

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Escondido
División de Estudios de Posgrado



Maestría en Ciencias Genómicas

Líneas de Investigación:

- Biotecnología
- Genética y Genómica
- Sanidad animal



Maestría en Ciencias: Manejo de Fauna Silvestre

Líneas de Investigación:

- Ecología y Conservación de la Fauna silvestre
- Desarrollo sustentable
- Interacciones biológicas

Becas CONACYT

Informes

Dra. María del Rosario Enríquez Rosado
Jefa de la División e Estudios de Posgrado
Tel. (958) 584 3057 Ext. 111
Fax. (958) 584 3078
posgrado@huatulco.umar.mx

www.umar.mx



Maestría en Producción y Sanidad Animal

Líneas de Investigación:

- Producción animal en especies convencionales y no convencionales
- Socio-economía de la producción pecuaria
- Sanidad animal

Variabilidad morfológica de *Caulerpa racemosa* (Bryopsiadales, Chlorophyta) en el Golfo de California: implicaciones en la taxonomía

Rafael Riosmena-Rodríguez[†], Consuelo Ortuño-Aguirre y Juan Manuel López Vivas^{*}.

Resumen

Weber-van Bosse (1898) propuso que *Caulerpa racemosa* representa una especie polimórfica y determinó cinco variedades de *C. racemosa*: var *chemnitzia*, var *turbinata*, var *macrophysa*, var *uvifera* y var *peltata*. En los últimos 20 años se ha cuestionado mucho la validez de estas variedades y se ha sugerido el uso de ecotipo debido a la falta de significado biológico. Sin embargo, no se ha evaluado su ontogenia en cultivo, por lo que no se ha observado si existe algún estadio que permita diferenciar entre ellas. Por ello, el objetivo del estudio fue el de evaluar por medio del desarrollo ontogénico las diferentes variedades morfológicas que puede presentar *C. racemosa* en condiciones de cultivo. Se recolectó material juvenil y se trasladó al laboratorio donde se aclimató por un mes, durante este período los talos estuvieron en las mismas condiciones de temperatura, luz y fotoperiodo. Los resultados evidencian la variabilidad morfológica de *Caulerpa racemosa*. Sin embargo, no se distinguen talos con diferentes morfotipos; pero si ramas con diferentes tendencias. La propuesta de esta investigación es que la separación de variedades no se considere y que solo se reconozca una sola entidad.

Palabras clave: Chlorophytina, cultivo, Mar de Cortés, plasticidad morfológica

Abstract

Weber-van Bosse (1898) suggested that *Caulerpa racemosa* is a polymorphic species and divided in five varieties: *C. racemosa* var *chemnitzia*, var *turbinata*, var *macrophysa*, var *uvifera* and var *peltata*. During the last 20 years the use of varieties in taxonomy has been questioned because the lack of biological meaning and many authors have suggested the word *ecad* instead. However, culture studies has not been done to follow frond ontogeny in where we might find a state to distinguish among them. Therefore, the aim of the study was to evaluate ontogenetic development through different morphological varieties that can present *C. racemosa* in culture conditions. Juvenile material were collected and transported to the lab in where cultivated on month with the same light, temperature and nutrients. Our results strongly suggest that the young thalli starts to develop soon and presenting most of the so called varieties within a single branch in where several forms can be observed. As the result of our research, we strongly suggest to avoid the use of varieties and only a single entity must be recognized.

Key words: Chlorophytina, culturing, Sea of Cortes, morphological plasticity.

Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Departamento de Ciencias Marinas y Costeras (DECyMAC), Programa de Investigación en Botánica Marina, Carretera al km 5.5, Col. Mezquitito, C.P. 23080, Apartado Postal 19b, La Paz, Baja California Sur, México. Tel 52(612)1238800 ext. 4812.

Rafael Riosmena-Rodríguez[†], riosmena@uabs.mx

Consuelo Ortuño-Aguirre, consuelite@hotmail.com

^{*} Responsable de seguimiento: Juan Manuel López Vivas, jmlopez@uabcs.mx

Introducción

Caulerpa racemosa (Forsskål) J.Agardh es considerada como una de las especies de la familia Caulerpaceae con mayor habilidad para invadir nuevos ambientes (Raniello *et al.* 2004). Esto está relacionado con su amplia variabilidad morfológica (Verlaque *et al.* 2000) y facultades fisiológicas (Collado Vides & Robledo 1999). Weber van Bosse (1898, Fig. 1A - E) propuso que *C. racemosa* representa una especie polimórfica y determinó cinco variedades con base en la forma de las ramas dentro de una pínula: 1) ramas obtusas como

en *Caulerpa racemosa* var *chemnitzia* (Esper) Weber van Bosse (Fig. 1A), 2) ramas con terminación obtusa, ensanchándose hacia el ápice como en *Caulerpa racemosa* var *turbinata* (J. Agardh) Eubank (Fig. 1B), 3) ramas expandidas con ápice esférico como en *C. racemosa* var *macrophysa* (Sonder ex Kützing) W.R.Taylor *chemnitzia* (Esper) J.V.Lamouroux (Fig. 1C), 4) ramas densas con arreglo imbricado como en *Caulerpa racemosa* var *uvifera* (C.Agardh) J.Agardh (Fig. 1D) y 5) ramas terminadas en estructuras en forma de disco *C. racemosa* var *peltata* (J.V.Lamouroux) Eubank (Fig. 1E).

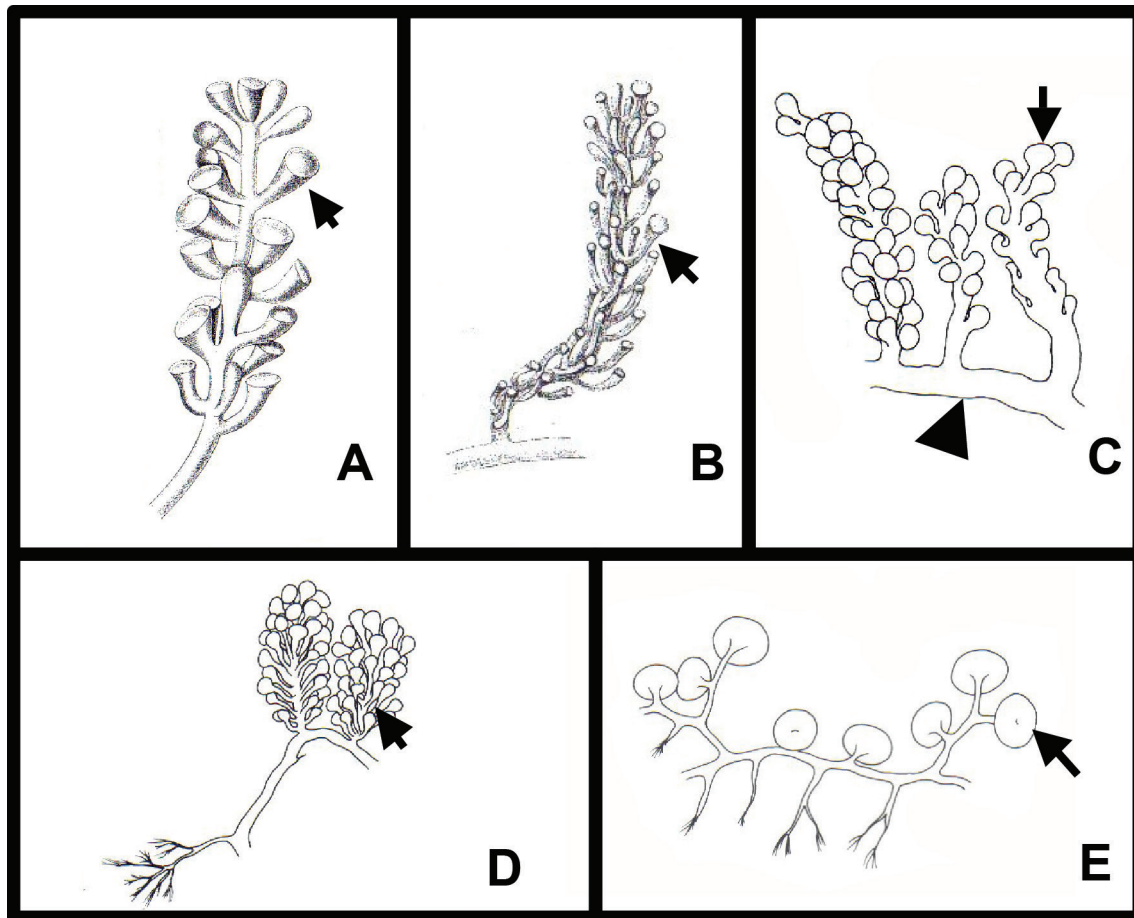


Figura 1.- Esquemización de las variedades registradas para el Golfo de California, esquemas de Weber-van Bosse, (1898) sin escala. **A.** *C. racemosa* var *chemnitzia* presenta, ramas terminadas de manera obtusa, ensanchándose hacia el ápice. **B.** *C. racemosa* var *turbinata*, ramas elongadas en forma de cono, con ápice plano. **C.** *C. racemosa* var *macrophysa*, ramas expandidas con ápice esférico (7mm) (flecha), estolón grueso (triangulo), <10 cm de altura. **D.** *C. racemosa* var *uvifera*, pínulas atestadas de ramas que se expanden gradualmente hacia el ápice, arregladas de manera imbricada, 3-5 cm altura. **E.** *C. racemosa* var *peltata*, ramas con ápice peltado o en forma de disco, sobre cortos pedicelos, solitarias o de manera alternada en varios rangos.

Durand *et al.* (2002), presentan evidencia genética respecto a que *Caulerpa racemosa* var *occidentalis* (J. Agardh) Børgesen podría ser un híbrido de *C. racemosa* var *turbinata* y *C. racemosa* var *uvifera*. Utilizaron diferentes gen ITS1-ITS2 y 18S ribosomal, 28S. Estudios con material genético del núcleo sugieren que todas las variedades son significativamente diferentes de otras especies y una potencial agrupación entre sí misma (Yeh & Chen 2004). Sin embargo, sin una apropiada taxonomía no es posible conocer los límites entre las especies de un mismo género y en el caso de *Caulerpa racemosa* es extremo porque existe un gran debate sobre si se debería utilizar la categoría de subespecie, variedad o ecotipo (Coppejans & Beeckman 1989, Famà *et al.* 2002).

Experimentos de cultivo han confirmado la relación entre la morfología y factores ambientales (Peterson 1972, Calvert 1976). Enomoto & Ohba (1987), Ohba & Enomoto (1987) y Ohba *et al.* (1992), buscaron caracterizar los factores en que se desarrollan las variedades: con *Caulerpa racemosa* var *laetevirens* (Montagne) Weber-van Bosse y *C. racemosa* var *peltata*, usaron un gradiente combinando cinco diferentes temperaturas (20 a 30°C) y cinco diferentes irradiancias (0.5 a 0.8 Klux), lo que demostró que la morfología de estas variedades están influenciadas fuertemente por una combinación de irradiancia y temperatura mostrando una gran plasticidad morfológica.

En el Golfo de California se han registrado cinco variedades *Caulerpa racemosa*: var *chemnitzia*, *Caulerpa racemosa* var *macrophyssa*, *C. racemosa* var *peltata*, *C. racemosa* var *turbinata* y *C. racemosa* var *uvifera* (Riosmena-Rodríguez *et al.* 2013). Sin embargo, la asignación de estos nombres se ha realizado sin un análisis taxonómico moderno o una evaluación ontogénica que permita conocer los intervalos de variación y si las formas resultantes se superponen o no. De aquí la necesidad de experimentar con *Caulerpa racemosa* del Golfo de California en condiciones ambientales de cultivo; si bien ya se conoce que los factores ambientales (luz y temperatura) influyen en la variabilidad morfológica, como se ha demostrado en la *C. racemosa* var. *laetevirens* y *C. racemosa*

var. *peltata*, se desconoce lo que ocurre con las variedades *C. racemosa* var *chemnitzia*, *C. racemosa* var *macrophyssa*, *C. racemosa* var *turbinata* y *C. racemosa* var *uvifera*. Por ello, el objetivo del estudio fue el de evaluar por medio del desarrollo ontogénico las diferentes variedades morfológicas que puede presentar *C. racemosa* en condiciones de cultivo.

Material y Métodos

Se recolectaron 30 talos no diferenciados de *Caulerpa racemosa*, en Agosto del 2005 en Punta Galeras (24° 21.0' N, 110° 16.0' W) dentro de Bahía de la Paz (solo se realizó una recolecta por lo que no se buscaron las diferentes variedades). Los organismos se lavaron superficialmente con agua de mar filtrada y se colocaron en recipientes de plástico debidamente cerrados, se colocaron en una hielera y se transportaron vía terrestre durante ≈22 horas hasta Ensenada, B.C. Una vez en el laboratorio las muestras fueron cuidadosamente lavadas con agua de mar estéril y limpiadas con algodón (López-Vivas *et al.* 2011) y limpiadas de todo el sedimento y organismos asociados.

Posteriormente, se procedió a la aclimatación de los talos de *C. racemosa*, el material se dividió en tres matraces de 1000 ml c/u, los cuales fueron previamente esterilizados en un autoclave; se les agregó agua de mar filtrada a 0.45 μm y esterilizada, enriquecida con medio de cultivo Provasoli's, adicionado con Dióxido de Germanio (GeO₂); la separación de material se hizo buscando no saturar el medio. Los matraces fueron colocados sobre una mesa de madera a una irradiancia de 70 μmol fotón m⁻²s⁻¹, y un fotoperiodo largo 16:8; luz: oscuridad (condición de verano) con recambios de agua de mar y medio de cultivo cada semana. La irradiancia se eligió ya que el lugar donde se desarrollan estas plantas reciben esa cantidad de irradiancia y el fotoperiodo se escogió el de verano ya que en esta estación son más abundantes. El experimento duro 4 semanas.

Resultados

Los resultados obtenidos fueron inmediatos ya que se observó el crecimiento de nuevas porciones de ramas, (Fig. 2A), entre el tercer y quinto día, se observó la aparición de nuevas

ramas (Fig. 2B), éstas tuvieron un nacimiento heterogéneo; es decir, mientras algunas iniciaban como pequeñas verrugas sobre el estolón (Fig 2A), otras nacían como pequeños discos (Figura 2C), en forma de cono o trompetas.

Después de la primera semana se desarrollaron algunas ramas con formas variables de discos (Fig 3A), enteros hasta pequeños discos divididos (Fig. 3B); así como porciones con ramas obtusas que se ensanchaban o no hacía el ápice (Fig. 3C). A las dos semanas del experimento, se observaron las primeras ramificaciones, conservándose el mismo patrón de algunas ramas con discos y otras obtusas (Fig. 4A). Se formaron, algunas ramas laterales en forma de verruga (Fig. 4B), observándose de nuevo variantes en forma de flor (Fig. 4C), las cuales terminaron su desarrollo

completamente divididas (Fig. 4D). Durante las dos últimas semanas, las plantas comenzaron a sufrir plasmólisis del citoplasma y a generar tubos gametangiales (Fig. 5A, B). Siendo la primera vez que se reportan las condiciones en que se genera esta fase.

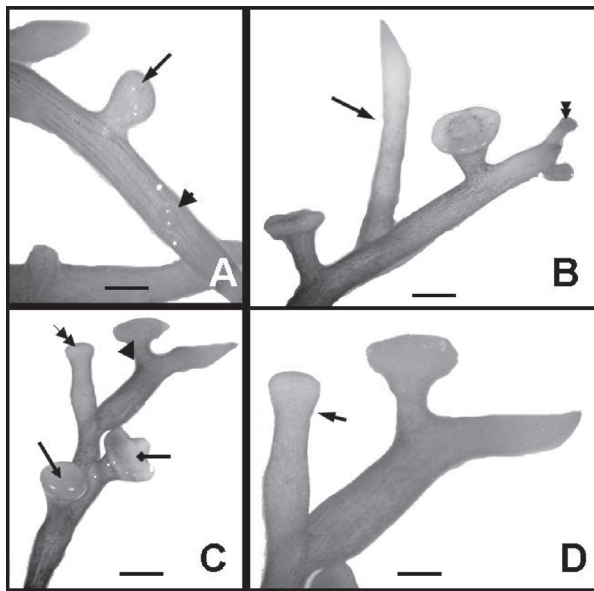


Figura 2.- Diferentes formas de nacimiento de las ramas fueron observadas. **A.** Origen de la rama en forma de una verruga (triángulo), en una etapa más avanzada de desarrollo se observa una rama de la misma forma (flecha), barra de escala 10 mm. **B.** Crecimiento de una nueva rama (flecha), y el nacimiento de ramas en forma de verruga que posteriormente se formara un disco, con ápice plano (doble cabeza de flecha), barra de escala 10 mm. **C.** Creciendo en el mismo estolón, una forma de cono (flecha), en forma de disco dividido (triángulo), se muestra el estolón ensanchándose, con ápice redondeado (doble flecha) y rama completamente en forma de disco, con ápice plano (cabeza de flecha), barra de escala 10 mm. **D.** Estolón elongándose para dar origen a una rama (flecha). Escala de la barra 10 mm.

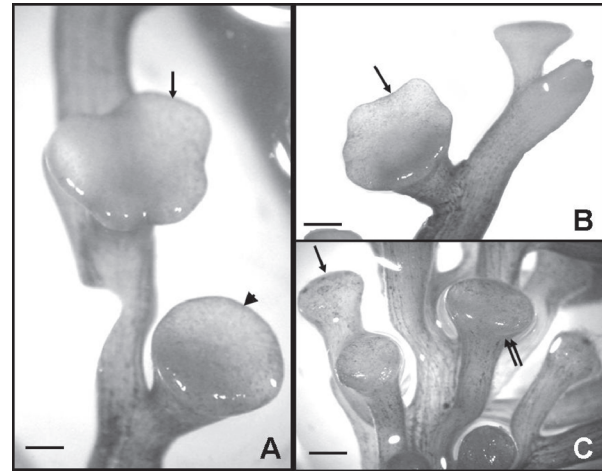


Figura 3.- Ramas en estadios avanzados de desarrollo. **A.** Dos formas de ramas en una misma porción de estolón, Rama con forma de disco dividido (flecha), cono, ápice plano (Cabeza de flecha), barra de escala 10 mm. **B.** Rama en el inicio de la división del disco (flecha), barra de escala 10 mm. **C.** Ramas totalmente desarrolladas en forma de cono; ápice redondeado (doble flecha), ramas obtusas que se ensanchan hacia el ápice (flecha), barra de escala 10 mm.

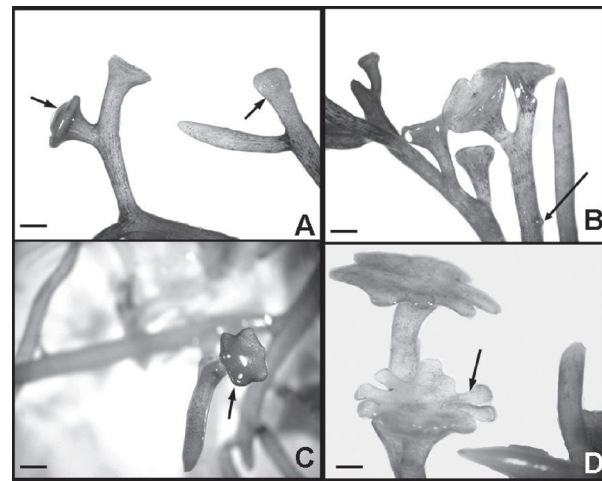


Figura 4.- (Estolones con ramas en diferentes etapas de desarrollo. **A.** Crecimiento de ramas se en forma de disco y en forma de verruga (flechas), barra de escala

10 mm. B. Rama naciendo en forma de verruga (flecha), barra de escala 10 mm. C. Rama en forma de flor en el inicio de la división del disco (flecha). Barra de escala 10 mm. D. Ramas totalmente desarrollados en forma de disco totalmente dividido, semejante a pétalos de flor (flecha), barra de escala 10 mm.

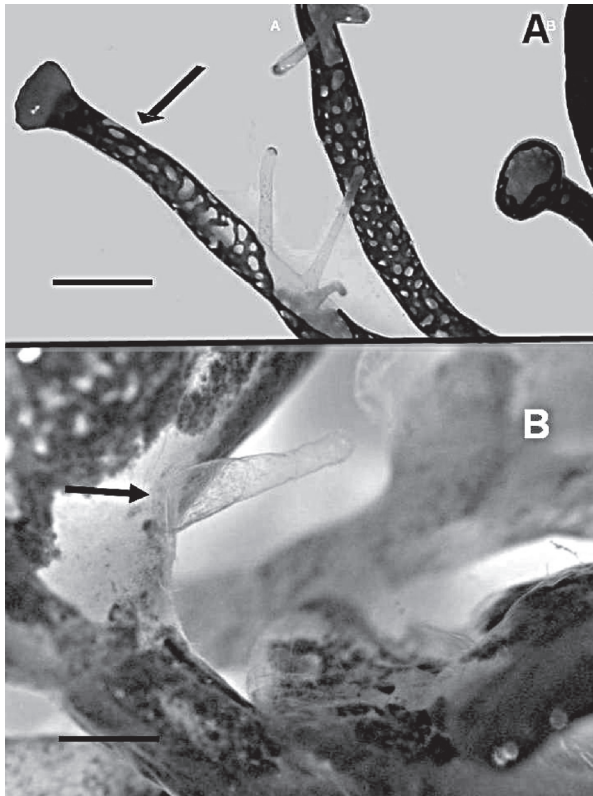


Figura 5.- A) Vista del talo de *Caulerpa racemosa* en donde comienza la plasmólisis el talo (flecha), barra de escala 10 mm; B) Tubo gametangial (flecha) barra de escala 10 mm

Discusión

Los resultados observados muestran la plasticidad morfológica que presenta *Caulerpa racemosa*, bajo condiciones no controladas de temperatura, y condiciones controladas de luz y fotoperiodo. A diferencia de otros trabajos, donde los talos son sometidos a diversas condiciones de temperatura, luz o salinidad, probando así el intervalo de variación de *C. racemosa*, en este, las condiciones en las que

permanecieron los talos no fueron variadas ya que respondieron los organismos de manera inmediata presentando las variantes morfológicas esperadas. Además, el presente trabajo aporta información sobre las condiciones en que se generan los tubos gametangiales que segregan entre *Caulerpa* y *Caulerpella* (Abbott & Huisman 2004). Su desarrollo se dio en condiciones de $70 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fotoperiodo de verano 16L:8O y temperatura ambiental de 18 a 22°C.

En condiciones de laboratorio, Ohba & Enomoto (1987a, b, 1992), describen el nacimiento de ramas en *Caulerpa racemosa* var *laetevirens*, las que presentan dos formas definidas, en disco y vesícula, las cuales se conservan a lo largo del desarrollo de la misma, y cuando son sometidas a diversas condiciones de luz y temperatura estas formas se modifican. En contraste, en éste trabajo, se encontraron varias formas, sin embargo, ninguna suficientemente estable que pudiera separar grupos (variedades).

Cuando Forsskål (1775) describió la especie *Fucus racemosus* (*Caulerpa racemosa*), mencionó que ésta tiene un amplio rango de variación, encontró desde ramas en forma de vesícula hasta discoideas. Más tarde, fueron descritas variedades de la especie por Weber-van Bosse (1898), formas intermedias. Aunque muchos autores o investigadores en sus trabajos mantienen la separación de variedades o recientemente ecotipos (Coppejans & Beeckman 1989), aludiendo a morfotipos correspondientes a cierto hábitat. Éste trabajo evidencia que no existe la separación entre las variedades *C. racemosa* var *peltata*, *C. racemosa* var *turbinata*, y *C. racemosa* var *macrophyssa*, estas variedades resultan de eliminar a una porción o etapa de desarrollo del talo, de tal forma que el material tipo que describe tales variedades, corresponde a una parte de la variación morfológica de la especie para recolectas en el Golfo de California. Por lo tanto estas variedades bien podrían representar solo a una especie, sin embargo una alternativa es que todas estas fuesen elevadas a la categoría de especie si se encontraran caracteres alternativos para discriminarlas.

Al respecto Chapman (1961), menciona que es difícil la separación natural de las variedades. Abbott & Huisman (2004), sugieren que las diversas formas de las ramas de *C. racemosa* sólo corresponden a diferentes etapas de desarrollo. Meñez & Calumpong (1982) mencionan que diversas formas de ramas se encuentran en el mismo estolón. Meinesz *et al.* (1981), observan en el mismo estolón coinciden con formas típicamente de *C. racemosa* var *peltata* y *C. racemosa* var *clavifera*. Por todo lo anteriormente expuesto es que se propone que para el Golfo de California la separación de variedades no se considere y que solo se reconozca formas en una sola entidad de *Caulerpa racemosa*.

Agradecimientos

Consuelo Ortuño Aguirre agradece al CONACYT por la beca de posgrado. Las etapas de campo y laboratorio fueron financiados por el Fondo Sectorial SEP CONACYT a Rafael Riosmena-Rodríguez en paz descanse.

Referencias

Abbott, I.A. & J.M. Huisman. 2004. Marine Green and Brown algae of the Hawaiian Islands. Bishop Museum Bulletin in Botany 4. Honolulu, Hawaii. 259 pp.

Calvert H. E., Dawes C.J. & M. A. Borowitzka. 1976. Phylogenetic relationships of *Caulerpa* (Chlorophyta) based on comparative chloroplast ultrastructure. Journal of Phycology. 12(2): 149-162.

Chapman, V.J. 1961. The marine algae of Jamaica. Part. I. Myxophyceae and Chlorophyceae. The Institute of Jamaica. 159 pp.

Collado-Vides, L. & D. Robledo. 1999. Morphology and photosynthesis of *Caulerpa* (Chlorophyta) in relation to growth form. Journal. of Phycology. 35(2): 325-330.

Coppejans, E. & T. Beeckman. 1989. *Caulerpa* section Sedoideae (Chlorophyta, Caulerpales) from the Kenyan coast. Nova Hedwigia 49 (3-4): 381-893.

Durand, C., M. Manuel, C.F. Boudouresque, A. Meinesz, M. Verlaque & Y. Le Parco. 2002. Molecular data suggest a hybrid origin for the invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea. Journal of Evolutionary Biology. 15(1): 122-133.

Enomoto S. & H. Ohba. 1987a. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae). I. Reproduction and development of *C. racemosa* var *laetevirens* under

various culture conditions Japanese Journal of Phycology 35:167-177.

Famà, P., B. Wysor, W.H.C.F. Kooistra & G.C. Zuccarello. 2002. Molecular phylogeny of the genus *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyta) inferred from chloroplast *tufA* gene. Journal of Phycology. 38 (5): 1040-1050

Forsskål, P. 1775. Flora Aegyptiaco-Arabica. Sive Descriptiones Plantarum, Quas per Aegyptum Inferiorem et Arabium Felicem Detexit, Illustravit Petrus Forskal. Prof. Haun. Post Mortem Auctoris editit Carsten Niebuhr. Accedit Tabula Arabiae Felicis Geographico-Botanica. Kjob 44.

López-Vivas, J.M., I. Pacheco-Ruiz, R. Riosmena-Rodríguez & C. Yarish. 2011. Life History of *Porphyra hollenbergii* Dawson (Bangiales, Rhodophyta) from the Gulf of California, México. Phycologia. 50 (5): 520-529.

Meinesz, A., J. Jaubert & M. Denizot. 1981. Distribution of the algae belonging to the genus *Caulerpa* in French Polynesia (Atoll of Takapoto and Isla Moorea). Proceedings of the 4th international Coral Reef Symposium 2: 431- 437.

Meñez, E.G. & H.P. Calumpong. 1982. The Genus *Caulerpa* from Central Visayas, Philippines. Smithsonian Contributions to the Marine Sciences. 17: 1-21.

Ohba, H. & S. Enomoto 1987b. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales: Chlorophyceae): II. Morphological variation of *C. racemosa* var. *laetevirens* under various culture conditions. Japanese. Journal of Phycology 35:178-188.

Ohba, H., H. Nashima & 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 (1080): 589-600.

Peterson, R.D. 1972. Effects of light intensity on the morphology and productivity of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh. Micronesica 8: 63-86.

Raniello, R., M., Lorenti, C. Brunet, & M.C. Buia. 2004. Photosynthetic plasticity of an invasive variety of *Caulerpa racemosa* in a coastal Mediterranean area: light harvesting capacity and seasonal acclimation. Marine Ecology Progress Series. 271: 113-120.

Riosmena-Rodríguez, R., I. Pacheco-Ruiz, J.M. López-Vivas, M. Hirales Cota, G. Andrade Sorcia A. Meling & J. Orduña-Rojas. 2013. Diagnóstico del estado de conservación de las macroalgas pardas (Phaeophyta), verdes (Chlorophyta) del Golfo de California: implicaciones en la implementación de políticas de conservación de la región. ISBN 968-896-157-4 CONACYT-UABCS - UABC -CIBNOR - DICTUS -250pp.

Verlaque, M., C.F. Boudouresque, A. Meinesz & V.

- Gravez. 2000. The *Caulerpa racemosa* complex (Caulerpales, Ulvophyceae) in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*. 43 (1): 49-68.
- Weber-van Bosse, A. 1898. Monographie des Caulerpes. *Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg* 15: 243-401.
- Yeh, W.-J. & G.-Y. Chen. 2004. Nuclear rDNA and internal transcribed spacer sequences clarify *Caulerpa racemosa* vars. From other *Caulerpa* species. *Aquatic Botany*. 80 (3): 193-207.

Recibido: 23 de diciembre de 2011

Aceptado: 28 de Agosto de 2016