

Diversidad de macroalgas y cianoprocariontes marinos de la costa norte de la Península de Yucatán, México

Diversity of marine macroalgae and cyanoprokaryotes from the north coast of the Yucatan peninsula, México

Ileana Ortégón-Aznar¹ e Hilda León Tejera²

Recibido: 12 de septiembre de 2022.

Aceptado: 29 de noviembre de 2022.

Publicado: diciembre de 2022.

RESUMEN

Antecedentes. El conocimiento de la riqueza de especies de algas en el estado de Yucatán ha variado considerablemente en el tiempo; desde los trabajos en 1935 de Taylor que registra 27 especies, hasta trabajos en el 2010 que incluyen 285 spp. **Objetivos.** Actualizar la diversidad de macroalgas y cianoprocariontes, para integrar la Flora Ficológica de Yucatán, en términos de riqueza de especies y distribución por ambientes generales para detectar los hábitats que han sido estudiados con distinta intensidad. **Métodos.** Se seleccionaron registros de las especies de macroalgas y cianoprocariontes de tres fuentes: publicaciones, colecciones de herbario y proyectos, para generar la base de datos con registros a nivel de especie o infraespecífico; y datos sobre cuáles y cuantos ambientes han sido encontrados. **Resultados.** Se registraron 462 especies: 194 Rhodophyta, 138 Chlorophyta, 54 Phaeophyceae y 76 Cyanoprokaryota, donde 35 son registros nuevos, no incluidos en integraciones previas. Los registros se consideraron de acuerdo con su distribución en los siguientes ambientes generales: arrecife, costero o laguna. El ambiente que registró mayor riqueza de especies fue el arrecife con 310 taxones infragenéricos, aunque provienen principalmente de arrecife Alacranes. **Conclusiones.** Hay una gran diferencia en el número de especies mencionadas en distintos estudios, resultado de diferentes métodos, intensidad, época de muestreo, sitios, o hábitats estudiados. La costa norte de Yucatán es muy extensa y consideramos que, si bien existen muchos trabajos sobre macroalgas bentónicas, algunos taxones y ambientes han sido poco estudiados. Tal es el caso de Cyanoprokaryota y Phaeophyceae y las comunidades algales de ambientes arrecifales.

Palabras clave: Chlorophyta, Cyanoprokaryota, Phaeophyceae, Rhodophyta, Yucatán.

ABSTRACT

Background. Knowledge on the algal species richness in the state of Yucatán has varied considerably over time; from the works in 1935 by Taylor that recorded 27 species, to works in 2010 that included 285 spp. **Goals.** Update the diversity of macroalgae and cyanoprokaryotes, to integrate the Yucatan Phycological Flora in terms of species richness and distribution by general environments to detect the habitats that have been studied with different intensity. **Methods.** Macroalgae and Cyanoprocariontes species records were selected from three sources: publications, herbarium collections, and projects, to generate the database with records at the species or infraspecific level, and data from which and how many habitats they have been found. **Results.** 462 species were registered: 194 Rhodophyta, 138 Chlorophyta, 54 Phaeophyceae and 76 Cyanoprokaryota, where 35 are new records not included in previous integrations. Records were considered according to their distribution in the following general environments: reef, coastal, or lagoon. The environment that recorded the highest species richness was the reef with 310 infrageneric taxa; although they mainly come from the Alacranes reef. **Conclusions.** There is a great difference in the number of species mentioned in different studies, this is the result of different methods, intensity, sampling time, sites, or habitats studied. The northern coast of Yucatan is very extensive, and we consider that, although there are many works on benthic macroalgae, some taxa and habitats have been little studied. Such is the case of Cyanoprokaryota and Phaeophyceae, and reef environments.

Keywords: Chlorophyta, Cyanoprokaryota, Phaeophyceae, Rhodophyta, Yucatan State.

¹ Departamento de Botánica, Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Mérida, Yucatán, 97000. México

² Laboratorio de Ficología, Facultad de Ciencias, UNAM, Av. Universidad 3000, Circuito Exterior S/N, Col. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 04510. México

*Corresponding author:

Ileana Ortégón Aznar: e-mail: oznar@correo.uady.mx

To quote as:

Ortégón-Aznar, I. & H. León Tejera. 2022. Diversidad de macroalgas y cianoprocariontes marinos de la costa norte de la Península de Yucatán, México. *Hidrobiológica* 32 (3): 309-317.

DOI:10.24275/uam/izt/dcb/hidro/2022v32n3/Ortegon

INTRODUCCIÓN

En años recientes los estudios sobre algas han aumentado y aunque la mayoría continúa utilizando los caracteres morfológicos como los criterios principales para la discriminación y descripción de especies, el uso cada vez más común de técnicas moleculares como herramienta para la identificación, ha producido cambios en la taxonomía, nomenclatura y clasificación, modificando el número de especies conocidas, como es el caso de *Sargassum*, ya que un gran número de especies fue colocado dentro de *Sargassum natans* (L.) Gaillon (Wynne, 2022).

Los cálculos sobre la riqueza de especies de algas, descritas y existentes, a nivel mundial han variado en el tiempo de manera importante: Andersen (1992) registra 130,000 especies de algas rojas, verdes y marrones; Guiry (2012) considera que existen de 30,000 hasta más de 1 millón de especies (micro y macroalgas) y estima 72,500 especies con un enfoque conservador. La mayoría de los cálculos se basan en AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2022), que registra 32,260 especies.

Según Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008), considerando la diversidad de los organismos vivos de todos los ecosistemas, México es un país megadiverso pues contiene entre el 65 y 70% de la biodiversidad global, registrando 1,600 especies de macroalgas, que incluyen datos de Pedroche *et al.* (1993).

Existen varios estudios, que destacan la diversidad de algas en México, como los de Pedroche *et al.* en 1993, que registraron 553 sp. de macroalgas para el Atlántico, los de Dreckman (1998), Ortega *et al.* (2001), Pedroche y Senties (2003) y Pedroche y Senties, que en 2020 mencionan un aumento en la diversidad de macroalgas marinas, que asciende a 1,698 taxones, 754 especies para el Atlántico.

Para el estado de Yucatán, hay menos estudios que en el Caribe, y aunque existen listados florísticos, pocos hacen recuentos del total de especies. Los primeros registros sobre algas fueron de Taylor en 1935 (con 27 especies para Yucatán, incluyendo las recolectadas por C. Steere y J. R. Swallen en 1932 y de Arthur Schott en 1865), y el de Taylor en 1941 (que registra 40 especies de macroalgas). También, destacan los de la pionera Laura Huerta (Huerta-Múzquiz, 1958, Huerta, 1961) y Huerta-Múzquiz *et al.* (1987), quienes recolectaron en Cayo Arenas y Arrecife Alacranes, e identificaron especies de Arrecife Alacranes citadas por Kornicker *et al.* (1959).

Otros estudios sobre ambientes arrecifales son los de Humm (1952) en Arrecife Alacranes, cuyos resultados Kim (1964) complementa en su tesis caracterizando 198 especies de la ficolflora; el de Huerta-Múzquiz *et al.* (1987) que cita especies de Cayo Arenas y Arrecife Alacranes y el de Ortégón-Aznar *et al.* (2008, 2021) que citan especies del arrecife “Madagascar” y de “Bajos de Diez”.

Entre los estudios sobre ambientes lagunares, destacan los de Arellano-Guillermo y Serrano-Islas (1993) para la laguna de Dzilam, Ortégón-Aznar y González-González (2000) en varias lagunas costeras; Ortégón-Aznar *et al.* (2001) cubre Ría Lagartos, y Ortégón-Aznar *et al.* (2009) publica sobre Chelem.

En cuanto el ambiente costero, se tienen listados de especies por localidades como los de Sánchez-Molina *et al.* (2007) para la zona de Uaymitún y Chuburná; Rosado-Espinosa *et al.* (2012) sobre mantos algales de Dzilam Bravo; y Ortégón-Aznar y Aguilar-Perera (2014) en áreas protegidas del Palmar y Dzilam de Bravo.

Hay otros estudios más especializados sobre grupos taxonómicos particulares como las algas pardas: Díaz-Martin y Espinoza-Avalos (2000), Mendoza-González y Mateo-Cid (2005); García Ferrer *et al.* (2019) y Ortégón-Aznar *et al.* (2021) con nuevos registros de *Halopteris filicina* y *Nemacystus howei* para el Estado. Por lo que respecta algas verdes, tenemos a Aguilar-Rosas *et al.* (2001) de la familia Udoteaceae; Garduño-Solorzano *et al.* (2005) sobre distribución geográfica y afinidad por sustrato; Espinoza-Avalos *et al.* (2015), sobre *Caulerpa*; Ortégón-Aznar *et al.* (2015) con respecto el alga introducida *Caulerpa ollivieri* Dostál y Sauvage *et al.* (2021) sobre *Caulerpa wisorii* nueva especie para Yucatán y México.

Sobre las algas rojas destacan los trabajos de Dreckman (2012) y Dreckman y De Lara-Isassi (2000) sobre Gracilariaceae; existen también varias revisiones de géneros o familias para el país: Mateo-Cid *et al.* (2014) con la revisión de *Lithothamnion*, *Melobesia* y *Mesophyllum*, Mendoza González *et al.* (2014) de corallinales, Rosas Ortiz *et al.* (2019) para Halymeniaceae y Vilchis *et al.* (2020) analizan el complejo *Crassiphycus corneus* - *C. usneoides* y su registro en Yucatán.

Respecto de obras integradoras más recientes de macroalgas para la costa norte del estado (Fig. 1), se tiene a: Ortégón-Aznar *et al.* (2010), que revisan la diversidad de macroalgas citadas para Yucatán (285 sp.): 130 Rhodophyta, 50 Phaeophyceae y 105 Chlorophyta; Mendoza-González *et al.* (2016), publican un trabajo sobre algas de la Península de Yucatán. Asimismo, García-García *et al.* (2020, 2021) hacen respectivamente la actualización taxonómica de las algas rojas y las algas pardas marinas bentónicas del Atlántico mexicano.

En cuanto a Cianoprocariontes (Cyanobacteria/Cyanophyta) se analizaron inventarios u obras florísticas que incluyen principalmente macroalgas: el catálogo de Ortega *et al.* (2001), los de Huerta (1961), o Huerta-Múzquiz *et al.* (1987); las tesis de Kim (1964) y de Muñoz, (1996); el capítulo de León-Tejera *et al.* (2016), y la base de datos del proyecto CONABIO KT016 con datos de ejemplares no publicados de herbarios nacionales y del extranjero.

Esta revisión bibliográfica incorpora todos los trabajos publicados de macroalgas que incluyan integraciones y/o aumento en el registro de especies o cambios nomenclaturales hasta 2021. El objetivo de este trabajo es actualizar y aumentar el conocimiento de la diversidad de macroalgas y cianoprocariontes, con el fin de integrar la Flora Ficológica de Yucatán (FFY) en términos de riqueza de especies, el análisis de su distribución en la región y por ambientes generales para detectar las áreas o hábitats que han sido estudiados con distinta intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La costa de Yucatán comprende un litoral ancho (360 km) y poco profundo (50 m en promedio) que se localiza en la zona de contacto entre el Golfo de México y el Mar Caribe, que se comunican por el Canal de Yucatán (Fig. 1). El clima se define con tres estaciones: “secas” “lluvias” y “Nortes” (Pech *et al.*, 2010). La temperatura media anual oscila de 24°C a 28°C y las aguas del Golfo de México tienen una salinidad de 36.5 mg/l, (De la Lanza- Espino y Gómez- Rojas, 2004).

En este estudio, se seleccionaron los registros de las especies de macroalgas y cianoprocariontes de tres fuentes: publicaciones, colecciones de herbario y bases de datos de proyectos. La base de datos genera-

da tiene registros a nivel de especie y taxones infraespecíficos. Se generó una tabla donde se enlistan las especies, incluyendo aquellas con un solo registro, indicando en cuales y cuantos ambientes ha sido encontradas y una referencia, que puede ser, ya sea el único reporte para esa especie (artículo, herbario o proyecto), o en los casos en que se ha citado en muchos trabajos, el último que recopila toda la información como el caso de los trabajos de García-García *et al.* de 2020 y 2021.

Revisión de herbarios:

Para la información de las colecciones, se consultaron diferentes herbarios (UADY, ENCB, FCME, UCF e IZTA, MICH). De esta fuente de información se obtuvo el nombre de la especie, año de recolecta, localidad, así como información de su hábitat o sustrato.

Muestras de campo:

Se tomaron datos de las especies recolectadas de los proyectos SEMARNAT-2004-01-180, PRODEP 2005-206, PAPIME PE207317, de 27 localidades de la costa norte de Yucatán de 2004-2019, así como de material procedente de zonas de los Bajos arrecifales de Sisal de 2019-2021. Las localidades se dividieron por ambientes, quedando 18 sitios que corresponden al ambiente costero, cinco son lagunas costeras y cuatro corresponden a ambientes arrecifales.

Los ambientes generales son tres: el ambiente costero, que se ubica a lo largo del litoral, con playas arenosas o areno-limosas que abarca de la localidad de Celestún hasta El Cuyo (Fig.1).

Ambiente lagunar: Incluye lagunas costeras con fondo limoso y rodeados de manglares: Ría de Celestún, Laguna de Chelem - Yucalpetén, Ría Lagartos, Bocas de Dzilam, laguna hipersalina Santa Clara.

Ambiente arrecifal: Incluye arrecifes rocosos, y coralinos insulares: Arrecife Alacranes, Cayo Arenas, Bajos de Diez y Arrecife Madagascar.

El material de referencia se encuentra depositado en la sección del herbario de la UADY y en la colección de macroalgas de la UMDI-Sisal y la colección del Herbario FCME.

Revisión de publicaciones

Se revisaron publicaciones de 1935 a 2021 donde se citan especies de algas, pero no se consideraron estudios de naturaleza aplicada o eco-fisiológico. Para la búsqueda de artículos se usaron palabras claves en las bases de datos Springer Link, EBSCO, JSTOR y CAB Abstracts además de Researchgate y Google académico. No se incluye información de Bases de datos digitales (p.e. GBIF, SNIB, OBIS) ya que no dan distribución específica de las especies en localidades o ambientes del Estado de Yucatán, que es el objetivo de este trabajo.

La información de cianobacterias se obtuvo de la base de datos del proyecto KT016 "Catálogo de autoridades taxonómicas de Cyanoprokaryota marinos bentónicos de México", que incluyó información de León-Tejera *et al.* (2009). En él se incluyó información proveniente de registros bibliográficos, así como de ejemplares de los Herbarios US, DUKE; y dentro de las colecciones nacionales se encuentran la Colección ficológica en los herbarios ENCB y FCME. No se han incluido ejemplares determinados a nivel de género.

Se analiza asimismo que tipo de flora ficológica predomina en Yucatán, con base en los índices de Feldmann (1937) y Cheney (1977), y se compara con respecto a la flora ficológica que se encuentra en los Estados contiguos de Campeche y Quintana Roo. Se utilizó el índice de similitud de Jaccard para comparar ambientes, considerando la riqueza y composición de especies.

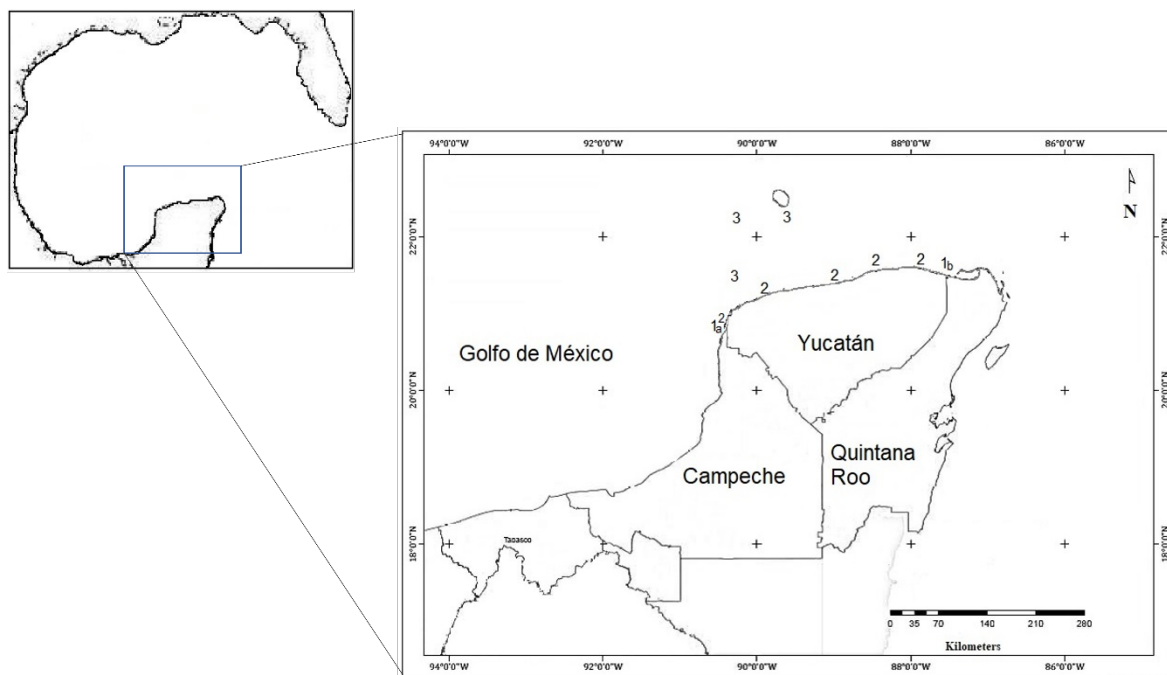


Figura 1. Área de estudio. Localización de los ambientes incluidos en este estudio. 1a. - 1b. Área desde Celestún hasta El Cuyo, donde se presenta el Ambiente costero, que se extiende a lo largo del litoral. 2.- Ambiente lagunar. 3.- Ambientes Arrecifales.

Actualización del estado taxonómico

Se revisaron todas las especies registradas en la bibliografía y se actualizó la nomenclatura de acuerdo con AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2022) y en el caso de los cianoprocariontes, además se utilizó a Cyanodb (Hauer & Komárek, 2022) y a Komárek *et al.* (2014).

RESULTADOS

Al reunir todas las publicaciones desde 1935 hasta 2021 se incluyeron todas las especies de macroalgas y cianoprocariontes marinos de Yucatán, junto con los que provienen de revisiones de herbario, y colectas de proyectos, con lo que se generó una base de datos que contiene un total de 34 órdenes, 90 familias, 190 géneros y 462 especies (Fig. 2); Rhodophyta presenta el mayor número de especies (194) seguidos por Chlorophyta (138 spp); cianoprocariontes (76) y Phaeophyceae (54) registran el menor número de especies (Figs. 2 y 3).

De estos 462 taxones, hubo un incremento en el número de especies desde el último registro de algas (285 reportadas por Ortégón-Aznar *et al.* 2010). Se enlistan 35 taxones que constituyen nuevos registros para el Estado de Yucatán, no mencionados en trabajos publicados (marcados en Tabla 1 con * en la columna Referencia): 18 Rhodophyta, 2 Phaeophyceae y 15 Chlorophyta como *Corynomorpha clavata*, *Chnoospora mínima*, *Microdictyon marinum* (Tabla 1 material suplementario). Algunos de estos nuevos registros provienen de herbarios y otros son parte de colecciones de campo recientes de proyectos.

Las proporciones de algas rojas, verdes y pardas de la flora ficológica de Yucatán de acuerdo con el índice de Feldmann tiene un valor de 3.59 y con el índice de Cheney, un valor de 6.14, siendo el de Feldman

más bajo que lo indicado para floras tropicales (índice de Feldman = 4 y el índice de Cheney = 6); Comparando nuestros datos con los citados para Campeche (Mateo-Cid *et al.* 2013) encontramos que los valores (5.3 y 9.3) están en la proporción para flora tropical en ambos índices, y Quintana Roo (Pedroche & Senties, 2003) es un poco menor para el índice de Feldman (3.83 < 4) pero funciona con el índice de Cheney (6.55). En el análisis por ambientes, solo las lagunas presentan una flora tropical de acuerdo con el índice de Feldman (4.6) y el índice de Cheney (7.8).

Por distribución de ambiente general, los arrecifes coralinos registran mayor riqueza (310 spp.) que el costero (254 spp.) y el lagunar (123 spp.) (Fig. 4). El análisis también muestra mayor riqueza de Rhodophyta que los otros grupos.

Del total de especies, 298 solo se presentan en un solo ambiente y 61 especies se registran en los tres ambientes generales (27 Rhodophyta, 7 Phaeophyceae, 25 Chlorophyta y una Cyanoprokaryota) siendo las Ceramiales y las Bryopsidales los grupos que se presentan en más ambientes. Al analizar por tipo de ambiente el coeficiente de Jaccard mostró que no presentan similitudes entre ellos (0.0.273).

Ambiente costero

En el ambiente costero se encontraron 254 especies (108 Rhodophyta, 40 Phaeophyceae, 93 Chlorophyta y 13 Cyanoprokaryota).

La mayor riqueza de especies la presentó Rhodophyta y a nivel de orden y familia, fueron Ceramiales (Rhodomelaceae y Ceramiaceae) y Corallinales (Coralinaceae). En Chlorophyta fueron el orden Bryopsidales (familias Caulerpaceae y Halimedaceae) y en la clase Phaeophyceae fueron las Dictyotales (Dictyotaceae). (Tabla 1, material suplementario).

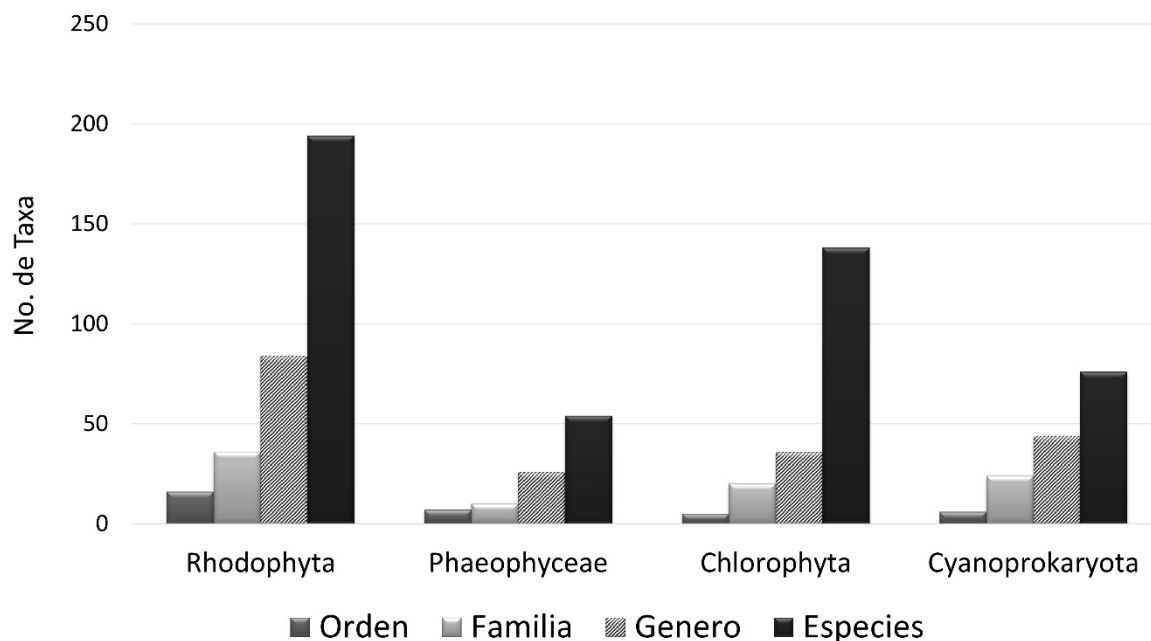


Figura 2. Número de taxones de las algas de la costa Norte de Yucatán.

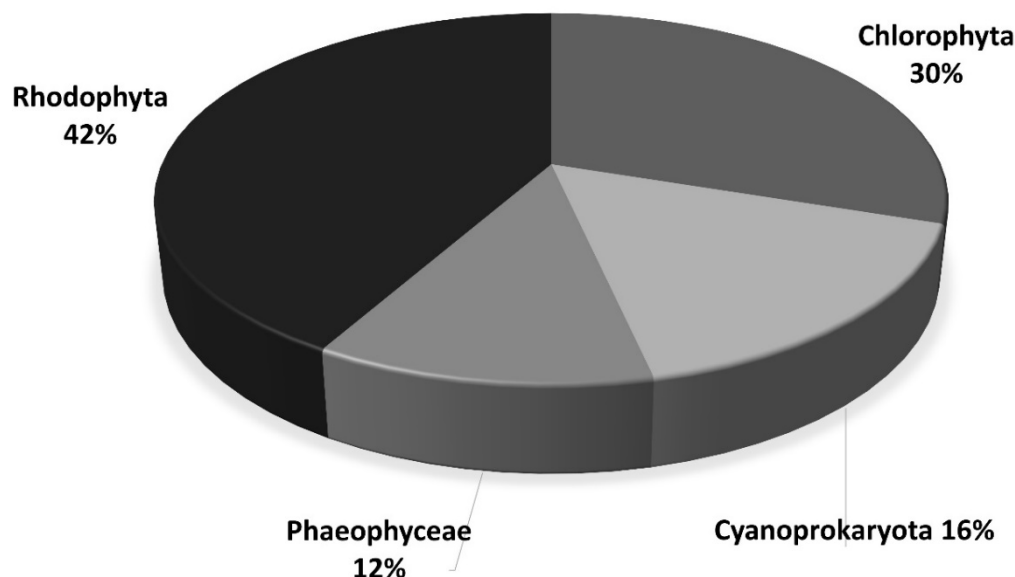


Figura 3. Porcentaje de especies por División o Clase de Algas en la costa Norte de Yucatán.

Ambiente arrecifal

Los arrecifes son el ambiente más diverso, registrando 310 especies (119 Rhodophyta, 39 Phaeophyceae, 85 Chlorophyta y 67 Cyanoprokaryota), únicamente para cuatro sitios, donde Alacranes tiene el mayor número de especies (240 spp.), seguido de Bajos de Diez (83 spp.), Madagascar (46 spp.) y Cayo Arenas (31). Rhodophyta tiene la mayor riqueza de especies (118 spp.), a nivel de orden y familia fueron: Ceramiales (Rhodomelaceae y Ceramiaceae), Corallinales (Coralinaceae) Bryopsidales (Caulerpaceae y Halimedaceae) y Dictyotales (Dictyotaceae). (Tabla 1 material suplementario).

Ambiente lagunar

Se tienen un total de 125 especies (65 Rhodophyta, 45 Chlorophyta, 11 Phaeophyceae y cuatro Cyanoprokaryota) entre las cinco lagunas, donde Ría Lagartos (74 spp.) tiene la mayor riqueza, mientras que Bocas de Dzilam (7 spp.) es la que menor riqueza de especies. Rhodophyta (65 spp.) tiene la mayor riqueza de especies, y a nivel de orden y familia, Ceramiales (Rhodomelaceae y Ceramiaceae), Bryopsidales (Caulerpaceae), Cladophorales (Cladophoraceae) y Dictyotales (Dictyotaceae) (Tabla 1 material suplementario).

En cuanto a Cianoprocariontes (Cyanoprokaryota) se registran en esta obra 76 especies que corresponden a 3 subclases, 6 órdenes, 24 familias y 44 géneros. Casi todos los géneros solo registran una especie. Las más frecuentes son: *Spirulina* y *Leptolyngbya* con 7 especies y *Lyngbya* con 5 especies. *Entophysalis*, *Oscillatoria*, *Schizothrix*, *Blenothrix* y *Dichothrix* tienen tres especies, *Calothrix*, *Isactis*, *Scytonema-topsis*, *Aphanothece*, *Symploca*, *Phormidium* dos especies y 24 géneros con una especie registrada para la costa de Yucatán (Tabla 1, material suplementario).

Respecto al ambiente es claro que hay muy pocos registros de cianoprocariontes en ambientes costeros y lagunares. Todas las especies tienen citas para arrecifes y solo 4 para ambientes costeros o lagunares, denotando una falta de estudios sobre el grupo en el estado (León-Tejera *et al.* 2016).

DISCUSIÓN

De los 285 taxones mencionados en la última revisión (Ortegón-Aznar *et al.* 2010), algunas especies han caído en sinonimia (Guiry & Guiry 2022); sin embargo, el incremento en el número de especies a 462 se debe al aumento de estudios ficológicos especializados y trabajos realizados por una nueva generación de ficólogos, por ejemplo, los de Vilchis *et al.* (2020), o Sauvage *et al.* (2021). Asimismo, la revisión de herbarios permitió rescatar especies no publicadas previamente y que son primeros registros para Yucatán.

En el listado de especies, hay una especie, *Caulerpa ollivieri* que aparece como sinónimo de *C. prolifera*; sin embargo, se decidió conservar el nombre de *C. ollivieri*, debido a la ausencia de argumentos válidos para este cambio. Algaebase menciona que el cambio nomenclatural fue con base en una comunicación personal de Furnari, quien reconoce que esta entidad podría representar a especímenes más pequeños de *Caulerpa prolifera* y se remite al artículo de Cormaci *et al.* (2014) donde textualmente se menciona "Estamos de acuerdo con Gonzalez Henriquez & Santos-Guerra (1983: 9) al considerar a *Caulerpa ollivieri* Dostál conoespecífico con *C. prolifera*. También Meinesz & Hesse (1991: 421) plantearon algunas dudas sobre el reconocimiento de *C. ollivieri* como un taxón distinto" y por último, se menciona que Verlaque *et al.* (2019: 185) aceptan esta sinonimia. - (11 May 2006 - Wendy Guiry en Guiry & Guiry 2022) al estar de acuerdo con González- Henríquez &

Santos-Guerra (1983), de que *C. ollivieri* es solo un ecomorfosis enana de *C. prolifera*. En ningún caso y sin artículo científico de respaldo que brinde evidencia molecular, morfológica, o ecofisiológica comprueban la posible sinonimia. Por lo tanto, consideramos a *C. ollivieri* como una especie independiente y registrada para Yucatán.

Las rodofitas son el grupo con mayor número de especies, algo común en zonas tropicales y son las más frecuentes en la costa del Golfo de México y el Caribe (Ortega, *et al.* 2001, Mendoza-González *et al.* 2016, García-García *et al.* 2020).

Con base a la afinidad florística de las macroalgas del estado de Yucatán, se observó que solo cumple con el índice de Cheney para floras tropicales, sin embargo, de acuerdo con Earle y Young (1972) el Golfo de México y el Caribe Mexicano tienen condiciones tropicales en el contexto ambiental (Lüning, 1990). Los datos obtenidos en este estudio muestran que estos índices no fueron consistentes con la concepción de que la flora de la región es claramente tropical, y esto se puede deber posiblemente a ausencia de registro de especies por diferencias en los métodos y esfuerzos de muestreo.

Para los cianoprocariontes, varias especies se han registrado para ambientes no marinos; sin embargo, ya que en el litoral de la península de Yucatán es frecuente el afloramiento de agua continental cerca de la costa, estos registros se han mantenido en la Tabla 1.

Con respecto a la distribución de especies por ambientes generales (Fig. 4), el ambiente arrecifal presentó mayor riqueza de especies, esto se debe principalmente a los estudios de Kim (1964) y Huerta-Múzquiz *et al.* (1987) de Arrecife Alacranes, que, a pesar de tener menos esfuerzo de trabajo, son los que han incluido a la mayor cantidad de especies de cianoprocariontes, grupo poco o no incluido en otros estudios. El ambiente arrecifal posiblemente esté subvalorado en cuanto a riqueza de especies ya que la mayor parte de los registros provienen de un número escaso de publicaciones y de un pequeño número de arrecifes.

El ambiente costero tiene más especies de Chlorophyta que las zonas arrecifales, esto probablemente se deba a la presencia de sustratos arenosos y limo-arenosos, donde en estudios previos las clorofitas han demostrado ser el componente macroalgal predominante (Ortegón-Aznar *et al.* 2001, Garduño-Solórzano *et al.* 2005, Mateo-Cid *et al.* 2013). Así mismo sin considerar las cianoprocariontes el ambiente costero tiene solo 3 especies menos que el ambiente arrecifal, y esto se debe a la presencia a los diferentes microhábitats a lo largo de la costa, como sustratos arenosos y rocosos calcáreos, praderas de pastos marinos, bajo diferentes condiciones ambientales (Cetz-Navarro *et al.*, 2008).

El ambiente costero, es el ambiente general con mayor facilidad de acceso, por lo que tiene mayor esfuerzo de muestreo, y aunque no tiene el mayor número de especies; hay más de 20 colectores que han registrado ejemplares en diferentes herbarios, y donde se tienen los registros más antiguos, con ejemplares recolectados desde 1865 (Taylor, 1935).

El ambiente lagunar fue el que presentó el menor número de especies y la laguna con mayor riqueza fue Ría Lagartos, esto puede deberse, a la mayor intensidad de estudios realizados, pues existen cuatro estudios para macroalgas, y en Ortegón-Aznar *et al.* (2001) se incluyen diferentes épocas del año. También podría estar relacionado con el tamaño de la laguna y las condiciones ambientales, Ría Lagartos es de las más grandes y otras, como Ría Celestún y Chelem, tienen condiciones hipohalinas porque el agua dulce brota en manantiales, mientras que Ría Lagartos, tienen más áreas con condiciones marinas (Ortegón-Aznar & González-González, 2000).

Se pudo constatar una gran diferencia en el número de especies mencionadas en distintas obras, resultado de métodos diferentes, intensidad, época de muestreo, sitios, ambientes o hábitats estudiados. La costa norte de Yucatán es muy extensa y consideramos que, si bien existen muchos trabajos sobre macroalgas bentónicas, algu-

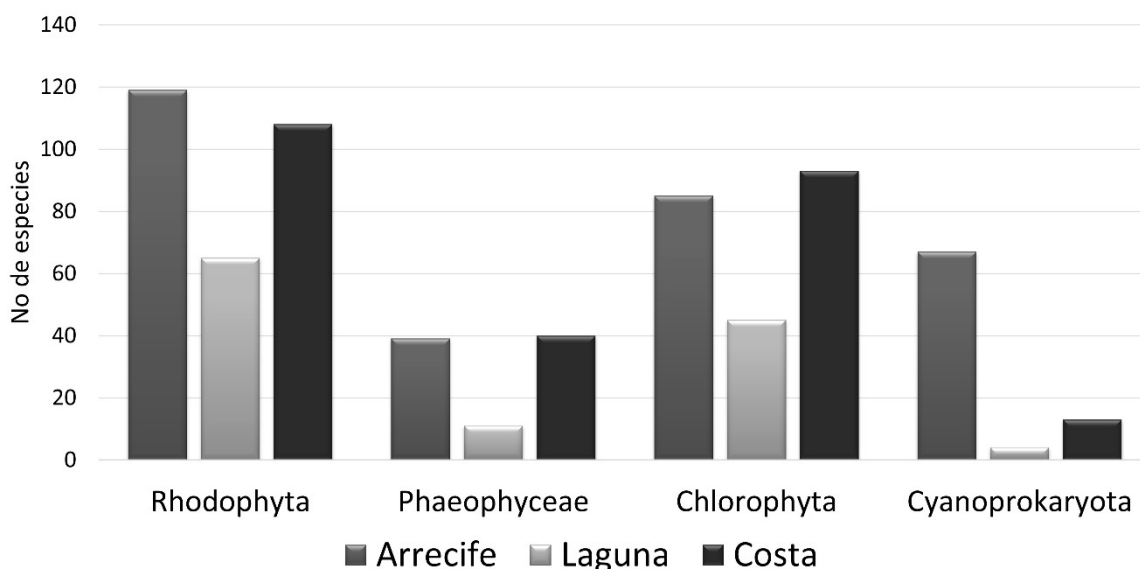


Figura 4. Número de especies de cada División o Clase, por ambiente.

nos taxones y ambientes han sido poco estudiados, tal es el caso de Cyanoprokaryota y Phaeophyceae. En consecuencia, es necesario continuar los estudios en áreas con ambientes poco o no conocidos, como los ambientes arrecifales rocosos y zonas costeras con fuertes presiones de desarrollo turístico, donde no siempre se tiene control de embarcaciones que pueden ser portadoras de especies que pueden ser invasivas. Asimismo, permite crear una línea de base para tener un mayor conocimiento de la diversidad, y ser fuentes estratégicas de información biológica. La catalogación de especies de algas marinas es crucial para la ciencia y la ecología. Como citó Guiry (2012): “Se necesita conocer el mundo natural, no solo por su aprovechamiento, sino por su complejidad y sobrecogedora belleza y armonía”. “Sería una tragedia no saber el alcance de nuestro patrimonio antes de que lo destruyamos sin motivo”.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por el financiamiento al proyecto KT016. A la Universidad Nacional Autónoma de México por el financiamiento del proyecto PAPIME PE207317. A la M. en C. Carmen Galindo, y a los estudiantes Mariana Álvarez, Valery Avila, Karla Duran, Fernando Ayuso y Daniel Hernández por su apoyo en el estudio de las macroalgas marinas. A la Dra. Laura González Reséndiz, los biólogos Ernesto Cabrera-Becerril, Berenice Ramírez Padilla y las estudiantes Gabriela Hernández, Annie May Ek García, Mónica Peralta por su apoyo en el estudio de cianoprocariontes marinos.

REFERENCIAS

- AGUILAR-ROSAS, L. E., J. ESPINOZA-AVALOS & R. AGUILAR-ROSAS. 2001. Distribución de las especies de la familia Udoteaceae (Bryopsidales, Chlorophyta) de la península de Yucatán, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 47: 99-108.
- ANDERSEN, R. A. 1992. Diversity of eukaryotic algae. *Biodiversity and Conservation* 1: 267-292. <https://doi.org/10.1007/BF00693765>
- ARELLANO-GUILLERMO, A. & M. A. SERRANO-ISLAS. 1993. Reserva De Dzilam, Yucatán. In: Salazar-Vallejo, S. I. & N. E. González (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO/CIQRO. México, pp. 630-640.
- CETZ-NAVARRO, N. P., J. ESPINOZA-AVALOS, A. SENTÍES & L. I. QUAN- YOUNG. 2008. New records of macroalgae for the Mexican Atlantic and floristic richness of the Mexican Caribbean. *Hidrobiológica* 18 (1): 11-19.
- CHENEY, D. P. 1977. A new improved ratio for comparing seaweed floras. *Journal of Phycology* 13: 1-13.
- CORMACI, M., FURNARI, G., & ALONGI, G. 2014. Flora marina bentónica del Mediterráneo: Chlorophyta. *Bollettino dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali di Catania* 47: 11-436.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. & J. C. GÓMEZ-ROJAS. 2004. Características físicas y químicas del Golfo de México. In: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurrea (Comp.) *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. SEMARNAT-INEIE, AC. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. pp. 105-136.
- DRECKMAN, K.M. 1998. *Clasificación y Nomenclatura de las Macroalgas Marinas Bentónicas del Atlántico mexicano*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 140 p.
- DRECKMAN, K. M. & G. DE LARA-ISASSI. 2000. *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariaceae, Rhodophyta) en el Atlántico mexicano. *Hidrobiológica* 10 (2): 125-130.
- DRECKMANN, K. M. 2012. Los géneros *Gracilaria* e *Hydropuntia* (Gracilariaceae, Rhodophyta) en las costas mexicanas del Golfo de México y Caribe. In: Senties, A. y K. M. Dreckmann (Eds.). *Monografías fitológicas*, Vol. 4. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México y Universidad de La Laguna, Tenerife. Cd. Mx., México. pp. 111-204.
- DÍAZ-MARTÍN, M. A. & J. ESPINOZA-AVALOS. 2000. Distribution of brown seaweeds (Phaeophyta) in the Yucatan peninsula, México. *Bulletin of Marine Science* 66: 279-289.
- EARLE, S. E. & J. E. YOUNG. 1972. *Siphonoclathrus*, a new genus of Chlorophyta (Siphonales: Codiaceae) from Panama. Harvard University Herbaria. *Occasional Papers of the Farlow Herbarium of Cryptogamic Botany* No. 3: 1-4.
- ESPINOZA-AVALOS, J., L. E. AGUILAR-ROSAS, R. AGUILAR-ROSAS, J. M. GÓMEZ-POOT & R. RAIGOZA-FIGUERAS. 2015. Presencia de Caulerpaceae (Chlorophyta) en la Península de Yucatán, México. *Botanical Sciences* 93 (4): 845-854.
- FELDMANN, J. 1937. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La Côte des Albères. *Revue algologique* 10: 1-339.
- GARCÍA-GARCÍA, A. M. E., CABRERA-BECERRIL, E., NÚÑEZ-RESENDIZ, M. L., DRECKMANN, K. M. & SENTÍES, A. 2020. Actualización taxonómica de las algas rojas (Rhodophyta) marinas bentónicas del Atlántico mexicano. *Acta Botánica Mexicana* 127: article e1677 [1-94].
- GARCÍA-GARCÍA, A. M. E., E. CABRERA-BECERRIL, M. L. NÚÑEZ-RESENDIZ, K. M. DRECKMANN & A. SENTÍES. 2021. Actualización taxonómica de las algas pardas (Phaeophyceae, Ochrophyta) marinas bentónicas del Atlántico mexicano. *Acta Botánica Mexicana* 128: e1968. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1968>
- GARCÍA-FERRER, L., C. GALICIA-GARCÍA, Y. B. OKOLODKOV & J. A. HERRERA-SILVEIRA. 2019. *Halopteris filicina* (Phaeophyceae: Sphacelariales), a new record for Mexico. *CICIMAR. Océanides* 34 (2): 29-36.
- GARDUÑO-SOLÓRZANO, G., J. L. GODÍNEZ-ORTEGA & M. M. ORTEGA. 2005. Distribución geográfica y afinidad por el sustrato de las algas verdes (Chlorophyceae) bentónicas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 76: 61-78.
- GONZÁLEZ-HENRÍQUEZ, N. & SANTOS GUERRA, A. 1983. El género *Caulerpa* Lamouroux en las Islas Canarias. *Botanica Macaronésica* 11: 3-24.
- GUIRY, M. D. 2012. How many species of algae are there? *Journal of Phycology* 48: 1057-1063. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x
- GUIRY, M. D. & GUIRY, G. M. 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponible en línea en: <https://www.algaebase.org> (consultado el 9 de agosto de 2022).

- HAUER, T. & J. KOMÁREK. 2022. CyanoDB 2.0 - On-line database of cyanobacterial genera. - World-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR. Disponible en línea en: <http://www.cyanodb.cz> (consultado el 9 de agosto de 2022).
- HUERTA-MÚZQUIZ L. 1958. Contribución al conocimiento de las algas de los bajos de la Sonda de Campeche, Cozumel e Isla Mujeres. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 9: 115-123.
- HUERTA, L. 1961. Flora marina de los alrededores de la Isla Pérez, arrecife Alacranes, Sonda de Campeche, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 10: 10-22.
- HUERTA-MÚZQUIZ, L., A. C. MENDOZA-GONZÁLEZ & L. E. MATEO-CID. 1987. Avance sobre un estudio de las algas marinas de la península de Yucatán. *Phytologia* 62: 23-53.
- HUMM, H.J. 1952. Marine algae from Campeche banks. *Florida State University Studies* No.7. 27 p.
- KIM, C. S. 1964. Marine algae of Alacran Reef, southern Gulf of México. PhD. Thesis, Duke University, Durham, U.S.A. 213 p.
- KOMÁREK, J., J. KASTOVSKY, J. MARES & J. R. JOHANSEN. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera), using a polyphasic approach. *Preslia*. 86: 295-335.
- KORNICKER, L. S., F. BONET, R. CANN, & C. M. HOSKIN. 1959. Alacran Reef, Campeche Bank, Mexico. *Publications of the Institute of Marine Science* 6: 1-22.
- LEÓN-TEJERA, H., G. MONTEJANO & M. GOLD MORGAN. 2009. Marine epiphytic and epilithic blue greens from the Gulf of México. In: Felder, D. L. & D. K. Camp (Eds.) *The Gulf of Mexico. Its Origin, Waters, and Marine Life. (A 50-Year Update of "Bulletin 89"). Volume III - Gulf of Mexico: Biota. Part C: Phylogenetic Composition and Diversity*. Harte Research Institute. Texas A & M University-Corpus Christi. 1393 p. ISBN-13: 9781603440943.
- LEÓN-TEJERA, H. P., L. GONZÁLEZ-RESENDIZ, E. CABRERA BECERRIL, A. M. E. GARCÍA-GARCÍA, J. MARTÍNEZ-YERENA, B. RAMÍREZ-PADILLA & M. PERALTA-CABALLERO. 2016. Estado del conocimiento de cianoprocariontes Bénticos Marinos de La Costa Atlántica Mexicana. *Responsabilidad Para La Sustentabilidad De La Zona Costera* Número Especial No.4. AÑO 6. No. 11: 95-105.
- LLORENTE-BOUSQUETS, J., & S. OCEGUEDA. 2008. Estado del conocimiento de la biota, In: Soberón, J., G. Halfter & J. Llorente-Bousquets (Comp.). *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 283-322.
- Lüning K. 1990. *Seaweeds: their environment, biogeography, and eco-physiology*. Revised translation, Wiley, xiii, 527p.
- MATEO-CID, L. E., A. C. MENDOZA-GONZÁLEZ & S. FREDERICO. 2013. A checklist of subtidal seaweeds from Campeche banks, Mexico. *Acta Botánica Venezuelica* 36 (2): 95- 108.
- MATEO-CID, L. E., C. MENDOZA-GONZÁLEZ, & D. Y. GARCIA-LOPEZ. 2014. Systematic survey of *Lithothamnion*, *Melobesia* and *Mesophyllum* species (Hapalidiaceae, Corallinales, Rhodophyta) recorded along the Atlantic coast of Mexico. *Phytotaxa* 164 (4): 226-238.
- MEINESZ, A. & B. HESSE. 1991. Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologica Acta* 14(4): 415-426.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, A. C. & L. E. MATEO-CID. 2005. El género *Dictyopteris* J. V. Lamouroux (Dictyotales, Phaeophyceae) en las costas de México. *Hidrobiológica* 15 (1): 43-63.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, A. C., L. E. MATEO-CID, D. Y. GARCIA-LOPEZ & J. A. ACOSTA CALDERÓN. 2014. Diversity and distribution of articulated coralline algae (Rhodophyta, Corallinales) of the Atlantic coast of Mexico. *Phytotaxa* 190 (1): 45-63.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, C., L. E. MATEO-CID, D. Y. GARCÍA-LÓPEZ, J. A. ACOSTA-CALDERÓN, A. VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, C. M. HERNÁNDEZ- CASAS, A. GERARDO & A. GARDUÑO-ACOSTA. 2016. Marine seaweeds of the Yucatan Peninsula: Diversity, economic importance and conservation. In: Riosmena-Rodríguez, R. (Ed.). *Marine Benthos: Biology, Ecology Functions, and Environmental Impact*. Nova Science Publishers Inc. New York, EUA. pp. 83-138.
- MUÑOZ, A. 1996. Catálogo de algas Cyanophyceae bentónicas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. Tesis Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica. México D.F.
- ORTEGA, M. M., J. L. GODÍNEZ & G. GARDUÑO SOLÓRZANO. 2001. *Catálogo de algas bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe*. Cuaderno 34, Instituto de Biología, UNAM, México. 594p.
- ORTEGÓN-AZNAR, I. & J. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ. 2000. Macroalgal communities in coastal lagoon of the Yucatán Peninsula. In: Munawar, M., M. S. Laurence, I. F. Munawar & D. Malley (Eds.). *Ecovision World Monographs*. pp. 283-301.
- ORTEGÓN-AZNAR, I., J. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ & A. SENTÍES-GRANADOS. 2001. Estudio ficológico de la laguna de Río Lagartos, Yucatán, México. *Hidrobiología* 11 (2): 97-104.
- ORTEGÓN-AZNAR, I., H. LEÓN-TEJERA, M. GOLD-MORGAN & N. RAMÍREZ-MISS. 2008. Preliminary results on marine algae of Madagascarc Reef, Yucatan, México: a functional group approach. Ft. Lauderdale, Florida. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, pp. 1373-1376.
- ORTEGÓN-AZNAR, I., I. SÁNCHEZ-MOLINA & R. H. CASANOVA-CEZ. 2009. The distribution of marine algae in a coastal lagoon, northern Yucatan Peninsula, Mexico. *Neotropical Biology and Conservation* 42: 99-105.
- ORTEGÓN-AZNAR, I., Y. FREILE PELEGRÍN. & D. ROBLEDO RAMÍREZ. 2010. Diversidad vegetal: Capítulo 4. Especies: Algas.. In: Durán R. & M. Méndez (Eds.). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, CONABIO, SEDUMA,. pp. 162-164.
- ORTEGÓN-AZNAR, I. & A. AGUILAR-PERERA. 2014. Distribución de las macroalgas en áreas naturales protegidas de la costa norte de la Península de Yucatán, México. *Revista Investigaciones Marinas* 34 (2): 1-12.
- ORTEGÓN-AZNAR, I., A. ROSADO-ESPINOSA & A. AGUILAR-PERERA. 2015. Occurrence of the Introduced Alga *Caulerpa olivieri* Dostál, 1929 [Caulerpaceae, Chlorophyta] in the southern Gulf of Mexico. *BiolInvasion Records*. 4 (1):17-21., ISSN: 2242-1300. doi: <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2015.4.1.03>.

- ORTEGÓN-AZNAR, I., A. M. SUÁREZ, M. DEL C. GALINDO-DE SANTIAGO & M. J. WYNNE. 2021. Description and distribution of *Nemacystus howei* (W.R. Taylor) Kylin (Chordariaceae) from the northern coast of the Yucatán peninsula. *Botanical Sciences* 99 (1): 161-168. DOI: 10.17129/botsci.2667
- PECH, D., M. M. MASCARÓ, N. SIMOES & C. ENRIQUEZ. 2010. Diversidad vegetal: Capítulo 1. Contexto físico. Ambientes marinos. In: Durán R. y M. Méndez (Eds). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, CONABIO, SEDUMA, pp. 21-23.
- PEDROCHE, F. F., K. M. DRECKMANN, A. SENTÍES & R. M. HERNÁNDEZ. 1993. Diversidad algal en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. Vol. Esp. 44: 69-92.
- PEDROCHE, F. F. & A. SENTÍES G. 2003. Ficología marina mexicana. Diversidad y Problemática actual. *Hidrobiológica* 13 (1): 23-32.
- PEDROCHE, F. F. & A. SENTÍES. 2020. Diversidad de macroalgas marinas en México. Una actualización florística y nomenclatural. *Cymbella* 6 (1): 4-55.
- ROSADO-ESPINOSA, L. A., I. ORTEGÓN-AZNAR, I. & M. A. RUIZ-ZARATE. 2012. Caracterización estructural de los mantos algales como recurso natural explotable en el Área Natural Protegida de Dzilam de Bravo, Yucatán, México. *Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 64: 208-215. ISSN: 1553-8486.
- ROSAS ORTÍZ, J. F., M. L. NÚÑEZ-RESENDIZ, K. M. DRECKMANN & A. SENTÍES. 2019. Diversidad de Halymeniaceae (Halymeniales, Rhodophyta) en México. *Cymbella* 5 (2-3): 135-146.
- SÁNCHEZ-MOLINA, I., J. GONZÁLEZ-CEBALLOS, C. ZETINA-MOGUEL & R. CASANOVA-CETZ. 2007. Análisis de la biodiversidad de algas marinas situadas ente Uaymitun y Chuburna. *Ingeniería Revista Académica* 11 (1): 43-51.
- SAUVAGE, T., M. J. WYNNE, S. G. A. DRAISMA, I. ORTEGÓN-AZNAR, L. E. MATEO-CID, A. C. MENDOZA-GONZÁLEZ, B. MARTÍNEZ-DARANAS & S. FREDERICQ. 2021. *Caulerpa wysorii* sp. nov., a denuded *Caulerpa* (Chlorophyta) resembling *C. sertularioides* when 'dressed'. *Phycologia* 60: 107-119. DOI:10.1080/00318884.2020.1862563
- TAYLOR, W. R. 1935. Marine algae from the Yucatán Peninsula. *Botany of the Maya area: Miscellaneous Papers VII, from the herbarium and the dept. of Botany of the University of Michigan*, Carnegie. Inst. Wash. Publ. No. 461: 115-124.
- TAYLOR, W. R. 1941. Tropical marine algae of the Artur Schott herbarium. *Botanical series. Publ. Field Museum of Natural History* 20 (4):87-104.
- VERLAQUE, M., C. F. BOUDOURESQUE & M. PERRET-BOUDOURESQUE. 2019. Mediterranean seaweeds listed as threatened under the Barcelona Convention: A critical analysis. *Scientific Reports of the Port-Cros National Park* 33: 179-214.
- VILCHIS, M. I., K. M. DRECKMANN, A. QUINTANAR-ISAÍAS & A. SENTÍES. 2020. Análisis morfométrico de las especies simpátricas del complejo *Crasiphycus corneus*-*C. usneoides* (Gracilariaceae, Rhodophyta) en las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. *Acta Botanica Mexicana* 127: e1596. DOI: 10.21829/ abm127.2020.1596.
- WYNNE, M. J. 2022. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: fifth revision. *Nova Hedwigia* 153: 1-180.