia de esporangióforos maduros en *Avrainvillea asarifolia* (Chlorophyta: Bryopsidales). Revista del Jardín Botánico Nacional, Cuba 31: 235-237.
- Cabrera, R., Y. Alfonso, B. Martínez-Daranas y A. Suárez. 2012. Estructuras reproductoras y epifitas del género *Avrainvillea* en aguas cubanas. Revista de Investigaciones Marinas 32(1): 1-6.
- Clifton, K. 1997. Mass spawning by green algae on coral reefs. Science 275: 1116-1118.
- Clifton, K. 2008. Spatial patterns of reproductive synchrony by four genera of tropical green seaweed across a latitudinal gradient in the Caribbean. Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium 1: 351-355.
- Clifton, K. 2013. The ecological significance of sexual reproduction by tropical green algae. Smithsonian Contributions to the Marine Science 39: 219-228.
- Clifton, K. y L. Clifton. 1999. The phenology of sexual reproduction by green algae (Bryopsidales) on Caribbean coral reefs. Journal of Phycology 35(1): 24-34. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3510024.x>
- CONAGUA. 2012. Resumen de la temporada de ciclones tropicales del año 2012. Comisión Nacional del Agua. México, D.F., México. <https://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Resumenes/2012.pdf> (consultado febrero de 2019).
- Curtis, N. E., C. J. Dawes y S. K. Pierce. 2008. Phylogenetic analysis of the large subunit rubisco gene supports the exclusion of *Avrainvillea* and *Cladocephalus* from the Udoteaceae (Bryopsidales, Chlorophyta). Journal of Phycology 44: 761-767.
- GIMP. 2012. GNU Image Manipulation Program, GIMP software version 2.8. GNOME Foundation. Orinda, USA.
- Graham, L. y W. Wilcox. 2000. Algae. Prentice Hall. New Jersey, USA. 639 pp.
- Guiry, M. y G. Guiry. 2018. AlgaeBase-World-wide electronic publication. National University of Ireland. Galway, Ireland. <http://www.algaebase.org/> (consultado junio de 2018).
- Hillis-Colinvaux, L. 1980. Ecology and taxonomy of *Halimeda*: Primary producer of coral reefs. Advances in Marine Biology 17: 1-327. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60303-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60303-X)
- Hillis-Colinvaux, L., K. Wilbur y N. Watabe. 1965. Tropical marine algae: Growth in laboratory culture. Journal of Phycology 1(2): 69-78. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1965.tb04560.x>
- Howe, M. A. 1907. Phycological studies-III. Further notes on *Halimeda* and *Avrainvillea*. Bulletin of the Torrey Botanical Club 34(10): 491-516.
- Kusel, H. 1972. Contribution to the knowledge of the seaweeds of Cuba. Botanica Marina 15(4): 186-198. DOI: <https://doi.org/10.1515/botm.1972.15.4.186>
- Lee, R. 2008. Phycology. Cambridge University Press. New York, USA. 550 pp.
- Littler, D. S. y M. M. Littler. 1992. Systematic of *Avrainvillea* (Bryopsidales, Chlorophyta) in the tropical western Atlantic. Phycologia 31(5): 375-418. DOI: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-31-5-375.1>
- Littler, D. S. y M. M. Littler. 2000. Caribbean Reef Plants: An identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico. Offshore Graphic Inc. Washington, USA. 524 pp.
- Littler, M. M., D. S. Littler y B. Brooks. 2004. Extraordinary mound building forms of *Avrainvillea* (Bryopsidales, Chlorophyta): Their experimental taxonomy, comparative functional morphology and ecological strategies. Atoll Research Bulletin 515: 1-26. DOI: <https://doi.org/10.5479/si.00775630.515.1>
- Mayakun, J., J. Kim, B. Lapointe y A. Prathep. 2012. Gametangial characteristics in the sexual reproduction of *Halimeda macroloba* Decaisne (Chlorophyta: Halimedaceae). Songklanakarin Journal of Science and Technology 34(2): 211-216.
- Olsen-Stojkovich, J. L. 1985. A systematic study of the genus *Avrainvillea* Decaisne (Chlorophyta, Udoteaceae). Nova Hedwigia 41: 1-68.
- Tussenbroek, B. y M. Barba Santos. 2011. Demography of *Halimeda incrassata* (Bryopsidales, Chlorophyta) in a Caribbean reef lagoon. Marine Biology 158(7): 1461-1471. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1662-2>
- Tussenbroek, B., M. Barba Santos y J. Dijk. 2006. Unusual synchronous spawning by green algae (Bryopsidales), after the passage of Hurricane Wilma. Botanica Marina 49(3): 270-271. DOI: <https://doi.org/10.1515/BOT.2006.032>
- Verbruggen, H., O. De Clerck, E. Cocquyt, W. H. C. F. Kooistra y E. Coppejans. 2005. Morphometric taxonomy of siphonous green algae: a methodological study within the genus *Halimeda* (Bryopsidales). Journal of Phycology 41(1): 126-139. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04080.x>
- Verbruggen, H., O. Clerck, A. de Ramon, H. Spalding y P. Vroom. 2006. Phylogeny and taxonomy of *Halimeda incrassata*

- ta*, including descriptions of *H. kanaloana* and *H. heteromorpha* spp. nov. (Bryopsidales, Chlorophyta). European Journal of Phycology 41: 337-362. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670260600709315>
- Verlaque, M., H. Langar, A. Hmida, C. Pergent y G. Pergent. 2017. Introduction of a new potential invader into the Mediterranean Sea: The Indo-Pacific *Avrainvillea amadelpha* (Montagne) A. Gepp & E.S. Gepp (Dichotomosiphonaceae, Ulvophyceae). Cryptogamie Algologie 38(3): 267-281. DOI: <https://doi.org/10.7872/crya/v38.iss3.2017.267>
- Vroom, P. S. y C. M. Smith. 2003. Reproductive features of Hawaiian *Halimeda velasquezii* (Bryopsidales, Chlorophyta), and an evolutionary assessment of reproductive characters in *Halimeda*. Cryptogamie Algologie 24(4): 355-370.
- Vroom, P. S., C. M. Smith, J. A. Coyer, L. J. Walters, C. L. Hunter, K. S. Beach y J. E. Smith. 2003. Field biology of *Halimeda tuna* (Bryopsidales, Chlorophyta) across a depth gradient: comparative growth, survivorship, recruitment, and reproduction. Hydrobiologia 501(1-3): 149-166. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026287816324>
- Wynne, M. J. 2017. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: fourth revision. Nova Hedwigia Beiheft 145: 202.
- Young, J. R. 1977. Ecological observations on the reproduction of the tropical marine green alga *Avrainvillea* from Panama (Siphonales/Codiaceae). Journal of Phycology 13(Suppl.): 76.