



**Casa abierta al tiempo**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

**UNIDAD IZTAPALAPA**

**BIOGEOGRAFÍA DE *CAULERPA* (CHLOROPHYTA) EN MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN BIOLOGÍA**

**P R E S E N T A:**

**HIDROBIÓL. MARIELA LIZBETH LÓPEZ VALDEZ**

**CODIRECTORES:**

**Dr. Kurt Martin Dreckmann Estay**

**Dr. Abel Sentíes Granados**

**ASESOR:**

**Dr. Erick Alejandro García Trejo**

**MÉXICO, D.F.**

**OCTUBRE 2016**

**La Maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
pertenece al Padrón Nacional de  
Posgrados de Calidad del CONACyT.**

El presente estudio “Biogeografía de *Caulerpa* (Chlorophyta) en México”, se realizó en el Laboratorio de Macroalgas Marinas (Área de Ficología comparada del Departamento de Hidrobiología) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, bajo la dirección del Dr. Abel Sentíes Granados y el Dr. Kurt Martin Dreckmann Estay.

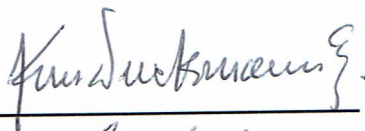
El jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**Hidrobiól.** Mariela Lizbeth López Valdez

El día 18 de Octubre del 2016

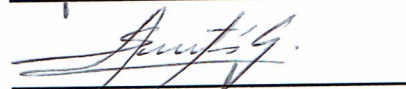
**COMITÉ TUTORAL**

Codirector: Dr. Kurt Martin Dreckmann Estay



---

Codirector: Dr. Abel Senties Granados



---

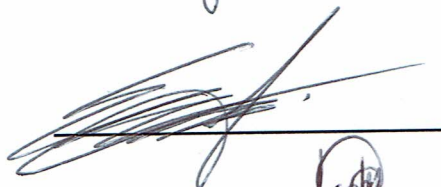
Asesor: Dr. Erick Alejandro García Trejo



---

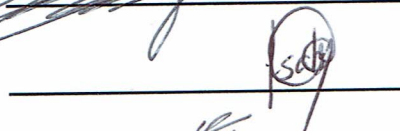
**JURADO DE EXAMEN**

Presidente: Dr. Erick Alejandro García Trejo



---

Secretaria: M. en B. Martha Isabel Vilchis Alfaro



---

Vocal: Dra. María Luisa Núñez Reséndiz



---

Vocal: M. en B. Oscar Eduardo Hernández Cervantes



---

Todo lo que hacemos tiene el toque del océano;  
sin embargo, permanecemos en la orilla de nuestros conocimientos.

**Richard Wilbur**

## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, por mi formación académica dentro del posgrado de la Maestría en Biología, por el apoyo en el aspecto administrativo y financiamiento económico.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico con número (CVU) **637068** que hizo posible el desarrollo de este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Indudablemente a lo largo de mi formación académica, la presencia y apoyo excepcional de muchas personas ha sido vital y de gran importancia, por ello quiero agradecer principalmente **a mi familia**, quiénes han estado presentes y dispuestos en todos los aspectos de mi vida.

**A la familia de Mateo Márquez Alegría, Alejandro Márquez Jiménez, Miguel Ángel Márquez Jiménez y Cruz Valverde**, que desde siempre nos han hecho sentir parte de ustedes; parte de su familia. MUCHAS GRACIAS.

**A mis codirectores, el Dr. Abel Sentíes Granados y el Dr. Kurt M. Dreckmann Estay**, por la dirección, apoyo y conocimiento otorgado.

**Al Dr. Erick Alejandro García Trejo**, por su asesoría, experiencia y consejos.

**A la Dra. María del Rocío Torres Alvarado y al Dr. Francisco J. Gutiérrez Mendieta**, por su seguimiento académico a lo largo de la maestría.

**A mis compañeros, el Hidrobiól. Edgar López Flores (UAM-I) y el Biól. Luis Enrique Sosa Caballero (UNAM)**, por su apoyo en el uso de los sistemas de información geográfica y en la instalación de los mismos.

**Al laboratorio de “Macroalgas marinas”** por su apoyo, consejos y por hacer que el trabajo sea más ameno.

Y finalmente, pero no por ello con menor importancia, a mis amigos, **Diego Rangel, Lizeth Escalante y Aarón Herrera**, quiénes han influido de manera directa e indirecta en la culminación de este proyecto.

<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>11</b>
<b>3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>21</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL	21
4.2. OBJETIVOS PARTICULARES	21
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>22</b>
5.1. BASE DE DATOS	22
5.2. ANÁLISIS BIOGEOGRÁFICO	24
5.3. ANÁLISIS DE RIQUEZA DE ESPECIES	27
5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DISTRIBUCIÓN DE <i>CAULERPA</i> Y LA DISTRIBUCIÓN DE LOS MANGLARES, ARRECIFES CORALINOS Y PRADERAS DE PASTOS MARINOS	28
5.5. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (ANP) Y SITIOS MARINOS PRIORITARIOS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD (SMP)	29
5.6. UNIDADES GEOGRÁFICAS DE ANÁLISIS: CUADRÍCULA DE 2° x 2° Y ECORREGIONES MARINAS DE MÉXICO	29
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>30</b>
6.1. LISTA DE ESPECIES Y SUS LOCALIDADES	30
6.2. COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS ESTADOS COSTEROS	44
6.3. ANÁLISIS BIOGEOGRÁFICO	46
6.4. RIQUEZA DE ESPECIES POR REGIÓN, ESTADO COSTERO Y LOCALIDAD	49
6.5. ESPECIES DE <i>CAULERPA</i> CONGRUENTES CON LA DISTRIBUCIÓN DE MANGLARES, ARRECIFES CORALINOS Y PRADERAS DE PASTOS MARINOS	53
6.6. RECONOCIMIENTO DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y SITIOS MARINOS PRIORITARIOS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	55
6.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES GEOGRÁFICAS DE ANÁLISIS (CUADRÍCULA Y ECORREGIONES MARINAS) COINCIDENTES CON LA DISTRIBUCIÓN DE <i>CAULERPA</i> , MANGLARES, CORALES Y PASTOS MARINOS, ANP Y SMP	56
<b>7. DISCUSIÓN</b>	<b>59</b>

<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
<b>9. REFERENCIAS</b>	<b>75</b>
<b>Apéndice I</b>	<b>91</b>
<b>Apéndice II</b>	<b>96</b>
<b>Apéndice III</b>	<b>97</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Características de <i>Caulerpa</i> : <b>A)</b> Morfología general del género (eje postrado con rizoides y ejes erectos o frondas), <b>B)</b> Trabéculas (estructuras que dan soporte al interior de la célula), <b>C)</b> Reproducción asexual efectuada por fragmentación.	10
2	Unidades geográficas de análisis: <b>A)</b> Cuadrícula de 2° de latitud x 2° de longitud, <b>B)</b> Ecorregiones marinas de México de acuerdo con Spalding <i>et al.</i> (2007).	25-26
3	Árbol de consenso por regla de la mayoría obtenido a partir del análisis PAE mediante la cuadrícula de 2° x 2°.	47
4	Representación espacial de las celdas agrupadas en el cladograma de la Fig. 3. El color de cada celda corresponde al componente al que pertenecen.	48
5	Árbol de consenso estricto obtenido a partir del análisis PAE mediante las ecorregiones marinas. Los círculos negros indican sinapomorfías o autoapomorfías. Los superíndices se refieren al número de la especie comenzando desde cero.	48
6	Representación espacial de las ecorregiones marinas agrupadas en el cladograma de la Fig. 5.	49
7	Representación de la riqueza específica de <i>Caulerpa</i> para cada una de las localidades del área de estudio. Se señala Isla Mujeres como la localidad con mayor riqueza de especies.	51
8	Celdas y ecorregiones marinas congruentes con la distribución de las especies de <i>Caulerpa</i> , manglares, corales y pastos marinos, áreas naturales protegidas y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad. El color de la celda corresponde al componente al que pertenecen de acuerdo con la Fig. 3.	59

## LISTA DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Especies de <i>Caulerpa</i> por estado costero.	52
2	Especies de <i>Caulerpa</i> que coinciden en su distribución con la de los manglares, arrecifes coralinos y/o praderas de pastos marinos.	54-55
3	Áreas naturales protegidas y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad que se sobreponen con la distribución de 16 especies de <i>Caulerpa</i> y la distribución de manglares, arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos. Sitios marinos prioritarios de acuerdo a su importancia: "E.I": extrema importancia, "M.I": muy importante, "I": importante.	58

## RESUMEN

Se registraron 18 especies de *Caulerpa* en México distribuidas en 304 localidades. El análisis de parsimonia de endemismos (PAE) se realizó para identificar los patrones de distribución de las especies, usando dos unidades geográficas de análisis: una cuadrícula de 2° de latitud x 2° de longitud y las ecorregiones marinas propuestas para México. El árbol de consenso por regla de la mayoría obtenido a partir del análisis de la cuadrícula, reveló la existencia de tres componentes, de los cuales el primer componente coincidió con las ecorregiones marinas (Sur del Golfo de México y Caribe occidental) agrupadas en el árbol de consenso estricto, mismas que destacaron por su alta diversidad de especies de *Caulerpa*, así como por la distribución restringida de algunas especies en el caso del Caribe occidental. En ambas ecorregiones y en el tercer componente (Golfo de Baja California Sur) se observó una congruencia entre la distribución de *Caulerpa*, manglares, corales y pastos marinos, coincidiendo a su vez con 12 áreas naturales protegidas; entre ellas reservas de la biosfera, parques nacionales y áreas de protección de flora y fauna; así como con 13 sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Con base en los resultados, se sugiere que *Caulerpa* se integre dentro de los inventarios biológicos que ayudan a definir el establecimiento de estas áreas protegidas. Para el caso del primer y segundo componente, se identificaron celdas sin correspondencia geográfica, lo cual pudo deberse a una mala identificación taxonómica como consecuencia de la plasticidad morfológica que caracteriza al género.

## ABSTRACT

In this study 18 species of *Caulerpa* were recorded in Mexico distributed in 304 localities. Parsimony Analysis of Endemicity (PAE) was used to identify the distributional patterns of the species, using two geographic units of analysis: grid-cells of 2° latitude x 2° longitude and marine ecoregions proposed for Mexico. The majority-rule consensus tree obtained with the grid-cell analysis, showed three components, the first component coincided with the marine ecoregions (Southern Gulf of Mexico and Western Caribbean) grouped in the strict consensus tree, recognized as areas of high diversity of species of *Caulerpa*, as well as restricted distribution of some species in the case of Western Caribbean. In both ecoregions and the third component (Gulf of Baja California Sur) was observed a congruence among distribution of *Caulerpa*, mangroves, coral reefs and seagrass, coinciding in turn with 12 natural protected areas; including biosphere reserves, national parks and protection area of flora and fauna; as well with 13 marine priority sites for biodiversity conservation. From these results, I suggest that *Caulerpa* is integrated biological inventories that help define the establishment of these protected areas. In the case of the first and second component, were identified grid-cells without geographical correspondence, which could be due to bad taxonomic identification as a result of the morphological plasticity of the genus.

## 1. INTRODUCCIÓN

La biogeografía es una de las disciplinas centrales de la biología comparada y se encarga de estudiar la distribución de los seres vivos en el espacio y a través del tiempo. Los objetivos fundamentales de esta disciplina son: reconocer los patrones de distribución geográfica de las especies y taxones supraespecíficos, proponer hipótesis acerca de los procesos que los causaron y proporcionar un sistema de regionalización biótica del planeta (Morrone, 2001a, 2004a; Pérez-Malvárez *et al.*, 2013).

De acuerdo con Okolodkov (2010) el objeto de los estudios biogeográficos lo constituyen las especies, los taxones de otros rangos, la fauna, la flora, la biota, las comunidades y los ecosistemas, mientras que el sujeto de la biogeografía lo representan las áreas de distribución de los organismos recientes y fósiles.

Myers y Giller (1988a) consideran que el objetivo fundamental de la biogeografía consiste en la definición de patrones y en la identificación de sus procesos causales. Es importante aclarar que el desarrollo de los procesos preceden o dan lugar a la formación de patrones, sin embargo, como primer paso, el biogeógrafo requiere identificar primero el patrón y posteriormente averigua los agentes causales que lo han configurado (Vargas, 1992).

La palabra *patrón* hace referencia a rasgos característicos de un conjunto de resultados, tales como tendencias y repeticiones en una serie de datos (Fa y Morales, 1998). Debido a que la existencia de un patrón se diagnostica por

recurrencia o repetición de distribuciones de datos independientes, con respecto a una o más variables; la biogeografía intenta caracterizar dichos patrones con respecto al espacio o tiempo (Escalante *et al.*, 2003).

Los procesos implicados en la formación de patrones biogeográficos, que explican la permanencia de una especie en un espacio y tiempo, están determinados por diversas variables ambientales como el clima, suelo, temperatura, humedad, entre otros; sin embargo, la presencia de una especie o taxón no se explica únicamente por causas o factores ecológicos, ya que los procesos históricos como el movimiento tectónico de placas, cambios en el nivel del mar y los cambios en el clima y la circulación oceánica, también son factores de gran relevancia que influyen en la distribución de los organismos (Myers y Giller, 1988a).

Es claro que la distribución de los organismos sobre la Tierra debe ser explicada y entendida considerando tanto los procesos ecológicos como históricos, sin embargo, a lo largo de la historia de la biogeografía se han desarrollado diversos enfoques, los cuales se han clasificado básicamente en dos vertientes: la biogeografía histórica y la biogeografía ecológica.

La biogeografía histórica analiza los patrones de distribución de especies y taxones supraespecíficos a escalas espaciales y temporales mayores, por lo que la distribución actual de los seres vivos depende de las causas que existieron en el pasado (procesos históricos-geológicos) (Morrone *et al.*, 1996). Por otro lado, la biogeografía ecológica analiza los patrones de distribución individual o poblacional a escalas espaciales y temporales pequeñas, en donde la distribución de los

organismos se explica en función de las causas físicas que actúan en el tiempo presente (Morrone *et al.*, 1996), así como por las interacciones bióticas y abióticas que suceden en periodos cortos de tiempo, y además constituye una excelente herramienta para la detección de patrones ecológicos a escalas geográficas reducidas, provinciales, que se ajustan bien para proyectos de regionalización de áreas nacionales de distinta índole, ya sea de conservación, protección u otros (Morrone, 2009).

Dicha distinción ha sido considerada “artificial”, debido a que implica dividir un continuo donde los extremos se identifican fácilmente como “ecológico” o “histórico”, pero en la parte media resulta difícil justificar tal distinción, por este motivo diversos autores (Haydon *et al.*, 1994) han criticado la falta de integración entre la biogeografía histórica y la ecológica (Morrone, 2004a, 2007).

La regionalización biogeográfica es un sistema jerárquico que clasifica a la superficie terrestre en términos de los patrones geográficos de su biota. Dentro de esta jerarquía en el nivel más alto se encuentra la categoría de reino, seguida de las regiones, dominios, provincias y distritos (Cabrera y Willink, 1973; Brown y Lomolino, 1998), aunque también pueden distinguirse categorías intermedias, tales como subregiones y subdominios (Escalante, 2009). La unidad básica de la jerarquía biogeográfica es la provincia, aunque algunos autores distinguen a los distritos como variaciones de éstas. Cada uno de los niveles de la jerarquía biogeográfica agrupa a los siguientes niveles, con base en sus características compartidas, es decir, un reino contiene una o más regiones, una región contiene uno o más dominios y así

sucesivamente (Escalante, 2009), por esta razón, se dice que se trata de una jerarquía incluyente.

El botánico suizo Agustín Pyramus De Candolle, hizo contribuciones importantes a la biogeografía, al reconocer que la distribución de las especies no es azarosa, ya que muchas especies comparten la misma distribución, conformando regiones botánicas, por lo que se le atribuyen a él, conceptos como el de endemismo y región, de igual forma, reconoció como especies endémicas a aquellas que le dan identidad a las regiones. Así, una región biogeográfica se define por la superposición de dos o más especies y es equivalente con la definición de área de endemismo (Platnick, 1991). En este sentido, una clasificación jerárquica tiene como objetivo mostrar un arreglo lógico que refleje los patrones de similitud florística, como resultado de eventos históricos y ecológicos.

Teniendo en cuenta que las regiones biogeográficas comprenden áreas muy extensas y que además se caracterizan por tener diferentes hábitats, se han dividido estas regiones en unidades más reducidas siguiendo diversos criterios, siendo el endemismo anidado un recurso para el reconocimiento de provincias bióticas, dominios, regiones y reinos, mismos que se diagnostican por la concentración de endemismos y por la relativa homogeneidad de condiciones ecológicas (Espinosa-Organista *et al.*, 2001).

Recientemente, los estudios enfocados a desarrollar esquemas de regionalización han tenido como objetivo construir sistemas naturales, dejando atrás los esquemas de regionalización tradicionales los cuáles se basan exclusivamente



en la medición de sus similitudes ya sean faunísticos, florísticos, ecológicos, fisiográficos o paleontológicos (Espinosa-Organista *et al.*, 2001; Morrone *et al.*, 2002). Por esta razón y desde un sentido biogeográfico histórico, se ha propuesto que la naturalidad de los sistemas tiene que ver más con la identificación de un origen biótico común u homología biogeográfica (Morrone, 2001b, 2005).

La homología representa el concepto básico de la biogeografía evolutiva y se pueden identificar dos tipos: la homología biogeográfica primaria y secundaria (Morrone, 2001b, 2004b,c). La homología biogeográfica primaria, es una hipótesis sobre una historia biogeográfica común, la cual postula que diferentes taxa con medios de dispersión diferentes y no relacionados filogenéticamente, se encuentran integrados espacio-temporalmente en una misma biota. La homología biogeográfica secundaria, pone a prueba la hipótesis primaria (Morrone, 2001b) a través de un análisis biogeográfico cladístico, el cual comprende la construcción de cladogramas taxonómicos de áreas (a partir de los cladogramas de dos o más taxa diferentes), la obtención de cladogramas resueltos de áreas (cuando se encuentran taxones distribuidos ampliamente, con distribuciones redundantes y áreas ausentes, en este caso los cladogramas taxonómicos de áreas se convierten en cladogramas resueltos de áreas) y por último la obtención de los cladogramas generales de áreas (a partir de la comparación de los cladogramas resueltos de áreas). De esta manera un cladograma general de áreas, permite deducir la secuencia de fragmentación de las áreas analizadas (Morrone, 2007).

El vicariancismo hace referencia a un enfoque que se basa precisamente en el concepto de homología biogeográfica y hace énfasis en el análisis de patrones que usualmente se explican por procesos vicariantes. Se entiende por vicarianza al proceso de surgimiento de barreras geológicas o de otro tipo, que fragmentan las distribuciones de las especies ancestrales, por lo que las especies descendientes pueden evolucionar separadamente (Morrone, 2007). De esta forma, la teoría de la vicarianza, propone que hay una estrecha correspondencia entre la historia de la Tierra y la historia de la biota, por lo que el número de especies y su distribución tendrían que explicarse esencialmente de acuerdo con la compleja historia geológica de la Tierra (Luna-Vega, 2008). De acuerdo con el concepto de homología biogeográfica, se requieren métodos que permitan el reconocimiento de esquemas de regionalización naturales o patrones de homología espacial, a través de la búsqueda de áreas de endemismo sucesivamente anidadas (Escalante, 2009).

El endemismo sucesivamente anidado, hace referencia a aquellas áreas de endemismo de mayor tamaño que anidan a las más pequeñas (Espinosa-Organista *et al.*, 2001). El endemismo anidado, permite proponer sistemas de clasificación geográfica jerárquicos y fue en el siglo XIX cuando se realizaron las primeras propuestas para clasificar a la biota terrestre en dichos sistemas (reinos, regiones, dominios, provincias y distritos) (Cabrera y Willink, 1973; Brown y Lomolino, 1998).

La identificación de las áreas de endemismo sucesivamente anidadas con base en el concepto de homología, puede realizarse mediante el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE por sus siglas en inglés) (Escalante, 2009),

originalmente propuesto por Rosen (1988). Es un método utilizado para agrupar áreas o localidades (análogas a taxones) utilizando los taxones que comparten (análogos a caracteres) conocidos también como sinapomorfías (Crisci *et al.*, 2000). Además, emplea el método de parsimonia con el propósito de generar cladogramas de áreas, en donde se distribuyen los taxones involucrados en el estudio, sin hacer uso o conocer las filogenias de éstos (Contreras-Medina, 2006; Contreras-Medina *et al.*, 2007). Los cladogramas resultantes de este análisis representan conjuntos de áreas anidadas (Morrone y Crisci, 1995), de tal forma que se pueden hipotetizar causas históricas comunes para dar explicación a las agrupaciones de estas áreas (Morrone *et al.*, 1999; Luna-Vega *et al.*, 1999; Luna-Vega y Alcántara, 2001).

El primer paso para establecer una regionalización biogeográfica es obtener datos sobre la biodiversidad, siendo fundamental contar con el nombre científico de los ejemplares y la georreferencia de la localidad donde fue recolectado, observado o registrado (Escalante, 2009). Por ello, se reconocen como un buen modelo biológico aquellos grupos de los que se tiene conocimiento o una buena aproximación de su distribución.

Como una contribución al campo, así como para complementar las propuestas de regionalización biogeográfica, que permitan detectar patrones ecológicos a escalas geográficas reducidas utilizando el conocimiento florístico de las algas marinas, se ha seleccionado el género de algas verdes *Caulerpa* J.V. Lamouroux, por ser uno de los mejores representados en los catálogos ficoflorísticos nacionales (Dreckmann, 1998; Ortega *et al.*, 2001; Pedroche *et al.*, 2005).

El género *Caulerpa*, descrito por J.V. Lamouroux en 1809, pertenece a la división Chlorophyta, orden Bryopsidales, familia Caulerpaceae. Todas las especies del género se desarrollan en ambientes marinos y se distribuyen ampliamente en aguas tropicales y subtropicales (Taylor, 1960; Trainor, 1978; Lüning, 1990; Van den Hoek *et al.*, 1998), principalmente en la zona intermareal (hasta los 50 metros de profundidad), así como en sustratos de arena no consolidada como lo son las praderas de pastos marinos y en superficies duras como los arrecifes de coral (Guiry y Guiry, 2015). De acuerdo a Guiry y Guiry (2015), el género se compone de 97 especies, legítimas taxonómica y nomenclaturalmente, de las cuales 18 se distribuyen a lo largo del litoral mexicano (Océano Pacífico, Golfo de México occidental o suroeste y Caribe mexicano).

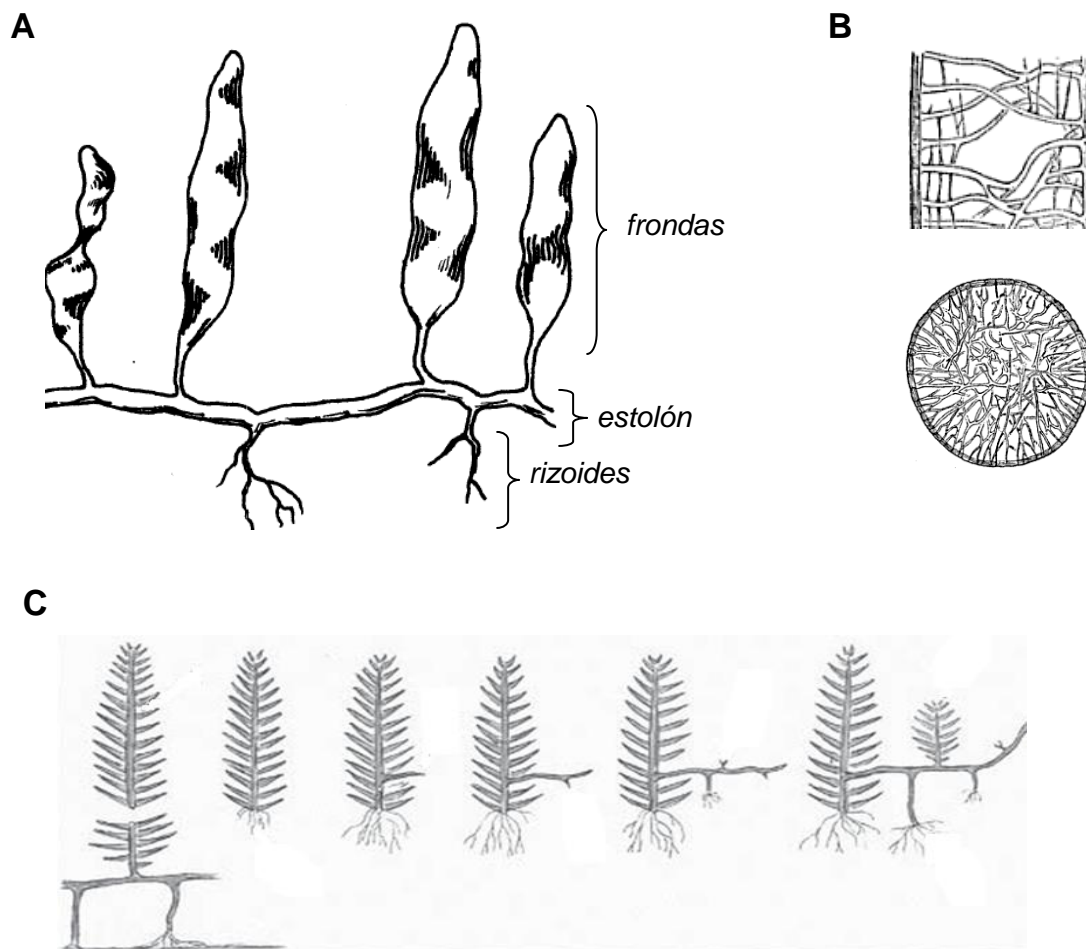
*Caulerpa* es un componente biótico importante de las comunidades arrecifales y de pastos marinos, típicos en las costas del Golfo de México y el Caribe mexicano. Garduño-Solórzano *et al.* (2005) ubican a este género como el segundo con mayor riqueza específica para dichas regiones; contrario a lo que sucede en las playas rocosas del Pacífico, consideradas como megadiversas en sus zonas inter e inframareal, provocando una fuerte competencia ecológica por espacio o sustrato; disminuyendo drásticamente la superficie de sustrato arenoso no consolidado (Nybakken, 2001). Una situación similar sucede con los pastos marinos, puesto que de las diez especies que se distribuyen en México (representadas en las familias Hydrocharitaceae, Cymodoceaceae, Ruppiaceae y Zosteraceae), cuatro se encuentran en la costa del Pacífico, dos en el Golfo de México y tres en el Caribe

mexicano, cabe mencionar que solo una especie se distribuye tanto en el Pacífico como en el Golfo de México; dicha diferencia en el número de especies puede deberse principalmente a la extensión de la plataforma continental de cada litoral (Ibarra-Obando y Ríos, 1993). Cabe destacar que las especies de *Caulerpa* y de pastos marinos, debido a que son organismos coloniales y modulares, comparten estrategias de crecimiento (Jackson *et al.*, 1985; Cousens y Mortimer, 1995), lo cual puede ser una razón por la que normalmente se les encuentra juntos.

Morfológicamente, *Caulerpa* se caracteriza por poseer un estolón rastrero en forma de tubo o sifón, del cual surgen ejes erectos llamados frondas (Fig. 1A), siendo la morfología de éstas, la principal característica que separa a las especies del género (Taylor, 1967; Dawes, 1986; Van den Hoek *et al.*, 1998). Los estolones se adhieren por medio de rizoides al sustrato (Fig. 1A), el cual puede ser arenoso, fangoso o rocoso. Hay talos que pueden llegar a medir hasta 30 cm de alto y cada individuo es cenocítico, es decir, consisten de una sola célula grande multinucleada. Esta célula mantiene su forma y consistencia por medio de las trabéculas (Fig. 1B) constituidas de celulosa de la pared celular (Dawes, 1981; Van den Hoek *et al.*, 1998). La reproducción de las especies, parece efectuarse principalmente por fragmentación (Fig. 1C), es decir, se forma un talo nuevo cuando se corta una fronda o una sección del talo, propagándose de forma clonal con gran facilidad (Collado-Vides y Robledo, 1999).

*Caulerpa* se caracteriza por presentar una gran plasticidad morfológica, es decir, se pueden encontrar dos o más formas en una misma especie (Silva *et al.*,

1996), tal es el caso de *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C.Agardh, *C. racemosa* (Forsskål) J.Agardh y *C. serrulata* (Forsskål) J.Agardh, las cuales son extremadamente variables (Coppejans, 1992). Svedelius (1906) y Boergesen (1907) mencionan que posibles factores como la intensidad de la luz y el grado de movimiento del agua influyen en la morfología de las especies de este género.



**Figura 1.** Características de *Caulerpa*: **A)** Morfología general del género (eje postrado con rizoides y ejes erectos o frondas), **B)** Trabéculas (estructuras que dan soporte al interior de la célula), **C)** Reproducción asexual efectuada por fragmentación.

Debido a que *Caulerpa* está muy bien representado en los catálogos ficoflorísticos nacionales, teniendo así una muy buena aproximación de la distribución de sus especies en México y considerando que forma parte de comunidades importantes (arrecifes de coral, praderas de pastos marinos y manglares) con los que se han propuesto diferentes esquemas de regionalización, resulta fundamental detectar los patrones de distribución de este género, así como los procesos causales. Así, esto permitirá determinar si dicha distribución coincide con algunas de las regionalizaciones ya establecidas por instituciones como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), cuyo propósito principal se enfoca en la conservación o protección de la biodiversidad de México.

## **2. ANTECEDENTES**

A pesar de que los trabajos en los que se analizan los patrones de distribución de algas son escasos, existe una gran cantidad de literatura que nos proporciona de forma muy puntual las localidades en las que éstas se distribuyen. Dicha información se encuentra en listados florísticos, monografías ficológicas y catálogos de algas. En el caso de *Caulerpa*, destacan los trabajos de Mateo-Cid y Mendoza-González (1991a), Mateo-Cid y Mendoza-González (1992), Mateo-Cid *et al.* (2000), Pedroche *et al.* (2005) para la región del Pacífico mexicano. Mateo-Cid y Mendoza-González (1991b), Mendoza-González y Mateo-Cid (1992), Mateo-Cid *et al.* (1996), Dreckmann (1998), Martínez-Lozano (1999), Mendoza-González *et al.* (2000), Ortega *et al.* (2001), Vargas-López *et al.* (2004), Callejas-Jiménez *et al.* (2005), Garduño-

Solórzano *et al.* (2005), Pacheco-Cervera *et al.* (2010), Robinson *et al.* (2012), Mateo-Cid *et al.* (2013), Ortigón-Aznar (2015) para el Golfo de México y Caribe mexicano. En dichos trabajos, ocasionalmente se detallan aspectos ecológicos, reproductivos y estacionales de las diferentes especies de *Caulerpa*, sin embargo, parecería que la mayoría de ellos se limitan al registro y conteo de las especies de un lugar determinado, existiendo una gran carencia en el conocimiento de los patrones de distribución, aún cuando se cuenta con una amplia información publicada sobre las localidades en las que se distribuyen las diferentes especies de este género.

De manera general, la visión que se ha tenido en los estudios ficológicos desde hace varios años hasta la fecha, ha sido fundamentalmente taxonómica y de distribución, con la intención de contribuir al levantamiento ficoflorístico de las costas mexicanas. Como resultado de estos listados, es generalmente aceptado que un factor muy importante en la distribución horizontal de las macroalgas y de otro tipo de organismos marinos, es la temperatura, que junto con la salinidad determinan la presencia o ausencia de las especies a lo largo de los litorales. Estos factores ligados a la presencia o ausencia específica, son los elementos para conformar las regiones denominadas biogeográficas (Pedroche y Senties, 2003).

Algunos aspectos biogeográficos como la afinidad y la distribución de especies de algas en las costas de la Vertiente Atlántica de México, son mencionados por Taylor (1960), al reconocer que la cubierta de algas marinas es tropical con algunos elementos subtropicales en el norte, haciendo énfasis en la carencia de vegetación



algal en las playas de Tamaulipas e incluso ausente en algunas áreas, destacando que conforme se avanza hacia el sur y sureste, la vegetación puede ser exuberante, particularmente en el Mar Caribe.

Earle (1972) destaca que la mayoría de las algas de la región mexicana son tropicales con afinidades al Caribe, además de que cuentan con una amplia distribución y tolerancia a variaciones en la temperatura. Así mismo, señala que la flora algal del Golfo de México tiene afinidades fitogeográficas similares con la de los invertebrados marinos, tal es el caso de los corales. Precisa también que el sustrato diferencia dos grandes zonas de manifestación algal, una primera zona que abarca los estados de Tamaulipas, Veracruz y Tabasco el cual se caracteriza por tener un sustrato arenoso-limoso, mientras que el sustrato de Campeche, Yucatán y Quintana Roo es de tipo calcáreo.

Con base en estudios de corales en México, Briggs (1974) identificó a Cabo Rojo (ubicado en el extremo sur de Tampico) como la frontera que divide dos provincias: la tropical hacia el sur (Provincia Caribeña) y la subtropical hacia el norte (Provincia Caroliniana), infiriendo que Tamaulipas es una zona de transición entre floras tropicales y templadas.

Dawes (1986) identificó que la distribución de las algas marinas se da principalmente en función de la temperatura y la luz, además de que el tipo de sustrato y las mareas, determinan la composición florística y abundancia de cada comunidad.

Lobban y Harrison (1994), hacen referencia a aquellos factores que tienen mayor influencia en la distribución de las especies de algas, tales como: la luz, temperatura, salinidad, pH, disponibilidad de nutrientes, así como las interacciones biológicas entre las algas y los organismos herbívoros.

Garduño-Solórzano *et al.* (2005), llevaron a cabo un análisis de clasificación de las entidades federativas de las costas del Golfo de México y Mar Caribe, obteniendo un dendrograma con el grado de similitud florística entre los diferentes estados costeros. De esta forma distinguieron básicamente dos grupos: el primero, constituido por Campeche, Veracruz, Yucatán y Quintana Roo, mientras que el segundo grupo únicamente lo constituyó el estado de Tamaulipas. Dicha clasificación permitió inferir la existencia de una frontera biogeográfica entre Tamaulipas y el resto de las entidades federativas adyacentes, teniendo así dos regiones: la subtropical hacia el norte y la tropical hacia el sur; confirmando el resultado obtenido por Briggs (1974).

Ortegón-Aznar y Aguilar-Perera (2014), examinaron la distribución estacional de las macroalgas marinas y las variables de los microhábitats (como la temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y tipo de sustrato) en dos áreas naturales protegidas (ANP) ubicadas en la costa norte de la Península de Yucatán: El Palmar y Dzilam. Ambas áreas naturales protegidas presentaron una similitud muy baja (<50%) en cuanto a su composición florística. Las condiciones ambientales entre las localidades fueron semejantes, excepto el tipo de sustrato, por lo que éste fue el principal

parámetro que condicionó la presencia de las especies de algas en la zona de estudio.

De acuerdo con algunos autores (Pedroche *et al.*, 1992; Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998) el Pacífico mexicano se puede sectorizar en tres grandes regiones biogeográficas: El Pacífico de Baja California que corresponde a la porción occidental de la Península de Baja California, el Mar de Cortés o Golfo de California y el Pacífico Tropical Mexicano.

La composición florística del Golfo de California se caracteriza por sus endemismos, además de que contiene elementos que se asocian con regiones tropicales como son las especies de *Caulerpa* y *Padina* Adanson y elementos que se asocian con aguas templadas como especies de *Gigartina* Stackhouse y *Desmarestia* J.V.Lamouroux (Norris y Bucher, 1976). En la región norte del Golfo de California se presentan intervalos de marea muy amplios que junto con la tasa de insolación, hacen que la ficoflora se limite principalmente a la zona inframareal, condición que también se presenta en el sur de esta costa por una zona intermareal estrecha y con poco oleaje (Pedroche y Senties, 2003).

Dawson (1945) enfatizó la importancia de las surgencias en la modificación y presencia de las floras a lo largo de la península de Baja California. Aparentemente en esta porción del litoral, la ficoflora templada o cálido templada se limita a Bahía Magdalena, por lo que la porción sur de Baja California Occidental, es una zona posiblemente de transición con varios elementos tropicales. Diversas colectas de algas se han llevado a cabo en las costas occidentales de la península de Baja

California con el objeto de realizar estudios sobre la relación que hay entre sus adaptaciones morfológicas evolutivas y la productividad (Littler y Arnold, 1982), así como para determinar la relación que hay entre el nivel de perturbación de un ambiente y las adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecológicas de grupos funcionales de algas (Littler y Littler, 1981).

Por otra parte, el Pacífico tropical mexicano que da inicio en las costas de Nayarit y Jalisco y que termina en la frontera sureste mexicana, se ha caracterizado por tener una ficoflora pobre en número de especies y en grupos supraespecíficos, principalmente entre las Phaeophyceae y las Rhodophyta, lo cual puede deberse a la existencia de acantilados, sustratos inestables característicos de las playas de cantos rodados, alta insolación, pastoreo intenso, así como la presencia de algunas descargas fluviales importantes. A pesar de estas características se sabe también que esta región posee elementos endémicos y cierta afinidad con la flora Indopacífica (Pedroche y Senties, 2003). Esta región presenta también, una zona de transición como resultado de la convergencia de dos grandes corrientes oceánicas: la de California y la Norecuatorial, mismas que se caracterizan por ser estacionales, además de transportar calor, nutrientes y biomasa de una región oceánica a otra (Fernández-Eguiarte *et al.*, 1993).

Breeman (1988) considera que aunque la temperatura se ha reconocido como la variable que marca el límite en la distribución de las macroalgas a escalas biogeográficas amplias, es necesario establecer, si los cambios en el gradiente de temperatura afectan directamente a la composición cualitativa de las especies de

macroalgas, o si es un efecto combinado entre varios factores ambientales, tales como la salinidad, tipo de sustrato, influencia del oleaje y dinámica de la playa, entre otros.

Mendoza-González *et al.* (2011) reconocen que la ficoflora de la costa sur de Jalisco es similar a la ubicada en Colima, Guerrero y Oaxaca, además de considerarla mixta, puesto que es posible encontrar tanto elementos tropicales como especies de zonas templadas. Por su parte, la ficoflora de Nayarit la reconocen como flora tropical.

Es importante resaltar, que el Pacífico de Baja California, el Golfo de California y el Mar Caribe han sido reconocidas como regiones de endemismo considerable y con un riesgo alto de perder su biodiversidad, dichas áreas han sido definidas básicamente por grupos biológicos como los peces de arrecife, corales, moluscos y langostas, y aunque la biodiversidad algal no se ha considerado para definir dichas regiones, Pedroche y Sentíes (2003) mencionan que para estas mismas áreas las algas juegan un papel importante debido a sus números específicos y supraespecíficos.

Aspectos como la falta de registros de especies endémicas en cuanto a algas se refiere, así como el posible desconocimiento de su papel ecológico, pueden ser algunas razones por las que este grupo biológico no se ha considerado como un elemento importante en el establecimiento de áreas naturales protegidas en sus diferentes categorías (Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales y Áreas de Protección de Flora y Fauna) propuestas por la Comisión Nacional de Áreas

Naturales Protegidas (CONANP), así como en los sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), aún cuando se tiene conocimiento de que existe una elevada diversidad asociada entre las macroalgas, pastos marinos, manglares y corales (Rosas-Alquicira *et al.*, 2014), y que además desde el punto de vista biogeográfico, resulta importante plantearnos, si existe una congruencia en la distribución de los grupos biológicos antes mencionados, que permitan establecer hipótesis de homología biogeográfica para proponer consecuentemente una regionalización natural, que vaya más allá de los esquemas de regionalización tradicionales, con el fin de identificar o complementar las áreas de conservación propuestas en la actualidad y que pudieran estar coincidiendo con zonas de alta diversidad ficológica.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) tiene como misión conservar los ecosistemas más representativos de México y su biodiversidad, esto mediante las áreas naturales protegidas, utilizando criterios de inclusión y equidad, dicha institución administra actualmente 177 áreas naturales de carácter federal que representan más de 25,628,239 hectáreas y que son el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la biodiversidad, creadas mediante un decreto presidencial o a través de la certificación de un área cuyos propietarios deciden dedicar a la conservación; las actividades que pueden llevarse a cabo, se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. La CONANP clasifica a las áreas protegidas en

diferentes categorías, entre ellas, se encuentran las Reservas de la Biosfera que se caracterizan por ser representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se distinguen por su belleza escénica, valor científico, educativo, de recreo, valor histórico, por su aptitud para el desarrollo del turismo, así como por otras razones análogas de interés general (CONANP, 2016). Los Parques Nacionales son otra categoría y se establecen en zonas marinas que forman parte del territorio nacional y que pueden comprender playas, así como la zona federal marítimo terrestre contigua, en estas áreas se permiten actividades relacionadas con la preservación de los ecosistemas acuáticos y sus elementos, las de investigación, recreación y educación ecológica, así como el aprovechamiento de recursos naturales autorizados por la ley (INE, 2007). Por otro lado, las Áreas de Protección de Flora y Fauna, contienen hábitats cuyo equilibrio y preservación, dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies, en estas áreas se permite la realización de actividades relacionadas con la preservación, repoblación, propagación, aclimatación, refugio, investigación y aprovechamiento sustentable de las especies (CONANP, 2016).

Por su parte, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) instrumentó el programa de Regiones Marinas Prioritarias de México, en el que identificaron, delimitaron y caracterizaron 70 regiones o áreas prioritarias (43 para el Pacífico y 27 para el Atlántico), considerando criterios ambientales (integridad ecológica, endemismo, riqueza, procesos oceánicos), económicos (especies de importancia comercial, zonas pesqueras y turísticas

importantes, recursos estratégicos) y de amenazas (contaminación, modificación del entorno, efectos a distancia, especies introducidas) (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998). Posteriormente, la identificación de los sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad, representó un avance mayor en comparación con las regiones marinas prioritarias debido a que se realizó un estudio más detallado y con una mejor resolución (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007).

Bajo un enfoque biogeográfico, Vilchis (2015) realizó una primera contribución para la conservación de las macroalgas, reconociendo 10 áreas con alta riqueza específica. A través de un Análisis de Parsimonia de Endemismos, identificó 9 áreas basadas por la presencia de especies compartidas y una combinación única de especies, así como 4 áreas con especies exclusivas y por medio de un análisis panbiogeográfico identificó dos trazos generalizados, el primero para el Golfo de México y el segundo para el Caribe mexicano, formando un nodo biogeográfico en la región noreste de la Península de Yucatán. La integración de los análisis, le permitió proponer cuatro áreas de conservación para las macroalgas: 1) Arrecife Alacrán-Puerto Progreso, 2) norte del Sistema Arrecifal Veracruzano, 3) noreste de la Península de Yucatán y 4) Xcalak-Banco Chinchorro.

Hernández-Cervantes (2015) realizó un análisis biogeográfico del género *Laurencia* J.V.Lamouroux a nivel mundial, destacando el Indo-Pacífico y mar Caribe por sus valores altos de riqueza. Reconoció 10 áreas de endemismo y explica que para este género no hay eventos dispersivos. Mediante este análisis confirmó también la validez taxonómica del grupo.



### **3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿La distribución del género *Caulerpa* es coincidente con algunas de las áreas propuestas en las diferentes regionalizaciones costeras de México?

¿Existe una diferencia significativa entre la diversidad de *Caulerpa* en el Golfo de México y Caribe mexicano y aquella del Pacífico mexicano?

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo General**

Analizar la distribución del género *Caulerpa* en México.

#### **4.2. Objetivos Particulares**

- Generar una base de datos de la distribución de las especies del género *Caulerpa*.
- Elaborar mapas de distribución geográfica por especie.
- Generar mapas con la distribución del género bajo diferentes enfoques de análisis.
- Analizar el patrón de distribución de *Caulerpa* obtenido, para determinar si existe una congruencia con las regionalizaciones costeras propuestas para México.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

**5.1. Base de datos.** A partir de los catálogos florísticos mexicanos (Dreckmann, 1998; Ortega *et al.*, 2001; Pedroche *et al.*, 2005) se revisaron las especies de *Caulerpa* taxonómicamente válidas, obteniendo un total de 18 especies, 10 variedades y 12 formas, mismas que fueron confirmadas mediante los datos de la página en línea: Algaebase (Guiry y Guiry, 2015).

Es importante precisar que para llevar a cabo el análisis biogeográfico se tomaron en cuenta únicamente las 18 especies, sin embargo, con el objeto de actualizar las categorías secundarias o infraespecíficas (variedades y formas) que tienen ciertas especies de *Caulerpa*, se ha propuesto un cambio en el que las formas pasan a ser variedades, esto debido a que algunas especies cuentan con su respectiva variedad pero no con una forma y otras tienen una forma pero no le antecede una variedad, por este motivo se establece un cambio en la categoría secundaria, en donde se sugiere que las formas de las especies sean las variedades, respetando así lo establecido en el artículo 4 del International Code of Botanical Nomenclature (VIENNA CODE) (McNeill *et al.*, 2006) el cual establece qué:

“Los rangos secundarios de los taxones en orden descendente son las tribus entre la familia y el género, sección y serie entre géneros y especies, y variedades y formas por debajo de las especies”.

Una vez que se obtuvieron las especies válidas, se elaboró una base de datos en Excel, en la cual los datos fueron agrupados en dos categorías: 1) Datos

taxonómicos que no es otra cosa más que el nombre científico de las especies y 2) Datos geográficos en el que se incluyen las cinco regiones del litoral mexicano: *Pacífico de Baja California* integrado por los estados de Baja California y Baja California Sur, *Golfo de California* (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa), *Pacífico tropical mexicano* (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca), *Golfo de México* (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán) y *Caribe mexicano* (Quintana Roo). Así mismo, se menciona el estado y las localidades en las que se encuentran las diferentes especies.

Se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada una de las localidades con ayuda de Google Earth y de bibliografía especializada (p. ej. Catálogos de algas marinas bentónicas, monografías ficológicas, listados florísticos). La georreferenciación de cada localidad se obtuvo inicialmente en grados, minutos y segundos, posteriormente se convirtieron a grados decimales definidas mediante una latitud Norte y una longitud Oeste. Las fórmulas que se utilizaron para convertir las coordenadas de grados, minutos y segundos a grados decimales se muestran a continuación:

Latitud grados + (Latitud minutos/60) + (Latitud segundos/3600)

(Longitud grados + (Longitud minutos/60) + (Longitud segundos/3600))\*-1

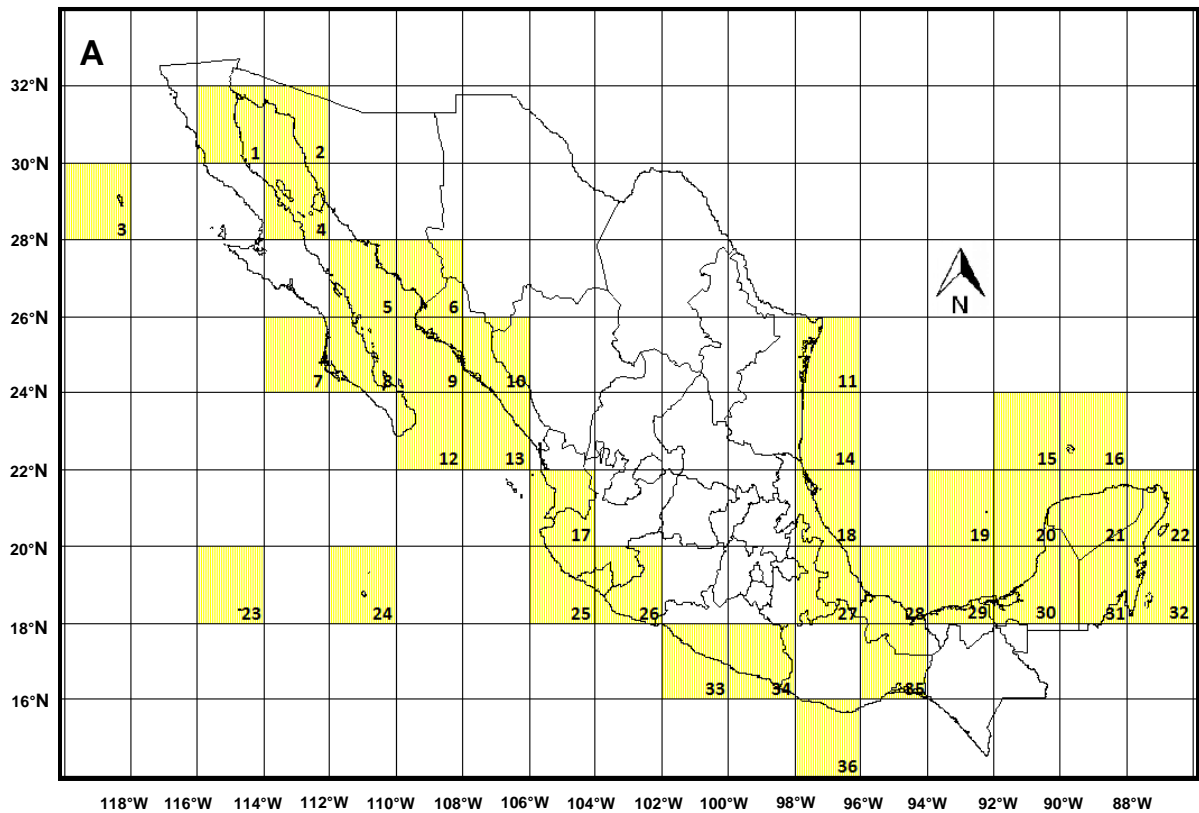
Una vez que se finalizó con la construcción de la base de datos en el programa MSEXcel, ésta se exportó al programa MSAcces, con la finalidad de convertir el archivo con extensión .xls a un archivo dBASE con extensión .DBF

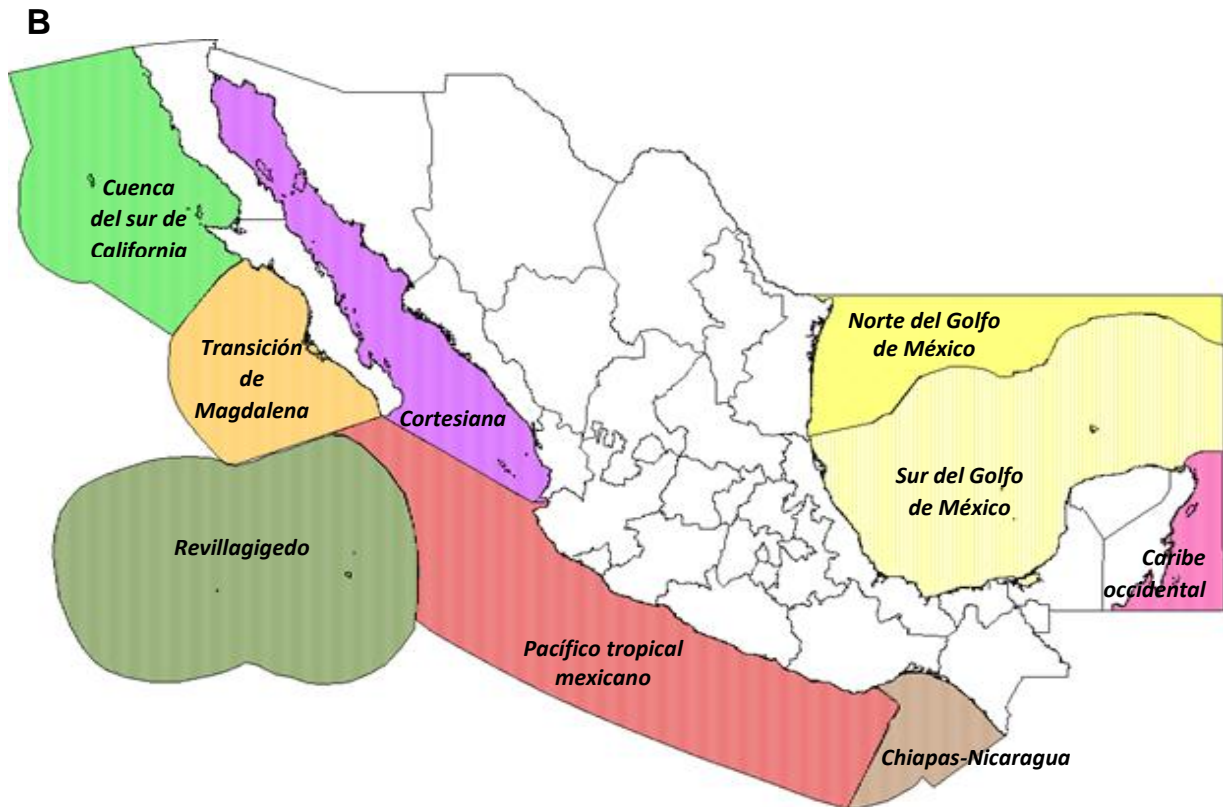
(Dbase Format), un formato compatible con el sistema de información geográfica (SIG) ArcView GIS versión 3.3 (ESRI, 1992-2002).

**5.2. Análisis biogeográfico.** Mediante el uso de un mapa correspondiente a la “División política estatal de la República Mexicana” (Escala 1:4000000) obtenido de la cartografía digital de la CONABIO (2012) disponible en la red, junto con la información incorporada en la base de datos, las localidades georreferidas se visualizaron en ArcView, mismas que representan la distribución de las especies de *Caulerpa* (Apéndice I).

El análisis de parsimonia de endemismos (PAE) se realizó para identificar los patrones de distribución de las 18 especies de *Caulerpa*, para ello se utilizaron dos unidades geográficas de análisis: una cuadrícula de 2° de latitud x 2° de longitud, la cual se sobrepuso sobre la región a analizar y se consideraron únicamente aquellas celdas de la cuadrícula en las que se registró por lo menos una localidad para un taxón, obteniendo un total de 36 celdas (Fig. 2A), la segunda unidad de análisis corresponde a las ecorregiones marinas propuestas por Spalding *et al.* (2007). Dicha propuesta se caracteriza por ser una bioregionalización global de la zona costera y de la plataforma continental. Para este trabajo se utilizaron únicamente las ecorregiones identificadas en las costas mexicanas, las cuales fueron: *Cuenca del sur de California*, *Cortesiana*, *Transición de Magdalena*, *Revillagigedo*, *Pacífico tropical mexicano*, *Chiapas-Nicaragua*, *Norte del Golfo de México*, *Sur del Golfo de México* y *Caribe occidental*.

La representación de las nueve ecorregiones marinas en el sistema de información geográfica ArcView se hizo por medio de polígonos en el mismo programa, ya que no se encontró disponible ningún shape de dicha bioregionalización (Fig. 2B).





**Figura 2.** Unidades geográficas de análisis: **A)** Cuadrícula de 2° de latitud x 2° de longitud, **B)** Ecorregiones marinas de México de acuerdo con Spalding *et al.* (2007).

En el programa WinClada (Nixon, 1999) se construyeron dos matrices de datos, en ambas, las columnas representaron los taxones (18 especies de *Caulerpa*) y los renglones que representan las áreas, cambiaron de acuerdo a las diferentes unidades geográficas de análisis: 36 celdas de la cuadrícula de 2° de latitud x 2° de longitud y las 9 ecorregiones marinas de México. Se codificó con un “1” la presencia de la especie para una determinada celda o ecorregión y con un “0” su ausencia. Para ambas matrices se incluyó un renglón con un área hipotética codificada únicamente con ceros, esto con la finalidad de enraizar los árboles (Apéndice II y

Apéndice III). Es importante mencionar que los taxones o caracteres no informativos, es decir, aquellas especies que se encontraron en todas las áreas y sólo en una, fueron descartados del análisis.

Ambas matrices se analizaron mediante una búsqueda heurística la cual permitió aplicar el algoritmo de parsimonia. Los cladogramas resultantes se obtuvieron mediante el programa Nona (Goloboff, 1993) utilizando los siguientes parámetros: un máximo de 100 árboles, 90 replicaciones y una estrategia de búsqueda TBR + TBR (*Tree Bisection Reconnection*). Posteriormente se obtuvo el árbol de consenso por regla de la mayoría a partir de los árboles resultantes de la matriz en la que se establecieron como áreas las 36 celdas de la cuadrícula y un árbol de consenso estricto para los árboles resultantes de la matriz usando las ecorregiones marinas. Se obtuvieron también los estadísticos de los árboles de consenso: longitud (L), índice de consistencia (CI) y de retención (RI).

Por último, en el árbol de consenso por regla de la mayoría, se identificaron las celdas agrupadas, lo mismo se hizo con las ecorregiones marinas del árbol de consenso estricto; para éste último se reconocieron las especies compartidas (sinapomorfías) que justificaron dicho agrupamiento. En ambos casos, tanto las celdas como las ecorregiones agrupadas se representaron en un mapa.

**5.3. Análisis de riqueza de especies.** Se seleccionaron las localidades en las que se distribuyen las especies de *Caulerpa*, así como sus coordenadas geográficas (latitud N y longitud W) de la base de datos de Excel y se llevaron al programa OpenOffice 4, en el que se le agregó una columna con el número de especies para

cada localidad. De esta manera, se obtuvieron los valores de riqueza específica de cada una de las localidades de la base de datos, dichos valores se representaron por medio de un mapa, el cual fue elaborado usando el programa QGis v. 2.2.0. (Quantum GIS Development Team, 2014).

**5.4. Análisis comparativo entre la distribución de *Caulerpa* y la distribución de los manglares, arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos.** Por medio del sistema de información geográfica ArcView, se realizó un análisis integral y comparativo con el objeto de evaluar si existe una coincidencia entre la distribución de *Caulerpa* con respecto a la distribución de otros grupos biológicos como los manglares, corales y pastos marinos. Para ello fue indispensable contar con los shapes que mostraran la distribución de dichos grupos a lo largo de las costas mexicanas, sin embargo, sólo se encontró con este formato la “Regionalización de los manglares de México” (Escala 1:50,000) el cual fue obtenido de la cartografía digital del Portal de Geoinformación de la CONABIO (2012) misma que se encuentra disponible en la red.

Para el caso de los arrecifes coralinos, las coordenadas geográficas de su distribución en México, se obtuvieron de la página en línea ReefBase (2015) y con la ayuda del programa QGis v. 2.2.0. se creó un shape con su distribución, el cual pudo utilizarse posteriormente en ArcView.

A pesar de que no se obtuvo una cobertura que mostrara la distribución espacial de los pastos marinos, se investigó en bibliografía especializada (Ibarra-



Obando y Ríos, 1993; Ramírez-García y Lot, 1994; Ramírez-García *et al.*, 2002; Wilkinson *et al.*, 2009) las zonas en las que éstos se distribuyen.

Ya que se obtuvo la distribución de los manglares, arrecifes coralinos y pastos marinos, se procedió a ingresarla en ArcView para su visualización. Posteriormente, se comparó la distribución espacial de *Caulerpa* con la distribución de cada uno de los grupos biológicos mencionados anteriormente, esto con la finalidad de observar si existe una congruencia en su distribución.

**5.5. Áreas naturales protegidas (ANP) y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad (SMP).** A partir de la identificación de dichas congruencias en la distribución de los grupos, se procedió a hacer una revisión para determinar si es que éstas coinciden a su vez con algunas de las áreas naturales protegidas y/o sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Estableciendo como criterio, que la distribución de *Caulerpa* coincidiera por lo menos con otros dos grupos biológicos, ya sea manglar, coral o pasto marino.

**5.6. Unidades geográficas de análisis: cuadrícula de 2° x 2° y ecorregiones marinas de México.** Ya que se identificaron las congruencias entre la distribución de los grupos junto con las áreas naturales protegidas y/o sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad, se superpusieron en el área de estudio, las 36 celdas de 2° de latitud x 2° de longitud, así como las 9 ecorregiones marinas, con el fin de reconocer aquellas unidades geográficas que a su vez coinciden con los análisis anteriores.

## 6. RESULTADOS

Se obtuvieron 18 especies válidas taxonómicamente, registradas en 304 localidades pertenecientes a los estados que conforman la región del *Pacífico de Baja California* (Baja California y Baja California Sur), *Golfo de California* (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa), *Pacífico tropical mexicano* (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca), *Golfo de México* (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán) y *Caribe mexicano* (Quintana Roo) (Apéndice I).

### 6.1. Lista de especies y sus localidades

A continuación se muestra el listado de las 18 especies de *Caulerpa*, incluyendo las 10 variedades y 12 formas enfatizando el *status novus* de éstas, de igual forma se presenta la distribución de cada uno de los registros:

#### CHLOROPHYTA

##### ULVOPHYCEAE

##### BRYOPSIDALES

##### CAULERPACEAE

***Caulerpa ashmeadii*** Harvey, 1858

**Campeche:** Balneario Playa Bonita, Congeladoras de Lerma, Depósitos de PEMEX, Monumento al Resurgimiento, Muelle de San Román, Zona de Hoteles, Plaza Akim-Pech, Desembocadura Ria de San Francisco, Frente al parque deportivo de béisbol,

Una milla mar adentro, 29 km al NE de Sabancuy, Champotón. **Yucatán:** Reserva de Dzilam, Puerto Progreso, Sisal, Tel-Chac, El Palmar, Laguna Río Lagartos. **Quintana Roo:** El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Isla Cozumel.

***Caulerpa brachypus*** Harvey, 1860

**Quintana Roo:** Xcaret.

***Caulerpa chemnitzia*** (Esper) J.V.Lamouroux, 1809

**Baja California (Pacífico):** Isla Guadalupe. **Baja California Sur (Golfo):** Isla San Francisco, Isla Espíritu Santo, Isla Partida, Isla San Juan Nepomuceno, Bahía de La Paz, Punta Arena, Cabo Pulmo, Balandra, Playa Calerita, Isla Monserrate, Bahía Agua Verde, Punta Palmilla, Cabeza Ballena. **Sinaloa:** Mazatlán. **Nayarit:** Playa de Guayabitos, Las Peñas, Sayulita, Playa Careyeros, Las Cuevas, Las Manzanillas, Punta de Mita, Isla Larga, Lo de Marcos. **Jalisco:** Playa Los Muertos, Bahía de Banderas, Playitas, Bahía Chamela, Bahía Cuastecomates, Punta Melaque, Bahía Navidad. **Colima:** Playa Santiago, Playa La Audiencia, Bahía Manzanillo, Isla Socorro, Isla Clarión, Bahía Blanca. **Michoacán:** Faro de Bucerías, Pichilinguillo, Mexcalhuacán, La Saladita, Caleta de Campos, Las Peñitas. **Guerrero:** Isla Ixtapa, Zihuatanejo, Bahía de Acapulco, Playa Roqueta. **Oaxaca:** Barra Santa Elena, Playa Agua Blanca, Zipolite, Bahías de Huatulco, Bahía Tangolunda, Puerto Ángel. **Tamaulipas:** Escollera N del río Pánuco, Ciudad Madero. **Veracruz:** La Mancha (Punta Mancha), Playa Paraíso, Villa Rica, Boca Andrea, Laguna Verde, Morro de la Mancha, Monte Pío, Boca del Río, Isla de Enmedio, Isla Verde, Arrecife Ingeniero,

San Juan de Ulúa, Arrecife de Lobos. **Campeche:** Puerto Real, Isla del Carmen, Banco de Campeche (Sonda de Campeche). **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Laguna Río Lagartos, Progreso, Cayo Arenas. **Quintana Roo:** Punta Cancún, Hualapich, Banco Chinchorro, Isla Contoy, Isla Mujeres, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Cayo Lobos, Puerto Morelos, Punta Piedras, Isla Cozumel.

***Caulerpa cupressoides*** (Vahl) C.Agardh, 1817

**Sinaloa:** Playa Los Cerritos en Mazatlán. **Nayarit:** Playa de Guayabitos, Las Peñas. **Veracruz:** Litoral marino de Tampamachoco, Arrecife Los Hornos, Isla Sacrificios, Isla Verde, Arrecife de Lobos, Arrecife Pájaros, Isla de Enmedio, Boca del Río, Morro de la Mancha, Bocana Río (Túxpan), Caleta Poniente, Arrecife Ingeniero. **Campeche:** Playa Preciosa, Lerma (frente a la estación de Biología), Punta Xen. **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Reserva de Dzilam, Isla Pérez, Isla Desertora, Isla Chica (Poniente), El Palmar, Laguna Río Lagartos. **Quintana Roo:** El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Playa Lancheros, Isla Contoy, Punta Cancún, Punta Piedras, Cayo Centro, Cayo Norte, Puerto Morelos, Isla de la Pasión, Cancún, Akumal, Hualapich, Paamul, Punta Allen (Bahía de la Ascensión), Xcacel, Zamach, Chac-Mool, Punta Estrella, Xoquem, Xcalak, Puerto de Chetumal, Caletilla, Arrecife Chankanab, Chen Río, El Mirador, El Muelle (Isla Cozumel), Playa Caracol o Encantada, Playa Maya, Playa San Juan, Punta Chiquero, Punta Morena, Punta Santa María, Playa Santa Pilar, Palancar, El Garrafoncito, Arrecife Paraíso Norte, Arrecife Yucab, Arrecife Santa Rosa, Arrecife Palancar, Arrecife Colombia.

***Caulerpa cupressoides* var. *turneri*** Weber-van Bosse, 1898

**Veracruz:** Isla Sacrificios, Isla de Enmedio, Isla Verde. **Campeche:** Playa Bonita, Banco de Campeche (Sonda de Campeche). **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Sisal, Progreso. **Quintana Roo:** Isla Mujeres, Puerto Morelos, Caleta Xel-há, Punta Piedras, Colonia Rojo Gómez, Paamul, Punta Allen (Bahía de la Ascensión), Akumal, Chac-Mool, Punta Estrella, Xoquem, Banco Chinchorro, Playa Santa Pilar, Punta Tunis, Puerto Juárez, Arrecife Tormentos, Arrecife Colombia.

***Caulerpa cupressoides* var. *flabellata*** Børgesen, 1907

**Campeche:** Sabancuy, 29 km al NE de Sabancuy, Champotón, Bahía de Campeche. **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Progreso. **Quintana Roo:** Laguna de Bojórquez, Laguna Nichupté.

***Caulerpa cupressoides* var. *mamillosa*** (Montagne) Weber-van Bosse, 1898

**Veracruz:** Arrecife de Lobos, Isla de Enmedio, Isla Verde, Arrecifal Tuxpan, Playa Hotel Pensiones. **Campeche:** Cayo Arcas, Triángulo Oeste (Arrecifes Triángulos). **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Sisal, Progreso, Cayo Arenas, Isla Pájaros, Isla Pérez. **Quintana Roo:** Caleta Xel-há, Punta Piedras, Puerto Morelos, Colonia Rojo Gómez, Punta Allen (Bahía de la Ascensión), Xcalak, Puerto de Chetumal, Cayo Centro, Cayo Lobos, Cayo Norte, Isla Cancún, Isla Contoy, Isla Cozumel, Isla Mujeres, Laguna Nichupté, Playa Lancheros, Playa Caracol o Encantada.

***Caulerpa cupressoides* var. *serrata*** (Kützing) Weber-van Bosse, 1898

**Campeche:** Lerma (frente a la estación de Biología).

***Caulerpa cupressoides* var. *lycopodium*** Weber-van Bosse, 1898

**Nayarit:** Sayulita, Las Cuevas, Las Manzanillas, Isla Larga. **Jalisco:** Playa los Muertos, Bahía de Banderas, Playitas. **Yucatán:** Progreso. **Quintana Roo:** Laguna de Bojórquez, Laguna Nichupté.

***Caulerpa cupressoides* var. *elegans*** (P.Crouan & H.Crouan) Børgesen, 1907

**Yucatán:** Arrecife Alacrán. **Quintana Roo:** Laguna de Bojórquez.

***Caulerpa cupressoides* var. *mamillosa* f. *nuda*** Weber-van Bosse, 1898

**Yucatán:** Sisal.

***Caulerpa fastigiata*** Montagne, 1837

**Colima:** Isla Socorro, Bahía Braithwaite. **Campeche:** Puerto Real, Sabancuy. **Yucatán:** Progreso, Arrecife Alacrán, Yucalpetén, El Palmar, Reserva de Dzilam, Laguna Río Lagartos. **Quintana Roo:** Laguna de Bojórquez, Playa San Juan, Laguna Nichupté, Caleta Xel-há, Xcalak, Cayo Lobos, Isla Mujeres, Xcacel, El Muelle (Isla Cozumel), Caletilla (Isla Cozumel).

***Caulerpa lanuginosa*** J.Agardh, 1873

**Yucatán:** El Palmar. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos.

***Caulerpa mexicana*** Sonder ex Kützing, 1849

**Sinaloa:** Mazatlán. **Tamaulipas:** Escollera N del río Pánuco, San Fernando, La Carbonera, Tepehuajes, Ciudad Madero. **Veracruz:** La Mancha (Punta Mancha), Escollera de Tuxpan (Barra Norte), Villa del Mar, Villa Rica, Arrecife Ingeniero. **Campeche:** Sabancuy, 29 km al NE de Sabancuy, Playa Preciosa, Puerto Real, Faro Santa Rosalía. **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Puerto Progreso, Sisal, Dzilám de Bravo, Isla Desertora, Reserva de Dzilam. **Quintana Roo:** Playa Lancheros, Punta Cancún, Puerto Morelos, Laguna de Bojórquez, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Playa Maya, Laguna Nichupté, Akumal, Chac-Mool, Xoquem, Xcalak, Cayo Centro, Isla Contoy, Puerto Juárez, Palancar, Isla Mujeres, Arrecife Chankanab, Arrecife Yucab, Arrecife Santa Rosa, Arrecife Colombia.

***Caulerpa mexicana* var. *pectinata*** (W.R.Taylor) López-Valdez **stat. nov.**

**Baja California (Golfo):** Isla Ángel de la Guarda, Puerto Refugio. **Sonora:** Puerto Refugio, Puerto Peñasco. **Campeche:** Puerto Real, Banco de Campeche (Sonda de Campeche). **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Arrecife Chankanab.

***Caulerpa mexicana* var. *laxior*** (W.R.Taylor) López-Valdez **stat. nov.**

**Quintana Roo:** Cayo Norte, Puerto Morelos, Isla Cozumel, Isla Mujeres.

***Caulerpa microphysa*** (Weber-van Bosse) Feldmann, 1955

**Veracruz:** Arrecife de Lobos, Escollera de Tuxpan (Barra Norte). **Campeche:** Banco de Campeche (Sonda de Campeche). **Quintana Roo:** Isla Mujeres, Isla Contoy, Punta Cancún, Puerto Morelos, Arrecife Paraíso Norte, Arrecife Tormentos, Arrecife

Yucab, Arrecife Tunich, Arrecife San Francisco, Arrecife Santa Rosa, Arrecife Palancar, Arrecife Colombia.

***Caulerpa paspaloides*** (Bory) Greville, 1830

**Campeche:** Lerma (frente a la estación de Biología), Punta Xen, Escolleras Ciudad de Campeche. **Yucatán:** Reserva de Dzilam, El Palmar. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Akumal, Paamul, Punta Allen (Bahía de la Ascensión), Zamach, Chac-Mool, Punta Estrella, Cayo Culebra, Playa Maya, Isla de la Pasión, Playa Lancheros, Yalahau, Punta Tunis, Cancún, Playa del Carmen, Arrecife Colombia.

***Caulerpa paspaloides var. wurdemannii*** Weber-van Bosse, 1898

**Campeche:** Isla Jaina, Isla Aguada, Sabancuy. **Yucatán:** Puerto Progreso, Sisal, Chelem, El Palmar, Reserva de Dzilam. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Isla Cozumel.

***Caulerpa paspaloides var. laxa*** Weber-van Bosse, 1898

**Campeche:** Sabancuy, Playa Bonita, Escolleras Ciudad de Campeche. **Quintana Roo:** Isla Mujeres.

***Caulerpa paspaloides var. compressa*** (Weber-van Bosse) M.A.Howe, 1920

**Quintana Roo:** Puerto Morelos, Playa del Carmen, Punta Piedras.

***Caulerpa paspaloides var. wurdemannii f. phyllaphlaston*** (G.Murray) Weber-van Bosse, 1898

**Yucatán:** Progreso.



***Caulerpa paspaloides* var. *phleoides*** (Weber-van Bosse) López-Valdez **stat. nov.**

**Quintana Roo:** Punta Santa María, Isla Mujeres.

***Caulerpa prolifera*** (Forsskål) J.V.Lamouroux, 1809

**Tamaulipas:** Ciudad Madero. **Veracruz:** Barra de Corazones, Barra de Cazonas.

**Campeche:** Laguna de Términos, Playa Preciosa, Seybaplaya, Faro Santa Rosalía, Sabancuy, 29 km al NE de Sabancuy, Punta Xen. **Yucatán:** Reserva de Dzilam, Puerto Progreso, Chicxulub, Tel-Chac, Chelem, Arrecife Alacrán, Sisal, Dzilám de Bravo, El Palmar, Laguna Río Lagartos, Progreso, Las Coloradas. **Quintana Roo:** Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Puerto Morelos, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Playa Lancheros, Isla de la Pasión, Playa San Juan, Playa Caracol o Encantada, El Mirador, Punta Morena, Laguna Nichupté, Playa del Carmen, Puerto Juárez, Playa Maya, Chen Río, Cancún, Punta Cancún, Punta Piedras, Chac-Mool, Punta Estrella, Xoquem, Banco Chinchorro, Isla Contoy, Punta Chiquero.

***Caulerpa prolifera* var. *zosterifolia*** (Børgesen) López-Valdez **stat. nov.**

**Campeche:** Puerto Real. **Yucatán:** Arrecife Alacrán. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Isla Cancún, Isla Contoy, Caletilla, El Muelle (Isla Cozumel), Playa Caracol o Encantada, Playa Maya, Playa San Juan, Isla Mujeres, Chac-Mool.

***Caulerpa prolifera* var. *obovata*** (Weber-van Bosse) López-Valdez **stat. nov.**

**Veracruz:** Tuxpan. **Campeche:** Playa Bonita, Banco de Sabancuy, Lerma (frente a la estación de Biología), Champotón, Isla Aguada, Puerto Real. **Yucatán:** Progreso, Arrecife Alacrán, Sisal, Laguna Río Lagartos. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Cayo

Centro, Isla Cancún, Caletilla, El Muelle (Isla Cozumel), Playa Maya, Playa San Juan, Isla Mujeres, Punta Piedras, Bahía de la Ascención Sian Ka'an, Isla Contoy, Isla Cozumel, Punta Chiquero, Playa Santa Pilar, Palancar, Isla de la Pasión, Punta Tunis.

***Caulerpa pusilla*** (Kützting) J.Agardh, 1873

**Quintana Roo:** Puerto Morelos.

***Caulerpa racemosa*** (Forsskål) J.Agardh, 1873

**Baja California (Pacífico):** Isla Guadalupe. **Baja California Sur (Golfo):** Bahía San Gabriel, Isla Espíritu Santo, Bahía de La Paz, Arrecife de Cabo Pulmo. **Sonora:** Guaymas. **Sinaloa:** Mazatlán. **Nayarit:** Las Manzanillas. **Jalisco:** Bahía de Banderas, Punta Pérula, Bahía Cuastecomates, Punta Melaque, Bahía Navidad. **Colima:** Isla Clarión. **Michoacán:** Faro de Bucerías, Pichilinguillo, Mexcalhuacán, Chuquiapan, Caleta de Campos. **Guerrero:** Zihuatanejo. **Oaxaca:** Barra Santa Elena, Playa Agua Blanca. **Tamaulipas:** Escolleras de Altamira, Altamira, Ciudad Madero. **Veracruz:** La Mancha (Punta Mancha), Playa Paraíso, Boca Andrea, Morro de la Mancha, Laguna Verde, Arrecife Los Hornos, Arrecife Blanquilla, Arrecife de Lobos, Isla de Enmedio, Isla Verde, Isla Sacrificios, Cabo Rojo, Villa Rica. **Campeche:** Cayo Arcas, Triángulo Oeste (Arrecifes Triángulos), Sabancuy, Playa Preciosa, Bahía de Campeche, Faro Santa Rosalía, Escolleras Ciudad de Campeche. **Yucatán:** Progreso, Puerto Telchac, Reserva de Dzilam, Cayo Arenas. **Quintana Roo:** Cancún, Puerto Morelos, Punta Cancún, Akumal, Hualapich, Paamul,

Xcacel, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Chac-Mool, La Sardina, Xcalak, Cayo Lobos, Cayo Valencia, Isla Cancún, Isla Contoy, Arrecife Chankanab, Playa Maya, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Playa Lancheros, Banco Chinchorro, El Garrafoncito, Arrecife Santa Rosa, Arrecife Colombia.

***Caulerpa racemosa var. macrophysa*** (Sonder ex Kützing) W.R.Taylor, 1928

**Baja California (Pacífico):** Isla Guadalupe. **Baja California Sur (Golfo):** Bahía de La Paz. **Veracruz:** Morro de la Mancha, Monte Pío, Arrecife Blanquilla, Arrecife de Lobos, Isla Santiaguillo, Isla Verde, Isla de Enmedio, Boca del Río, Playa Escondida, Playa Paraíso. **Campeche:** Puerto Real, Sabancuy, Playa Bonita, Escolleras Ciudad de Campeche. **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Isla Pérez. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Punta Cancún, Hualapich, Xcalak, Chen Río, El Mirador, Playa Caracol o Encantada, Punta Morena, Isla Mujeres, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Arrecife Tormentos.

***Caulerpa serrulata*** (Forsskål) J.Agardh, 1837

**Quintana Roo:** Arrecife Chankanab, Arrecife Tormentos, Arrecife Colombia.

***Caulerpa sertularioides*** (S.G.Gmelin) M.A.Howe, 1905

**Baja California (Pacífico):** Bahía Falsa. **Baja California Sur (Pacífico):** Bahía Magdalena. **Baja California Sur (Golfo):** Bahía Concepción, Puerto Escondido, Isla Monserrate, Isla Partida, Isla Espíritu Santo, Bahía de La Paz, Punta Arena, Cabo Pulmo, Arrecife de Cabo Pulmo, Punta Los Frailes, Playa Caimancito, Playa de la Paz, Las Palmas, Playa Barrilitos. **Sonora:** Guaymas, Laguna de Agiabampo, Bahía

San Carlos. **Sinaloa:** Bahía de Altata, Mazatlán, Estero del Urías, Isla de la Piedra, Bahía de Topolobampo. **Nayarit:** Playa de Guayabitos, Las Peñas. **Jalisco:** Bahía Chamela, Punta Melaque. **Colima:** Laguna Juluapan, Playa Santiago, Playa La Audiencia, Bahía Manzanillo, Playa San Pedrito. **Guerrero:** Isla Ixtapa, Zihuatanejo, Bahía de Acapulco, Punta Maldonado, Playa Las Gatas, Playa La Ropa, Playa Majahua. **Oaxaca:** Cacalotepec, Puerto Escondido, Barra Santa Elena, Playa Agua Blanca, Puerto Ángel, Bahías de Huatulco, Bahía Tangolunda, Salina Cruz, Bahía de San Agustín. **Tamaulipas:** Ciudad Madero. **Veracruz:** Litoral marino de Tampamachoco, Arrecife Los Hornos, Isla Sacrificios, Boca del Río, Arrecife Gioté, Arrecife Blanquilla, Villa Rica, Monte Pío, Playa Paraíso, Boca Andrea, Laguna Verde, Isla Verde, Escollera de Tuxpan (Barra Norte), Isla de Enmedio, San Juan de Ulúa, Arrecife de Lobos, Arrecife Ingeniero. **Campeche:** Playa Preciosa, Puerto Real, Cayo Arcas, Sabancuy, 29 km al NE de Sabancuy, Escolleras Ciudad de Campeche. **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Reserva de Dzilam, Yucalpetén, Progreso, Dzilám de Bravo, Cayo Arenas. **Quintana Roo:** Xcalak, Banco Chinchorro, Laguna de Bojórquez, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Puerto Morelos, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Cayo Valencia, Cayo Culebra, Playa San Juan, Laguna Nichupté, Isla Cozumel, Playa Maya, Playa Lanjeros, Isla de la Pasión, Puerto Juárez, Akumal, Hualapich, Bahía del Espíritu Santo, Chac-Mool, Cayo Centro, Isla Cancún, El Muelle (Isla Cozumel), Arrecife Colombia.

***Caulerpa sertularioides* var. *farlowii*** (Børgesen) López-Valdez **stat. nov.**

**Veracruz:** Arrecife Blanquilla, Arrecife Giote, Arrecife Los Hornos, Isla Sacrificios, Arrecife de Lobos, Boca del Río. **Yucatán:** Arrecife Alacrán. **Quintana Roo:** Puerto Morelos, Punta Cancún, Paamul, Zamach, Xcalak, Chen Río, El Muelle (Isla Cozumel), Playa Maya, Playa San Juan, Punta Chiquero, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Lancheros, Playa Los Cocos, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, El Mirador, Punta Morena, Playa del Carmen, Playa Santa Pilar, Isla Mujeres.

***Caulerpa sertularioides* var. *corymbosa*** (W.R.Taylor) López-Valdez **stat. nov.**

**Veracruz:** Isla de Enmedio. **Campeche:** Laguna de Términos.

***Caulerpa sertularioides* var. *brevipes*** (Svedelius) López-Valdez **stat. nov.**

**Baja California Sur (Golfo):** Bahía de La Paz, Pichilingue. **Sonora:** Laguna de Agiabampo. **Colima:** Laguna Juluapan, Playa Santiago. **Oaxaca:** Barra Santa Elena, Bahía Santa Cruz, Bahía Tangolunda, Puerto Ángel. **Veracruz:** Arrecife Blanquilla, Arrecife Giote, Arrecife Los Hornos, Isla de Enmedio, Isla Sacrificios, Isla Verde, Playa Escondida, Arrecife de Lobos. **Tabasco:** Playa Paraíso Escollera Oeste. **Campeche:** Laguna de Términos, Triángulo Oeste (Arrecifes Triángulos), Cayo Arcas, Playa Bonita, Escolleras Ciudad de Campeche. **Yucatán:** Isla Pájaros, Isla Pérez, Isla Chica. **Quintana Roo:** Akumal, Paamul, Punta Piedras, Chac-Mool, Xcalak, Banco Chinchorro, Cayo Culebra, Cayo Valencia, Isla Contoy, Caletilla, El Muelle (Isla Cozumel), Playa San Juan, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an.

***Caulerpa sertularioides* var. *longiseta*** (Svedelius) López-Valdez **stat. nov.**

**Baja California Sur (Golfo):** Bahía de La Paz, Isla Monserrate, Puerto Escondido, Isla Espíritu Santo, Isla Partida. **Oaxaca:** Bahía de San Agustín, Isla Sacrificios, Bahía Tangolunda, Salina Cruz, La Ventosa. **Veracruz:** Isla de Enmedio, Arrecife de Lobos, Tuxpan, Tuxtla. **Campeche:** Laguna de Términos, Punta Gorda, Sabancuy, 29 km al NE de Sabancuy. **Yucatán:** Progreso, Arrecife Alacrán, Laguna Río Lagartos. **Quintana Roo:** Cancún, Akumal, Zama, Chac-Mool, Xcalak, Isla Cancún, Isla Contoy, Isla Mujeres, Banco Chinchorro, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Laguna Nichupté.

***Caulerpa taxifolia*** (M.Vahl) C.Agardh, 1817

**Yucatán:** Arrecife Alacrán. **Quintana Roo:** Isla Mujeres.

***Caulerpa vanbosseae*** Setchell & N.L.Gardner, 1924

**Baja California Sur (Pacífico):** Bahía Magdalena, Punta Entrada en Isla Magdalena, Isla Magdalena, Bahía Las Almejas. **Baja California (Golfo):** Puerto Refugio. **Baja California Sur (Golfo):** Isla Tortuga, Bahía Concepción, Isla San Ildefonso, Isla Cholla, Isla San José, Isla Espíritu Santo. **Sonora:** Puerto Peñasco, Punta Las Cuevitas, Ensenada de San Francisco.

***Caulerpa verticillata*** J.Agardh, 1847

**Baja California Sur (Golfo):** Bahía de La Paz. **Colima:** Bahía Manzanillo. **Veracruz:** Isla de Enmedio. **Campeche:** Playa Bonita, Escolleras Ciudad de Campeche. **Yucatán:** Arrecife Alacrán, Laguna Río Lagartos. **Quintana Roo:** Laguna de

Bojórquez, Puerto Morelos, Laguna Nichupté, Bahía de la Ascensión Sian Ka'an, Chac-Mool, Xoquem, Xcalak, Cayo Centro, Caletilla, El Muelle (Isla Cozumel), Playa San Juan, El Muelle (Isla Mujeres), Playa Los Cocos, Arrecife Paraíso Norte, Arrecife Yucab, Arrecife Tunich, Arrecife San Francisco, Arrecife Santa Rosa, Arrecife Colombia.

***Caulerpa verticillata* var. *charoides*** (Weber-van Bosse) López-Valdez **stat. nov.**

**Campeche:** Boca de Yukum Balam.

***Caulerpa webbiana*** Montagne, 1837

**Veracruz:** Isla de Enmedio. **Quintana Roo:** Arrecife Santa Rosa.

## 6.2. Composición florística de los estados costeros

La especie con la distribución más amplia a nivel nacional fue *Caulerpa sertularioides*, los estados en los que no se tuvo registro de esta especie fue en Baja California (Golfo) y en Michoacán.

Por otro lado, las especies con distribución restringida, es decir, aquellas que sólo se presentaron en un solo estado costero fueron: *Caulerpa brachypus* (Quintana Roo: Xcaret), *C. pusilla* (Quintana Roo: Puerto Morelos) y *C. serrulata* (Quintana Roo: Arrecifes Chankanab, Tormentos y Colombia).

De un total de 18 especies, 12 no se distribuyen en ninguno de los estados del Pacífico tropical mexicano, éstas fueron: *Caulerpa ashmeadii*, *C. brachypus*, *C. lanuginosa*, *C. mexicana*, *C. microphysa*, *C. paspaloides*, *C. prolifera*, *C. pusilla*, *C. serrulata*, *C. taxifolia*, *C. vanbosseae* y *C. webbiana*.

Para todos los estados del Pacífico tropical mexicano, excepto para Michoacán, fue constante la presencia de *Caulerpa chemnitzia*, *C. racemosa* y *C. sertularioides*. En los estados de Nayarit y Jalisco se encontró una misma combinación de especies conformada por *C. chemnitzia*, *C. cupressoides*, *C. racemosa* y *C. sertularioides*, lo mismo se observó en Guerrero y Oaxaca pero con *C. chemnitzia*, *C. racemosa* y *C. sertularioides*. *Caulerpa fastigiata* para esta región se encontró únicamente en Colima al igual que *C. verticillata*.



*Caulerpa vanbosseae* es considerada como la especie más septentrional, ya que se distribuye en el Pacífico de Baja California Sur, Golfo de Baja California y Baja California Sur y Sonora.

Para los estados del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán) fue constante la presencia de *Caulerpa chemnitzia*, *C. prolifera* y *C. sertularioides*. Para esta región *C. lanuginosa* y *C. taxifolia* se encontraron solamente en Yucatán, mientras que *C. webbiana* se registró sólo en el estado de Veracruz. Campeche y Yucatán se parecen en su composición de especies, solo que *Caulerpa lanuginosa* y *C. taxifolia* están ausentes en Campeche, mientras que *C. microphysa* está ausente en Yucatán.

En el Caribe mexicano, Quintana Roo presentó prácticamente todas las especies a excepción de *Caulerpa vanbosseae* considerada como la más septentrional. Además, como ya se había mencionado, se registró la presencia de tres especies de *Caulerpa* (*C. brachypus*, *C. pusilla* y *C. serrulata*) que únicamente se distribuyen en este estado.

Es importante resaltar que prácticamente a nivel nacional, se distribuyen de manera “conjunta” *Caulerpa chemnitzia*, *C. racemosa* y *C. sertularioides*, lo que nos obliga a poner en duda la validez taxonómica de éstas, ya sea por una mala identificación como consecuencia de su plasticidad morfológica o variabilidad genética, o bien porque su distribución es más amplia y no es exclusiva de México.

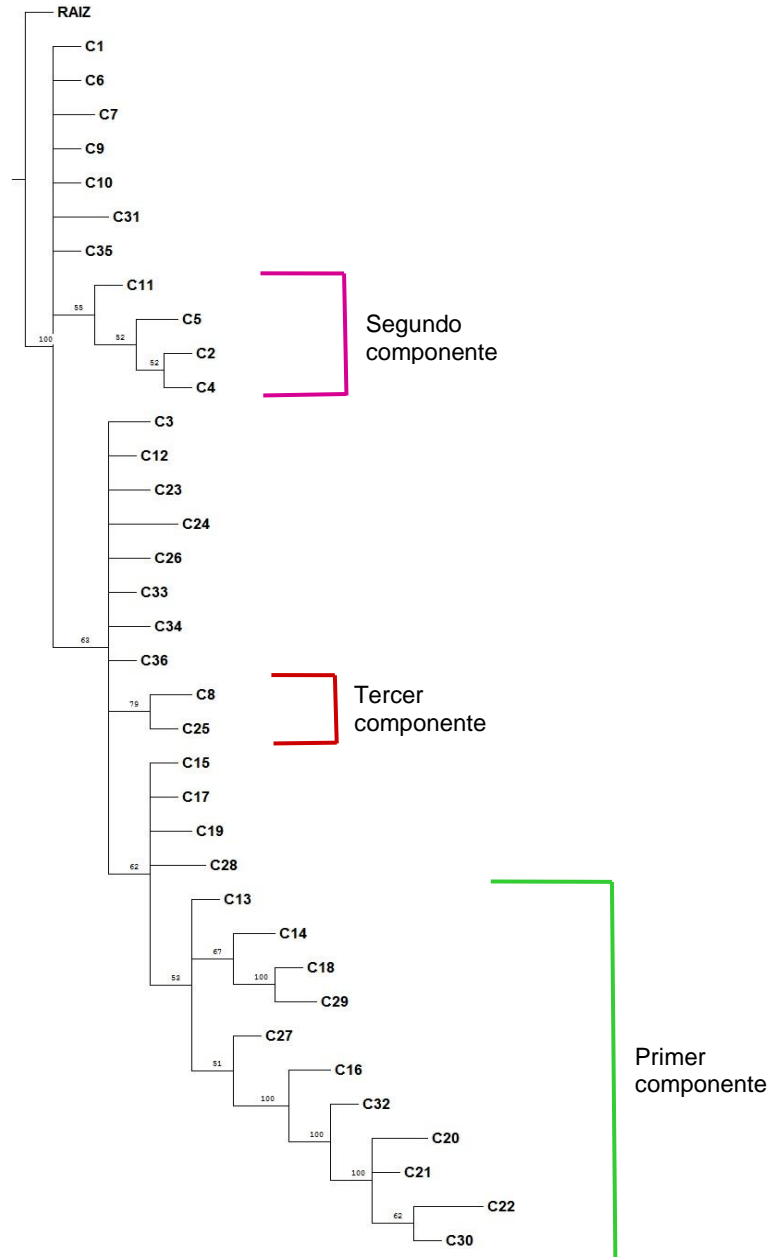
### 6.3. Análisis biogeográfico

A partir del Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE) de la matriz en la que se utilizaron las 36 celdas como unidades geográficas de análisis, se obtuvieron 100 árboles igualmente parsimoniosos. El árbol de consenso por regla de la mayoría (Fig. 3) presentó 45 pasos de longitud, un índice de consistencia de 40 y un índice de retención de 73. Dicho árbol reveló la existencia de tres agrupamientos: un componente mayor (compuesto de 11 celdas) y dos más pequeños (compuestos de 4 y 2 celdas).

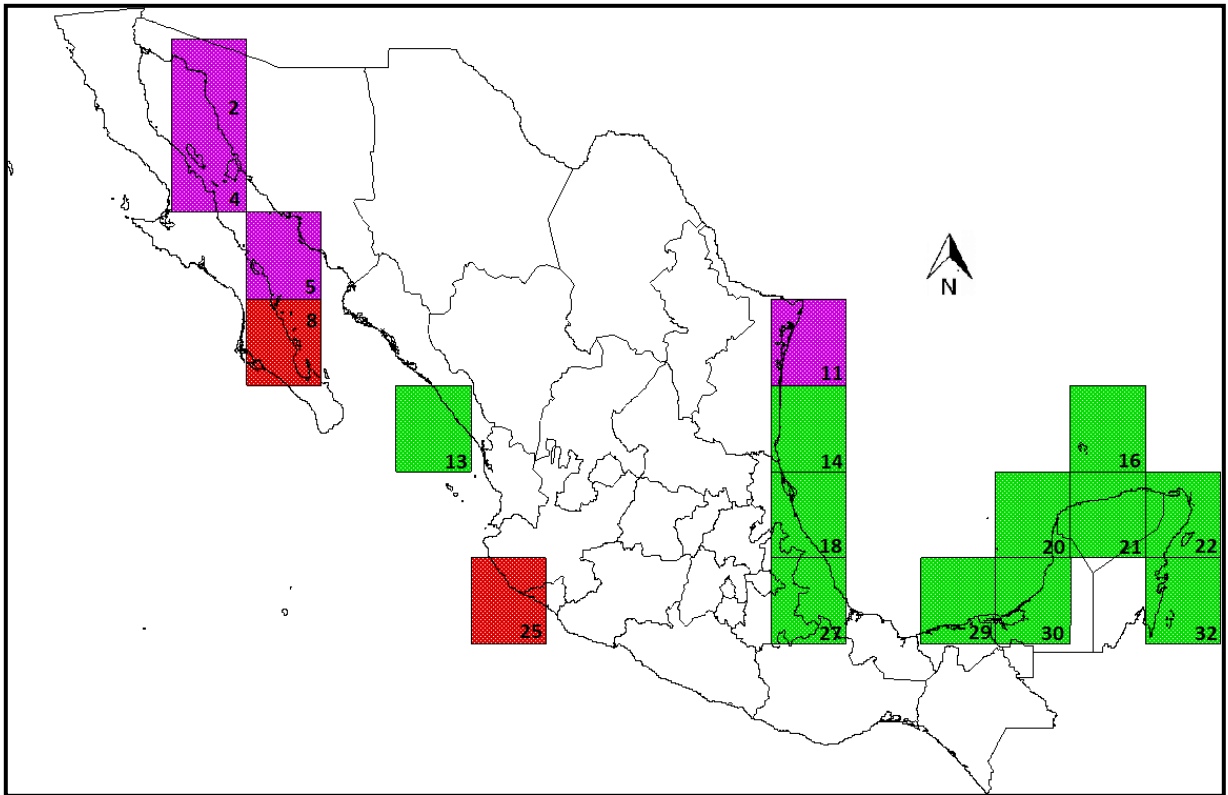
Las celdas que conformaron el primer componente y el de mayor tamaño se ubicaron en el Golfo de México y Caribe mexicano, a excepción de la celda 13 la cual se ubicó en el estado de Sinaloa, el segundo componente se conformó por 4 celdas, 3 de ellas se ubicaron en la región del Golfo de California excepto la celda 11 ya que ésta se encontró en Tamaulipas, el último y más pequeño de los componentes quedó conformado por dos celdas, la celda 8 la cual forma parte tanto del Golfo como del Pacífico de Baja California Sur y la celda 25 que forma parte del Pacífico tropical mexicano (Fig. 4).

Para la matriz de ecorregiones marinas, se obtuvieron 6 árboles igualmente parsimoniosos. El árbol de consenso estricto (Fig. 5) presentó 20 pasos de longitud, un índice de consistencia de 70 y un índice de retención de 62. A diferencia del cladograma anterior, en éste se aprecia una sola agrupación conformada por el Sur del Golfo de México y Caribe occidental (Fig. 6), dicha agrupación está sustentada por la presencia de 7 especies compartidas (sinapomorfías): *Caulerpa ashmeadii*<sup>0</sup>,

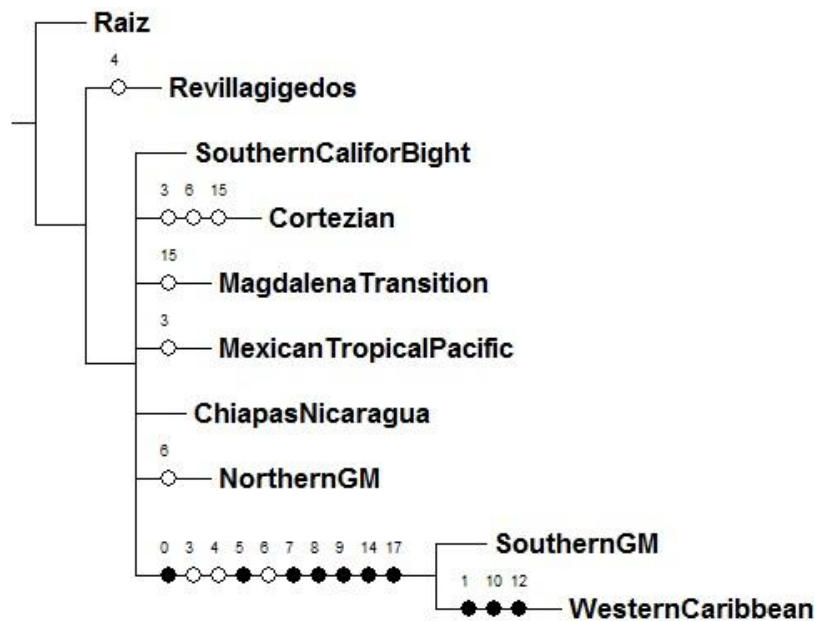
*C. lanuginosa*<sup>5</sup>, *C. microphysa*<sup>7</sup>, *C. paspaloides*<sup>8</sup>, *C. prolifera*<sup>9</sup>, *C. taxifolia*<sup>14</sup> y *C. webbiana*<sup>17</sup>. Se encontraron también 3 especies únicas (autoapomorfías) para el Caribe occidental, éstas fueron *C. brachypus*<sup>1</sup>, *C. pusilla*<sup>10</sup> y *C. serrulata*<sup>12</sup>.



**Figura 3.** Árbol de consenso por regla de la mayoría obtenido a partir del análisis PAE mediante la cuadrícula de 2º x 2º.



**Figura 4.** Representación espacial de las celdas agrupadas en el cladograma de la Fig. 3. El color de cada celda corresponde al componente al que pertenecen.



**Figura 5.** Árbol de consenso estricto obtenido a partir del análisis PAE mediante las ecorregiones marinas. Los círculos negros indican sinapomorfías o autoapomorfías. Los superíndices se refieren al número de la especie comenzando desde cero.



**Figura 6.** Representación espacial de las ecorregiones marinas agrupadas en el cladograma de la Fig. 5.

#### **6.4. Riqueza de especies por región, estado costero y localidad**

La región con mayor número de especies corresponde al Caribe mexicano con un total de 17 especies, seguido por el Golfo de México con 14, para el Golfo de California se registraron 7 especies, en el Pacífico tropical mexicano se encontró un total de 6 especies, mientras que en el Pacífico de Baja California se registraron únicamente 4.

Quintana Roo fue el estado con mayor riqueza específica al presentar 17 de las 18 especies de *Caulerpa*. Para el Golfo de México el estado con mayor número de especies fue Yucatán con 12 registros. Baja California Sur y Sinaloa

pertenecientes a la región del Golfo de California presentaron 5 especies cada una. De los estados del Pacífico tropical mexicano, Colima presentó el mayor número de especies al tener 5 registros, cabe mencionar que *Caulerpa chemnitzia* y *C. racemosa* se encontraron en los seis estados (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca) que conforman esta región. Por último, en Baja California perteneciente a la región del Pacífico de Baja California se registraron 3 especies de *Caulerpa* (Tabla 1).

En el estado de Chiapas (en la región del Pacífico tropical mexicano) no se encontró ningún registro de *Caulerpa*, lo que nos hace pensar que aún persisten áreas con hiatos en cuanto al conocimiento de las macroalgas marinas se refiere, especialmente en el grupo Chlorophyta, La ausencia de registros de algas verdes, puede deberse por un lado a las características propias en la fisiografía o ecología de sus costas o incluso por la historia evolutiva particular ya sea del grupo taxonómico o de la región geográfica, sin embargo, también puede deberse a la falta de un muestreo intensivo que permita conocer las diferentes especies de algas verdes presentes en dicho estado.

La localidad con mayor número de especies registradas fue Isla Mujeres con 12 especies, seguida por Puerto Morelos con 11 especies. En Quintana Roo también se observó un mayor número de localidades (97), siendo Baja California el estado con el menor número de localidades (2), tanto para la región del Pacífico como en la del Golfo.

De manera general, la riqueza específica de las localidades de los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, oscila de 1 a 4 especies, siendo varias las localidades en las que alberga sólo una especie.

En la figura 7, se muestra la riqueza específica de las 304 localidades obtenidas, dichas localidades están representadas por círculos de diferente tamaño, siendo los círculos grandes los de mayor riqueza de especies de *Caulerpa*.



**Figura 7.** Representación de la riqueza específica de *Caulerpa* para cada una de las localidades del área de estudio. Se señala Isla Mujeres como la localidad con mayor riqueza de especies.

**Tabla 1.** Especies de *Caulerpa* por estado costero.

Especie	BC	BCS	Son	Sin	Nay	Jal	Col	Mich	Gro	Oax	Tamps	Ver	Tab	Camp	Yuc	QRoo
<i>C.ashmeadii</i>														*	*	*
<i>C.brachypus</i>																*
<i>C.chemnitzia</i>	*	**		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>C.cupressoides</i>				*	*	*						*		*	*	*
<i>C.fastigiata</i>							*							*	*	*
<i>C.lanuginosa</i>															*	*
<i>C.mexicana</i>	**		*	*							*	*		*	*	*
<i>C.microphysa</i>												*	*	*		*
<i>C.paspaloides</i>														*	*	*
<i>C.prolifera</i>											*	*	*	*	*	*
<i>C.pusilla</i>																*
<i>C.racemosa</i>	*	**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*
<i>C.serrulata</i>																*
<i>C.sertularioides</i>	*	**/*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
<i>C.taxifolia</i>															*	*
<i>C.vanbosseae</i>	**	**/*	*													
<i>C.verticillata</i>		**					*					*		*	*	*
<i>C.webbiana</i>												*				*
<b>Nº de especies total</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>17</b>

\* Especies que se distribuyen en la región del Pacífico de Baja California, ya sea en el estado de Baja California y/o Baja California Sur.

\*\* Especies que se distribuyen en la región del Golfo de California, ya sea en el estado de Baja California y/o Baja California Sur.

\*\*/\* Especies que se distribuyen en el Golfo de Baja California Sur y en la región del Pacífico del mismo estado.



## 6.5. Especies de *Caulerpa* congruentes con la distribución de manglares, arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos

A partir de la comparación que se realizó entre la distribución de las especies de *Caulerpa* y la distribución de los manglares, corales y pastos marinos, se obtuvo que de las 18 especies de *Caulerpa*, 16 coincidieron con la distribución ya sea de los tres o de por lo menos dos grupos biológicos (Tabla 2). Por ejemplo, en el caso de las costas del Golfo de Baja California Sur la distribución de *Caulerpa chemnitzia*, *C. racemosa*, *C. sertularioides* y *C. verticillata* coincidió con la distribución de los manglares, corales y pastos marinos, mientras que en las costas de Yucatán la distribución de *C. ashmeadii*, *C. chemnitzia*, *C. cupressoides*, *C. fastigiata*, *C. prolifera*, *C. sertularioides* y *C. verticillata* coincidió únicamente con la distribución de los manglares y pastos marinos. En algunos estados como en el norte de Veracruz la distribución de *C. cupressoides*, *C. microphysa*, *C. racemosa* y *C. sertularioides* coincidió con la de los tres grupos, mientras que para este mismo sitio *C. chemnitzia* coincidió únicamente con la distribución de los arrecifes coralinos y pastos marinos.

De los 16 estados costeros en los que se tiene registros de *Caulerpa*, únicamente en Baja California Sur (Golfo), norte y centro de Veracruz, Campeche, Yucatán y en el norte y sur de Quintana Roo se encontró una congruencia entre la distribución de *Caulerpa* con respecto a la distribución de manglares, corales y pastos marinos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Especies de *Caulerpa* que coinciden en su distribución con la de los manglares, arrecifes coralinos y/o praderas de pastos marinos.

Estado costero	Especie de <i>Caulerpa</i>	Manglar	Arrecifes coralinos	Pastos marinos
Baja California Sur (Golfo)	<i>C. chemnitzia</i>	•	•	•
	<i>C. racemosa</i>	•	•	•
	<i>C. sertularioides</i>	•	•	•
	<i>C. verticillata</i>	•	•	•
Norte de Veracruz	<i>C. chemnitzia</i>		•	•
	<i>C. cupressoides</i>	•	•	•
	<i>C. microphysa</i>	•	•	•
	<i>C. racemosa</i>	•	•	•
Centro de Veracruz	<i>C. sertularioides</i>	•	•	•
	<i>C. chemnitzia</i>	•		•
	<i>C. cupressoides</i>	•	•	•
	<i>C. mexicana</i>	•		•
	<i>C. racemosa</i>	•	•	•
Campeche	<i>C. sertularioides</i>	•		•
	<i>C. verticillata</i>		•	•
	<i>C. ashmeadii</i>	•		•
	<i>C. cupressoides</i>	•		•
Campeche/Yucatán	<i>C. prolifera</i>	•		•
	<i>C. cupressoides</i>	•	•	
	<i>C. paspaloides</i>	•		•
Yucatán	<i>C. verticillata</i>	•		•
	<i>C. ashmeadii</i>	•		•
	<i>C. chemnitzia</i>	•		•
	<i>C. cupressoides</i>	•		•
	<i>C. fastigiata</i>	•		•
	<i>C. prolifera</i>	•		•
	<i>C. sertularioides</i>	•		•
	<i>C. verticillata</i>	•		•

Continuación

Estado costero	Especie de <i>Caulerpa</i>	Manglar	Arrecifes coralinos	Pastos marinos
Norte de Quintana Roo	<i>C. ashmeadii</i>	•	•	•
	<i>C. chemnitzia</i>	•	•	•
	<i>C. cupressoides</i>	•	•	•
	<i>C. fastigiata</i>	•	•	
	<i>C. lanuginosa</i>	•	•	•
	<i>C. mexicana</i>	•	•	•
	<i>C. microphysa</i>	•	•	•
	<i>C. paspaloides</i>	•	•	•
	<i>C. prolifera</i>	•	•	•
	<i>C. pusilla</i>	•	•	•
	<i>C. racemosa</i>	•	•	•
	<i>C. serrulata</i>	•	•	
	<i>C. sertularioides</i>	•	•	•
	<i>C. taxifolia</i>	•	•	
<i>C. verticillata</i>	•	•	•	
<i>C. webbiana</i>	•	•		
Sur de Quintana Roo	<i>C. chemnitzia</i>	•	•	•
	<i>C. cupressoides</i>	•	•	•
	<i>C. fastigiata</i>	•		•
	<i>C. mexicana</i>	•	•	•
	<i>C. paspaloides</i>	•	•	
	<i>C. prolifera</i>	•	•	•
	<i>C. racemosa</i>	•	•	•
<i>C. sertularioides</i>	•	•	•	
<i>C. verticillata</i>	•	•	•	

## 6.6. Reconocimiento de las áreas naturales protegidas y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad

Una vez que se reconocieron las 16 especies de *Caulerpa* que coinciden en su distribución con la de los manglares, corales y pastos marinos en ciertas zonas de las costas mexicanas, se observó que dichas coincidencias en la distribución de los grupos fueron congruentes a su vez con algunas de las áreas naturales protegidas (ANP) y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad (SMP).

Sin embargo, en otros casos, dichas coincidencias se sobrepusieron únicamente con alguna ANP pero no con un SMP o viceversa. De esta forma, se reconocieron un total de 12 áreas naturales protegidas y 13 sitios marinos prioritarios, de los cuales 6 fueron clasificados como de extrema importancia, 6 como muy importantes y 1 como importante (Tabla 3). También, se identificaron algunas localidades como es el caso de Arrecife de Lobos en el norte de Veracruz, en donde se encontró que existe congruencia en la distribución de *Caulerpa chemnitzia*, *C. cupressoides*, *C. microphysa*, *C. racemosa* y *C. sertularioides* con pastos marinos y arrecifes coralinos, sin embargo, esta distribución no se sobrepuso con alguna ANP ni con un SMP, lo mismo se presentó con las localidades Punta Maroma, Paamul y Xpu-há en el norte de Quintana Roo, en las que se reconoció una congruencia en la distribución de diferentes especies de *Caulerpa* con manglares y arrecifes. Finalmente, en Majagual al sur de Quintana Roo, *C. racemosa* y *C. verticillata* coincidieron en su distribución con manglar, coral y pasto, sin embargo, esta localidad se traslapó sólo con un SMP pero no con alguna ANP.

#### **6.7. Identificación de las unidades geográficas de análisis (cuadrícula y ecorregiones marinas) coincidentes con la distribución de *Caulerpa*, manglares, corales y pastos marinos, ANP y SMP**

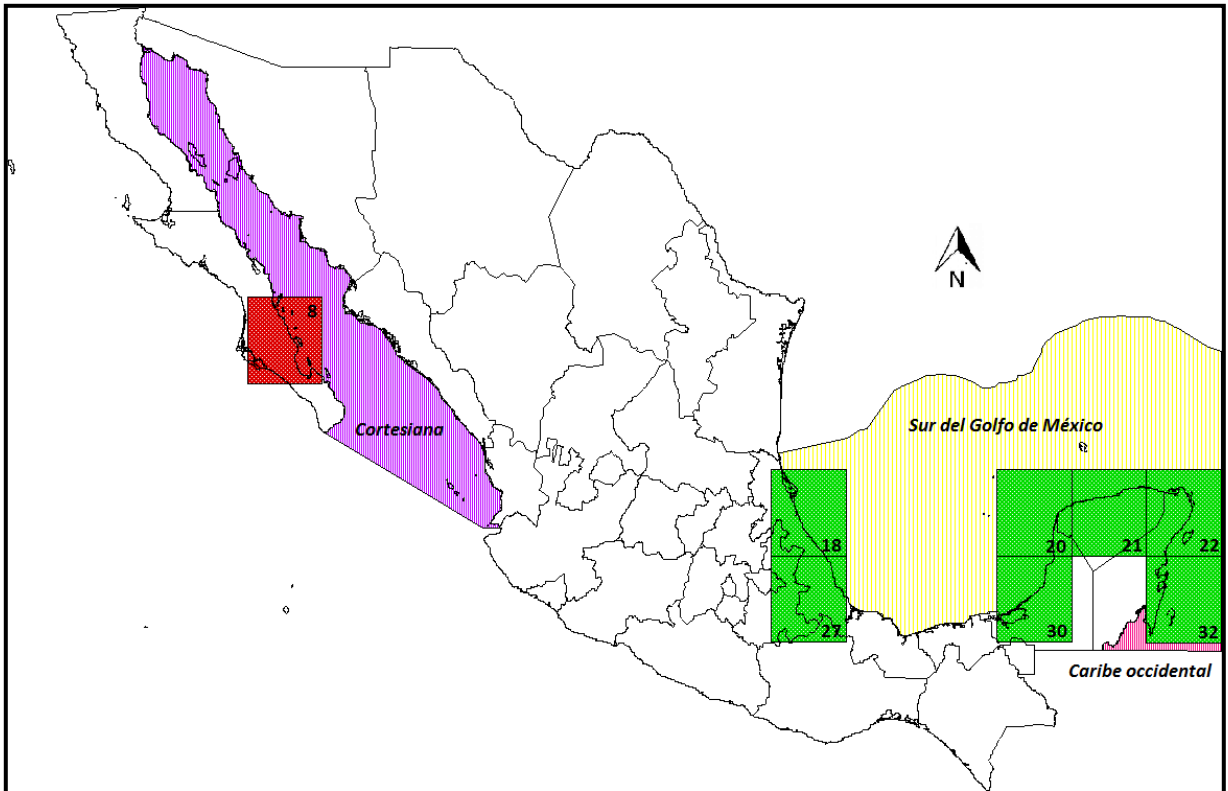
Con base en los análisis anteriores, se identificaron aquellas especies de *Caulerpa* que coincidieron con la distribución de manglares, corales y pastos marinos, así, se reconocieron también aquellas áreas naturales protegidas y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad con los que se

sobrepusieron. Finalmente, se obtuvo que de las 36 celdas de la cuadrícula de 2° de latitud x 2° de longitud, ocho coincidieron con las congruencias encontradas entre la distribución de los grupos biológicos, ANP y SMP, estas celdas fueron la número 8 (Golfo de Baja California Sur), 18 (norte de Veracruz), 20 (Campeche/Yucatán), 21 (Yucatán), 22 (norte de Quintana Roo), 27 (centro de Veracruz), 30 (Campeche) y 32 (sur de Quintana Roo) (Fig. 8) y que de acuerdo con el árbol de consenso por regla de la mayoría obtenido a partir del PAE usando la cuadrícula de 2° (Fig. 3) dichas celdas se encuentran agrupadas conformando lo que se denominó como el “primer componente” a excepción de la celda 8 la cual se encuentra en el golfo de Baja California Sur (Fig. 4).

En cuanto a las ecorregiones marinas, el sur del Golfo de México y el Caribe occidental se sobrepusieron con las celdas 18, 20, 21, 22, 27, 30 y 32, de igual forma ambas ecorregiones fueron agrupadas en el árbol de consenso estricto (Fig. 5), mientras que la celda 8 coincidió con la ecorregión Cortesiana (Fig. 8).

**Tabla 3.** Áreas naturales protegidas y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad que se sobreponen con la distribución de 16 especies de *Caulerpa* y la distribución de manglares, arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos. Sitios marinos prioritarios de acuerdo a su importancia: "E.I": extrema importancia, "M.I": muy importante, "I": importante.

Estado costero	Área natural protegida	Sitio marino prioritario para la conservación de la biodiversidad
Baja California Sur (Golfo)	Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo	Isla Espíritu Santo y Talud Continental "M.I" Bahía de La Paz "E.I"
Norte de Veracruz	—	—
Centro de Veracruz	Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano	Sistema Arrecifal Veracruzano "E.I" Humedales Costeros del centro de Veracruz "M.I"
Campeche	Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos	Laguna de Términos "M.I"
Campeche/Yucatán	Reserva de la Biosfera Los Petenes Reserva de la Biosfera Ría Celestún	Los Petenes-Ría Celestún-El Palmar "E.I" Los Petenes-Ría Celestún-El Palmar "E.I"
Yucatán	Reserva de la Biosfera Ría Lagartos	Humedales Costeros y Plataforma Continental de Cabo Catoche "E.I"
Norte de Quintana Roo	Parque Nacional Costa Occ. de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos Parque Nacional Arrecifes de Cozumel	Humedales Costeros y Arrecife de Puerto Morelos "I" Isla Cozumel "M.I" Ríos Subterráneos y Caletas de Akumal-Tulum "M.I"
Sur de Quintana Roo	Reserva de la Biosfera Sian Ka'an Parque Nacional Arrecifes de Xcalak Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro	Humedales Costeros y Arrecife de Sian Ka'an "E.I" Humedales Costeros y Arrecife de Xcalak-Majahual "M.I" Humedales Costeros y Arrecife de Xcalak-Majahual "M.I" Banco Chinchorro "E.I"



**Figura 8.** Celdas y ecorregiones marinas congruentes con la distribución de las especies de *Caulerpa*, manglares, corales y pastos marinos, áreas naturales protegidas y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad. El color de la celda corresponde al componente al que pertenecen de acuerdo con la Fig. 3.

## 7. DISCUSIÓN

De acuerdo con Carruthers *et al.* (1993) algunas especies de *Caulerpa* se encuentran en aguas templadas, sin embargo, este género se caracteriza por ser uno de los más predominantes y de amplia distribución en mares tropicales y subtropicales del mundo. En el presente trabajo se encontró que la diversidad del género *Caulerpa* en México es de 18 especies, de las cuales, 17 se presentaron en Quintana Roo (Caribe mexicano), este resultado hace énfasis en la preferencia de

estos organismos a ciertas condiciones ambientales, sugiriendo que el patrón de distribución está condicionado principalmente por la temperatura.

Factores ambientales como la salinidad, temperatura, luz y sustrato determinan características específicas en el ambiente que permiten el establecimiento y desarrollo de diferentes comunidades, influyendo también en la distribución geográfica de las especies (Dawes, 1986). Dada la variación de este conjunto de factores ambientales a lo largo de las costas de México, es como los patrones geográficos de las especies de *Caulerpa* muestran una correlación con el medio físico.

Los registros de distribución de *Caulerpa*, evidencian la existencia de una diferencia significativa entre la diversidad de este género a lo largo de las costas mexicanas, siendo mayor en el Caribe mexicano, seguido por el Golfo de México y menor en el Pacífico mexicano, estos resultados mostraron una correspondencia con la riqueza específica a nivel de localidades, ya que de las 304, Isla Mujeres en Quintana Roo (Caribe mexicano) fue la localidad con mayor número de especies, le siguen Arrecife Alacrán y Dzilám de Bravo en Yucatán (Golfo de México), mientras que las localidades del Pacífico mexicano mostraron una riqueza específica menor. Se identificaron también tres especies de *Caulerpa* (*C. brachypus*, *C. pusilla* y *C. serrulata*) cuya distribución se restringió al norte de Quintana Roo. Prud'Homme *et al.* (1996), reportan para el género *Caulerpa*, tres centros de alta diversidad y de endemismo, uno de ellos corresponde precisamente al Mar Caribe con 22 especies, 7 de ellas endémicas, otro centro de alta diversidad es la región de Malasia, en la



frontera del océano Índico con el océano Pacífico, para esta región reportan 29 especies de *Caulerpa* de las cuales sólo 3 son consideradas como endémicas y el último hace referencia al sur de Australia con 18 especies y 9 especies endémicas. También reconocen que el norte de Australia, el este y sur de África y Japón son áreas ricas en especies de *Caulerpa*. Por su parte, Hernández-Cervantes (2015) reconoce para el género *Laurencia* 10 áreas de endemismo a nivel mundial, de las cuáles el Mar Caribe, el sur de Australia, la Costa Sonda, el este y sur de África y el norte del Pacífico Occidental coinciden con las áreas de alta riqueza de *Caulerpa* mencionadas anteriormente. De igual forma, Tapia *et al.* (2015), observaron que los hotspots o zonas con alta riqueza de *Laurencia*, corresponden al norte de Australia, Japón y Centro del Indopacífico.

Con base en los números de riqueza de especies y de registros endémicos en los centros de alta diversidad de *Caulerpa* (Prud'Homme *et al.*, 1996) se observa que a mayor riqueza específica menor número de especies endémicas y viceversa, esta complejidad biológica se encuentra relacionada con la gran heterogeneidad del medio físico, producto de una historia geológica y climática compleja (Espinosa-Organista *et al.*, 2008).

De acuerdo con los cladogramas obtenidos a partir del PAE, el árbol de consenso por regla de la mayoría (Fig. 3) sugiere la existencia de tres componentes o agrupamientos de celdas. En primer lugar, lo que se denominó como "Primer componente" fue el grupo con el mayor número de celdas abarcando todos los estados del Golfo de México y Caribe mexicano a excepción de la parte norte de

Tamaulipas y la parte sur de Veracruz (Fig. 4), ambas regiones, tanto el Golfo de México como el Caribe mexicano se caracterizan por tener una alta diversidad de especies de *Caulerpa*, ya que de las 18 especies registradas para las costas mexicanas, 14 se encuentran distribuidas en el Golfo de México y 17 en el Caribe mexicano, para esta última región es importante hacer énfasis en la celda 22, ya que en ésta se registraron las localidades de las tres especies de *Caulerpa* que únicamente se les encuentra en la parte norte de Quintana Roo para el caso de México y de igual forma es en esta celda en donde se encuentra Isla Mujeres, la localidad con la mayor riqueza de especies y que para Vilchis (2015) representó la segunda localidad con mayor riqueza específica para grandes macroalgas.

Con base en la predicción espacial de la riqueza de especies de grandes macroalgas a lo largo del litoral del Golfo de México y Caribe mexicano, realizado por Tapia *et al.* (2015), las áreas obtenidas con mayor riqueza específica predicha coinciden con 7 de las 11 celdas agrupadas en el primer componente del cladograma de la figura 3, tal es el caso de Arrecife Alacrán que queda contenido dentro de la celda 16, Puerto Progreso en la celda 21, las localidades de la zona norte de Quintana Roo en la celda 22, la zona de Banco Chinchorro en la celda 32, las localidades de la zona norte y centro de Veracruz en las celdas 18 y 27 respectivamente y finalmente la Escollera norte del río Pánuco en la celda 14. Estos resultados hacen evidente que las áreas con mayor riqueza de especies de grandes macroalgas, además de coincidir con las celdas agrupadas con base en las especies de *Caulerpa* muestran también una congruencia con aquellos lugares que poseen

una mayor variedad de hábitats, como son el Sistema Arrecifal Veracruzano y la barrera arrecifal en el Caribe mexicano. Dicho lo anterior, es evidente que existe una relación entre el Golfo de México y el Caribe mexicano ya no sólo por la alta diversidad de especies presente en ambas regiones, sino que su afinidad queda sustentada por la presencia de 7 especies de *Caulerpa* que se comparten o que se encuentran tanto en el Sur del Golfo de México como en el Caribe occidental, lo cual se refleja en el árbol de consenso estricto obtenido a partir de las ecorregiones marinas propuestas por Spalding *et al.* (2007) (Fig. 5). De esta forma, el agrupamiento de las celdas que conforman el primer componente, a excepción de la celda 13 y su concordancia con las ecorregiones marinas: Sur del Golfo de México y Caribe occidental, sugiere que los patrones de distribución de las especies de *Caulerpa* reflejan a través de su disposición, las condiciones fisiográficas y la conformación de los ambientes ecológicos que caracterizan al Golfo de México y Caribe mexicano, y que permiten el establecimiento de estos organismos.

Por otro lado, las 16 especies de *Caulerpa* que coincidieron en su distribución con la de los manglares, arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos o que coincidieron por lo menos con dos de estos grupos (Tabla 2), mostraron también una congruencia con algunas de las celdas que conforman el primer componente de la figura 3 y por ende con las ecorregiones marinas del Sur del Golfo de México y Caribe occidental, ya que dicha sobreposición en la distribución de estos grupos biológicos se presentó en el norte y centro de Veracruz, que involucran las celdas 18 y 27, respectivamente, Campeche en la celda 30, Campeche y Yucatán en la celda

20, Yucatán en la celda 21, y el norte y sur de Quintana Roo en las celdas 22 y 32 respectivamente. Dichas congruencias en la distribución de estos grupos biológicos sin parentesco evolutivo sugieren que el patrón de distribución no es aleatorio, por lo que esta coincidencia puede estar evidenciando historias biogeográficas compartidas entre taxones no relacionados, ya que el patrón de distribución puede estar respondiendo a diferentes factores actuales o pasados, a procesos históricos y ecológicos congruentes que afectaron a la parte Sur del Golfo de México y Caribe occidental, sin dejar de lado que la distribución de cada taxón está determinada por su adaptación al medio pero también por su propia historia evolutiva (Morrone, 2005; Espinosa-Organista *et al.*, 2008). De acuerdo con Ippi y Flores (2001) diferentes especies de tortugas de agua dulce y terrestres presentan un patrón de distribución similar al que se encontró con las especies de *Caulerpa*, manglares, corales y pastos marinos en el Sur del Golfo de México y Caribe occidental, ya que la superposición de la distribución geográfica de siete especies de tortugas definió un área de endemismo que abarca la península de Yucatán extendiéndose sobre la costa hacia el norte y las tierras bajas del Golfo de México. De igual forma, cabe destacar la importancia del nodo biogeográfico encontrado por Vilchis (2015), reportado como el tercero para el territorio mexicano, ubicado en Arrecife Alacrán-Puerto Progreso y que se encuentra dentro de la ecorregión del Sur del Golfo de México.

En cuanto a los patrones encontrados en el Pacífico mexicano, se reconocieron dos agrupamientos de celdas más pequeños, que el descrito anteriormente, denominados como el segundo y tercer componente, conformados

por 4 y 2 celdas respectivamente (Fig. 3); cabe mencionar que la celda 11 que forma parte del segundo componente no mostró una correspondencia geográfica con el resto de las celdas que conforman esta agrupación y que, al igual que la celda 13 del primer componente (Fig. 4), se discutirán más adelante.

Las celdas 2, 4 y 5 del segundo componente abarcaron las costas de los estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur en el Golfo (Fig. 4) coincidiendo con la ecorregión Cortesiana propuesta por Spalding *et al.* (2007) (Fig. 2). La presencia de *Caulerpa vanbosseae* se registró para estas celdas, cuya distribución se vio restringida en el Golfo de California, por lo que se le ha considerado como la especie de *Caulerpa* más septentrional, lo cual podría deberse a las condiciones ambientales que se presentan en el Golfo de California (también llamado Mar de Cortés). Dicha región se caracteriza por ser un mar largo, estrecho y parcialmente cerrado, con la presencia de corrientes locales y áreas importantes de surgencias, tales como Baja California e Isla Ángel de la Guarda, en donde el ascenso de aguas profundas llevan una mayor cantidad de nutrimentos en comparación con las aguas superficiales, favoreciendo la productividad primaria de la región como consecuencia del efecto de los vientos (González-González *et al.*, 1996; De la Lanza-Espino, 2004; Wilkinson *et al.*, 2009). Las costas del Golfo de California varían de limosas a arenosas y rocosas, aunque predominan las arenas de tamaño mediano (Wilkinson *et al.*, 2009) y de acuerdo con Ortegón-Aznar y Aguilar-Perera (2014), el parámetro que condiciona la presencia de las especies en la costa norte de la Península de Yucatán es el tipo de sustrato, enfatizando que en zonas rocosas se

encuentra un mayor número de especies de algas rojas, mientras que en las zonas arenosas predominan las algas verdes, principalmente aquellas especies con un sistema de fijación rizoidal y crecimiento clonal (Collado-Vides y Robledo, 1999), tal es el caso de las especies de *Caulerpa* en el que dicho sistema de fijación también resulta ser muy similar a la de los pastos marinos. Con base en lo anterior se puede pensar que en el Golfo de California el sustrato arenoso puede ser también un factor ambiental que condiciona la distribución de las especies de *Caulerpa*, ya que esta región se ve influenciada por la cuenca hidrológica del río Colorado, Estados Unidos (Tamayo, 1980), mismo que aporta una gran cantidad de sedimentos y que permite el establecimiento de diferentes especies, y aunque esta aportación de agua dulce es permanente, el Golfo de California se caracteriza por ser una cuenca de evaporación con niveles altos de salinidad, lo que permite el establecimiento de especies de *Caulerpa*, que como ya se mencionaba, se distribuyen exclusivamente en ambientes marinos.

Con respecto al tercer componente, éste se conformó únicamente por dos celdas (Fig. 3), la celda 8 que se encuentra en la costa del Pacífico y Golfo de Baja California Sur (Fig. 4) y que a su vez muestra una sobreposición con dos de las ecorregiones marinas: Transición de Magdalena y Cortesiana (Fig. 2) cabe mencionar que en esta celda también se distribuye *Caulerpa vanbosseae*, mientras que la celda 25 ubicada entre los estados de Jalisco y Colima (Fig. 4) se encontró dentro de la ecorregión del Pacífico tropical mexicano (Fig. 2).

Pedroche y Sentíes (2003) resaltan la importancia de la Península de Baja California, ya que en esta porción del litoral la ficoflora templada o cálido templada se limita a Bahía Magdalena, por lo que la porción sur de Baja California Occidental posiblemente sea una zona de transición con varios elementos tropicales. Norris y Bucher (1976) destacan que la composición florística del Golfo de California, se caracteriza por sus endemismos, además de que contiene elementos que se asocian con regiones tropicales como son las especies de *Caulerpa* y *Padina* y elementos que se asocian con aguas templadas como especies de *Gigartina* y *Desmarestia*. Para el Pacífico tropical mexicano, Mendoza-González *et al.* (2011), reconocen que la ficoflora de la costa sur de Jalisco es similar a la ubicada en Colima, considerándola como mixta, ya que se pueden encontrar tanto elementos tropicales como especies de zonas templadas.

Se encontró también que para la celda 8, cuatro especies de *Caulerpa* coincidieron en su distribución con la de manglares, corales y pastos marinos; dicha congruencia se presentó únicamente en la zona del Golfo de Baja California Sur (Tabla 2) y que además coincide con el límite sur de la distribución de *Kinosternon alamosae* una especie de tortuga que de acuerdo con Ippi y Flores (2001) define un área secundaria debido a su distribución restringida. Para el caso de los mamíferos marinos se ha identificado a *Phocoena sinus* o mejor conocida como la vaquita marina con una distribución restringida en esta misma zona, considerada también como la única especie endémica del país (Aguilar-Aguilar y Contreras-Medina, 2001). De igual forma, se ha considerado al Golfo de California como una de las dos áreas

florísticas del Pacífico que posee un alto grado de endemismo de algas (Pedroche y Senties, 2003).

A lo largo del tiempo se han postulado diversas explicaciones históricas acerca de la gran biodiversidad de México, incluyendo los endemismos y las relaciones entre áreas, una de estas propuestas es la teoría de la vicarianza, la cual sostiene que tanto la diversidad biológica como el endemismo pueden explicarse únicamente por una estrecha correspondencia entre la historia de la Tierra y la historia de la biota (Luna-Vega, 2008). Por lo que la participación de eventos geológicos y paleoclimáticos son la principal causa de la fragmentación de la distribución pasada de las especies y que finalmente deriva en la formación de especies nuevas (Espinosa-Organista *et al.*, 2008), de esta forma es posible explicar la elevada riqueza de especies de *Caulerpa* en la región del Golfo de México y Caribe mexicano, así como la distribución restringida de algunas especies de este género que únicamente se presentaron en el norte de Quintana Roo y en las costas del norte de la República Mexicana. Mientras que la superposición distribucional de los diferentes taxones utilizados en este trabajo (especies de *Caulerpa*, manglares, corales y pastos marinos) sugiere, que probablemente sea resultado de una historia común, si retomamos nuevamente el postulado de “Tierra y biota evolucionan juntas”. Sin embargo, la teoría de la vicarianza pasa a un segundo plano para explicar la ubicación de las celdas 11 y 13 (Fig. 3), mismas que se encuentran en las costas de Tamaulipas y Sinaloa respectivamente, y que además como se ha mencionado anteriormente, no muestran una correspondencia geográfica con el



resto de las celdas con las que se agrupan (Fig. 4), lo cual puede deberse principalmente a que *Caulerpa* es un género conflictivo en cuanto a su taxonomía se refiere.

De acuerdo con Ortega *et al.* (2001), en este género se reconocen especies, variedades y formas, con una nomenclatura amplia y al mismo tiempo confusa, ya que la variabilidad de las condiciones ambientales induce expresiones morfológicas diferentes que pueden ser asignadas a uno o más taxa y en consecuencia es común encontrar dos o más formas reconocidas taxonómicamente en una misma especie (Pedroche *et al.*, 2005). De igual forma, se ha demostrado que mucha de esta expresión morfológica no se encuentra genéticamente respaldada (Ohba y Enomoto, 1987; Ohba *et al.*, 1992), y a pesar de que muchas formas que han sido asignadas a un taxón, han mostrado ser inducidas ambientalmente en otro, no se han realizado los cambios necesarios en la nomenclatura de este género (Pedroche *et al.*, 2005) aún cuando se sabe de las diferentes formas transicionales que presenta *Caulerpa* (Prud'Homme *et al.*, 1996).

Peterson (1972) y Coppejans (1992) consideran a las especies con mayor variación, como por ejemplo *Caulerpa cupressoides*, *C. racemosa* y *C. serrulata* como fenotipos ecológicos o fases morfológicas denominadas écdas. Entendiendo por écada aquella forma que se adapta a un ambiente particular sin estar genéticamente definida (Coppejans, 1992).

Existe también, una confusión nomenclatural entre *Caulerpa mexicana* y *Caulerpa taxifolia*, puesto que se han considerado como especies diferentes, sin

embargo, algunos autores tratan a *Caulerpa mexicana* como una écada dentro de *Caulerpa taxifolia* debido a la presencia de abundantes formas intermedias. (Coppejans, 1992; Prud'Homme *et al.*, 1996; Apartado *et al.*, 2002). Cabe destacar que ambas especies se encontraron para este trabajo en las costas mexicanas, ya que se obtuvieron registros de *Caulerpa taxifolia* en Arrecife Alacrán (Yucatán) e Isla Mujeres (Quintana Roo), mientras que *Caulerpa mexicana* se registró en algunas localidades de Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, esta última especie se encontró también en las celdas 11 y 13, lo que nos hace pensar, que ambas celdas no presentaron correspondencia geográfica, muy probablemente debido a una mala identificación taxonómica de las especies, producto de la alta plasticidad morfológica de *Caulerpa*.

Una vez identificados y discutidos los patrones de distribución obtenidos del PAE, tanto de celdas como de ecorregiones, así como su diversidad, especies restringidas y la sobreposición entre ambas unidades geográficas de análisis, cabe destacar, el reconocimiento de 12 áreas naturales protegidas y 13 sitios marinos prioritarios a partir de la congruencia entre la distribución de *Caulerpa* con manglares, corales y/o pastos marinos. Dichas áreas mostraron una sobreposición con celdas del primer y tercer componente, así como con las ecorregiones Cortesiana, Sur del Golfo de México y Caribe occidental (Fig. 8).

El análisis integral de los resultados obtenidos, revela que algunas áreas protegidas (Parques Nacionales, Áreas de Protección de Flora y Fauna y Reservas de la Biosfera) y sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad,

corresponden con zonas de alta diversidad ficológica para el género *Caulerpa*, así como con algunas zonas en las que se encontró una distribución restringida para ciertas especies de este género.

Las áreas protegidas han sido reconocidas como el instrumento de mayor importancia para la conservación de la biodiversidad (Dorfman, 2005), sin embargo, hasta la fecha, la mayor parte de la conservación marina se ha enfocado en la necesidad de proteger lugares importantes para el desarrollo y reproducción de algunas especies carismáticas (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007), por lo que el establecimiento de estas áreas protegidas han influido de una manera indirecta en la conservación de la flora algal. En este sentido, y con base en los resultados del presente trabajo, se sugiere que las especies de *Caulerpa* distribuidas en las 12 áreas naturales protegidas y 13 sitios marinos prioritarios se incluyan dentro del inventario biológico que definen el establecimiento de estas reservas, parques y áreas de protección, y que además han sido congruentes en su distribución con otros grupos biológicos (manglares, corales y pastos marinos) que si han sido considerados para definir esta clase de regionalizaciones.

## 8. CONCLUSIONES

1. La flora potencial del género *Caulerpa* en las costas mexicanas es de 18 especies, registradas en un total de 304 localidades.
2. El árbol de consenso por regla de la mayoría obtenido a partir del PAE mediante la cuadrícula de  $2^0 \times 2^0$ , reveló la existencia de 3 agrupamientos de celdas denominados: primer, segundo y tercer componente. Mientras que el árbol de consenso estricto obtenido a partir de las ecorregiones marinas mostró una sola agrupación, conformada por el Sur del Golfo de México y Caribe occidental.
3. El primer componente abarcó celdas correspondientes al Golfo de México y Caribe mexicano, mismas que coincidieron con las ecorregiones marinas agrupadas. Dentro de este componente se encuentra Quintana Roo, el estado con mayor número de especies de *Caulerpa*, coincidiendo con uno de los centros mundiales de alta diversidad de especies de la familia Caulerpaceae. De igual forma, al norte de este mismo estado, se reconoció a Isla Mujeres como la localidad con mayor riqueza específica y se identificaron también tres especies con distribución restringida. En este mismo componente se reconocieron 7 celdas en donde la distribución de 16 especies de *Caulerpa* fueron congruentes con la distribución de manglares, corales y/o pastos marinos.

4. El segundo y tercer componente quedaron constituidos por un número menor de celdas, y en ambos se encontró a *Caulerpa vanbosseae* considerada como la especie más septentrional.
5. En el tercer componente, se reconoció una celda en el Golfo de California en la que 4 especies de *Caulerpa* fueron congruentes con la distribución de manglares, corales y pastos marinos, coincidiendo con la ecorregión Cortesiana.
6. Se reconocieron 12 áreas naturales protegidas y 13 sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad, a partir de la congruencia entre la distribución de *Caulerpa*, manglares, corales y pastos marinos. Por lo que se sugiere que estas especies de *Caulerpa* se integren o sean consideradas como un elemento que ayude al establecimiento de áreas protegidas en sus diferentes categorías.
7. El reconocimiento de los componentes, su sobreposición con las ecorregiones marinas, el patrón geográfico de la riqueza de especies de *Caulerpa*, así como la congruencia de su distribución con otros grupos biológicos, se observó en aquellas áreas con mayor complejidad geológica y ecológica, probablemente como consecuencia de factores históricos que afectaron a la biota, de tal forma que se esperaría que dichos patrones se presentarían en otros organismos marinos para confirmar los patrones propuestos en este trabajo.

8. La mala identificación taxonómica, como consecuencia de la alta plasticidad morfológica que caracteriza a *Caulerpa*, puede ser la razón por la que ciertas celdas no mostraron correspondencia geográfica, ya que las múltiples formas intermedias que presenta el género, conlleva a una nomenclatura bastante amplia y al mismo tiempo confusa, por lo que es necesario llevar a cabo estudios filogenéticos no solo de este género sino de las algas en general, lo que aumentaría el nivel de conocimiento de este grupo y se tomarían las medidas pertinentes para la conservación de la flora algal.
  
9. Finalmente, es importante mencionar que son muy escasos los estudios biogeográficos en el ambiente marino, por lo que esta contribución además de reflejar la gran cantidad de información que puede proporcionar un listado de especies, representa un avance por entender el complejo mosaico que representa la diversidad biológica marina de México.

## 9. REFERENCIAS

- Aguilar-Aguilar, R. y R. Contreras-Medina. 2001. La distribución de los mamíferos marinos de México: un enfoque panbiogeográfico. *In: Llorente-Bousquets, J. y J.J. Morrone (Eds.). Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, pp. 213-219.*
- Apartado, F., K.M. Dreckmann y A. Sentíes. 2002. *Caulerpa mexicana* Sonder ex Kützing (Caulerpaceae, Chlorophyta) en México. *Polibotánica* 13: 97-105.
- Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López y V. Aguilar-Sierra. 1998. Regiones prioritarias marinas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México. p. 198.
- Boergesen, F. 1907. An ecological and systematic account of the Caulerpas of the Danish West Indies. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter, Ser. VII, Naturvidenskabelig og Matematisk afdeling* 4: 337-392.
- Breeman, A.M. 1988. Relative importance of temperature and other factors in determining geographic boundaries of seaweeds: experimental and phonological evidence. *Helgoländer Meeresunters* 42: 199-241.
- Briggs, J.C. 1974. Marine zoogeography. McGraw-Hill, New York. p. 475.
- Brown, J.H. y M.V. Lomolino. 1998. Biogeography. 2ª ed. Sinauer, Sunderland. p. 691.

- Cabrera, A.L. y A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Serie de Biología, monografía 13. Secretaría General de la OEA, Washington D.C. p. 122.
- Callejas-Jiménez, M.E., A.S. Granados y K.M. Dreckmann. 2005. Macroalgas bentónicas de Puerto Real, Faro Santa Rosalía y Playa Preciosa, Campeche, México, con algunas consideraciones florísticas y ecológicas para el estado. *Hidrobiológica* 15(1): 89-96.
- Carruthers, J.B., D.I. Walker y M. Huisman. 1993. Culture studies on two morphological types of *Caulerpa* (Chlorophyta) from Perth, Western Australia, with a description of a new species. *Botánica Marina* 36: 589-596.
- Collado-Vides, L. y D. Robledo. 1999. Morphology and photosynthesis of *Caulerpa* (Chlorophyta) in relation to growth form. *Journal of Phycology* 35: 325-330.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C. México, D.F.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Disponible en línea en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>



- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2016. Áreas Naturales Protegidas. Disponible en línea en: <http://www.conanp.gob.mx/>
- Contreras-Medina, R. 2006. Los métodos de análisis biogeográfico y la aplicación a la distribución de las gimnospermas en México. *Interciencia* 31(3): 176-182.
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega y J.J. Morrone. 2007. Application of parsimony analysis endemicity to Mexican gymnosperms distributions: grid-cells, biogeographical provinces and track analysis. *Biological Journal of the Linnean Society* 92: 405-417.
- Coppejans, E. 1992. Marine algae of Papua New Guinea (Madang Prov.) 2. A revised and completed list of *Caulerpa* (Chlorophyta-Caulerpales). *Blumea* 36: 383-410.
- Cousens, R. y M. Mortimer. 1995. Dynamics of weed populations. Cambridge University Press. Cambridge, UK. p. 332.
- Crisci, J.V., L. Katinas y P. Posadas. 2000. Introducción a la teoría y práctica de la biogeografía histórica. Sociedad Argentina de Botánica. Buenos Aires.
- Dawes, C.J. 1981. Marine Botany. John Wiley & Sons, New York. p. 628.
- Dawes, C.J. 1986. Botánica marina. Limusa, México. p. 673.
- Dawson, E.Y. 1945. Marine algae associated with upwelling along the northwestern coast of Baja California. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences* 44(3): 57-71.

- De la Lanza-Espino, G. 2004. Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. *Ciencias* 76: 4-13.
- Dorfman, D. 2005. Reino Marino. *In*: Dudley, N. y J. Parrish (Eds.). Cubriendo los vacíos, la creación de sistemas de áreas protegidas ecológicamente representativos. The Nature Conservancy (TNC). Mérida, Yucatán. México. p. 117.
- Dreckmann, K.M. 1998. Clasificación y nomenclatura de las macroalgas marinas bentónicas del Atlántico mexicano. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México. p. 140.
- Earle, S.A. 1972. Benthic algae and seagrass species in the Gulf of Mexico. *In*: Bushnell, V.C. (Ed.). Serial Atlas of the Marine Environment. American Geographical Society. New York, pp. 25-29.
- Escalante, T., D.N. Espinosa-Organista y J. Llorente-Bousquets. 2003. Métodos para la identificación, descubrimiento y comparación de patrones biogeográficos: Ejemplos en México. *In*: Morrone, J.J. y J. Llorente-Bousquets (Eds.). Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía. Facultad de Ciencias, UNAM. México, pp. 303-307.
- Escalante, T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 551-560.
- Espinosa-Organista, D.N., C. Aguilar-Zúñiga y T. Escalante. 2001. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. *In*: Llorente-Bousquets, J. y

- J.J. Morrone (Eds.). Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, pp. 31-38.
- Espinosa-Organista, D.N., S. Ocegueda-Cruz, C. Aguilar-Zúñiga, O. Flores-Villela y J. Llorente Bousquets. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México, pp. 33-65.
- ESRI. (1992-2002). ArcView 3.3. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Fa, J.E. y L.M. Morales. 1998. Patrones de diversidad de mamíferos de México. *In*: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (Eds.). Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM. México, pp. 315-352.
- Fernández-Eguiarte, A., A. Gallegos-García y J. Zavala-Hidalgo. 1993. Oceanografía física de México. *Ciencia y Desarrollo* 18(108): 25-35.
- Garduño-Solórzano, M., J.L. Godínez y M.M. Ortega. 2005. Distribución geográfica y afinidad por el sustrato de las algas verdes (CHLOROPHYCEAE) bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y mar Caribe. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 76: 61-78.
- Goloboff, P. 1993. Nona. *Cladistics* 9: 83-91.

- González-González, J., M. Gold-Morgan, H. León-Tejera, C. Candelaria, D. León-Álvarez, E. Serviere-Zaragoza y D. Fragoso. 1996. Catálogo onomástico (nomenclátor) y bibliografía indexada de las algas bentónicas marinas de México. Instituto de Biología, UNAM, México. p. 435.
- Guiry, M.D. y G.M. Guiry. 2015. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>
- Haydon, D.T., B.I. Crother y E.R. Pianka. 1994. New directions on biogeography?. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 403-406.
- Hernández-Cervantes, O.E. 2015. Análisis biogeográfico del género *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta). Tesis de Maestría en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. p. 146.
- Ibarra-Obando, S.E. y R. Ríos. 1993. Ecosistemas de fanerógamas marinas. *In*: Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (Eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO). México, pp. 54-65.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. IV. Las áreas naturales protegidas de México. Disponible en línea en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/43/cuatro.html>
- Ippi, S. y V. Flores. 2001. Las tortugas neotropicales y sus áreas de endemismo. *Acta Zoológica Mexicana* 84: 49-63.

- Jackson, J.B.C., L.W. Buss y R.E. Cook. 1985. Population biology and evolution of clonal organisms. Yale University Press. New Haven & London. p. 530.
- Littler, M.M. y D.S. Littler. 1981. Intertidal Macrophyte Communities from Pacific Baja California and the Upper Gulf of California: Relatively Constant vs. Environmentally Fluctuating Systems. *Marine Ecology Progress Series* 4: 145-158.
- Littler, M.M. y K.E. Arnold. 1982. Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups from southwestern North America. *Journal of Phycology* 18: 307-311.
- Lobban, C.S. y P.J. Harrison. 1994. Seaweed ecology and physiology. Cambridge Press. p. 366.
- Luna-Vega, I., O. Alcántara, D.N. Espinosa-Organista y J.J. Morrone. 1999. Historical relationship of the Mexican cloud forests: A preliminary vicariance model applying Parsimony Analysis of Endemicity to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography* 26: 1299-1305.
- Luna-Vega, I. y O. Alcántara. 2001. Análisis de Simplicidad de Endemismos (PAE) para establecer un modelo de vicarianza preliminar del bosque mesófilo de montaña mexicano. *In: Llorente-Bousquets, J. y J.J. Morrone (Eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, pp. 273-277.*

- Luna-Vega, I. 2008. Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 217-241.
- Lüning, K. 1990. Seaweeds. Their environment, biogeography, and ecophysiology. Wiley-Interscience, New York. p. 527.
- Martínez-Lozano, S.J. 1999. Flora ficológica marina de Tamaulipas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H040. México, D.F.
- Mateo-Cid, L.E. y A.C. Mendoza-González. 1991a. Algas marinas bénticas de la costa del estado de Colima, México. *Acta Botánica Mexicana* 13: 9-30.
- Mateo-Cid, L.E. y A.C. Mendoza-González. 1991b. Algas marinas bénticas de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mexicana* 16: 57-87.
- Mateo-Cid, L.E. y A.C. Mendoza-González. 1992. Algas marinas bénticas de la costa sur de Nayarit, México. *Acta Botánica Mexicana* 20: 13-28.
- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González y C. Galicia-García. 1996. Algas marinas de Isla Verde, Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 36: 59-75.
- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González, C. Galicia-García y L. Huerta-Múzquiz. 2000. Contribución al estudio de las algas marinas bentónicas de Punta Arena y Cabo Pulmo, Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 52: 55-73.

- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González, A.G. Ávila-Ortiz y S. Díaz-Martínez. 2013. Algas marinas bentónicas del litoral de Campeche, México. *Acta Botánica Mexicana* 104: 53-92.
- McNeill, J., F.R. Barrie, H.M. Burdet, V. Demoulin, D.L. Hawksworth, K. Marhold, D.H. Nicolson, J. Prado, P.C. Silva, J.E. Skog y J.H. Wiersema. 2006. International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). Seventeenth International Botanical Congress, Vienna, Austria.
- Mendoza-González A.C. y L.E. Mateo-Cid. 1992. Algas marinas bentónicas de Isla Mujeres, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mexicana* 19: 37-61.
- Mendoza-González A.C., L.E. Mateo-Cid y R. Searles. 2000. New records of benthic marine algae from Isla Cozumel, Mexico: Phaeophyta and Chlorophyta. *Bulletin of Marine Science* 66(1): 119-130.
- Mendoza-González, A.C., L.E. Mateo-Cid y C. Galicia-García. 2011. Integración florística de las algas marinas de la costa sur de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 19-49.
- Morrone, J.J. y J.V. Crisci. 1995. Historical biogeography: Introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 373-401.
- Morrone, J.J., D.N. Espinosa-Organista y J. Llorente-Bousquets. 1996. Manual de biogeografía histórica. UNAM, México.
- Morrone, J.J., D.N. Espinosa-Organista, C. Aguilar y J. Llorente-Bousquets. 1999. Preliminary classification of the Mexican biogeographic provinces: A parsimony

- Analysis of Endemicity base don plant, insect and bird taxa. *Southwestern Naturalist* 44(4): 507-513.
- Morrone, J.J. 2001a. Sistemática, biogeografía, evolución. Los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio. UNAM, México.
- Morrone, J.J. 2001b. Homology, biogeography and areas of endemism. *Diversity and Distributions* 7: 297-300.
- Morrone, J.J., D.N. Espinosa-Organista y J. Llorente-Bousquets. 2002. Mexican biogeographic provinces: preliminary scheme, general characterizations, and synonymies. *Acta Zoológica Mexicana* 85: 83-108.
- Morrone, J.J. 2004a. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomología* 48(2): 149-162.
- Morrone, J.J. 2004b. La zona de transición sudamericana: caracterización y relevancia evolutiva. *Acta Entomológica Chilena* 28: 41-50.
- Morrone, J.J. 2004c. Homología biogeográfica: las coordenadas espaciales de la vida. Cuadernos del Instituto de Biología 37, Instituto de Biología, UNAM, México. p. 199.
- Morrone, J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76: 207-252.
- Morrone, J.J. 2007. Hacia una biogeografía evolutiva. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 509-520.



- Morrone, J.J. 2009. *Evolutionary Biogeography: An Integrative Approach with Case Studies*. Columbia University Press, New York.
- Myers, A.A. y P.S. Giller. 1988a. Process, patterns and scale in biogeography. *In*: Myers, A.A. y P.S. Giller (Eds.). *Analytical biogeography: An integrated approach to the study of animals and plant distributions*. Chapman and Hall. Londres, pp. 3-12.
- Nixon, K.C. 1999. *Win Clada Ver. 0.9.99*. Disponible en línea en: <http://www.cladistics.com>
- Norris, J.N. y K.E. Bucher. 1976. New records of marine algae from the 1974 R/V Dolphin cruise to the Gulf of California. *Smithsonian Contributions to Botany* 34: i-iv.
- Nybakken, J.W. 2001. *Marine Biology. An ecological approach*. 5ª ed. Benjamin Cummings. San Francisco.
- Ohba, H. y S. Enomoto. 1987. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae) II. Morphological variation of *C. racemosa* var. *laetevirens* under various cultura conditions. *Japanese Journal of Phycology* 35: 178-188.
- Ohba, H., H. Nashima y S. Enomoto. 1992. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae) III. Reproduction, development and morphological variation of laboratory-cultured *C. racemosa* var. *peltata*. *Botanical Magazine Tokyo* 105: 589-600.

- Okolodkov, Y.B. 2010. Biogeografía Marina. Universidad Autónoma de Campeche, México. p. 217.
- Ortega, M., J.L. Godínez y G. Garduño-Solórzano. 2001. Catálogo de algas bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto de Biología, UNAM, México. p. 594.
- Ortegón-Aznar, I. y A. Aguilar-Perera. 2014. Distribución de las macroalgas en áreas naturales protegidas de la costa norte de la península de Yucatán, México. *Revista de investigaciones marinas* 34(2): 1-12.
- Ortegón-Aznar, I., L.A. Rosado-Espinosa y A. Aguilar-Perera. 2015. Occurrence of the introduced alga *Caulerpa ollivieri* Dostál, 1929. (Caulerpaceae, Chlorophyta) in the Southern Gulf of Mexico. *BiolInvasions Records* 4(1): 17-21.
- Pacheco-Cervera, M.C., I. Pacheco-Ruíz, J. Ramos-Miranda, N.P. Cetz-Navarro y J.L. Soto-Ávila. 2010. Presencia del género *Caulerpa* en la Bahía de Campeche, Camp. *Hidrobiológica* 20(1): 57-69.
- Pedroche, F.F. A. Senties y R. Margain-Hernández. 1992. Regiones ficológicas (algas) de México. *In: Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía, UNAM. México, Hoja IV.8.4. Flora III.
- Pedroche, F.F. y A. Senties. 2003. Ficología marina mexicana. Diversidad y problemática actual. *Hidrobiológica* 13(1): 23-32.

- Pedroche, F., P.C. Silva, L.E. Aguilar-Rosas, K.M. Dreckmann y R. Aguilar-Rosas. 2005. Catálogo de las Algas Marinas Bentónicas del Pacífico de México I. Chlorophycota. Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa y Universidad of California Berkeley, Baja California. p.135.
- Pérez-Malvárez, C., D.N. Espinosa-Organista y A.A. Bueno-Hernández. 2013. Las ideas biogeográficas de Faustino Miranda. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. p. 11.
- Peterson, R.D. 1972. Effects of light intensity on the morphology and productivity of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh. *Micronesica* 8: 63-86.
- Platnick, N. 1991. On the areas of endemism. *Australian Systematic Botany* 4: 11-12.
- Prud'Homme-Van Reine, W.F., E. Verheij y E. Coppejans. 1996. Species and ecads of *Caulerpa* (Ulvophyceae, Chlorophyta) in Malesia (South-East Asia): taxonomy, biogeography and biodiversity. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 30(2-3): 83-98.
- Quantum GIS Development Team. 2014. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project B.
- Ramírez-García, P. y A. Lot. 1994. La distribución del manglar y de los pastos marinos en el Golfo de California, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Ser. Botánica* 65(1): 63-72.

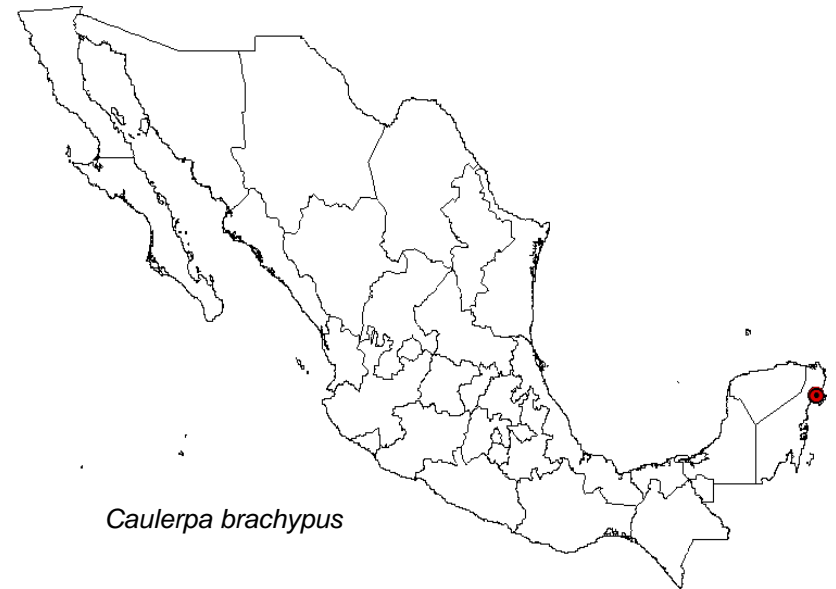
- Ramírez-García, P., J. Terrados, F. Ramos, A. Lot., D. Ocaña y C.M. Duarte. 2002. Distribution and nutrient limitation of surfgrass, *Phyllospadix scouleri* and *Phyllospadix torreyi*, along the Pacific coast of Baja California (México). *Aquatic Botany* 74: 121-131.
- ReefBase. 2015. Un Sistema de Información Global para los Arrecifes de Coral. Disponible en línea en: <http://www.reefbase.org>
- Robinson, N., C. Galicia-García y Y.B. Okolodkov. 2012. New records of green (Chlorophyta) and brown algae (Phaeophyceae) for Cabezo Reef, National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico. *Acta Botánica Mexicana* 101: 11-48.
- Rosas-Alquicira, E.F., C. Pacheco-Ramírez, E.J. Ramírez-Chávez y A. Cruz-García. 2014. Ecosistemas conformados por macroalgas, pastos marinos y mangle en México: su curriculum vitae. *Ciencia y Mar* 48: 31-36.
- Rosen, B.R. 1988. From fossil to earth history: applied historical biogeography. *In*: Myers, A.A. y P.S. Guiller (Eds.). Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distribution. Springer Science y Business Media Dordrech. Londres, pp. 437-481.
- Silva, P.C., P.W. Basson y R.L. Moe. 1996. Catalogue of the Benthic Marine Algae of the Indian Ocean. *University of California Publications in Botany* 79: 1-1259.
- Spalding, M.D., H.E. Fox, G.R. Allen, N. Davidson, Z.A. Ferdaña, M. Finlayson, B.S Halpern, M.A. Jorge, A. Lombana, S.A. Lourie, K.D. Martin, E. McManus, J.

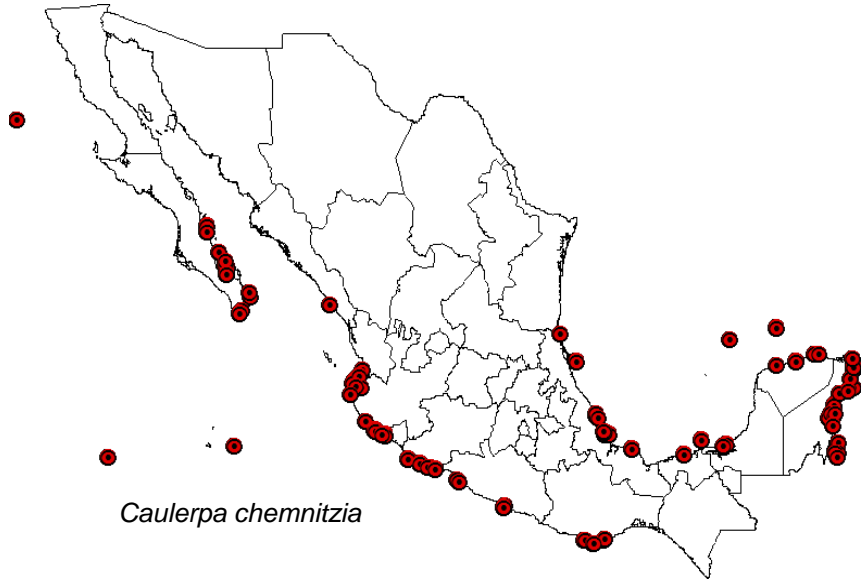
- Molnar, C.A. Recchia y J. Robertson. 2007. Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience* 57(7): 573-583.
- Svedelius, N. 1906. Reports on the marine algae of Ceylon. Ecological and systematic studies of the Ceylon species of *Caulerpa*. *Reports of the Ceylon Marine Biological Laboratory* 4: 81-144.
- Tamayo, J.L. 1980. Geografía Moderna de México. Trillas, México. p. 400.
- Tapia-Silva, F.O., O.E. Hernández-Cervantes, M.I. Vilchis-Alfaro, A. Senties y K.M. Dreckmann. 2015. Mapping of algae richness using spatial data interpolation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Sciences* 40: 1005-1008.
- Taylor, W.R. 1960. Marine Algae of the Eastern Tropical and Subtropical Coast of the Americas. University of Michigan Press, Ann Arbor. p. 509.
- Taylor, W.R. 1967. A *Caulerpa* newly recorded for the West Indies. *Le Botaniste* 467-471.
- Trainor, F.R. 1978. Introductory Phycology. John Wiley & Sons, New York. p. 525.
- Van den Hoek, C., D.G. Mann y H.M. Jahns. 1998. Algae: An Introduction to Phycology. Cambridge Univ. Press, United Kingdom. p. 627.
- Vargas, J.M. 1992. Un ensayo en torno al concepto de biogeografía. *Monografías en Herpetología* 2: 7-20.

- Vargas-López, V.R., S. Martínez-Lozano, J. Verde, H. Gámez, R. Mercado, L. Villarreal y M. González-Alvarez. 2004. Potencial económico de la flora ficológica del estado de Tamaulipas, México. *OYTON* 171-179.
- Vilchis-Alfaro, M.I. 2015. Biogeografía de las grandes macroalgas en el Golfo de México y Caribe Mexicano. Tesis de Maestría en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. p. 122.
- Wilkinson, T., E. Wiken, J. Bezaury-Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. Ecorregiones marinas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. p. 200.

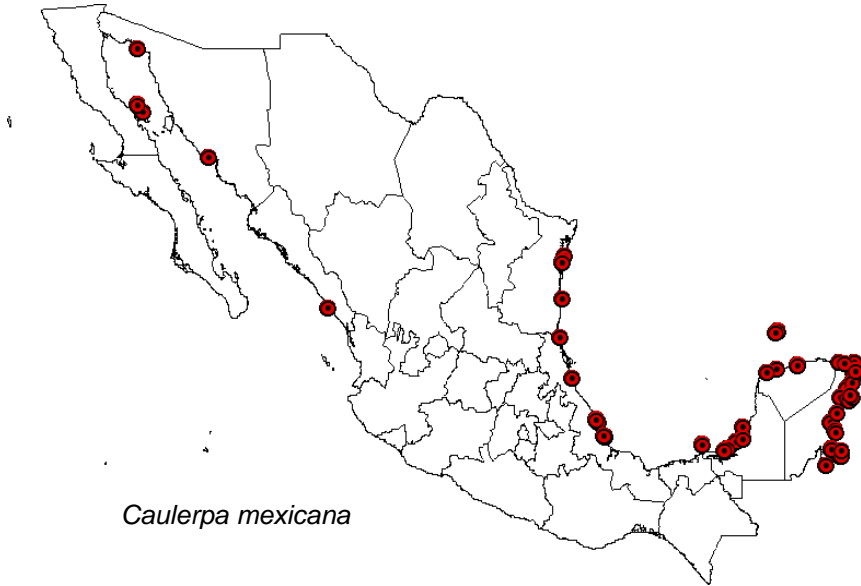
## Apéndice I

Mapas de distribución del género *Caulerpa* en México.

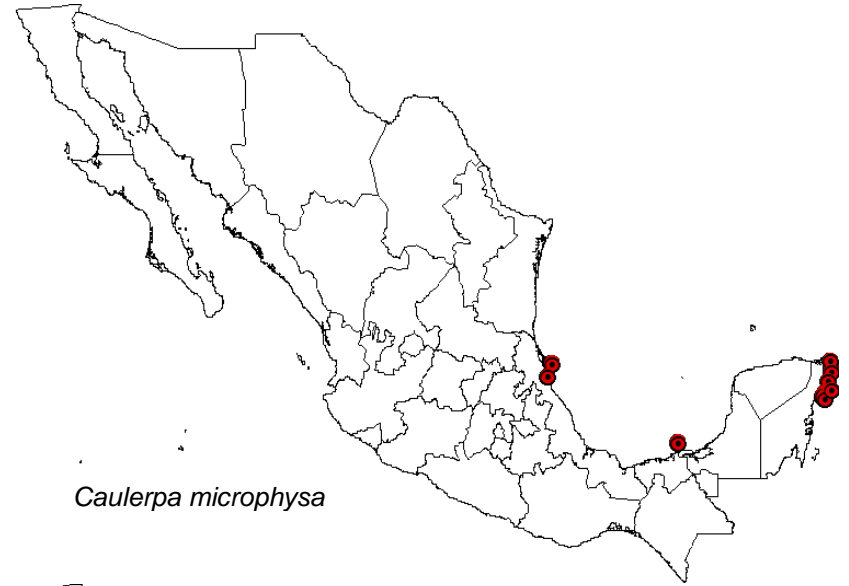








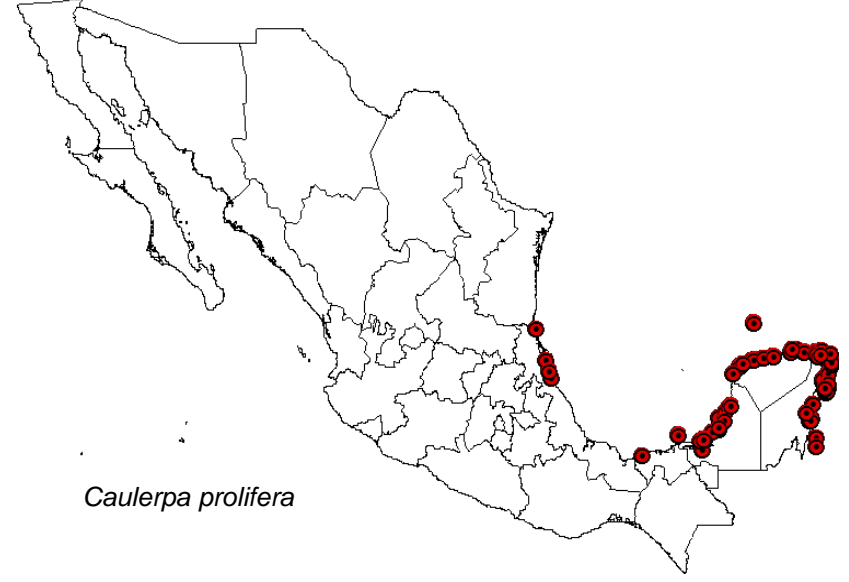
*Caulerpa mexicana*



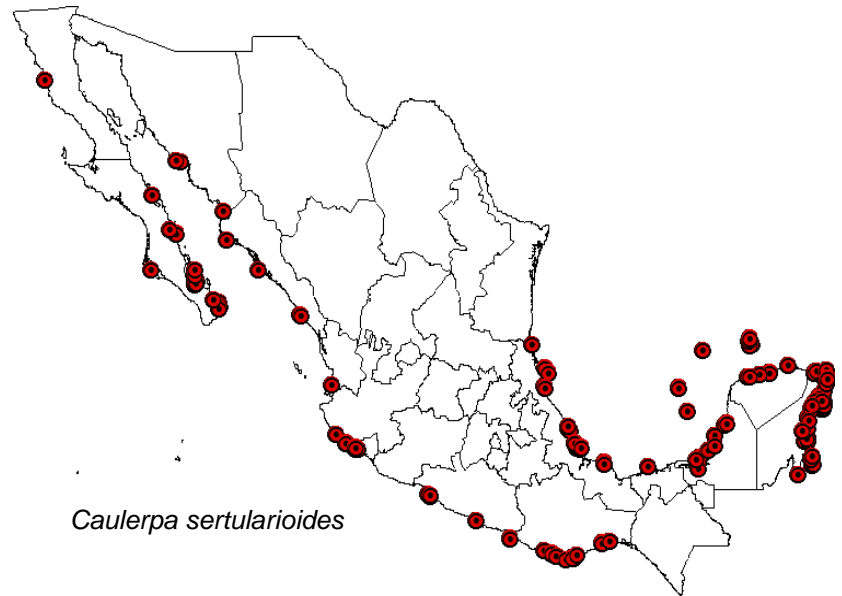
*Caulerpa microphysa*

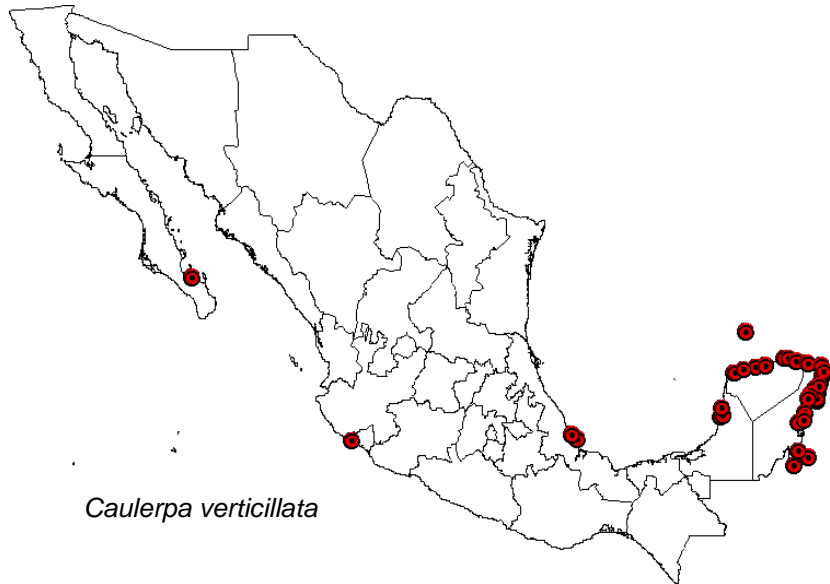
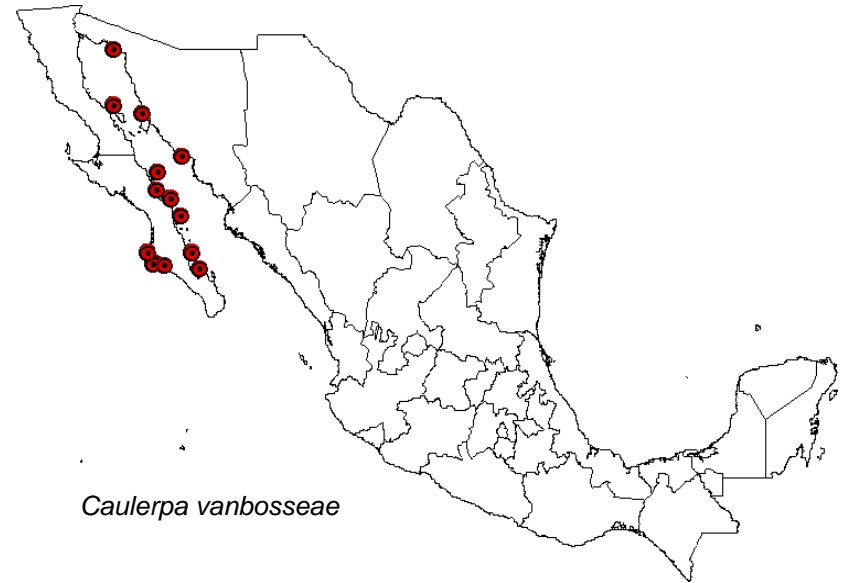


*Caulerpa paspaloides*



*Caulerpa prolifera*





## Apéndice II

Matriz (área x taxón) de las 18 especies de *Caulerpa* y las 36 celdas de 2° de latitud x 2° de longitud.

	0. <i>Caulerpa ashmeadii</i>	1. <i>Caulerpa brachyypus</i>	2. <i>Caulerpa chemnitzia</i>	3. <i>Caulerpa cupressoides</i>	4. <i>Caulerpa fastigiata</i>	5. <i>Caulerpa lanuginosa</i>	6. <i>Caulerpa mexicana</i>	7. <i>Caulerpa microphysa</i>	8. <i>Caulerpa paspaloides</i>	9. <i>Caulerpa prolifera</i>	10. <i>Caulerpa pusilla</i>	11. <i>Caulerpa racemosa</i>	12. <i>Caulerpa serrulata</i>	13. <i>Caulerpa sertularioides</i>	14. <i>Caulerpa taxifolia</i>	15. <i>Caulerpa varbosseseae</i>	16. <i>Caulerpa verticillata</i>	17. <i>Caulerpa webbiana</i>
raiz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
13	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
14	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
15	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
16	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
17	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
18	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
20	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
21	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
28	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
29	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
30	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
33	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
34	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
36	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

### Apéndice III

Matriz (área x taxón) de las 18 especies de *Caulerpa* y las 9 ecorregiones marinas de México.

	0. <i>Caulerpa ashmeadii</i>	1. <i>Caulerpa brachypus</i>	2. <i>Caulerpa chemnitzia</i>	3. <i>Caulerpa cupressoides</i>	4. <i>Caulerpa fastigiata</i>	5. <i>Caulerpa lanuginosa</i>	6. <i>Caulerpa mexicana</i>	7. <i>Caulerpa microphysa</i>	8. <i>Caulerpa paspaloides</i>	9. <i>Caulerpa prolifera</i>	10. <i>Caulerpa pusilla</i>	11. <i>Caulerpa racemosa</i>	12. <i>Caulerpa serrulata</i>	13. <i>Caulerpa sertularioides</i>	14. <i>Caulerpa taxifolia</i>	15. <i>Caulerpa vanbosseae</i>	16. <i>Caulerpa verticillata</i>	17. <i>Caulerpa webbiana</i>
<b>raiz</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Cuenca del sur de California</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<b>Cortesiana</b>	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
<b>Transición de Magdalena</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
<b>Revillagigedo</b>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Pacífico tropical mexicano</b>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
<b>Chiapas-Nicaragua</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Norte del Golfo de México</b>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<b>Sur del Golfo de México</b>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
<b>Caribe occidental</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1