



Vol. 8. No. 2-3 (2022)  
ISSN: 2448-8100

# *Cymbella* Revista de investigación y difusión sobre algas

La diversidad inexplorada de las algas rojas continentales  
Ficoteca del Herbario de la UNISON

Citar a las autoridades y años de publicación en los taxones algales  
Las macroalgas marinas y el cambio climático



Publicado en línea: septiembre 2024  
Sociedad Mexicana de Ficología  
[www.somfico.org](http://www.somfico.org)

# COMITÉ EDITORIAL

## EDITOR EJECUTIVO:

### Dr. Eberto Novelo

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
enm@ciencias.unam.mx

## EDITORES ADJUNTOS:

### Dr. Abel Sentfés

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México  
asg@xanum.uam.mx

### Dr. Juan Manuel Lopez-Bautista

Universidad de Alabama, United States of America  
jlopez@biology.as.ua.edu

## ASISTENTE EDITORIAL:

### M. en C. Alejandra Mireles Vázquez

Fac. Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
alemiciencias@gmail.com

## EDITORES ASOCIADOS (COMITÉ EDITORIAL TEMÁTICO)

[Florística, Taxonomía, Filogenia y sistemática, Biogeografía y distribución:](#)

### Dr. Erasmo Macaya

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Chile  
emacaya@oceanografia.udec.cl

### M. en C. Gloria Garduño Solórzano

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México  
ggs@servidor.unam.mx

### Dr. Luis E. Aguilar Rosas

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California  
aguilarl@uabc.edu.mx

### Dr. Visitación Conforti

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Argentina  
conforti@bg.fcen.uba.ar

[Biología celular y Bioquímica, Fisiología y Ecofisiología:](#)

### Dr. Pilar Mateo Ortega

Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Madrid, España  
pilar.mateo@uam.es

[Algas tóxicas y FANs:](#)

### Dr. Marina Aboal Sanjurjo

Facultad de Biología, Universidad de Murcia, España  
maboal@um.es

### Dr. Yuri Okolodkov

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, México  
yuriokolodkov@yahoo.com

[Ecología de poblaciones y comunidades algales :](#)

### Dr. Ligia Collado Vides

School of Environment, Arts and Society, Florida International University, United States of America  
Ligia.ColladoVides@fiu.edu

### Dr. Rosaluz Tavera

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
r\_tavera@ciencias.unam.mx

[Ficología aplicada y biotecnología:](#)

### Dr. Eugenia J. Olguín Palacios

Instituto de Ecología, Centro CONACYT  
eugenia.olguin@inecol.mx

### Dr. Marcia G. Morales Ibarria

División de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, México  
mmorales@correo.cua.uam.mx

[Nomenclatura](#)

### Dr. Francisco F. Pedroche

Depto. Ciencias Ambientales, División CBS, UAM-Lerma  
fpedroche@correo.ler.uam.mx

Esta publicación es financiada totalmente por el Editor Ejecutivo. No recibe subsidios ni pagos.

## CINTILLO LEGAL

*Cymbella* Revista de investigación y difusión sobre algas. – Vol. 8, Núms 2-3, mayo – agosto, septiembre – diciembre 2022, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México, a través del Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56225430, <http://cymbella.fcencias.unam.mx/>, [enm@ciencias.unam.mx](mailto:enm@ciencias.unam.mx). Editor responsable: Dr. Eberto Novelo Maldonado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-112410454200. ISSN: 2448-8100. Responsable de la última actualización de este número, Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Dr. Eberto Novelo Maldonado, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de la última modificación, 18 de septiembre de 2024.

Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de los Editores ni de la Sociedad Mexicana de Ficología. El material publicado puede reproducirse total o parcialmente siempre y cuando exista una autorización de los autores y se mencione la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

Una de las metas de la revista *Cymbella*, desde su creación, es lograr su inclusión en los índices bibliométrico de revistas científicas, y eso significa cumplir con reglas y requisitos y dos de ellos son la de evitar la publicación de número dobles o triples por volumen y una regularidad en la fecha de publicación correspondiente.

Hace 17 meses salió el último número de *Cymbella*, en febrero de 2022. Durante ese año los artículos que se propusieron para publicar fueron regresados a los autores para su corrección y esperamos por las nuevas versiones, pero no llegaron y los autores de los artículos sometidos en 2023 y 2024 obviamente que no aceptaron que su trabajo apareciera con una fecha anterior. Nuestra intención era de que los artículos aparecieran en un número con la fecha correspondiente y evitar números dobles o triples. Pero esa intención alargó innecesariamente las fechas de aparición de los números subsecuentes y por ello decidimos publicar los materiales sometidos en los años 2022 y 2023 en un volumen correspondiente, con la esperanza de que en lo que resta de 2024 y en 2025 podamos lograr la regularidad en la aparición, aunque eso significa esperar más para solicitar la inclusión en los índices. Agradecemos la paciencia de los autores que aparecen en este volumen, de los revisores y los lectores y les ofrecemos una sentida disculpa por este retraso.

Del 22 al 25 de noviembre de 2022 se realizó el IX Congreso Mexicano de Ficología en Juriquilla, Querétaro. En él se presentaron 4 ponencias magistrales y en este número presentamos la primera de ellas, gracias a la amable y entusiasta colaboración de la Dra. Marina Aboal. Completa este número una sección nueva: Herbarios ficológicos, con una descripción de la Ficoteca del Herbario de la UNISON, nuestra sección de nomenclatura con el tema de autoridades y años en la citación de las especies algales y la sección de divulgación con un artículo sobre las macroalgas y el cambio climático. Por último, los resúmenes de tesis enviados en 2022.

# La diversidad inexplorada de las algas rojas continentales: algunos datos actuales y perspectivas de futuro.

## The unexplored diversity of continental red algae: some current data and future perspectives.

**Marina Aboal**

Laboratorio de Algología, Facultad de Biología, Campus de Espinardo, Universidad de Murcia, E-30100 Murcia, España.  
Email: maboal@um.es

Aboal, M. 2022. La diversidad inexplorada de las algas rojas continentales: algunos datos actuales y perspectivas de futuro. *Cymbella* 8(2-3): 30-37.

<https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2022.8.2-3.1>

### RESUMEN

Las algas rojas continentales, frecuentemente asociadas a condiciones prístinas, han sido poco estudiadas en general, con la excepción de algunos países, y en muchos casos están condenadas a desaparecer con su hábitat. Algunos de sus géneros aparecen recogidos en todas las monografías ficológicas, pero de la mayoría existen muy escasos datos. Recientemente se ha comprobado la enorme diversidad genómica existente en los grupos de organismos más sencillos, que son los que hicieron la transición al medio continental. Los datos genómicos deberían complementarse con estudios morfológicos, ecológicos y fisiológicos detallados que permitan completar el cuadro de la diversidad. Con el ejemplo de los avances en el estudio del grupo en la península Ibérica se resalta la importancia de infraestructuras como los herbarios y de la indispensable colaboración entre instituciones e investigadores.

*Palabras clave: diversidad, estudios polifásicos, Península Ibérica, Rhodophyta,*

### ABSTRACT

Continental red algae, frequently associated with pristine environmental conditions, have been very poorly studied in general, except for some countries and are condemned to disappear together with their

habitat. Some genera are included in most phycological monographies, but from most of them there are very scarce information. Recently the great genomic diversity of the groups gathering the simple organisms has been envisaged, those implicated in the transition from sea to continental waters. Genomic data must be complemented with morphologic, ecological, and physiological detailed studies that will permit us to have the full image of diversity. With the example of the advances in the study of the group in Iberian Peninsula it is highlighted the importance of herbaria and the indispensable collaboration between institutions and researchers.

*Keywords: diversity, Iberian Peninsula, polyphasic studies, Rhodophyta*

### INTRODUCCIÓN

La elaboración de floras regionales de algas continentales resulta hoy en día una necesidad, teniendo en cuenta que en muchos países se han implantado planes de evaluación de la calidad ecológica de los sistemas acuáticos, que se basan en la identificación de organismos indicadores. Sin embargo, este tipo de estudios son difíciles de abordar principalmente por dos aspectos: encontrar financiación para ellos y que los datos obtenidos difícilmente podrán ser publicados en revistas de elevado impacto, lo que se une a la escasez de

taxónomos tradicionales, expertos en el trabajo de campo. Sin embargo, la carencia de estas obras dificulta enormemente o disminuye la exactitud de los trabajos técnicos ambientales, que podrían constituir una fuente muy importante de información y nutrir potentes bases de datos que hicieran posible el desarrollo de modelos predictivos, por ejemplo, ante los cambios ambientales en los que estamos inmersos.

Los recientes avances en métodos genómicos han permitido confirmar lo que ya algunos autores habían anticipado hace años: el uso de determinadas floras ha provocado sesgos en la interpretación de la biodiversidad. Es conocido el caso de cómo la utilización mundial de la Flora de Aguas Dulces de Centroeuropa (Süßwasserflora von Mitteleuropa) forzó la creencia en el cosmopolitismo de muchas especies (Eloranta *et al.* 2011). Hoy sabemos que existe una buena proporción de biodiversidad críptica, con muchas especies indistinguibles morfológicamente (al menos con los caracteres tradicionales) pero genéticamente diferentes. Esto ha conducido a la descripción de un número importante de nuevos taxones en todos los continentes y a confirmar que muchas especies tienen, en realidad, distribuciones restringidas (Vis & Necchi 2018).

Al abordar los estudios florísticos es importante compilar y revisar todos los trabajos previos para detectar áreas más inexploradas o con mayor diversidad ambiental, en las que centrar las recomendables prospecciones, que deben incluir una mínima caracterización ambiental, hoy muy facilitada por las sondas multiparamétricas. Esto, aunque obvio, se echa en falta en muchos casos todavía en la actualidad.

Si como decía von Stosch “uno no conoce una especie hasta que no conoce su ciclo vital” es, desde luego recomendable el aislamiento en cultivo (Stosch 1942), con todos los problemas que ello suele suponer, pero también con las enormes ventajas que proporciona el disponer de linajes con los que experimentar, tanto para inducir y conocer fases reproductoras como para forzar la producción de compuestos bioactivos o de interés comercial.

En las clasificaciones de Rhodophyta más actuales se reconocen tres subfilos: Cyanidiophytina, Proteorhodophytina y Eurhodophytina, que reflejan la gran diversidad actual de las formas más sencillas del filo, y que son mayoritariamente de ambientes continentales. Baste comprobar que en los dos primeros subfilos se agrupan 5 clases y en el último solo dos (Muñoz-Gómez *et al.* 2017). Esta diversidad hasta ahora reconocida casi exclusivamente a nivel genómico, genes plastidia-

les, debería traducirse en diversidad ecológica, fisiológica y estructural. Queda mucho por hacer. Estos autores sugieren que fueron estos grupos de rodófitas unicelulares mesofílicas de aguas dulces los ancestros de los cloroplastos rojos secundarios que poseen en la actualidad todos los grupos algales con clorofila c. Estos grupos, por tanto, tienen un gran interés evolutivo.

De muchas de estas algas rojas de estructura más sencilla desconocemos sus procesos reproductores, más allá de los meramente vegetativos o asexuales. Quizá carecen de reproducción sexual pero también es posible que estos procesos sí existan, pero se produzcan con poca frecuencia, lo que impide su observación si no es con muestreos muy intensivos, que raramente se producen. Von Stosch fue uno de los primeros en cultivar diatomeas y estudiar su reproducción “in vitro”, iniciando nuestro conocimiento en los procesos sexuales y partenogenéticos, tan frecuentes en este tipo de organismos (Stosch 1962).

Los métodos moleculares también pueden ayudar a interpretar los mecanismos reproductores de las algas rojas, buscando los genes implicados en los procesos meióticos, que son un indicador de la existencia de reproducción sexual. Este tipo de búsqueda permitió conocer que las Trebouxiophyceae, contrariamente a lo que se creía, deben presentar procesos sexuales, ya que los genes meióticos están mayoritariamente presentes en el grupo (Fučíková *et al.* 2015).

Con estos antecedentes, cada vez se hacen más necesarios los estudios polifásicos, que incluyan desde métodos de caracterización ambiental, hasta morfológicos, ultraestructurales y genómicos (Komárek 2016). La generalización de esta práctica no sólo permitiría generar una base de datos más completa, sino que serviría para mejorar los índices biológicos que se utilizan para la evaluación ambiental y que muchas veces no son más que copias de otros, diseñados en ambientes florísticos totalmente diferentes.

### ALGUNOS DATOS SOBRE LA FLORA IBÉRICA DE LAS AGUAS DULCES

Durante el desarrollo de la Flora Ibérica de cormófitos ([www.floraiberica.es](http://www.floraiberica.es)), Castroviejo (1986-2012) se pudo constatar cómo la utilización de la Flora Europea impidió durante un tiempo calibrar de forma adecuada la biodiversidad de la península Ibérica. Seguramente ocurre algo similar con las algas continentales, pero no tenemos datos suficientes para asegurarlo. Lo que sí podemos asegurar es que, probablemente, esta península

situada en un cruce de mundos biogeográficos es una de las más diversas del continente.

Al amparo del proyecto de la Flora Ibérica se desarrolló el programa Anthos ([www.anthos.es](http://www.anthos.es)) que tiene como objetivo la difusión a un público más diverso de los conocimientos adquiridos a lo largo de los años. Este programa es una buena fuente de información iconográfica y de distribución que resulta una ayuda inestimable en el desempeño docente. Probablemente es un sueño pensar en un equivalente para nuestras algas. Desde luego Algae-Base se ha constituido como una referente, aunque esté más centrada en aspectos taxonómicos.

Pocos han sido los grupos de algas continentales trabajados en profundidad en la península Ibérica, pero quizá podemos mencionar las algas rojas (Rhodophyta) como un ejemplo de biodiversidad. Durante mucho tiempo los datos de que se disponía procedían de los trabajos de Margalef en España y Reis en Portugal (Chapuis *et al.* 2014). Esos datos siguen siendo los únicos para algunas de las regiones, a pesar del enorme lapso de tiempo transcurrido desde que estos dos insignes ficólogos desarrollaron su actividad. Lamentablemente, prácticamente todas las muestras de Margalef se perdieron (o estropearon) pero los pliegos de Reis sí se conservaron permitiendo el análisis genómico, que clarificó su asignación a nuevos géneros. Como ejemplos podemos citar las actuales *Kumanoa abilii* (Reis) Necchi *et M.L. Vis*, *Kumanoa henriquesiana* (Reis) Necchi *et M.L. Vis*, *Kumanoa lusitanica* (Reis) Necchi *et M.L. Vis*, *Kumanoa pseudocarpa* (Reis) Necchi *et M.L. Vis* y *Virescentia gulbenkiana* (Reis) Necchi *et M.L. Vis*, descritas como *Batrachospermum abilii*, *B. henriquesianum*, *B. lusitanicum*, *B. pseudocarpum* y *B. gulbenkianum* respectivamente (Vis & Necchi 2018).

Estos datos reflejan la importancia de los herbarios, que muchas veces están infrafinanciados y se consideran infraestructuras carentes de interés, cuando no totalmente prescindibles, con muestras que irremisiblemente se van deteriorando con el paso del tiempo. En muchos casos, sin embargo, ilustran una biodiversidad histórica, ya que las localidades prospectadas han sido desecadas o urbanizadas, imposibilitando el crecimiento algal en la actualidad. Los herbarios tienen también un importante papel en la custodia de los tipos nomenclaturales, indispensable para resolver problemas taxonómicos (Horton *et al.* 2017) y a los que además se pueden aplicar las modernas técnicas moleculares (De Clerck *et al.* 2013). Desde hace años, sin embargo, existe un debate sobre cómo conservar los materiales tipo en el futuro, abogando por la criopreservación, aunque hay muchas microalgas que no

toleran las actuales metodologías empleadas a tal fin (Day *et al.* 2010).

Las técnicas moleculares aplicadas a los estudios sistemáticos han permitido un gran avance en la comprensión de las relaciones evolutivas de las rodófitas y han conducido a importantes cambios taxonómicos. Se puede citar como ejemplo dentro de las aguas continentales el género *Batrachospermum* (Fig. 2: 1) (Batrachospermaceae) que ha sido escindido en: *Kumanoa*, *Sheathia*, *Virescentia*, *Acarosporophycos*, *Visia*, *Montagnia*, *Paludicola*, *Tortularia* y *Nocturama*, al elevar a género muchas de las secciones previas (Vis & Necchi 2021). Es fácil encontrar las mismas especies citadas en trabajos florísticos de prácticamente todos los continentes, pero las secuencias de ADN indican que muy pocas de ellas tienen una distribución amplia en varios continentes y que la mayoría se restringen a un único continente o incluso a unas pocas localidades (Vis & Necchi 2021).

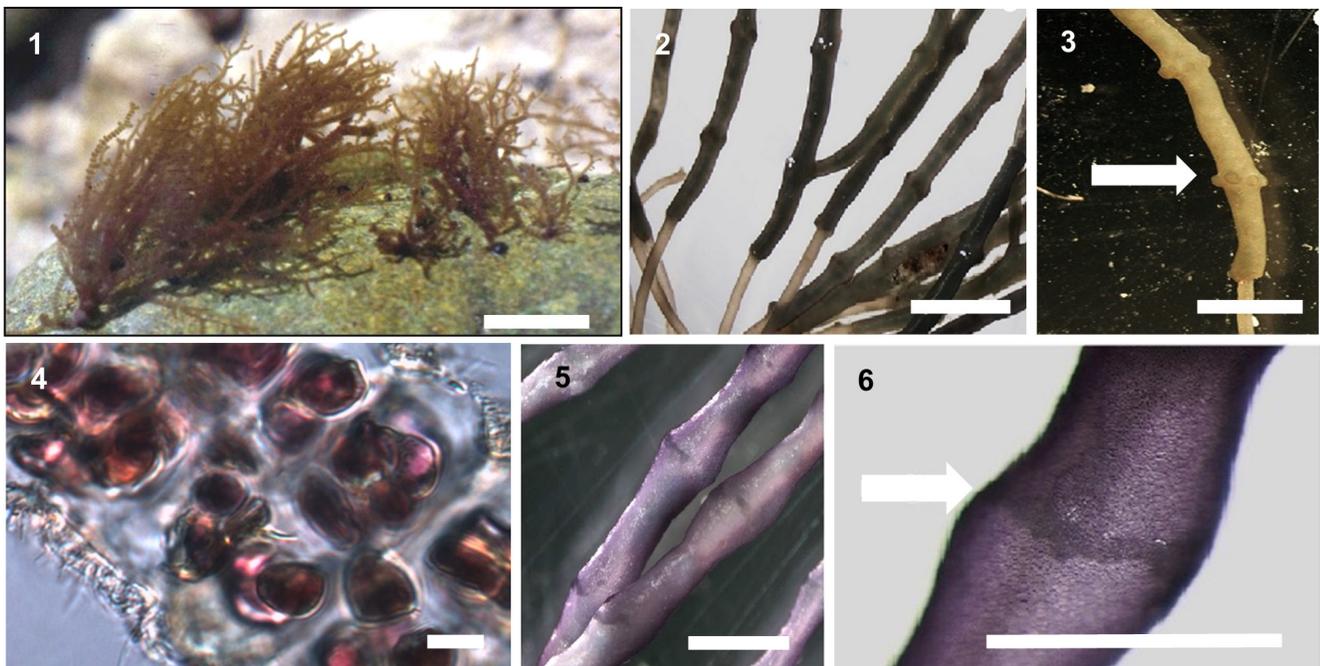
Sin embargo, estos datos pueden ir modificándose y modulándose a medida que se vaya acumulando más información, ya que el esfuerzo de muestreo y número de investigadores no es idéntico en todas las regiones. Algo similar queda claramente de manifiesto en el caso español en donde extensas cuencas hidrográficas contaban con muy escasas citas de rodófitas (Fig. 1), con datos obtenidos durante la revisión bibliográfica y lista revisada previas al inicio del proyecto de Flora Ibérica de las Aguas Dulces.

Los muestreos extensivos, centrados sobre todo en territorios poco o nada explorados dieron como resultado la descripción de un nuevo género *Volatus* (Chapuis *et al.* 2017), con especies conocidas en EE. UU., Canadá y España (*V. personatus* Chapuis & Vis, *V. carrioni* Chapuis & Vis y *V. ulterior* Chapuis & Vis) y cuatro nuevas especies de *Batrachospermum*, de las cuales sólo *B. pozoazulense* Chapuis & Vis se desarrolla en territorio español (Chapuis *et al.* 2017).

Los géneros *Lemanea* (Fig. 2: 2-3) y *Paralemanea* (Fig. 2: 5-6) son relativamente fáciles de reconocer a nivel genérico y están ampliamente extendidos en arroyos de todo el mundo, generalmente asociados a una buena calidad ecológica. Los estudios filogenéticos han evidenciado que las especies americanas y europeas están claramente separadas y que *L. manipurensis* Ganesan, West, Zucarello & Rout, descrita de la India, probablemente representa una divergencia antigua. Mientras *L. borealis* Atkinson, *L. occidentalis* Vis & Muller y *L. parva* (Vis & Sheath) Vis se distribuyen por el continente americano, *L. condensata* Israelson, *L. fluviatilis* (L.) C. Agardh, *L. fucina* Bory y *L. rigida* (Sirodot) De Toni lo hacen por el europeo. En cuanto al género *Para-*



**Figura 1:** Especies de algas citadas en las diferentes confederaciones españolas antes del inicio del proyecto de la Flora Ibérica de las Aguas Dulces.



**Figura 2:** 1. *Batrachospermum gelatinosum*, 2-3. *Lemanea*: detalles de la base pedunculada de los talos y de las papilas de espermatangios, 4. *Bangia*: detalle de la parte central del talo. 5-6. *Paralemanea*: detalle de los talos y de los anillos de espermatangios. La escala representa 1 cm excepto en la imagen 4 que representa 10  $\mu$ m. Las flechas señalan las agrupaciones de espermatangios.

*lemanea*: *P. blumii* Vis, *P. californica* Blum, *P. deamii* (Blum) Vis, *P. grandis* (Wolle) Kumano, *P. mexicana* (Kütz.) Vis & Sheath, *P. catenata* (Kütz.) Vis & Sheath y *P. torulosa* (Roth) Shetah & Sherwood lo hacen a lo largo de Europa (Vis & Necchi 2021). Curiosamente, *Paralemanea* parece estar ausente en los países del norte de Europa, pero está muy extendido por los del centro y sur (Vis & Necchi 2021, Eloranta *et al.* 2011). Queda, sin embargo, mucho por aclarar todavía en ambos géneros tanto a nivel morfológico como molecular.

La presencia de Coralináceas era desconocida en ambientes continentales hasta que en 2016 se recolectó *Pneophyllum* en una zona kárstica adyacente al mar en Croacia (Zuljevic *et al.* 2016), pero según Vis & Necchi (2021) no es probable que se hagan más descubrimientos de este tipo. A diferencia de las otras rodófitas que penetraron en aguas continentales desde el mar, esta coralinácea desarrolla gametangios.

Los gametófitos de los géneros precedentes, aunque de pequeño tamaño, son conspicuos, pero otros representantes son más difíciles de reconocer en el campo. Ese es el caso de *Chroothoece*, que sin duda tiene una distribución mucho más amplia de la conocida y está mucho más diversificado. La mayor parte de las veces sus células no llegan a desarrollar colonias de forma definida (con la excepción de *C. lobata*) y se manifiestan como pátinas azuladas que se desarrollan sobre paredones o suelos húmedos junto con cianofíceas y diatomeas (Pentecost *et al.* 2013). El interés por este género ha conducido a la descripción de dos nuevas especies: *C. lobata* Aboal, Whitton, Chapuis, Sánchez & Necchi y *C. thermalis* Chapuis, Sánchez, Aboal & Necchi (Aboal *et al.* 2018), además de a tener una idea mucho más precisa de sus requerimientos ecológicos (Aboal *et al.* 2014a) o sus posibles aplicaciones (Aboal *et al.* 2014b). Estos trabajos también recalcaron la importancia de acudir a las descripciones originales (muchas de ellas a libre disposición en AlgaeBase), ya que en ocasiones se arrastran interpretaciones erróneas durante mucho tiempo (Pascher & Petrová 1931, Aboal *et al.* 2018). Algo similar puede ocurrir con los linajes mantenidos largo tiempo en colecciones de cultivo y de los que a veces se ha perdido el rastro de su procedencia (Aboal *et al.* 2014a).

Las células (o colonias) de *Chroothoece* (Fig. 3: 1-2, 4: 1-2) poseen una bella coloración azulada (que se torna anaranjada en lugares muy expuestos a la luz solar), pero su composición pigmentaria le permite desarrollarse tanto en cuevas con muy escasa iluminación como en lugares fuertemente

iluminados (Coronado-Parra *et al.* 2021, 2023). La separación de especies de este género, tradicionalmente se hacía basándose en el tipo de hábitat y en las dimensiones celulares, en las que se apreciaban notables solapamientos (Eloranta *et al.* 2011). Rieth (1973) publicó una descripción muy detallada de una posible nueva especie del género, basada en materiales recolectados en Cuba, aunque no se decidió a describirla formalmente por tratarse de muestras fijadas.

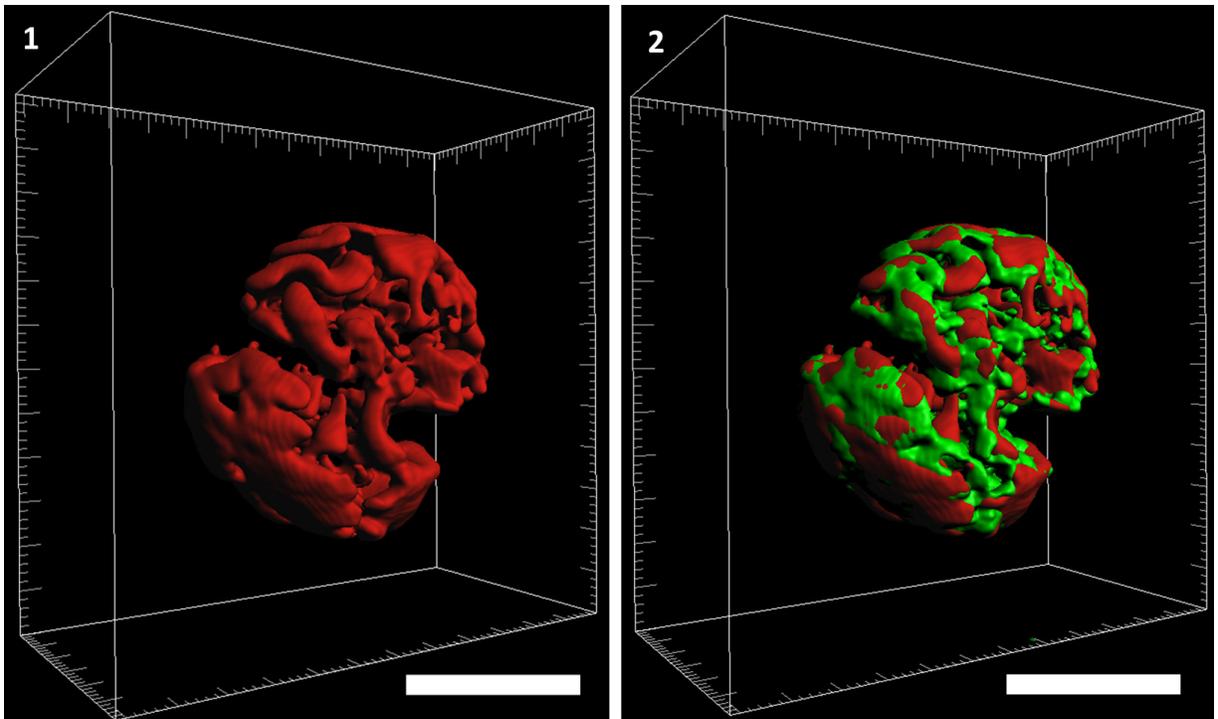
Durante bastante tiempo se puso en duda la existencia del género *Chroodactylon* (Fig. 4: 3) ya que muchos *Chroothoece* tienen fases *Chroodactylon* en su desarrollo, pero ambos están genéticamente separados (Aboal *et al.* 2018). El primero es un epífito bastante frecuente sobre *Cladophora* en aguas dulces, salobres o marinas, mientras que el segundo prefiere desarrollarse sobre sustratos líticos o incluso edáficos.

Estas rodófitas unicelulares o coloniales, y muchas veces azuladas, son sin duda mucho más frecuentes de lo que los datos actuales reflejan. Probablemente tienen una mayor afinidad por ambientes extremos, generalmente mucho menos estudiados.

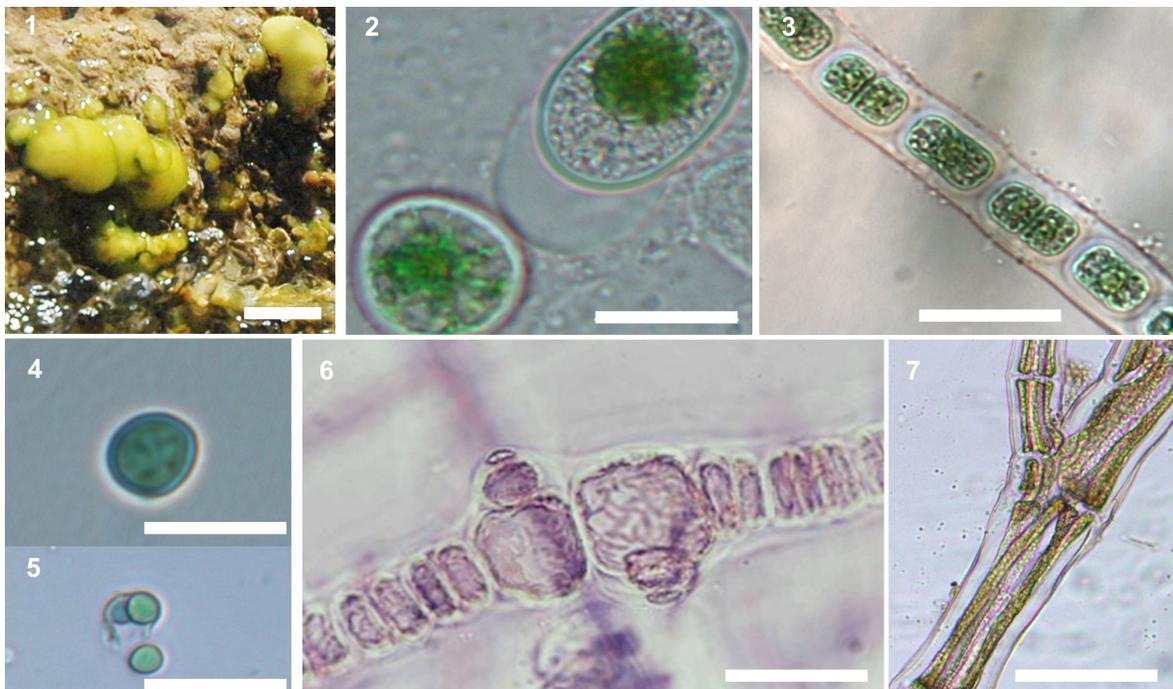
Un ejemplo de extremófilo es el género *Cyanidium* (Fig. 4: 4-5) que casi siempre se creía circunscrito a aguas termales ácidas, pero del que recientemente se acumulan referencias en cuevas de terrenos alcalinos en donde colorea las paredes de un tono azul intenso (Azúa-Bustos *et al.* 2009, García-Fernández & Aboal 2011).

*Kyliniella* fue descrita de lagos eutróficos de Letonia (Skuja 1926), desarrollándose como epífita de helófitos, sin embargo, puede constituir poblaciones epilíticas muy conspicuas, por su bella coloración rosada, en las zonas de rápidos de arroyos calcáreos de montaña media en España (García-Fernández *et al.* 2012). También ha sido citada en lagos de Norteamérica (Flint 1953) y ríos de Sudamérica, concretamente en Brasil (Necchi *et al.* 2003). Si todas estas poblaciones pertenecen a la misma especie deberá dilucidarse en el futuro, aunque su crecimiento esporádico y la dificultad para hacerla crecer en el laboratorio complica mucho la tarea. Tampoco este género se libra de algunas interpretaciones erróneas: Kumano (2002) indicaba que posee cloroplastos discoidales, pero Bourrelly (2003) indicaba que son acintados. En la descripción original, Skuja (1926) los describe como acintados (Fig. 4: 6).

Las algas rojas iniciaron el paso del mar a los medios continentales hace millones de años, en un proceso que sigue observándose en la actualidad. En los años sesenta se especuló sobre el origen de



**Figura 3:** Células de *Chroothece* observadas con microscopía láser confocal. **1.** Cloroplasto de *Chroothece*, en el que se aprecia la autofluorescencia de la clorofila a. **2.** Lípidos marcados con Bodipy rodeando los brazos del cloroplasto. La escala representa 10  $\mu$ m.



**Figura 4:** **1-2.** *Chroothece lobata*: colonias y células en sección longitudinal y transversal, **3.** *Chroodactylon*, **4-5.** *Cyanidium*: células y liberación de esporas, **6.** *Kyliniella*, **7.** *Polysiphonia subtilissima*. La escala representa 1 cm en la imagen 1 y 10  $\mu$ m en las restantes.

*Chroodactylon* en los grandes lagos del norte de Estados Unidos (Sheath & Morison 1982) y más recientemente se pudo observar como *Polysiphonia subtilissima* Montagne (Fig. 3: 7) va subiendo desde la desembocadura a lo largo de algunas cuencas fluviales, perdiendo en el empeño su capacidad de reproducción sexual (Cantoral & Aboal 2001, Koletic *et al.* 2020). *Bangia* (Fig. 2: 4) también ha ido penetrando a distintos ecosistemas continentales (Sheath & Morison 1982), es frecuente en muchos ríos y parece que su área de distribución se va ensanchando asociada a la elevación de los niveles de eutrofia.

### PROPUESTAS DE FUTURO

Los avances tecnológicos permiten en la actualidad obtener imágenes de campo o microscópicas muy rápidamente y su envío a otros lugares, cercanos o lejanos, facilitando la creación de redes de investigadores que puedan ofrecer puntos de vista alternativos. La ciencia ciudadana, que tan de boga está en muchos lugares, se ha derivado a aspectos de conservación o detección de problemas ambientales (especies invasoras o tóxicas), no tanto a la biodiversidad. Esta es, sin duda, otra oportunidad. Las sociedades micológicas, agrupaciones de micólogos aficionados, son muy comunes en muchos países (tienen enorme tradición en el norte de España), y eso ha permitido conocer con bastante precisión la distribución de las especies de hongos (sobre todo los denominados hongos superiores) en las distintas regiones. Los ficólogos aficionados son mucho más raros, probablemente se limitan a los ambientes marinos y lamentablemente no suelen estar organizados.

¿No podrían/deberían las sociedades científicas aprovechar estas circunstancias para elaborar sus propias bases de datos, basadas en el trabajo colaborativo y la ayuda mutua? ¿Podemos promover y participar en iniciativas de Ciencias Ciudadana que involucren a las algas, aumenten el interés por estos bellos organismos y su enorme contribución al funcionamiento del planeta y a nuestro bienestar? En un mundo de redes sociales e inmediatez informativa debería ser sencillo, sobre todo si las instituciones tomaran cuenta de ello, aunque probablemente habría aspectos legales que deberían tomarse en consideración.

### AGRADECIMIENTOS

A Mónica Roldán por su inestimable ayuda y asesoramiento con el microscopio láser confocal y a todos los que han colaborado a lo largo de los años en el estudio de estas pequeñas maravillas.

### REFERENCIAS

- Aboal, M., I. Chapuis, M.O. Paiano, P. Sánchez, J.A. West, B.A. Whitton, & O. Necchi Jr. 2018. Diversity of *Chroothecae* (Rhodophyta, Stylonematales) including two new species. *European Journal of Phycology* 53: 189-197. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1402374>
- Aboal, M., M.E. García-Fernández, M. Roldán, & B.A. Whitton. 2014a. Ecology, morphology and physiology of *Chroothecae richteriana* (Rhodophyta, Stylonematophyceae) in the highly calcareous Río Chícamo, south-east Spain. *European Journal of Phycology* 49: 83-96. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2014.893018>.
- Aboal, M., D. González-Silvera, M. Roldán, M. Hernández-Mariné, J.A. López-Jiménez, & B.A. Whitton. 2014b. The freshwater alga *Chroothecae richteriana* (Rhodophyta) as a potential source of lipids. *Food Chemistry* 162: 143-148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.036>.
- Azúa-Bustos, A.C., C. González-Silva, R.A. Mancilla, L. Salas, R.E. Palma, J.J. Wynne, C.P. McKay. 2009. Ancient photosynthetic eukaryote biofilms in an Atacama Desert coastal cave. *Microbial Ecology* 58: 485-496. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9500-5>
- Bourrelly, P. 2003. *Les algues d'eau douce*. Tome 3: *Algues bleues et rouges*. Editions N. Boubée. Paris, Francia.
- Cantoral-Uriza, E.A. & M. Aboal. 2001. El marjal de Pego-Oliva: Evolución temporal de la flora de macroalgas. *Limnetica* 20: 159-171. Accesible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-20-1-p-159.pdf>
- Castroviejo, S. (Coord. gen).1986-2012. Flora ibérica 1-8, 10-15, 17-18, 21. *Real Jardín Botánico*, CSIC, Madrid, España. <http://www.floraiberica.es/>
- Chapuis, I.S., O. Necchi Jr., G.C. Zuccarello, S.-L. Xie, M. Aboal, P.M. Sánchez-Castillo, & M.L. Vis. 2017. A new genus, *Volatus* and four new species of *Batrachopermium* sensu stricto (Batrachospermales, Rhodophyta). *Phycologia* 56: 454-468. DOI: <https://doi.org/10.2216/16-73.1>
- Chapuis, I.S., P.M. Sánchez-Castillo, & M. Aboal. 2014. Checklist of freshwater red algae in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *Nova Hedwigia* 98: 213-232. DOI: <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2014/0153>
- Coronado-Parra, T., M. Roldán, & M. Aboal. 2021. Confocal Microscopy in Ecophysiological Studies of Algae: A Door to Understanding Autofluorescence in Red Algae. *Microscopy and Microanalysis* 2021: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1431927621013660>.
- Coronado-Parra, T., M. Roldán, & M. Aboal. 2023. Autofluorescence Imaging to Evaluate Red Algae Physiology. *Journal of visualized experiments* 192: e64533. DOI: <https://doi.org/10.3791/64533>.
- Day, J.G., T. Pröschold, T. Friedl, M. Lorenz, & P.C. Silva. 2010. Conservation of microalgal type material:

- Approaches needed for the 21st century science. *Taxon* 59: 3-6. DOI: <https://doi.org/10.1002/tax.591001>.
- De Clerck, O., M.D. Guiry, F. Leliaert, Y. Samyn, & H. Verbruggen. 2012. Algal taxonomy: a road to nowhere? *Journal of Phycology* 49: 215-225. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12020>.
- Eloranta, P., J. Kwadrans, & E. Kusel-Fetzman. 2011. Rhodophyceae and Phaeophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 7. *Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg*.
- Flint, L.H. 1953. *Kyliniella* in America. *Phytomorphology* 3: 76-80.
- Fučíková, K., M. Pažoutová, & F. Rindi. 2015. Meiotic genes and sexual reproduction in the green algal class Trebouxiophyceae (Chlorophyta). *Journal of Phycology* 51: 419-430. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12293>.
- García-Fernández, M.E. & M. Aboal. 2011. *Cyanidium caldarium* (Tilden) Geitler (Cyanidiaceae, Cyanidiophyceae) nueva cita para la flora algal continental española. *Acta Botanica Malacitana* 36: 164-169. DOI: <https://doi.org/10.24310/abm.v36i1.2825>
- García-Fernández, M.E., I. Seguí-Chapuis, & M. Aboal. 2012. *Kyliniella latvica* Skuja (Stylonemataceae, Stylo-nematophyceae), un rodófito indicador de buena calidad del agua. *Limnetica* 31: 341-348. DOI: <https://doi.org/10.23818/limn.31.29>
- Horton, T., S. Gofas, A. Kroh, G.C.B. Poore, G. Read, G. Rosenberg, S. Stöhr, N. Bailly, N. Boury-Esnault, S.N. Brandao, M.J. Costello, W. Decock, S. Dekeyzer, F. Hernández, J. Mees, G. Paulay, L. Vandepitte, B. Vanhoorne, & S. Vranken. 2017. Improving nomenclatural consistency: a decade of experience in the World Register of Marine Species. *European Journal of Taxonomy* 389: 1-24. DOI: <https://doi.org/10.5852/ejt.2017.389>.
- Koletic, N., A.L. Alegro, A. Rimac, A. Vukovic, V. Segota, & T. Vilovic. 2020. Environmental preferences of *Polysiphonia subtilissima* (Ceramiales, Rhodophyta) in transitional, oligohaline and fresh waters of the East Adriatic coast. *Nova Hedwigia* 111 (1-2): 39-58. DOI: [https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2020/0593](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2020/0593)
- Komárek, J. 2016. A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications. *European Journal of Phycology* 51: 346-353. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2016.1163738>
- Kumano, S. 2002. *Freshwater Red Algae of the World*. Biopress, Bristol
- Muñoz-Gómez, S., F.G. Mejía-Franco, K. Durnin, M. Colp, C.J. Grisdale, J.M. Archibald, & C.H. Slamovits. 2017. The new red algal subphylum Proteorhodophytina comprises the largest and most divergent plastid genomes known. *Current Biology* 27: 1677-1684. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.054>.
- Necchi Jr., O., L.H.Z. Branco, & C.C.Z. Branco. 2003. Ecological distribution of stream macroalgal communities from a drainage basin in the Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 63: 635-646. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1519-6984200300000010>
- Pascher, A. & J. Petrová. 1931. Über Porenapparate und Bewegung bei einer neuen (*Chrootheca mobilis*). *Archiv für Protistenkunde* 74: 490-522.
- Pentecost, A., B.A. Whitton, & C.F. Carter. 2013. Ecology and morphology of the freshwater red alga *Chrootheca* in the British Isles. *Algological Studies* 143: 51-63. DOI: <https://doi.org/10.1127/1864-1318/2013/0137>
- Rieth, A. 1973. Über *Chrootheca* Hansgirg. *Archiv für Protistenkunde* 115: 75-98.
- Sheath, R.G. & M.O. Morison. 1982. Epiphytes on *Cladophora glomerata* in the Great Lakes and St. Lawrence seaway with particular reference to the red alga *Chroodactylon ramosum* (= *Asterocytis smargdina*). *Journal of Phycology* 18: 385-391. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-881.1982.tb03200.x>.
- Skuja, V.H. 1926. Eine neue Süßwasserbangiacee *Kyliniella latvica* n.g, n. sp. *Acta Horti Botanici Universitatis Latviensis* 1: 1-5.
- Stosch, H.A. von. 1942. Form and Formwechsel der Diatomee *Achnanthes longipes* in Abhängigkeit von der Ernährung. Mit besondere Berücksichtigung der Spurenstoffe. *Berichte der Deutsch Botanischen Gesellschaft*. 60: 2-16.
- Stosch, H.A. von. 1962. Über das Perizonium der Diatomeen. *Vorträge aus dem Gesamtgebiet der Botanik* 1: 43-52.
- Vis, M.L. & O. Necchi Jr. 2018. *Freshwater Red Algae. Phylogeny, Taxonomy and Biogeography*. Springer, Cham.
- Zuljevic, A., S. Kaleb, V. Peña, M. Despalatovic, I. Cvitkovic, O. De Clerk, L. Le Gall, A. Falace, F. Vita, J.C. Braga, & B. Antolic. 2016. First freshwater coralline alga and the role of local features in a major biome transition. *Scientific Reports*. 6 (19642): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep19642>.

# Ficoteca del Herbario de la Universidad de Sonora: una contribución al estudio de las macroalgas y los ecosistemas marinos del noroeste del país.

## Phycotheque of the Herbarium of the University of Sonora: a contribution to the study of macroalgae and marine ecosystems in the northwest of the country.

**Erick José Ponce-Manjarrez, Perla Urquidez-Bejarano y Manuel Higinio Sandoval-Ortega<sup>1\*</sup>.**

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>1</sup>Herbario USON, Niños Héroes s.n., Colonia Centro, Hermosillo, Sonora. Tel: 662-259-2169 ext. 8185.

Email: manuelhiginio.sandoval@unison.mx

Ponce-Manjarrez, E.J., P. Urquidez-Bejarano & M. H. Sandoval-Ortega. 2022. Ficoteca del Herbario de la Universidad de Sonora: una contribución al estudio de las macroalgas y los ecosistemas marinos del Noroeste del país. *Cymbella* 8(2-3): 38-45.

<https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2022.8.2-3.2>

### RESUMEN

Las ficotecas son colecciones científicas indispensables para el estudio y conservación de los ambientes acuáticos, ya que permiten tener un registro de la presencia, distribución y diversidad de algas macroscópicas. En octubre de 2022 se inauguró la Ficoteca del Herbario USON, de la Universidad de Sonora, una colección seca de macroalgas. La colección incluirá principalmente ejemplares provenientes del Golfo de California, en especial del litoral sonorense. La Ficoteca del Herbario USON inicia con 76 ejemplares de nueve familias, 11 géneros y 16 especies de macroalgas resultado de la primera etapa del proyecto USO313008046. Con la apertura de esta nueva colección se contribuye al estudio de los recursos marinos del estado de Sonora, cuya costa ha sido poco explotada en materia de macroalgas, y al conocimiento del patrimonio natural de la nación.

*Palabras clave:* colección científica, ficología, ficoteca, Golfo de California,

### ABSTRACT

The Sonoran coast has been little explored in terms of macroalgae. Phycotheques are essential scientific

collections for the study and conservation of aquatic environments, since they allow a record of the presence, distribution and diversity of macroscopic or microscopic algae. In October 2022, the Phycotheque of the Herbarium USON was inaugurated, a dry collection of macroalgae that will include mainly specimens from the Gulf of California, mainly from the Sonoran coast. This collection begins with 76 specimens from nine families, 11 genera and 16 species of macroalgae resulting from the first stage of the USO313008046 project. With the opening of this new collection, we contribute to the study of the state's marine resources and the nation's natural heritage.

*Keywords:* Gulf of California, phycology, phycotheque, scientific collection.

### INTRODUCCIÓN

La biodiversidad marina es poco conocida y muchas de las especies que aún no han sido descubiertas habitan en los océanos (Costello *et al.* 2010).

México cuenta con una costa aproximada de 11,150 km, de los cuales 7,828 corresponden al Océano Pacífico-Golfo de California y 3,294 al Golfo de México y mar Caribe (Contreras-Espinosa 2010).

Los mares, costas e islas mexicanas presentan niveles de riqueza, diversidad y endemismo extraordinaria, comparable e incluso mayor que la biota continental, sin embargo, la información suele ser escasa, fragmentada e incluso inexistente (Arriaga-Cabrera *et al.* 2000).

Las macroalgas son un tipo de algas marinas macroscópicas que funcionan como zonas de refugio y hábitat para miles de especies, además, debido a que responden rápidamente a las alteraciones hidro-climáticas pueden ser utilizados como bioindicadores de los posibles impactos o alteraciones en el medio marino (Bouri *et al.* 2021, Chakraborty *et al.* 2014, Foulton *et al.* 2020, Melville 2006). Las macroalgas están comprendidas en tres grandes grupos: Chlorophyta o algas verdes, Rhodophyta o algas rojas, y Phaeophyceae o algas pardas (Dawes 1986).

El primer estudio acerca de este grupo de organismos en golfo de California fue publicado a finales del siglo XIX (Hariot 1895), donde se reportan algunos taxones colectados por León Diguët en La Paz, Baja California; pero fue Dawson quien contribuyó significativamente al conocimiento de la taxonomía, distribución y ecología de macroalgas, con 15 trabajos publicados entre 1941 y 1966 que se generaron a partir de 20 expediciones en la zona costera del Golfo de California, incluida la costa de Sonora (Espinoza-Ávalos 1993).

Si bien entre los años 1970 y 1990 se realizaron estudios de macroalgas marinas del Golfo de California donde se generaron numerosos registros de especies en las costas de Sonora, Baja California y Baja California Sur (Huerta-Múzquiz & Mendoza-González 1985, Mateo-Cid *et al.* 1993, Mateo-Cid & Mendoza-González 1994, Norris 1972, Norris & Norris 1973, Norris *et al.* 2017, Rocha-Ramírez & Siqueiros-Beltrones 1991), aún existe un déficit de información, pues existen sitios menos estudiados e incluso inexplorados (Mateo-Cid *et al.* 2000), como puede ser el caso de gran parte de la extensa zona litoral del estado de Sonora.

### COLECTORES DE MACROALGAS EN SONORA

Tras consultar los registros en línea de herbarios y colecciones ficológicas del mundo mediante el portal Macroalgal Herbarium Consortium (disponible en: <https://macroalgae.org/portal/index.php>), el Herbario del Museo Nacional de Historia Natural de Estados Unidos (US, disponible en: <https://collections.nmnh.si.edu/search/botany/>), así como el Herbario del Museo Nacional de Historia Natural de Francia (P, disponible en: <https://www.mnhn.fr/en/algae-collection>), ade-

más de fuentes bibliográficas (Godínez-Ortega 2008, Papenfuss 1976, Setchell & Gardner 1924) e información proporcionada directamente por personal de algunas colecciones, se determinó que fue a finales del siglo XIX y principios del XX cuando comenzó la fase exploratoria en materia de macroalgas del estado de Sonora.

Los ejemplares más antiguos colectados en el estado son de *Padina durvillei* Bory Saint-Vincent, colectados en 1890 por Townshend Stith Brandegee en el municipio Guaymas, este material ahora está depositado en el Herbario de la Universidad de California, Berkeley (UC).

Las primeras colectas en el siglo XX fueron realizadas en 1904 por G. P. Merrill, en el municipio Guaymas y ahora están depositadas en NY y UC. Algunos años más tarde, en 1917, el Dr. Marchant y su esposa D. Marchant también colectaron en Guaymas y algunos de sus ejemplares se encuentran actualmente en el Herbario de la Universidad de Michigan (MICH) y en el Herbario del Jardín Botánico de Nueva York (NY). Posteriormente, en 1921, Ivan Murray Johnston realizó varias colectas en Guaymas y en las Islas San Esteban, San Jorge y San Pedro Mártir, parte de sus ejemplares están depositados en UC. Y en 1923 T. MacDougal obtuvo varias muestras de Puerto Libertad, en el municipio Pitiquito, material que, al menos en parte, ahora se encuentra también en UC y P.

Más tarde, Francis Drouet y Donald Richards, realizaron varias colectas en la costa de Sonora durante 1939, especialmente en los municipios Guaymas, Hermosillo, Huatabampo y Empalme, ejemplares ahora resguardados en el Herbario de la Universidad Butler (BUT), Herbario de la Universidad Duke (DUKE), Herbario de la Academia de Ciencias Naturales de la Universidad Drexel (PH), Herbario de la Universidad Estatal de Oregón (OSC), Herbario del Museo Field de Historia Natural (F), MICH, NY y UC. En UC también se encuentra algo del material colectado por William A. Setchell y Nathaniel L. Gardner en Guaymas durante el año de 1946.

No obstante, fue E. Yale Dawson quien durante esta época muestreó macroalgas en mayor extensión del litoral de Sonora, desde 1940 hasta 1966, en las costas de los municipios Empalme, Guaymas, Pitiquito, Puerto Peñasco, así como en las Islas Alcatraz, Isla Turners, Isla Patos e Isla Tiburón en el municipio de Hermosillo, gran parte de sus ejemplares se encuentran depositados actualmente en diversas colecciones como UC, F, MICH, DUKE, PH, NY, US y el Herbario del Museo de Historia Natural de San Diego (SD). En los años 1960 Dawson realizó

estudios ficológicos en el Golfo de California (Dawson 1966a), entre ellos la primera lista florística en la región de Puerto Peñasco (Dawson 1966b).

Durante las décadas de 1970 a 1990 hubo varios colectores de macroalgas en territorio sonorense, como Max H. Hommersand, quien realizó diversos muestreos en las costas de Puerto Peñasco, Pitiquito, Guaymas y Hermosillo, parte importante de estos ejemplares se encuentran en el Herbario de Algas Max & Fran Hommersand, en la Universidad de Carolina del Norte (NCU-Algae). Por otro lado, R. B. Searles realizó varias colectas en el municipio Puerto Peñasco y sus ejemplares ahora se encuentran en DUKE. De igual modo, James N. Norris colectó numerosos ejemplares y generó diversos registros importantes para la misma zona de Puerto Peñasco (Hollenberg & Norris 1977, Norris & Johansen 1981), que pueden consultarse en UC, US, MICH y el Herbario de la Universidad de Washington (WTU). Durante esta misma época, Mendoza-González y Mateo-Cid (1986), de nacionalidad mexicana, realizaron un estudio acerca de la flora marina de las costas de Sonora, durante el cual realizaron distintos muestreos en Bahía de Kino, Isla Tiburón, Isla Pelícanos y Guaymas, material que fue depositado en el Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB).

Entre los trabajos ficológicos publicados en el siglo XXI se encuentra el elaborado por Readdie *et al.* (2006), en el que se incluyen parte de los taxones que habían sido reportados para Sonora previamente. Richard M. McCourt, (coautor de dicho trabajo) colectó ejemplares en el municipio Puerto Peñasco, algunos de los cuales se encuentran depositados en PH.

Años después, Norris *et al.* (2017) llevaron a cabo una revisión sistemática y anotada de las algas marinas rojas, verdes y pardas reportadas para el Golfo de California, en donde se mencionan los taxones que se han registrado en territorio sonorense. Sin embargo, los estudios florísticos publicados acerca de macroalgas exclusivamente de Sonora durante este siglo han sido pocos. Aguilar-Rosas *et al.* (2002), llevaron a cabo muestreos en el municipio San Luis Río Colorado, al norte del estado, en el golfo de Santa Clara, sus ejemplares fueron depositados en ENCB y el Herbario de la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California (CMMEX). Posteriormente, Mateo-Cid *et al.* (2006), colectaron ejemplares en Puerto Peñasco, los cuales también fueron depositados en ENCB y CMMEX.

Debido a lo anterior, se puede decir que en el caso particular de las costas sonorenses, los estudios

ficológicos de macroalgas son relativamente pocos, a comparación de otras regiones del país, y se han limitado principalmente a la parte norte del estado, en particular a Puerto Peñasco y sitios aledaños, pues esta zona presenta una extrema variación en la temperatura del agua de mar, que va desde 15 °C en los meses de diciembre y enero a 29 °C en julio y agosto, lo cual favorece el desarrollo de especies estacionales; además, se caracteriza por presentar una gran diversidad de hábitats que incluyen zonas intermareales rocosas amplias, protegidas, expuestas y áreas arenosas que permiten el desarrollo de una flora marina distintiva (Mateo-Cid *et al.* 2006), a pesar de que el resto de la franja litoral de Sonora también tiene infinidad de hábitats que favorecen el establecimiento de diversas algas, los estudios en el resto del estado han sido limitados.

Por lo tanto, si se toma en cuenta que los inventarios biológicos proveen el fundamento necesario para detectar y monitorear cambios en los sistemas naturales, evaluar las consecuencias de las actividades humanas sobre dichos sistemas y finalmente planificar el manejo sustentable de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad (Rodríguez-Vargas *et al.* 2010), resulta necesario fomentar el conocimiento de la biodiversidad de macroalgas en el estado para poder sentar las bases de un buen manejo y conservación de la vida submarina y, a su vez, generar estrategias de producción y consumo responsable de los recursos marinos del estado. Además, los pocos estudios realizados han estado enfocados en algunas localidades particulares del norte del estado y fueron realizados durante la mitad del siglo pasado. Por lo que es necesario generar nueva información o actualizar la ya existente sobre los listados biológicos en diferentes localidades del litoral sonorense.

### IMPORTANCIA DE LAS FICOTECAS PARA EL ESTUDIO DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS

Las colecciones científicas concentran archivos del conocimiento que tienen la cualidad de ser objetos físicos y que son denominados ejemplares, los cuales están depositados en un espacio determinado con el fin de conservarlos y mantenerlos disponibles en el largo plazo (Cristín & Perrilliat 2011).

Así pues, las colecciones biológicas son repositorios de información sobre biodiversidad, suelen ser la base para estudios de sistemática, ecología y biogeografía de diversos taxones, que además proporcionan datos relevantes para planes de manejo y conservación de especies o de un área

determinada (Solé 2009), por lo que resultan fundamentales para la conservación del patrimonio biológico.

Las Ficotecas son colecciones científicas en donde se resguardan ejemplares de algas, tanto microscópicas como macroscópicas. Este tipo de colecciones pueden ser húmedas o secas; la ficoteca húmeda está conformada por especímenes depositados en frascos y viales de vidrio que los conservan en soluciones fijadoras neutralizadas, mientras que la ficoteca seca, está conformada por especímenes deshidratados y prensados, que pueden ser montados en pliegos, fichas o álbumes (García & Solé 2018).

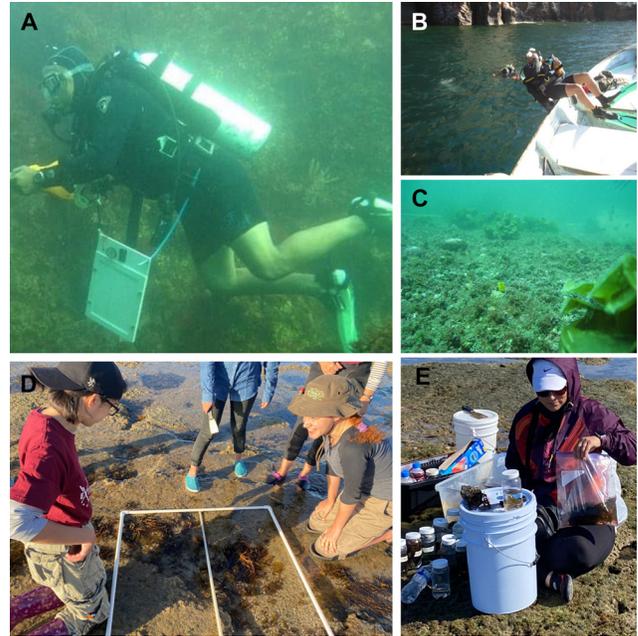
Debido a la importancia de las algas como productores primarios en los ecosistemas marinos, así como sus usos industriales y alimenticios, las ficotecas son indispensables para el estudio y conservación de los ambientes acuáticos, ya que permiten tener un registro de la presencia, distribución y diversidad de taxones de este grupo de organismos.

#### ESTUDIO DE MACROALGAS MARINAS DE LA ZONA LITORAL DEL ESTADO DE SONORA Y APERTURA DE LA FICOTECA DEL HERBARIO USON

En agosto del 2022 se inició el proyecto USO313008046 "Macroalgas marinas de la zona litoral del estado de Sonora", financiado por la Universidad de Sonora, con el objetivo de obtener ejemplares de macroalgas en distintas localidades costeras del estado de Sonora.

Como parte de este proyecto se realizaron muestreos (Fig. 1) en zonas intermareales de Puerto Peñasco (municipio Puerto Peñasco) y submareales de Isla Tiburón (municipio Hermosillo), con base en la metodología propuesta por García & Solé (2018), con algunas modificaciones: los ejemplares fueron depositados en bolsas plásticas resellables debidamente etiquetadas y se fijaron con formaldehído diluido al 4% con agua de mar filtrada mediante una membrana Millipore® de 0.45 µm. Para cada ejemplar se tomó una muestra de tejido que fue depositada en un tubo Eppendorf® etiquetado con el mismo número que el ejemplar al que corresponde la muestra, el cual fue almacenado en un ultracongelador (New Brunswick Scientific® U570) a -80 °C para que pueda ser utilizado en análisis moleculares, químicos y pigmentarios.

Los ejemplares colectados fueron llevados al laboratorio de Ecología Marina del Departamento



**Figura 1.** Colecta de muestras de macroalgas en el litoral de Sonora. **A, B, C:** colecta de macroalgas en la zona submareal de Isla Tiburón. **D, E:** Colecta de macroalgas en zona intermareal de Puerto Peñasco.

de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), donde se identificaron mediante bibliografía especializada (Dawson 1944, Norris & Bucher 1976, Norris 2010, 2014, Readdie *et al.* 2006). La nomenclatura de los taxones fue revisada y actualizada con la consulta de la base de datos AlgaeBase (Guiry & Guiry 2023). Una vez identificados, fueron prensados y deshidratados.

Además de la identificación y el herborizado del material, era necesario contar con un espacio para depositar los ejemplares, para que pudieran ser corroborados y consultados para nuevos estudios. El día 5 de octubre de 2022 se inauguró la Ficoteca del Herbario USON, una colección seca de macroalgas que incluirá principalmente especímenes provenientes del Golfo de California, en especial del litoral sonorense (Fig.2), que se encuentra a cargo de Manuel Higinio Sandoval Ortega.

Esta colección contará con ejemplares de respaldo de los taxones registrados en Sonora, además se incluirá material de otros estados mediante el



**Figura 2.** Evento de inauguración de la Ficoteca del Herbario USON el 5 de octubre de 2022.

intercambio con otras colecciones ficológicas del país. Además, los registros y ejemplares depositados en esta nueva colección científica servirán de apoyo de proyectos de investigación correspondientes a las áreas prioritarias de generación del conocimiento del DICTUS: Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Biociencias Moleculares y Biotecnología.

La ficoteca es una colección anexa al herbario USON, independiente a la de plantas vasculares, que cuenta con una numeración propia y con un formato de etiqueta distinto, en donde se incluyen datos importantes del ambiente donde habitan estos organismos, como la profundidad en la que fueron colectados, la temperatura del agua, el sustrato y si el ejemplar fue fijado en formol o no (Figura 3). Físicamente, esta colección ficológica se encuentra en la sala “José Jesús Sánchez Escalante” del Museo y Biblioteca de la Universidad de Sonora, en la ciudad de Hermosillo, mientras que las muestras de tejido están almacenadas en el ultracongelador del Laboratorio de Ecología Marina, en el edificio 7G de Ciudad Universitaria, también en la ciudad de Hermosillo.

El reglamento para las visitas a la ficoteca, la consulta del material y el intercambio con otras instituciones es el mismo que para las demás colecciones del Herbario USON y puede consultarse en apartado de políticas y reglamento de la página oficial del Herbario: <http://herbario.uson.mx/> Cada ejemplar que ingresa a la Ficoteca del herbario USON recibe un folio y se registra en el libro del herbario de la colección de algas (Fig. 3). Adicionalmente, se cuenta con una base de datos que es administrada a través del portal Macroalgal Herbarium Consortium ([www.macro-](http://www.macro-)

**FICUSON**

**A**

**FAMILIA**

**Nombre científico**

**Det:** nombre de quien identificó y fecha

**PAIS:** Estado. Mpio.: Localidad y hábitat (el hábitat es opcional). coordenadas, profundidad, temperatura.

**Col:** nombre del colector      *número de colecta*      fecha de colecta

**Observaciones:**

**B**

	Familia	Especie	Colector	# de colecta	Fecha
000001	Gracilariaceae	Codium sp.	E. J. Pérez-Monje	8	22/04/2022
000002	Cuclariaceae	Codium vesiculosum Philia	E. J. Pérez-Monje	6	22/04/2022
000003	Sargassaceae	Sargassum sinclairii	E. J. Pérez-Monje	1	22/04/2022
000004	Halymeniaceae	Halymenia setigera	E. J. Pérez-Monje	4	22/04/2022
000005	Desmarestiaceae	Desmarestia sp.	P. Lozano-Begano	7	22/04/2022
000006	Scytosiphonaceae	Cutleria tuberculata	P. Lozano-Begano	4	22/04/2022
000007	Scinaiaceae	Scinaia johnstoniae	E. J. Pérez-Monje	3	22/04/2022
000008	Rhodomeniaceae	Rhodomenia dissoluta	P. Lozano-Begano	2	22/04/2022
000009	Cutleriaceae	Cutleria sp.	P. Lozano-Begano	6	22/04/2022
000010	Scinaiaceae	Scinaia sp.	P. Lozano-Begano	8	22/04/2022
000011	Halymeniaceae	Halymenia sp.	P. Lozano-Begano	1	22/04/2022
000012	Rhodomeniaceae	Rhodomenia sp.	P. Lozano-Begano	3	22/04/2022
000013	Dyctotaceae	Dyctota sp.	E. J. Pérez-Monje	5	22/04/2022
000014	Rhodomeniaceae	Rhodomenia sp.	P. Lozano-Begano	2	22/04/2022
000015	Gracilariaceae	Codium sp.	E. J. Pérez-Monje	1	22/04/2022

**Figura 3. Imagen superior:** Formato de la etiqueta de los ejemplares depositados en la colección. **Imagen inferior:** Libro de registros de la Ficoteca del Herbario USON.

algae.org/portal/). El uso de este portal facilita el acceso a la información, pues permite que los datos de cada espécimen sean consultados en línea, además de que pueden incluirse fotografías tomadas durante el proceso de identificación del material, así como del ejemplar herborizado (Fig. 4) y antes de herborizar. La ficoteca, al igual que la colección de plantas vasculares de USON, tiene como regla ingresar los registros de los ejemplares a la base de datos disponible en línea antes de que el material ingrese físicamente a los gabinetes de la colección.

Los ejemplares de macroalgas depositados en la colección están separados en tres grandes grupos: Rhodophyta, Phaeophyceae y Chlorophyta. Dentro de cada uno de estos grupos los ejemplares están organizados alfabéticamente por familias, géneros y especies.

La Ficoteca del Herbario USON incluye, hasta el momento, 76 ejemplares de macroalgas (Fig. 5) resultado de la primera etapa del proyecto USO313008046. Este material pertenece a nueve familias: Gracilariaceae, Sargassaceae, Halymeniaceae, Desmarestiaceae, Scytosiphonaceae, Scinaiaceae, Rhodomeniaceae, Cutleriaceae, Dyctotaceae, Rhodomelaceae, 11 géneros y 16 especies, que fueron colectados en los municipios Puerto Peñasco y Hermosillo. Los registros de la colección pueden consultarse en el siguiente enlace:



**Ficoteca del Herbario de la Universidad de Sonora (UNISON-Ficoteca-USON)**

La Ficoteca del Herbario USON, es una colección seca de macroalgas que incluye principalmente especímenes provenientes del Golfo de California, en especial del litoral sonorense. Aunque se encuentra físicamente en el mismo edificio, la Ficoteca funciona como una colección independiente a la de plantas vasculares, con una numeración y organización propia.

El objetivo de esta colección es conservar ejemplares de macroalgas que sirven como registro de los taxones reportados para los mares de Sonora, con lo que se contribuye al conocimiento de la riqueza biológica de los ecosistemas marinos del estado, así como del patrimonio natural del país.

Curador: Manuel Higinio Sandoval Ortega, manuelhiginio.sandoval@unison.mx

Collection Type: Preserved Specimens

Management: Live Data managed directly within data portal

Global Unique Identifier: F5c81123-271-410d-9e56-416e5d6e9947

Live Data Download: [Data Access File](#)

Digital Metadata: [EML File](#)

Usage Rights: [CC0 1.0 \(Public domain\)](#)

---

**Ficoteca del Herbario de la Universidad de Sonora**

Gratilaria vermiculophylla (Orme) Piperno	1	2022-04-22
Full Record Details		
Codium fasciata E. Y. Dawson	9	2022-04-22
Full Record Details		
Gratilaria lemaneiformis M. Howe	1	2022-04-22
Full Record Details		
Dasyatisella arida J. V. Lamourou	2	2022-04-22
Full Record Details		
Codium subcylindricum D. A. Skerrett	9	2022-04-22
Full Record Details		

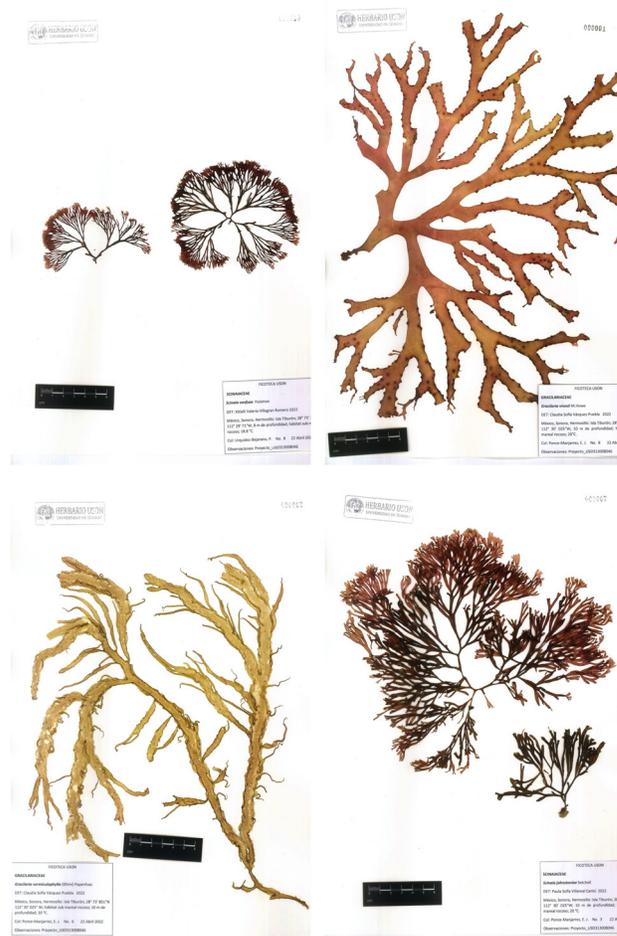
**Figura 4.** Colección digital de la Ficoteca del Herbario USON en el portal Macroalgal Herbarium Consortium. **Imagen superior:** Perfil de la colección; **imagen inferior izquierda:** Listado de algunos de los registros con imágenes, **imagen inferior derecha:** Detalle del registro de un ejemplar de *Scinia johnstoniae* Setch., en el que se muestran fotografías del ejemplar antes y después de ser herborizado

<https://macroalgae.org/portal/collections/misc/collprofiles.php?collid=72>

Falta mucho por hacer respecto al conocimiento de las macroalgas del estado de Sonora, que es el segundo más grande del país y cuyo territorio marítimo corresponde a uno de los océanos más diversos del mundo, por lo que es necesario continuar con la elaboración de inventarios, que aumenten el número de registros y que den a conocer la distribución de los distintos taxones, para evaluar las poblaciones y biología de estos. Para lograrlo, será necesario formar grupos interdisciplinarios, para facilitar el acceso a la información generada y la colaboración con distintas instituciones y organizaciones tanto nacionales como extranjeras. Con la apertura de esta nueva colección el Herbario de la Universidad de Sonora se diversifica y contribuye al conocimiento de la riqueza biológica de los ecosistemas marinos sonorenses, así como del patrimonio natural del país.

**REFERENCIAS**

Aguilar-Rosas, L.E., R. Aguilar-Rosas, L.E. Mateo-Cid, & A.C. Mendoza-González. 2002. Marine algae from the Gulf of Santa Clara, Sonora, Mexico. *Hydrobiologia* 477: 231-238. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021003909478>



**Figura 5.** Muestra de algunos ejemplares de macroalgas depositados en la Ficoteca del Herbario USON.

Arriaga-Cabrera, L., V. Aguilar-Sierra & D. Alcocer-Durand. 2000. *Agua continental y diversidad biológica de México*. CONABIO, México.

Bouri, I., O. Rouane-Hacene, & Z. Boutiba. 2021. Ecological diagnosis of the marine environment of the Algerian West Coast using benthic macroalgae. *Ukrainian Journal of Ecology* 11: 13-20. DOI: [https://doi.org/10.15421/2021\\_262](https://doi.org/10.15421/2021_262)

Chakraborty, S., T. Bhattacharya, G. Singh, & J.P. Maity. 2014. Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: A biomonitoring approach for pollution assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 100: 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.12.003>.

Contreras-Espinosa F. 2010. *Ecosistemas costeros mexicanos: Una actualización*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Costello, M.J., M. Coll, R. Danovaro, P. Halpin, H. Ojaveer, & P. Miloslavich. 2010. A census of marine biodiversity knowledge, resources, and future challenges. *PLoS*

- ONE 5(8): e12110. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012110>
- Cristín, A. & M.C. Perrilliat. 2011. Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 63: 421-427. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222011000300004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222011000300004&lng=es&nrm=iso)
- Dawes, C.J. 1986. *Botánica Marina*. Limusa, México.
- Dawson, E.Y. 1944. The marine algae of the gulf of California. *Allan Hancock Pacific Expeditions*. Vol. 3, No. 10, University of Southern California Press, Los Angeles.
- Dawson, E.Y. 1966a. Marine algae in vicinity of Puerto Peñasco Sonora, Mexico. *The University of Arizona, Gulf of California field guide series 1*, Arizona.
- Dawson, E.Y. 1966b. New records of marine algae from the Gulf of California. *Journal of the Arizona Academy of Sciences* 4: 55-66.
- Espinoza-Ávalos, J. 1993. Macroalgas Marinas del Golfo de California. In: Salazar-Vallejo, S.I. & N. E. González. Eds. *Biodiversidad Costera y Marina de México*. CONABIO y CIQRO, México, pp. 328-357.
- Foulton, C.J., C. Berkström, S.K. Wilson, R.A. Abesamis, M. Bradley, C. Åkerlund, L.T. Barrett, A.A. Bucol, D.H. Chacin, K.M. Chong-Seng, D.J. Coker, M. Depczynski, L. Eggertsen, M. Eggertsen, D. Ellis, N.A.J. Graham, A.S. Hoey, T.H. Holmes, M. Kulbicki, P.T.Y. Leung, P.K.S. Lam, J. van Lier, P.A. Matis, M.M. Noble, A. Pérez-Matus, C. Piggott, B.T Radford, S. Tano, & P. Tinkler. 2020. Macroalgal meadow habitats support fish and fisheries in diverse tropical seascapes. *Fish and Fisheries* 21: 700-717. <https://doi.org/10.1111/faf.12455>
- García, G. & M. Solé. 2018. *Manual de procedimientos y gestión de herbarios y ficotecas de macroalgas*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas.
- Godínez-Ortega, J.L. 2008. Colectores de Algas de México (1787-1954). *Acta Botánica Mexicana* 85: 75-97. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm85.2008.1074>
- Guiry, M.D., & G.M. Guiry. 2023. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org> (consultado 26 de enero de 2023).
- Hariot, P. 1895. Algues du Golfe de Californie, recueillies par M. Diguët. *Journal de Botanique* 9: 167-170.
- Hollenberg, G.J. & J.N. Norris. 1977. The red alga *Polysiphonia* (Rhodomelaceae) in the Northern Gulf of California. *Smithsonian Contributions Marine Sciences* 1: 1-21.
- Huerta-Múzquiz, L. & A.C. Mendoza-González. 1985. Algas marinas de la parte sur de Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Phytologia* 59: 35-57. Accesible en: BioStor: <https://biostor.org/reference/208345>
- Mateo-Cid, L.E., & A. Mendoza-González. 1994. Algas marinas bentónicas de Todos Santos, Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 29: 31-47. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm29.1994.721>
- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González, C. Galicia-García & 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* 53: 55-73. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm52.2000.856>
- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González, R. Aguilar-Rosas & L.E. Aguilar Rosas. 2006. Algas marinas bentónicas de Puerto Peñasco, Sonora, México. *Hidrobiológica* 16: 45-65. Accesible en: <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1008>
- Mateo-Cid, L.E., I. Sánchez-Rodríguez, Y.E. Rodríguez-Montesinos & M.M. Casas-Valdez. 1993. Estudio florístico de las algas marinas bentónicas de Bahía Concepción, B.C.S., México. *Ciencias Marinas* 19: 41-60. DOI: <https://doi.org/10.7773/cm.v19i1.921>
- Melville, F. & A. Pulkownik. 2006. Investigation of mangrove macroalgae as bioindicators of estuarine contamination. *Marine Pollution Bulletin* 52: 1260-1269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.02.021>
- Mendoza-González, A.C. & L.E. Mateo-Cid. 1986. Flora marina bentónica de la costa noroeste del estado de Sonora, México. *Phytologia* 60: 414-427. Accesible en: <https://biostor.org/reference/208377>
- Norris, J.N. 1972. Marine algae of the 1969 cruise of "Makrele" to the northern part of the Gulf of California. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 32: 1-30. Accesible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/19fe/ba31953c8e3f0d463622c9bfac790da21692.pdf>
- Norris, J.N. 2010. Marine Algae of the Northern Gulf of California: Chlorophyta and Phaeophyceae. *Smithsonian Contributions to Botany* 94, Washington, D.C.
- Norris, J.N. 2014. Marine alga of the northern Gulf of California II: Rhodophyta. *Smithsonian contributions to Botany* 96, Washington, D.C.
- Norris, J.N., L.E. Aguilar-Rosas, & F.F. Pedroche. 2017. *Conspectus of the benthic marine algae of the Gulf of California: Rhodophyta, Phaeophyceae, and Chlorophyta*. Smithsonian Institution Scholarly Press, Washington, D.C.
- Norris, J.N. & 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, Washington, D.C.
- Norris, J.N. & H.W. Johansen. 1981. Articulated coralline algae of the Gulf of California, México, I: *Amphiroa* Lamouroux. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences* 9, Washington, D.C.
- Norris, R.E. & J.N. Norris. 1973. *Kallymenia pertusa* (Rhodophyceae, Crytonemiales) from the Gulf of California. *Phycologia* 12: 71-74. DOI: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-12-1-71.1>

- Papenfuss, G. F. 1976. Landmarks in Pacific North American marine phycology. In: I.A. Abbott & G.J. Hollenberg. Eds. *Marine algae of California*. Stanford University Press, Stanford.
- Readdie, M.D., M. Ranelletti, & R.M. McCourt. 2006. *Common seaweeds of the Gulf of California*. Sea Challengers, Monterey.
- Rocha-Ramírez, V. & D.A. Siqueiros-Beltrones. 1991. El herbario ficológico de la UABCS: Elenco florístico de macroalgas para Balandra en la bahía de la Paz, BCS, México. *Revista Investigación Científica UABCS* 2: 13-33.
- Rodríguez-Vargas, D., C.F. Candelaria-Silva & N.A. López-Gómez. 2010. *Informe final del Proyecto FE014 Macroalgas marinas de la Región de Zihuatanejo, Gro. CONABIO, México*.
- Setchell, W.A. & N.L. Gardner. 1924. Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921. *The marine algae. Proceedings of the California Academy of Sciences* 12: 695-949.
- Solé, M. 2009. Colección de tipos de macroalgas marinas del Herbario del Museo Oceanológico Hermano Benigno Román (MOBR). *Acta Botánica Venezuelica* 32: 225-236.

Sometido: 27 de enero de 2023

Revisado: 25 de febrero de 2023 (2 revisores anónimos)

Corregido: 9 de marzo de 2023

Aceptado: 10 de marzo de 2023

# Citar a las autoridades y años de publicación en los taxones algales. Pose, costumbre o razón fundada.

## Citation of the authorities and years of publication in algae taxa. Pose, custom, or well-founded reason.

**Francisco F. Pedroche<sup>1</sup> y Eberto Novelo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Comité Internacional de Nomenclatura – sección Algas.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Metropolitana-Lerma & University Herbarium, University of California at Berkeley, USA.  
Email: fpedroche@correo.ler.uam.mx

<sup>2</sup>Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Pedroche, F.F. y E. Novelo. 2022. Citar a las autoridades y años de publicación en los taxones algales. Pose, costumbre o razón fundada. *Cymbella* 8(2-3): 46-52.  
<https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2022.8.2-3.3>

### RESUMEN

El mencionar a las autoridades y años de publicación, como parte de los taxones que se señalan en una publicación, parece ser una norma que los autores siguen por costumbre o por la imposición de las normas editoriales de las publicaciones. ¿Cuál es el significado e importancia que estos tienen y la forma correcta de citarlos? En la presente contribución y como una buena práctica, explicamos y sugerimos el uso correcto y adecuado de los componentes de un nombre científico en algas y la intención que tiene el agregar a este nombre la fecha de publicación de su descripción. Ambos descriptores tienen como función remitir al investigador a la circunscripción que define y delimita a cada taxón, fundamento para una acertada identificación.

### ABSTRACT

Mentioning the authorities and years of publication as part of the taxa mentioned in a publication seems to be a norm that the authors follow out of habit or due to the imposition of the editorial standards of publications. What is the meaning and importance of these, and the correct way to quote them? In this contribution and as a good practice, we explain and suggest the proper and appropriate use of the components of a scientific name in algae and what is the intention of adding

the date of publication of its description to this name. Both descriptors refer the researcher to the circumscription that defines and delimits each taxon, the basis for correct identification.

Durante la preparación del número especial de *Hidrobiológica*, en conmemoración del 175 aniversario del inicio del inventario ficológico de México (<https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/re-vHidro/issue/view/107>), varios autores mostraron interés sobre cómo citar a las autoridades de los taxones en su trabajo. En la práctica taxonómica es común que sigamos los consejos o enseñanzas de nuestros maestros sobre la materia, en este caso la nomenclatura. Algunos están habituados a colocar solo el nombre de los taxones sin autoridades, otros colocan a las autoridades, pero, además, incorporan el año de publicación. Como hemos reiterado en esta serie de contribuciones, la intención es generar buenas prácticas en taxonomía y nomenclatura basadas en las orientaciones brindadas por el Código Internacional (Turland *et al.* 2018); por ello, colocamos por lo general referencias a algunos de los artículos, recomendaciones o ejemplos citados en él. En esta ocasión trataremos de contestar la pregunta ¿cuándo y cómo citar a las autoridades y años de publicación en los taxones que se mencionan en una publicación? Contenido relacionado a

este tema lo hemos compartido con anterioridad (Novelo & Pedroche 2020). Empezaremos con distinguir entre nombre y taxón. Un nombre, como menciona Turland (2019), es un concepto diferente al de taxón: “un taxón es un grupo real de organismos, mientras que un nombre es la etiqueta aplicada a ese grupo como medio de referencia. Se describe un taxón, mientras que un nombre se publica y se aplica a un taxón”. **El nombre de un taxón** puede ser el nombre de una especie (*Codium picturatum*), el de un género (*Cymbella*) o de una familia (Vaucheriaceae), y las reglas de conformación y su ámbito de validez o legitimidad han sido tratadas en su oportunidad (Pedroche & Novelo 2021a, 2022). Sin embargo, el **nombre científico**, aunque no definido por el Código, incorpora además del nombre del taxón, a las autoridades que lo describieron o que modificaron su nomenclatura. Si el Art. 46.1 establece que en las publicaciones de taxonomía y nomenclatura “**puede ser deseable** citar al autor de los nombres”, entonces ¿por qué la mayoría de los trabajos los incluyen?

## INCLUIR O NO A LAS AUTORIDADES

Como mencionábamos arriba muchas prácticas son llevadas a cabo por tradición, inercia o costumbre, pero habría que detenerse para analizar lo que está implícito al citar un nombre científico (epítetos + autoridades). Cada nombre indefectiblemente está ligado a su circunscripción, posición y rango (Pedroche 2019), esta circunscripción se encuentra o se traduce del protólogo, que alguien escribió resultado del análisis de su o sus ejemplares objeto de descripción. Esta circunscripción es la base de comparación para identificar acertadamente a qué grupo o taxón pertenece una muestra de la Naturaleza. Entonces, cuando se coloca al autor o autores de un nombre significa que estamos refiriéndonos a la circunscripción propuesta por él o ellos como el descriptor de ese taxón. Por ejemplo, si mencionamos: *Chondracanthus bajacalifornicus* Hughey et Hommersand, significa que nuestros ejemplares se ajustan a la circunscripción dada por estos autores en su descripción, que se encuentra en la página 147 de su publicación (Hughey & Hommersand

DESCRIPTION: Thalli 6–12 cm high, cartilaginous, yellowish to brownish red or purplish black, forming stiff, densely branched clumps arising from a discoid holdfast that is stoloniferous at the base (Figs 42–46); erect shoots terete to compressed, 1–2 mm wide, typically branched at the base with long axes that are either simple or once or twice forked above, vegetative axes naked, becoming densely crowded on all sides above by short, branched ramuli or bladelets in fertile thalli; cortex of 7–8 layers of cells, medullary cells variable in size and shape, 1.5–17  $\mu\text{m}$  diameter. Cystocarps papillate, 665–875  $\mu\text{m}$  in diameter, borne in bladelets on crowded simple or 1–2 times forked branchlets in the upper 1/3 axis, and naked or armed with short spines around the ostiole (Figs 47, 48); carpospores subspherical, 15–25  $\mu\text{m}$  in diameter. Spermatangial plants feathery, with distichously branched or flattened ramuli that appear echinate (Figs 43, 49). Tetrasporangial sori 140–280  $\mu\text{m}$  in diameter, irregularly distributed on 2–3 times distichously divided branchlets (Fig. 50); tetrasporangia narrow, ellipsoidal, 12–15  $\mu\text{m}$  broad by 22–30  $\mu\text{m}$  long, formed in chains 4–6 cells long.

**Figura 1.** Descripción de *Chondracanthus bajacalifornicus*, tomada de Hughey & Hommersand (2008, p. 147).

2008) (Fig. 1). Si mencionamos *Scenedesmus communis* Hegewald, nuestros ejemplares serán similares a los descritos por Hegewald en 1977 en las páginas 151 y 152 (Hegewald 1977) (Fig. 2).

Puede ser que los autores de un estudio no hayan recurrido a la publicación original, sino a algún trabajo que reúne, en calidad de flora, las descripciones de diversos taxones; como, por ejemplo, Abbott & Hollenberg (1976) o Komárek & Fott (1983). En este caso, si se utilizan esas descripciones para identificar o determinar a los ejemplares del estudio, se puede usar la denominación **en el sentido o interpretación de (sensu)**, en el caso de Abbott & Hollenberg, inclusive enfatizando que no se trata de la circunscripción original, *Agardhiella coulteri* sensu Kylin, 1941 non *Agardhiella coulteri* (Harvey) Setchell (Norris, 2014). O en el caso de Komárek & Fott que no se trata del original *Scenedesmus quadricauda* sino de la versión *sensu* Chodat 1913 non

*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson 1835, aunque la autoridad original se mencione.

Es importante no confundir el uso de *sensu* con la condición de sinonimia (Pedroche & Novelo 2021b). Una tercera opción, no recomendable, es recurrir a la nomenclatura abierta (Pedroche & Novelo 2020). Algunas publicaciones (especialmente floras) que son utilizadas corrientemente como referencias para la identificación incluyen nombres de autoridades distintos al correcto, generalmente se copia el nombre de la especie con esos errores y eso crea confusiones como el caso de *Caloneis bacillum* (Grunow) Mereschowsky que aparecen en Germain (1981) y en Hustedt (1930) y no la autoridad correcta: (Grunow) P. T. Cleve y por eso es importante corroborar los nombres en las bases de datos nomenclaturales (INA, AlgaeBase, bdLACET), aunque ellas también no están exentas de errores.

**Scenedesmus communis** HEGEWALD spec. nov. (Figs 12, 13)

**Synonymes :**

*S. quadricauda* BRÉB. in BERNARD: Sur quelques algues unicellulaires d'eau douce recoltées dans le domaine Malaise, Figs. 164, 167 non 165, 166, 1909.

*S. quadricauda* BRÉB. ex CHODAT: Matériaux pour la Flore Cryptogamique Suisse 4, 2: p. 53, Figs. 38 et 39, 1913.

*S. quadricauda* CHODAT: Revue de Hydrologie 3: p. 229, Fig. 133, 1926.

non *S. quadricauda* (TURP.) BRÉB.: Mém. Soc. Acad. Falaise, p. 66, 1835,

non *S. quadricauda* (TURP.) RALFS. The British Desmidiaceae, p. 190, 1848.

*S. quadricauda* f. *granulatus* HORTOB. p.p.: Nova Hedwigia 1: 371–372, Figs. 217, 218 non 219, 224, 225, 1960.

*S. quadricauda* var. *obtusospinosus* HORTOB.: Nova Hedwigia 1: 374, Fig. 223, 1960.

*S. quadricauda* var. *crassicaudatus* HORTOB.: Nova Hedwigia 1: 372, Fig. 240, 1960.

Not enumerated are all figures from literature which are *S. communis* but named wrongly. Excluded are all taxa of „*S. quadricauda* (TURP.) BRÉB.“ not mentioned above and all taxa given as synonyms of „*S. quadricauda*“ in KOMÁREK & LUDVÍK (1972).

**Description :** Coenobia 2–4–8 celled, in one row, inner cells with rounded poles, outer cells with tapered poles, diagonal to the axis of the cell with one spine at each pole. The outermost cell wall layer is visible between the poles of cells (with phase contrast microscope), dilated in young coenobia, reduced in old coenobia. Cell size 7.8–20.4 × 2.3–6.6 µm. Pyrenoid usually clearly visible. The rosettes („apical openings“) are often visible on the poles, spines are never found on the inner cells of coenobium. The species does not produce mucilage. Electron microscopic structures are a network, lifted by props with square outline. Rosettes, which are often visible in the light microscope, are composed of props which are usually connected at the top. The species is definitively known from Europe (Finland, Germany, Hungary, Italy), Jamaica, Peru, India, but is certainly cosmopolitan, although rare in the tropical lowlands. *S. communis* probably prefers moderate temperatures and slightly eutrophicated waters.

*S. communis* is distinguished from *S. protuberans* FRITSCH et RICH by the smaller size dimensions and the only slight differences between outer and inner cells of coenobium.

**Type figure :** Fig. 12, upper figure.

**Figura 2.** Descripción de *Scenedesmus communis*, tomada de Hegewald 1977.

## INCLUIR O NO LOS AÑOS DE PUBLICACIÓN EN UN NOMBRE CIENTÍFICO

Si el estudio de algún grupo implica el análisis, revisión o incluso modificación (ampliación, fragmentación o reducción) de la circunscripción, es deseable la cita del año de publicación del protólogo, la cual siempre debe ser considerada en la sección de referencias. No se debe incluir la fecha, sin la inclusión de la referencia completa en la bibliografía. Refirámonos nuevamente al Art. 46.1 "En algunas publicaciones..., puede ser deseable citar al autor o a los autores del nombre considerado, **aun cuando no se haga referencia bibliográfica al protólogo**. Al hacerlo, se aplican las siguientes reglas..." Es decir, se puede colocar el autor sin el año de publicación; por ejemplo, *Champia* Desvaux o *Scenedesmus* Meyen. Por el contrario, si se considera importante enfatizar y referir al lector a la circunscripción original, la forma adecuada (Turland *et al.* 2018) es: *Champia* Desvaux (Jour. Bot. Desvaux 1: 243-246. 1809), *Scenedesmus* Meyen (Verh. K. Leopold.-Carol. Akad. Naturf. 14: 774. 1829) (¡como referencia, no cita!). Es común ver las formas *Champia* Desvaux (1809) o *Champia* Desvaux, 1809, (con coma) que no son las adecuadas pero que si se usan necesariamente implican la cita en extenso en la sección de Referencias o Bibliografía citada de nuestro texto. De otra manera el lector no podría referirse al trabajo original, para resolver dudas o para considerar la fecha en el principio de prioridad (ver Principio III y Sección 3) (Pedroche 2018). Estas reglas se aplican a cualquier rango taxonómico (género, familia, etc.).

Al considerar la referencia y el año de la descripción original existe la posibilidad de conocer los puntos de partida históricos y geográficos de la especie, un investigador puede reconstruir el avance en el conocimiento de esa especie a partir de la fecha y lugar original. Y esa es una información valiosa al momento de asignar un nombre en nuestras latitudes.

Importante es recordar que cuando en el Código no hay una regla o recomendación explícita, los ejemplos mostrados son la pauta por seguir. En este caso concreto, todos los ejemplos impresos son de esta índole; sin embargo, como hemos apuntado reiteradamente, el Código trata de consensuar y armonizar, no de imponer. Los investigadores tenemos toda la libertad de expresión, aunque las revistas y los editores son los que en ocasiones recomendamos, orientamos o sancionamos.

Si como resultado de nuestro trabajo se modifica sustancialmente la circunscripción, hay que indicarlo en la publicación objeto, incorporando

la abreviatura emend. (*emendavit*), seguida por el autor que enmendó (Rec. 47A.1). Se utiliza cuando los caracteres diagnósticos (circunscripción) de un taxón se alteran, **sin exclusión del tipo** (Turland 2019). Por ejemplo, la circunscripción original del género *Laurencia* data de 1813 (Lamouroux 1813) (Fig. 3) y aunque las observaciones de Lamouroux complementan la breve descripción del género, la circunscripción se reduce a "Tubérculos globosos, un poco gigartinoides, situados en los extremos de las ramas y sus divisiones". Esta circunscripción fue enmendada por Nam *et al.* (1994), como puede verse en la figura 4, al reconocerse que algunas especies descritas dentro de *Laurencia* presentaban características reproductivas diferentes, que justificaban su posición en otro género, el género *Osmundea*. La descripción que se muestra en AlgaeBase (Guiry & Guiry 2022) debería ser citada como *Laurencia sensu* Metti *et al.* 2018 (Metti *et al.* 2018), pues no es la de Lamouroux (1813), ni la de Nam *et al.* (1994). En el caso de *Scenedesmus*, tenemos varias versiones. La descripción original de Meyen se muestra en la figura 5. En cambio, una versión más reciente aparece en la figura 6 (Schubert & Gärtner 2015), mientras que la descripción de AlgaeBase es la versión *sensu* Hegewald & Garbary (modificada por M. Guiry).

En estos géneros ¿cuál circunscripción deberíamos de seguir? En el caso de *Laurencia*, la enmendada por Nam *et al.* y debe citarse *Laurencia* Lamouroux emend. Nam *et al.* Por lo que respecta a *Scenedesmus*, en ninguna de las interpretaciones posteriores a Meyen los autores indican que la circunscripción ha sido modificada (enmendada); por lo tanto, la original sigue vigente. Al no enmendar, la estabilidad nomenclatural se ve en riesgo ¿cuánto durará una interpretación?, ¿realmente incorpora los rasgos presentes en el holotipo?, ¿los atributos nuevos incorporados corresponden a poblaciones relacionadas con el material original?, ¿se recurrió a ejemplares de la localidad tipo? Como mencionábamos párrafos arriba los errores se perpetúan y pueden distorsionar la interpretación e identidad de un taxón.

## RECOMENDACIONES

Las autoridades son parte fundamental del nombre científico de un taxón y deben de ser incorporadas siempre en trabajos de índole taxonómica, florística o de sistemática. En trabajos de otra índole, podría ser suficiente el nombre del taxón, cuando no está involucrada una referencia a la circunscripción de este. Siempre que se utilice la fecha de publicación como complemento al nom-

5<sup>e</sup>. GENRE. *LAURENCIA*.

J'ai dédié ce genre à M. de Lalaurencie, ancien officier de marine, inspecteur d'académie dans l'université impériale, amateur des sciences naturelles, en témoignage de ma sincère amitié.

*Fructif.* Tubercules globuleux, un peu gigartins, situés aux extrémités des rameaux et de leurs divisions.

*Fructif. Tubercula globulosa subgigartina, in extremitate ramorum aut ramulorum innata.*

**Observ.** Les caractères des thalassiphytes à organisation corolloïde, tels que ceux que l'on tire de l'organisation, de la fructification, de la couleur, etc., s'observent dans les laurencies d'une manière aussi tranchée et aussi constante que dans les autres genres de cette belle famille.

L'organisation offre un tissu plus lâche que celui des gélidies et des chondrus.

La fructification est constamment située à l'extrémité des grands et des petits rameaux, qui sont ordinairement divisés en trois ou quatre parties et entièrement chargés de tubercules. Il arrive souvent qu'à l'époque de la maturité des graines, les enveloppes du tubercule se déchirent, et les capsules sont mises à nu; elles ne quittent cependant la plante que lorsqu'elle se décompose. Plusieurs espèces offrent la double fructification particulière à cette famille.

Les couleurs ne sont pas en général aussi brillantes que celles des gélidies, mais elles l'emportent sur celles des chondrus.

Les laurencies paroissent plus tendres que les plantes du genre précédent, mais elles ne se réduisent point en gelée. Quelques espèces développent, à certaines époques de l'année, une saveur âcre et brûlante qui les fait employer comme assaisonnement par les Irlandais et d'autres nations des régions polaires.

Les laurencies varient beaucoup; elles diffèrent également dans les divers états de leur croissance, ce qui a rendu leur synonymie très-obscur.

Elles sont toutes annuelles.

**Figura 3.** Circunscripción del género *Laurencia* con observaciones del propio autor (tomado de Lamouroux 1813, p. 130).

***Laurencia* Lamouroux (1813, p. 42) gen. emend.**

Apical cell always sunk in an apical pit of branchlet; central axis recognizable only near apical cell; forming extensive cortical tissue; spermatangial branches produced from trichoblasts arising from axial cells in the apical pit of branchlets; tetrasporangia produced from particular pericentral cells.

**TYPE SPECIES:** *Laurencia obtusa* (Hudson) Lamouroux (1813, p. 42).

**LECTOTYPE:** BM-K, ex Herb. Hudson (Maggs & Hommersand 1993).

**BASIONYM:** *Fucus obtusus* Hudson (1778, p. 586).

**Figura 4.** Circunscripción enmendada del género *Laurencia* (tomada de Nam *et al.* 1994, p. 394).

## II. SCENEDESMUS mihi. (ν. σκηνί und δειρός.)

*Alga taeniaeformis, sine thallo proprio, e cellulis ellipticis aequalibus, lateraliter in seriem planam aggregatis formata. Sporulae massa sporacea grumosa viridis coloris obvolutae in cellulis (sporangiiis) regulariter dispositae.*

**Figura 5.** Descripción de *Scenedesmus* (tomada de Meyen 1829, p. 774).

### *Scenedesmus* Meyen (Figs. 27D and 30B)

Colony 2 to 4 to 8 to 16 to (32) celled, flattened, with long axes of cells parallel, laterally adjoined, arranged in single linear or alternating series, cells ellipsoidal, ovoid, or crescent-shaped or tapering towards each end, cell wall smooth, spines absent, chloroplast parietal, usually with one pyrenoid, phytoplankton of rivers, ponds, and lakes. Probably the most commonly reported genus of coccoid green algae worldwide and frequently abundant in nutrient-rich (especially high inorganic N) waters; commonly co-occurs with other genera from the coccalean algae (spine-producing species, such as *S. armatus*, now classified in the genus *Desmodesmus*). Species in this genus have been reported from all regions of North America from arctic to tropical biomes.

**Figura 6.** Descripción de *Scenedesmus* (tomada de Schubert & Gärtner 2015, p. 362).

bre científico o como elemento al principio de prioridad, deberá de citarse la publicación referida y siguiendo el formato propuesto por el Código y que sigue el Index Nominum Algarum (INA, 2022) (por ejemplo: *Scenedesmus communis* E. Hegewald. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 51: 151, figs. 12, 13. 1977). En AlgaeBase se cita la publicación, no la referencia particular de la descripción de la especie (por ejemplo: *Scenedesmus communis* E. Hegewald 1977: 151, figs. 12, 13. Published in: Hegewald, E. (1977). *Scenedesmus communis* Hegewald, a new species and its relation to *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. *Archiv für Hydrobiologie* 19 (Suppl. 51 (Algological Studies): 142-155).

### AGRADECIMIENTOS

FFP agradece al Dr. Yuri Okolodkov el intercambio de ideas sobre este tema, que derivaron en la presente contribución.

### REFERENCIAS

Abbott, I.A. & G.J. Hollenberg. 1976. *Marine Algae of California, Chrysophyta. Chlorophyta. Phaeophyta. Rhodophyta*. Stanford University Press, Stanford.

Germain, H. 1981. *Flore des Diatomées. Diatomophycees. Eux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe Occidentale*. Société Nouvelle des Editions Boubée, Paris.

Guiry, M.D. & G.M. Guiry. 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland,

Galway, <https://www.algaebase.org>

Hegewald, E. 1977. *Scenedesmus communis* Hegewald, a new species and its relation to *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. *Archiv für Hydrobiologie* 19 (Suppl. 51 Algological Studies): 142-155.

Hughey, J.R. & M.H. Hommersand. 2008. Morphological and molecular systematic study of *Chondracanthus* (Gigartinales, Rhodophyta) from Pacific North America. *Phycologia* 47:124-155. <https://doi.org/10.2216/07-36.1>

Hustedt, F. 1930. *Bacillariophyta* (Diatomeae) In: A. Pascher. Ed. *Die Süßwasserflora Mitteleuropas* 10. Gustav Fischer Verlag, Jena.

Komárek, J. & B. Fott. 1983. *Chlorophyceae* (Grünalgen). Ordnung: *Chlorococcales*. In: G.E. Huber-Pestalozzi. Ed. *Das Phytoplankton des Süßwassers, Systematik und biologie*. Vol. 16/7.1. Schwizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Lamouroux, J.V.F. 1813. Essai sur les genres de la famille des thalassiophytes non articulées. *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle [Paris]* 20: 21-47, 115-139, 267-293, lám. 117-113.

Index Nominum Algarum, (INA) University Herbarium, University of California, Berkeley. Compiled by Paul Silva. <http://ucjeps.berkeley.edu/CPD/>

Metti, Y., J.M. Huisman, & A.J. K. Millar. 2018. *Laurencia*. In: J. Huisman. Ed. *Algae of Australia. Marine benthic algae of north-western Australia*. 2. Red algae. ABRS & CSIRO Publishing, Canberra & Melbourne. pp 521-529.

Meyen, F.J.F. 1829. Beobachtungen über einige niedere Algenformen. *Nova Acta Physico-Medica Academiae*

- Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae* 14: 768-778.
- Nam, K.W., C.A. Maggs, & D.J. Garbary. 1994. Resurrection of the genus *Osmundea* with an emendation of the generic delineation of *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta). *Phycologia* 33: 384-395. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-33-5-384.1>
- Norris, J. 2014. Marine Algae of the Northern Gulf of California II: *Rhodophyta*. *Smithsonian Contributions to Botany* 96: 555. <https://doi.org/10.5479/si.19382812.96>
- Novelo, E. & F.F. Pedroche. 2020. ¿La importancia de llamarse...? La forma correcta para citar las iniciales de los autores en los nombres científicos. *Cymbella* 6: 56-57. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Pedroche, F.F. 2018. El Código de Nomenclatura. Un instrumento de trabajo para los ficólogos. *Cymbella* 4: 69-76. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Pedroche, F.F. 2019. Circunscripción, rango y posición en la nomenclatura biológica. *Cymbella* 5: 124-127. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Pedroche, F.F. & E. Novelo. 2020. Pertinencia de la nomenclatura abierta en ficología. *Cymbella* 6: 99-105. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Pedroche, F.F. & E. Novelo. 2021a. Nombres válidos, legítimos y correctos en ficología ¿Cuándo se deben usar? *Cymbella* 7: 36-42. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Pedroche, F.F. & E. Novelo. 2021b. Los problemas de igualdad o identidad en la nomenclatura ficológica. Sinónimos vs. *sensu*. *Cymbella* 7: 65-71. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Pedroche, F.F. & E. Novelo. 2022. Cuestión de rango. Las categorías infraespecíficas en la nomenclatura algal. *Cymbella* 8: 14-20. <https://www.cymbella.mx/indice.html>
- Schubert, E. & G. Gärtner. 2015. Chap. 7. *Nonmotile coccoid* and colonial green algae. In: J. D. Wehr, R. G. Sheath and J. P. Kociolek. Eds. *Freshwater algae of North America. Ecology and Classification*. Academic Press Second edition. San Diego, London, Burlington. 315-373.
- Turland, N.J. 2019. *The Code Decoded. A user's guide to the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*, 2a. ed. Pensoft Publishers, Sofia, Bulgaria.
- Turland, N.J., J.H. Wiersema, F.R. Barrie, W. Greuter, D.L. Hawksworth, P.S. Herendeen, S. Knapp, W.-H. Kusber, D.-Z Li, K. Marhold, T.W. May, J. McNeill, A.M. Monro, J. Prado, M.J. Price & G.F. Smith. (Eds.). 2018. Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (Código de Shenzhen) adoptado por el decimonoveno Congreso Internacional de Botánica Shenzhen, China, julio de 2017 (W. Greuter, y R. Rankin Rodríguez, trad.). *Occasional papers from the Herbarium Greuter, Berlín*. Accesible en: <https://www.iapt-taxon.org/nomen/Shenzhen/Spanish/Spanish.pdf>.

Sometido: 25 de julio de 2023

Revisado: 25 de agosto de 2023 (dos revisores anónimos)

Corregido: 1 de septiembre de 2023

Aceptado: 2 de septiembre de 2023

# Las macroalgas marinas y el cambio climático

## The marine macroalgae and climate change

Nataly Quiroz-González<sup>1</sup>, Julio A. Acosta-Calderón<sup>2\*</sup> y Luz Elena Mateo-Cid<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estancia postdoctoral CONACyT. Instituto de Ecología. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, Col. El Faro, C.P. 70902, Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, Col. El Faro, C.P. 70902, Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Ficología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Santo Tomás, Alcaldía Miguel Hidalgo, 11340 CDMX, México.

\*Email: botanica.umar@gmail.com

Quiroz-González, N., J. Acosta-Calderón & L. E. Mateo-Cid. 2022. Las macroalgas frente el cambio climático. *Cymbella* 8 (2-3): 53-59.

<https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2022.8.2-3.4>

### RESUMEN

El cambio climático global está generando afectaciones importantes en los organismos que habitan los ambientes marinos, las macroalgas presentan cambios en su metabolismo, fenología y distribución que se han estudiado con más frecuencia en tiempos recientes debido a la tropicalización de las zonas templadas y polares, cambios en el pH de los océanos y su consecuente acidificación. El presente trabajo ofrece un panorama general del impacto del cambio climático en las macroalgas marinas, así como de algunas de las adaptaciones que estas han desarrollado para su sobrevivencia.

*Palabras clave:* acidificación, calentamiento global, macroalgas marinas, tropicalización

### ABSTRACT

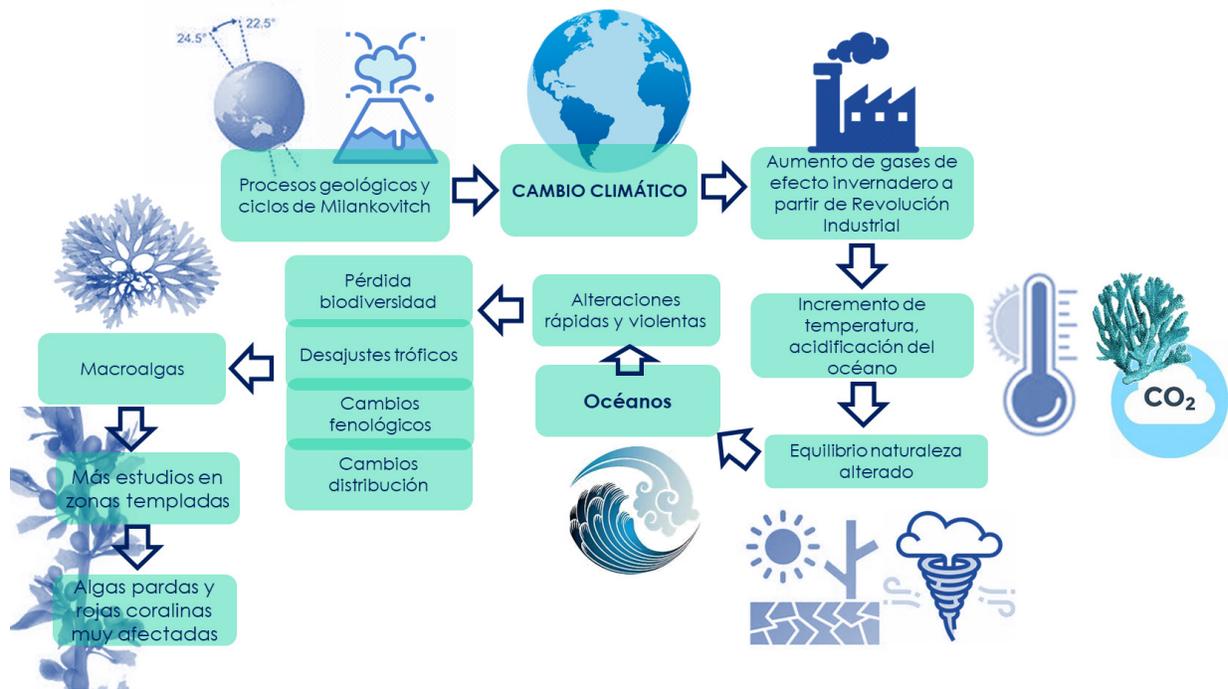
Global climate change is generating important effects on the organisms that inhabit marine environments; macroalgae present changes in their metabolism, phenology and distribution that have been studied more frequently in recent times due to the tropicalization of temperate and polar zones, changes in the pH of the oceans and their consequent acidification. This work offers a general overview of the impact of climate change on marine macroalgae, as well as some of the adaptations that they have developed for their survival.

*Keywords:* acidification, global warming, seaweed, tropicalization

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (Thuiller 2007).

El impacto del cambio climático se ha reflejado en modificaciones en la temperatura del océano, en su biogeoquímica, salinidad, nivel del mar, radiación UV y patrones de circulación de las corrientes marinas (Rilov & Treves 2010). La alteración en los océanos incluye modificaciones a la fenología de los organismos dando como resultado desajustes tróficos entre depredadores y presas, cambios en los límites de distribución de las especies, pérdida de biomasa y de biodiversidad. En este escenario, se espera que las temperaturas medias globales aumenten 2-7 °C a finales del próximo siglo (Ji & Gao 2021) produciendo un aumento de la temperatura superficial del mar. Las preguntas que surgen entonces son: ¿Qué sucederá con los organismos marinos?, ¿Cuáles son los efectos que produce el cambio climático en ellos?, ¿Cómo sobreviven? (Fig. 1).

En los ambientes marinos las respuestas son rápidas y pueden llegar a ser muy severas, especialmente en la zona intermareal donde las especies a menudo viven en sus límites superiores de tolerancia a distintos factores bióticos y abióticos (Benedetti-Cecchi 2001; Christie *et al.* 2003). Unos



**Figura 1.** Resumen de las causas y consecuencias del cambio climático en los ambientes marinos.

de los organismos afectados por los efectos del cambio climático son las macroalgas marinas, cuyo metabolismo y ciclos reproductivos son afectados por factores como la temperatura, la irradiancia, o el pH, a pesar de ello, no representan el grupo más popular al abordar esta problemática, aunque las macroalgas son organismos importantes en los ecosistemas costeros, son productores primarios, proveen de hábitat y alimento para diferentes organismos y poseen una diversidad biológica y metabólica tan amplia como las plantas terrestres por lo que su manera de responder al cambio climático no debe verse como una generalización (Bulleri *et al.* 2018; Harley *et al.* 2012; Koch *et al.* 2013; Largo *et al.* 2017). Pero, antes de ver los efectos inminentes del cambio climático en las macroalgas es importante indicar que se trata de un grupo de grupos, es decir un conjunto de organismos con diversos orígenes filogenéticos que presentan la capacidad de realizar fotosíntesis y que actúan por lo tanto como estructuradores de las comunidades donde se encuentran, bajo este nombre se incluye a organismos macroscópicos que no forman órganos o estructuras complejas, por lo que se les denomina talofitas, tampoco forman embriones lo que nos permite distinguirlas de plantas simples como

los musgos, reconocemos como macroalgas en el presente trabajo a miembros de las divisiones Rhodophyta, Chlorophyta y Heterokontophyta (Lee 2008).

Se tiene evidencia de que el cambio climático afecta distintos aspectos de las macroalgas marinas: el metabolismo estudiado sobre todo a nivel de fotosíntesis o crecimiento, daños a nivel celular, cambios en la morfología de los talos que incluyen reducción en la talla, en los patrones de ramificación y en los casos más drásticos lixiviación del talo, cambios en la fenología, en la distribución latitudinal y vertical, así como modificaciones a la estructura de las comunidades donde se encuentran (Atweberhan *et al.* 2005; Davison & Pearson 1996; Eggert 2012; Hernández 1997; Ji & Gao 2021; Monteiro *et al.* 2022; Rilov & Treves 2010; Tegner & Dayton 1987). En el peor de los casos se espera la extinción de varios cientos de especies de macroalgas (Wernberg *et al.* 2011). Cabe mencionar que desafortunadamente la gran mayoría de los estudios que evalúan el impacto del cambio climático en las macroalgas se han llevado a cabo con especies de zonas templadas dejando un importante vacío de información en lo que respecta a las especies de zonas tropicales.

## IMPACTO DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LAS MACROALGAS MARINAS

Las macroalgas poseen adaptaciones a las condiciones locales en las que se desarrollan, sin embargo, existe evidencia de que el aumento de temperatura por encima de sus límites de tolerancia puede reducir su capacidad de respuesta fisiológica a la perturbación (Ji & Gao 2021), lo que genera cambios a nivel fisiológico y morfológico.

La fotosíntesis es uno de los procesos metabólicos más severamente afectados por los aumentos en la temperatura. Existen sitios clave que son alterados como el sistema de fijación de CO<sub>2</sub>, la fotofosforilación, la cadena de transporte de electrones, y el complejo que desprende oxígeno. El fotosistema II es el primero en ser perturbado por el incremento excesivo de temperatura, se tiene conocimiento de los intervalos óptimos en los que este funciona adecuadamente en distintos grupos algales. Aquellas macroalgas que se desarrollan en el Antártico requieren temperaturas de 10 a 20 °C, seguidas de especies de clima frío a ártico (20 a 25 °C) y finalmente especies de clima templado-cálido a tropical que son quienes toleran las más altas temperaturas (25 a 35 °C) (Eggert 2012).

El estrés por calor también conocido como estrés perturbador puede limitar el crecimiento de macroalgas en las regiones tropicales en verano cuando las altas temperaturas alcanzan el límite superior de tolerancia térmica de estas (Davison & Pearson 1996). Las macroalgas disminuyen fuertemente en biomasa o desaparecen durante la estación cálida (Ateweberhan *et al.* 2005) de manera más extrema en los ambientes templados. El estrés térmico a corto plazo es más severo para las macroalgas bentónicas en el intermareal alto, donde los factores que causan la desecación y / o las temperaturas críticas determinan el límite de crecimiento (Davison & Pearson 1996). Sin considerar que aquellas con un ciclo de vida heteromórfico a menudo tienen diferentes curvas de respuesta a la temperatura. Este tipo de alteraciones en los talos producidas por el incremento de la temperatura se ha documentado en distintos géneros de macroalgas principalmente de zonas templadas o con interés comercial, dejando un importante vacío de información para especies tropicales o de las cuales no se obtiene un aprovechamiento económico directo.

Por ejemplo, en las rodofitas *Gelidium arbuscula* y *G. canariense* se evaluó el impacto del cambio climático en un periodo de 30 años mediante el estudio de la morfología de los talos, dando como resultado que a lo largo de estos años se han generado importantes reducciones de las tallas y mo-

dificaciones en los patrones de ramificación, con alteraciones en sus ciclos de vida y disminución de su biomasa (Alfonso *et al.* 2018). De manera similar en la especie *Gelidium robustum* se reportan disminuciones de la biomasa, así como blanqueamiento y necrosis de los talos, en los casos más extremos se presenta lixiviación del talo (Hernández 1997).

Todas las estrategias de adaptación que se presentan a la temperatura implican costos energéticos, así, si las variantes de proteínas/isoenzimas cambian sólo en unos pocos aminoácidos, a un organismo no le cuesta efectivamente más ATP producir una molécula de una variante de lo que cuesta producir otra. Sin embargo, los costos energéticos se vuelven relevantes cuando una proteína en particular se requiere en cantidades mayores o se entrega más rápido. Deben por lo tanto producirse compensaciones con otros procesos metabólicos y cambios en los presupuestos energéticos (Harley *et al.* 2012). El estrés oxidativo en las macroalgas es un estado fisiológico generado por el exceso (superávit) de moléculas dentro de las células denominadas especies reactivas de oxígeno o ROS, por sus siglas en inglés (Lu 2006). Las especies reactivas de oxígeno son moléculas que se forman durante los procesos metabólicos de las macroalgas y reaccionan rápidamente con biomoléculas (proteínas y lípidos), modificándolas o destruyéndolas, ocasionando daño celular (Collen 2007). Se ha documentado que el incremento de la temperatura del agua induce la formación de estas moléculas y una forma en las que las macroalgas contrarrestan el estrés oxidativo es mediante la generación de antioxidantes y distintos complejos enzimáticos (Lu 2006). Esto se ha estudiado en especies templadas de importancia económica como *Chondrus crispus*, *Pelvetia canaliculata*, *Ascophyllum nodosum* y *Fucus serratus* (Collén *et al.* 2007; Martin *et al.* 2021).

Otro aspecto esencial en la vida de las macroalgas afectado por el cambio climático son las alteraciones en la fenología de las especies, por lo que se modifican los eventos del ciclo de vida con importantes consecuencias como la asincronía entre las interacciones en los distintos niveles tróficos, el desajuste entre el desarrollo de los organismos y por supuesto la disponibilidad de alimentos, sin señalar cambios como la ausencia de reclutas para las poblaciones. Así, los factores que median la generación de las estructuras de reproducción y su correcto funcionamiento son el fotoperiodo y la temperatura, ambos severamente afectados por el cambio climático (Maggs & Guiry 1987).

La gametogénesis puede ser inducida por días cortos o largos, ya que la calidad espectral y los niveles

de irradiancia la controlan, especialmente en ciclos de vida cortos. Es tanta la influencia de la temperatura que se presentan cambios reproductivos respecto a la latitud, por lo que cuando las especies se encuentran en los límites de tolerancia puede presentarse esterilidad (Espinoza-Ávalos 2005). Para las macroalgas, las transiciones de las fases reproductivas incluyen la maduración y liberación de propágulos, esporas y / o gametos, estos procesos son mediados por la temperatura al menos en un 75% de las macroalgas marinas que se han estudiado (Lobban & Harrison 1994), los cuales en gran medida se han estudiado en macroalgas pardas del orden Laminariales, así como pocos órdenes de macroalgas rojas como Ceramiales, Bonnemaisoniales y Gigartinales, (de Bettignies *et al.* 2018) resaltando nuevamente la problemática en lo que se refiere a la ausencia de estudios en especies tropicales. Por ejemplo, para *Macrocystis pyrifera* se sabe que el aumento de temperatura tiene efectos negativos sobre la producción de esporas, la germinación, el reclutamiento y el desarrollo de los esporofitos (Buschmann *et al.* 2004). Para la mayoría de las especies de Rhodophyta, tanto la gametogénesis como la esporogénesis son controladas por una combinación única de temperatura y duración del día que resulta en una ventana reproductiva estricta (de Bettignies *et al.* 2018). Así las macroalgas rojas templadas no logran reproducirse, o su respuesta reproductiva es mucho más baja fuera de los requisitos fotoperiódicos y de temperatura específicos (de Bettignies *et al.* 2018). La temperatura también influye en la distribución de las macroalgas, actualmente existe un cambio global, las especies templadas se han desplazado hacia los polos en respuesta al aumento de las temperaturas, lo que representa un fenómeno contemporáneo bien documentado durante la última década. Por ejemplo, las macroalgas templadas australianas retrocedieron 2° de latitud hacia el polo durante el último medio siglo (Wernberg *et al.* 2011). Tales cambios pueden tener un impacto profundo en las comunidades de las zonas intermareales. En otros casos, como en la Península Ibérica se han detectado cambios en la biomasa de poblaciones algales correlacionadas con el incremento paulatino de la temperatura de la superficie del agua en los últimos 10 años (Monteiro *et al.* 2022; Piñeiro-Corbeira *et al.* 2018). Los incrementos de temperatura además han beneficiado el desplazamiento de especies con potencial para convertirse en invasoras, ya que puede favorecer a macroalgas marinas oportunistas y tolerantes que aumentan su capacidad competitiva, propi-

ciando el reemplazo de especies menos tolerantes, cambiando drásticamente la composición de los sitios (Dukes 2007; Monteiro *et al.* 2022; Piñeiro-Corbeira *et al.* 2018), algo que en muchos casos ha derivado de la fácil transferencia que están teniendo muchas especies cultivables desde zonas tropicales a templadas donde bajo otro escenario hubiera sido prácticamente imposible explotarlas de esta forma, ejemplos de esto se presenta en los géneros *Kappaphycus* y *Euclidean* (Largo *et al.* 2017).

Se ha registrado el impacto del cambio climático en los bosques y praderas de macroalgas que forman las zonas intermareales en regiones templadas, causando daños importantes al resto de la red trófica, ya que estas participan de manera esencial como estructuradoras de las comunidades donde se desarrollan, su pérdida afecta la superficie habitable, la disponibilidad de alimento, reduce las zonas para asentamiento, disminuye el reclutamiento, la protección contra las olas, la desecación y contra gran cantidad de depredadores (Hargrave *et al.* 2016; Jueterbock *et al.* 2013).

Otro aspecto que se ve notablemente afectado por el incremento de la temperatura es el aumento de los herbívoros, lo que puede desencadenar, en casos muy drásticos, la desaparición de bosques y praderas de macroalgas completos. Por ejemplo, en el sur de Japón se ha registrado la desaparición de *Ecklonia cava* y *Sargassum* debido al pastoreo de peces herbívoros de aguas cálidas (por ejemplo, peces loro) que han invadido la zona (Largo *et al.* 2017) trayendo además como una consecuencia directa que estos hábitats desocupados puedan ser colonizados por otras macroalgas de sitios tropicales más resistentes a los herbívoros, modificando de este modo la composición de la comunidad.

Se ha indicado que, en condiciones de estrés por modificaciones en los factores ambientales, como la temperatura, las macroalgas reducen la producción de sustancias de defensa contra herbívoros como los florotaninos tal como se ha registrado en *Fucus vesiculosus* y aumenta por lo tanto su susceptibilidad a los depredadores (Kinnby *et al.* 2021).

La notable pérdida de macroalgas marinas y las modificaciones en las comunidades donde se desarrollan se han acompañado de la aparición de especies oportunistas que generan incrementos desmesurados en sus poblaciones lo que deriva en las denominadas mareas marrones, verdes y el aumento de los céspedes algales. Especies de *Asparagopsis*, *Gracilaria*, *Sargassum*, *Caulerpa*, *Ulva* y *Undaria* son algunos de los ejemplos de macroalgas conocidas por ser invasoras prolíficas con una importante capacidad de alterar procesos

ecológicos. Ejemplo de esto se ha observado en las recientes mareas masivas de las especies de *Sargassum* en el Caribe que han repercutido a escala biológica, ecológica y económica y en las mareas verdes producidas por *Ulva* en China cuyos impactos han sido más intensos desde 2008 (Klinger 2021). En el caso particular de *Sargassum* una de las explicaciones que se ha dado para sus arribazones masivas se vincula directamente con el cambio climático el cual ha modificado la dinámica de estas poblaciones, así como sus patrones de distribución, se presume que el incremento de la temperatura superficial del mar podría haber obligado al Mar de los Sargazos a desplazarse más hacia el sur, acercando las algas al Mar Caribe, claramente es un problema que no podrá solucionarse a corto o mediano plazo, que requiere estrategias para la mitigación del daño y que representa un desafío para las comunidades afectadas (Louime *et al.* 2017).

### EFFECTO DE LA ACIDIFICACIÓN DE LOS OCEANOS EN LAS MACROALGAS MARINAS

Otro aspecto que se ha visto radicalmente afectado por el cambio climático es el pH de los océanos, por lo que la acidificación es un problema derivado que daña a muchos grupos de macroalgas incluyendo a algunas estructuradoras de comunidades muy importantes como los arrecifes de coral. Las macroalgas que incrustan carbonato de calcio en sus talos provienen de orígenes filogenéticos muy diversos y se encuentran en diferentes latitudes. Es el caso de las macroalgas rojas Corallinales y Nemaliales, de algunas macroalgas verdes de los órdenes Bryopsidales y Dasycladales como *Hali-meda*, *Penicillus*, *Udotea* a las que se les denomina en conjunto macroalgas AVC (macroalgas verdes calcáreas), todas ellas constituyen los principales productores biogénicos de CO<sub>2</sub> al que también se le ha denominado carbono azul (Koch *et al.* 2013; Ortegón-Aznar *et al.* 2016).

La acidificación afecta directamente la tasa fotosintética y calcificación de las macroalgas que fijan carbonato de calcio (macroalgas calcáreas), así como a las macroalgas que no lo hacen (Cao & Caldeira 2008; Roleda & Hurd 2012). Por ejemplo, Ogata & Matsui (1965) determinaron el efecto de los cambios en el pH respecto a la fotosíntesis para *Gelidium amansii* en Japón, señalando que el máximo de la tasa fotosintética se encuentra a 7.7 de pH y que por debajo de este valor se presentan afectaciones. Semesi *et al.* (2009) demostraron que un incremento de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua disminuyó la calcificación de rodolitos del género *Hydrolithon*.

Rilov & Treves (2010) indicaron que la acidificación del océano puede provocar la desaparición del 10 al 40% de estas especies. Específicamente para el ambiente marino, los cambios globales incluirán un aumento de dióxido de carbono que acidificará los medios acuosos, se ha estimado que, para el CO<sub>2</sub>, el cambio podría ser de los actuales 350 ppm a aproximadamente 750 ppm dentro de los 50 años, aproximadamente (Eggert 2012).

### CONSIDERACIONES FINALES

Es evidente que el cambio climático global afecta notablemente a la biología y fisiología de las macroalgas marinas a una velocidad mayor que lo que puede detectarse en ambientes terrestres con otros organismos, por lo que es necesario realizar estudios que den cuenta del efecto de los incrementos de temperatura y de la acidificación de los océanos sobre todo en aquellas especies de macroalgas que se desarrollan en zonas tropicales donde los estudios son escasos, ya que desconocemos el verdadero alcance del cambio climático en estos organismos. Es indispensable llevar a cabo un monitoreo de diversas poblaciones de macroalgas para reconocer su comportamiento y cambios a lo largo del tiempo, a la vez de llevar a cabo revisiones en sus caracteres morfológicos, en sus características químicas e incluso en sus interacciones ecológicas sólo así se podrá establecer el impacto del cambio climático en las poblaciones de macroalgas tropicales especialmente en México donde existen una multitud de ambientes con condiciones muy particulares.

### REFERENCIAS

- Alfonso, B., J. Hernández, & M. Sansón. 2018. Tetraspore germination of two vulnerable marine algae, *Gelidium canariense* and *G. arbusculum* (Rhodophyta, Gelidiales). *Botanica Marina* 61: 111-114. DOI: <https://doi.org/10.1515/bot-2017-0126>
- Ateweberhan, M., J. Bruggemann, & A. Breeman. 2005. Seasonal patterns of biomass, growth and reproduction in *Dictyota cervicornis* and *Stoechospermum polyplioides* (Dictyotales, Phaeophyta) on a shallow reef flat in the southern Red Sea (Eritrea). *Botanica Marina* 48: 8-17. DOI: <https://doi.org/10.1515/BOT.2005.001>
- Benedetti-Cecchi, L. 2001. Variability in abundance of algae and invertebrates at different spatial scales on rocky seashores. *Marine Ecology Progress Series* (215): 79-92. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps215079>
- Bulleri, F., B.K. Eriksson, A. Queirós, L. Airoldi, F. Arenas, C. Arvanitidis, T.J. Bouma, T.P. Crowe, D. Davoult, K. Guizien, L. Iveša, S.R. Jenkins, R. Michalet, C. Olabarria, G. Procaccini, E.A. Serrão, M. Wahl, & L. Benedetti-Cecchi.

- chi. 2018. Harnessing positive species interactions as a tool against climate-driven loss of coastal biodiversity. *PLoS Biology* 16: e2006852. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006852>
- Buschmann, A.H., J. Vázquez, P. Osorio, E. Reyes, L. Filun, M.C. Hernández-González, & A. Vega. 2004. The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of *Macrocystis* spp. (Phaeophyta) at different latitudes in Chile. *Marine Biology* 145: 849-62. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1393-8>
- Cao, L. & K. Caldeira. 2008. Atmospheric CO<sub>2</sub> stabilization and ocean acidification. *Geophysical Research Letters* 35, L19609. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008GL035072>
- Christie, H., N.M. Jørgensen, K.M. Norderhaug, & E. Waage-Nielsen. 2003. Species distribution and habitat exploitation of fauna associated with kelp (*Laminaria hyperborea*) along the Norwegian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*: 83: 687-699. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315403007653h>
- Collén, J., I. Guisle-Marsollier, J.J. Léger, & C. Boyen. 2007. Response of the transcriptome of the intertidal red seaweed *Chondrus crispus* to controlled and natural stresses. *New Phytologist* 176: 45-55. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02152.x>
- Davison, I. & G. Pearson. 1996. Stress tolerance in intertidal seaweeds. *Journal of Phycology* 32: 197-211. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1996.00197.x>
- de Bettignies, T., T. Wernberg, & C.F.D. Gurgel. 2018. Exploring the Influence of Temperature on Aspects of the Reproductive Phenology of Temperate Seaweeds. *Frontiers in Marine Science* 5: 218. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00218>
- Dukes, J.R. 2007. Tomorrow's plant communities: different, but how? *New Phytologist* 176: 235-237. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02224.x>
- Eggert, A. 2012. Seaweed Responses to Temperature. In: C. Wiencke & K. Bischof. Eds. *Seaweed Biology*. Ecological Studies. 219 p. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28451-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28451-9_3)
- Espinoza-Avalos, J. 2005. Fenología de macroalgas marinas. *Hidrobiológica* 15: 109-122. Accesible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972005000100010](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972005000100010)
- Hargrave, M.S., A. Foggo, A. Pessarrodona, & D.A. Smale. 2016. The effects of warming on the ecophysiology of two co-existing kelp species with contrasting distributions. *Oecologia* 183: 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3776-1>
- Harley, C.D., K. M. Anderson, K.W. Demes, J. P. Jorve, R.L. Kordas, T.A. Coyle, & M.H. Graham. 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology* 48: 1064-78. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01224.x>
- Hernández, C. 1997. Análisis de la variación estacional e interanual de la cosecha de *Gelidium robustum* en Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México. 60 p.
- Ji, Y. & K. Gao. 2021. Effects of climate change factors on marine macroalgae: A review. *Advances in marine biology* 88: 91-136. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2020.11.001>
- Jueterbock, A., L. Tyberghein, H. Verbruggen, J.A. Coyer, J.L. Olsen, & G. Hoarau. 2013. Climate change impact on seaweed meadow distribution in the North Atlantic rocky intertidal. *Ecology and evolution* 3: 1356-1373. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.541>
- Kinnby, A.G., B. Toth, & H. Pavia. 2021. Climate Change Increases Susceptibility to Grazers in a Foundation Seaweed. *Frontiers of Marine Science* 8: 688406. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.688406>
- Klinger, T. 2021. Optimizing seaweed futures under climate change. *Botanica Marina* 64: 439-443. DOI: <https://doi.org/10.1515/bot-2021-0036>
- Koch, M., G. Bowes, C. Ross, & X.H. Zhang. 2013. Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. *Global Change Biology* 19: 103-132. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x>
- Largo, D., I. Chung, S. Phang, G. Gerung, & C. Sondak. 2017. Impacts of Climate change on *Eucheuma-Kappaphycus* Farming. In A.Q. Hurtado, A. Critchley, & I. Neish. Eds. *Tropical Seaweed Farming Trends, Problems and Opportunities, Developments in Applied Phycology* 9: 121-129. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63498-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63498-2_7)
- Lobban, C.S. & P.J. Harrison. 1994. Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press, New York.
- Louime, C., J. Fortune, & G. Gervais. 2017. *Sargassum* Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. *American Journal of Environmental Sciences* 13: 58-64. DOI: <https://doi.org/10.3844/ajessp.2017.58.64>
- Lu, C., S. Guanqun, & L. Jin-Ming. 2006. Reactive oxygen species and their chemiluminescence-detection methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 25: 985-995. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.07.007>
- Maggs C.A. & M.D. Guiry. 1987. *Gelidiella calcicola* sp. nov. (Rhodophyta) from the British Isles and Northern France. *European Journal of Phycology* 22: 417-434. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071618700650481>
- Martin, M.A., O.A. Sendra, A. Bastos, N. Bauer, C. Bertram, T. Blenckner, K. Bowen, P.M. Brando, T.B. Rudolph, M. Büchs, M. Bustamante, D. Chen, H. Cleugh, P. Dasgupta, F. Denton, J.F. Donges, F.K. Donkor, H. Duan, C.M. Duarte, K.L. Ebi, C.M. Edwards, A. Engel, E. Fisher, S. Fuss, J. Gaertner, A. Gettelman, C.A.J. Girardin, N.R. Golledge, J.F. Green, M.R. Grose, M. Hashizume, S. Hebden, H. Hepach, M. Hirota, H.-H. Hsu,

- S. Kojima, S. Lele, S. Lorek, H.K. Lotze, H.D. Matthews, D. McCauley, D. Mebratu, N. Mengis, R.H. Nolan, E. Pihl, S. Rahmstorf, A. Redman, C.E. Reid, J. Rockström, J. Rogelj, M. Saunois, L. Sayer, P. Schlosser, G.B. Sioen, J.H. Spangenberg, D. Stammer, T.N.S. Sterner, N. Stevens, K. Thonicke, H. Tian, R. Winkelmann, & J. Woodcock. 2021. Ten new insights in climate science 2021: A horizon scan. *Global Sustainability*, 4: e25. DOI: <https://doi.org/10.1017/sus.2021.25>
- Monteiro, C., J. Pereira, R. Seabra, & F.P. Lima. 2022. Fine-scale survey of intertidal macroalgae reveals recent changes in a cold-water biogeographic stronghold. *Frontiers in Marine Science* 9: 880074. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.880074>
- Ogata, E. & T. Matsui. 1965. Photosynthesis in several marine plants of Japan as affected by salinity, drying and pH with attention to their growth habitats. *Botanica Marina* 8: 199-217. DOI: <https://doi.org/10.1515/botm.1965.8.2-4.199>
- Ortegón-Aznar, I., A. Chuc-Contreras, A. Tuz-Sulub & J. Santos-Flores. 2016. Cambio climático: el papel de las algas verdes calcáreas y su relación con el carbono azul. *Bioagrocencias* 9: 1-7.
- Piñeiro-Corbeira, C., R. Barreiro, J. Cremades, & F. Arenas. 2018. Seaweed assemblages under a climate change scenario: Functional responses to temperature of eight intertidal seaweeds match recent abundance shifts. *Scientific Reports* 8: 12978. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31357-x>
- Rilov, G. & H. Treves. 2010. Climate change effects on marine ecological communities. In: Israel et al. Eds. *Role of seaweeds in future globally changing environments*. Cell Origin. Springer, Berlin. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8569-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8569-6_4)
- Roleda, M.Y. & C. Hurd. 2012. Seaweed Responses to Ocean Acidification. In: C. Wiencke & K. Bischof. Eds. *Seaweed Biology*. Ecological Studies pp. 407-431 pp. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28451-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28451-9_19)
- Semesi, I., S.J. Kangwe, & M. Björk. 2009. Alterations in seawater pH and CO<sub>2</sub> affect calcification and photosynthesis in the tropical coralline alga, *Hydrolithon* sp. (Rhodophyta). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84: 337-341. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.03.038>
- Tegner, M. & P. Dayton. 1987. El Nino effects on southern California kelp forest communities. *Advances in Ecological Research* 17: 243-279. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60247-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60247-0)
- Thuiller, W. 2007. Climate change and the ecologist. *Nature* 448: 550-552. <https://doi.org/10.1038/448550a>
- Wernberg, T., B.D. Russell, M.S. Thomsen, C.F. Gurgel, C.J. Bradshaw, E.S. Poloczanska, & S.D. Connell. 2011. Seaweed communities in retreat from ocean warming. *Current Biology* 21: 1828-1832. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.09.028>
- Sometido: 26 de mayo de 2023*  
*Revisado: 16 de agosto de 2023 (dos revisores anónimos)*  
*Corregido: 25 de septiembre de 2023*  
*Aceptado: 26 de septiembre de 2023*

Carolina Bustamante Gil

# Dinoflagelados (Dinophyta) tecados de aguas continentales leníticas en Colombia: Aspectos taxonómicos, moleculares y ecológicos.

Doctorado en Ciencias

Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biología, Programa de Posgrado,  
Medellín, Colombia

Director: Dr. Fernando J. Muñoz Quesada

2019

## RESUMEN

En esta investigación se obtuvo información preliminar acerca de la dinoflórula colombiana y se evaluó el efecto de las variables temperatura del agua, transparencia, pH, saturación de oxígeno, conductividad y color aparente (como indicador de materia orgánica) en la composición de dinoflagelados provenientes de 14 sistemas dulceacuícolas en Colombia. Si los dinoflagelados se distribuyen espacialmente en función de la concentración de materia orgánica y temperatura, se predice que en los sistemas de zonas bajas estudiados en esta investigación se agruparán la mayoría de las especies. Se realizaron análisis de ordenación (Análisis e Correspondencias Canónicas, CCA) y de clasificación (métodos de la varianza mínima de Ward y similaridad de Jaccard). El CCA, explicó el 53,4% de la variabilidad total de la relación entre las especies y las variables ambientales ( $p=0,0040$ ). En él, se conformaron tres grupos el primero constituido por los embalses agrupados por la presencia de *Ceratium furcoides*, *Naiadinium polonicum*, *Parvodinium inconspicuum*, *Peridiniopsis elpatiewsky*, *Peridiniopsis quadridens*, *Peridinium gatunense*, *P. volzii* y *P. willei*; en este las variables asociadas fueron la altitud, la profundidad Secchi, el pH ( $R= -0.45$ ) y la saturación de oxígeno ( $R= -0.71$ ). En el segundo grupo se reunieron las ciénagas, determinadas por la presencia de *Durinskia* sp., *Glochidinium penardi-forme* y *Shaerodinium fimbriatum*; a él se asociaron la temperatura ( $R= 0.82$ ), el color aparente ( $R= 0.93$ )

y la conductividad ( $R= 0.67$ ). Finalmente, en el tercer grupo se presentó sólo la laguna La Ayantuna con la presencia única de *Parvodinium umbonatum*. La clasificación obtenida con los análisis de Ward y de Jaccard, fue similar y confirmó las agrupaciones del CCA. La altitud y la temperatura fueron las variables que más influyeron en la distribución de la riqueza de los dinoflagelados, ya que el mayor número de especies se concentró en zonas de altitud media donde los valores de las variables no son extremos; y el menor en las zonas bajas caracterizadas por altas temperaturas. En consecuencia, se refutó la hipótesis planteada.

*Palabras clave:* dinoflagelados, riqueza, embalses, ciénagas, distribución, variables ambientales.

## ABSTRACT

The effect of abiotic variables as water temperature, transparency, pH, oxygen saturation, conductivity, color (as a measure of organic matter content) on the composition of dinoflagellate flora inhabiting 14 freshwater system in Colombian was assessed. CCA analysis, Ward minimum variance method was performed, Euclidean distance, and Jaccard similarity index also calculated in order to identify preliminary patterns among abiotic traits and dinoflagellate occurrence. CCA analysis explained 53,4% the variability of the flora related to abiotic variables ( $p=0,0040$ ). Three groups were clearly evidenced based in species occurrences. The first composed of reservoirs and grouped by

the presence of *C. furcoides*, *N. polonicum*, *Parv. inconspicuous*, *Perid. elpatiewsky*, *Perid. quadridens*, *P.gatunense*, *P. volzii* y *P. willei*. The most incident abiotic variables for this group were altitude (R= -0.78); Secchi disk depth (R= -0.55), pH (R= -0.45) and oxygen saturation (R= -0.71). The second aggrupation composed of Swamps and grouped by the occurrence of *Durinskia* sp., *G. penardiforme* y *S. fimbriatum*. The most incident biotic variables for this group were temperature (R= 0.82), Color (R= 0.93), and conductivity (R= 0.67). Finally, the last group of the "La Ayantuna" Lagoon including the occurrence of *Parv.umbonatum*. The clusters of the dendrograms topologies of Ward analysis and Jaccard index were similar and corroborated the grouping pattern obtained by the CCA. Altitude

and temperature were the most significant abiotic variables affecting the diversity of dinoflagellate flora. Richness was high in intermediate altitudes where abiotic variables values were intermediates and lowered in lowlands where the temperature is usually extreme high. Data here exposed allow us to controvert the proposed hypothesis of dinoflagellate flora occurrence patterns. This study contributes to the knowledge of the ecology of dinoflagellates in Colombia and their tropical environments associated.

*Keywords: dinoflagellates, richness, reservoirs, swamps, distribution, environmental variables.*

**Más información en: [https://ipt.biodiversidad.co/permisos/resource?r=0524\\_dinoflagelados\\_20170616](https://ipt.biodiversidad.co/permisos/resource?r=0524_dinoflagelados_20170616)**

Beatriz Alejandra Sandoval Coronado  
**Patrones de abundancia y distribución de macroalgas  
 del arrecife coralino de Isla Ixtapa, Zihuatanejo,  
 Guerrero**

**Tesis de Licenciatura en Biología**

Universidad Nacional Autónoma de México

Asesora: Norma Angélica López Gómez

2019

El desarrollo de las zonas costeras en todo el mundo ha crecido de manera acelerada y en algunos casos sin planeación, lo cual ha traído como consecuencia la contaminación de los cuerpos de agua y disturbios a las comunidades de organismos bentónicos. La región de Ixtapa-Zihuatanejo ha sido sometida al impacto antropogénico desde hace más de veinte años debido a que es uno de los principales destinos turísticos del país. El conocimiento de los patrones de abundancia, distribución y la variación temporal macroalgal, son básicas para conocer estructura y dinámica de la comunidad. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo general, determinar la estructura de los ensamblajes macroalgales y sus cambios espacio-temporales en el arrecife de Playa Coral en Isla Ixtapa, Zihuatanejo. Esta información puede ser útil en la definición de programas de conservación para la región. El estudio se llevó a cabo durante los años 2011 y 2012, utilizando el método de transectos y cuadrantes. Se encontró un total de 43 especies de macroalgas, 32 pertenecen a la división Rhodophyta, 10 a la división Chlorophyta y una especie a Ochrophyta. Veintiocho especies en ambos años de colecta, 10 especies presentes solo en el 2011 y 5 especies presentes solo en el 2012. Seis especies (14 %) son consideradas altamente frecuentes, 20 especies (46 %) tuvieron frecuencia intermedia y 17 especies (40 %) fueron poco frecuentes. Las especies más frecuentes fueron *Amphiroa beauvoisii*, *Gayliella flaccida* y *Bryopsis pennata*. La distribución puede ser amplia o estrecha y continua o discontinua. En general, las especies con una distribución espacial amplia

y continua en su mayoría fueron *Amphiroa beauvoisii*, *A. misakiensis*, *Bryopsis pennata*, *Gayliella flaccida* y *Neosiphonia sertularioides*. El resultado del índice de diversidad de Shannon-Wiener, en el año 2011 fue de  $H' = 3.24$  y del año 2012  $H' = 3.21$  lo cual indica que la comunidad algal tiene una diversidad alta. Las algas costrosas presentaron el mayor porcentaje de cobertura en el 2011 y en el 2012, el grupo de los céspedes. El sustrato con mayor cobertura fue el coral vivo (CV) con un patrón de distribución discontinuo. No se encontró asociación entre el porcentaje de cobertura macroalgal con la profundidad, grupos algales, sustrato o año; ni entre el porcentaje del sustrato con el año, grupo algal, proporción de cobertura macroalgal y sustrato. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la profundidad y el porcentaje de cobertura del sustrato ( $F = 4.25^*$   $p < 0.05$ ). Este trabajo representa el primero en su tipo que se realiza en Playa Coral, Isla Ixtapa y formó parte del proyecto "Conservación de la Biodiversidad Arrecifal de la Región de Zihuatanejo, Guerrero: Macroalgas, Peces y Corales Hermatípicos", dentro del programa Biodiversidad Marina de la Región de Zihuatanejo.

Accesible en:

[https://tesiumam.dgb.unam.mx/F/NFVH6C-28JQXCP9I5YJKH13I23U778GLXNSSNJQVC-63MIC1TB2E-03274?func=find-b&local\\_base=TES01&request=Beatriz+Alejandra+Sandoval+Coronado&find\\_code=WRD&adjacent=N&filter\\_code\\_2=WYR&filter\\_request\\_2=&filter\\_code\\_3=WYR&filter\\_request\\_3=](https://tesiumam.dgb.unam.mx/F/NFVH6C-28JQXCP9I5YJKH13I23U778GLXNSSNJQVC-63MIC1TB2E-03274?func=find-b&local_base=TES01&request=Beatriz+Alejandra+Sandoval+Coronado&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=)

# DIRECTORIO

**SOCIEDAD MEXICANA DE FICOLOGÍA**

<https://somfico.org/>

**COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL 2023-2025**

**Ileana Ortegón-Aznar, UADY**

Presidenta

**Dr. José Antolín Aké Castillo ICIMAP-UV**

Vicepresidente

**Dr. Julio Adulfo Acosta Calderón, Universidad del Mar**

Secretario General

**Dra. Erika Fabiola Vázquez Delfín, CINVESTAV Mérida**

Secretaria Académica

**Dr. Armin Tuz Sulub, UADY**

Secretario Administrativo

**M. en C. Emmanuel Santos May, UADY**

Secretario de Difusión y Extensión

## CRÉDITO DE FOTO DE LA PORTADA

Le Petit Jardín

Sergio Díaz Martínez

Playa Muñecos, Veracruz. 10 /10/2021

Cámara Nikon 1 J1 Lente 10-30. Con carcasa

Primer lugar en la categoría Macroalgas del Concurso de fotografía del IX Congreso Mexicano de Ficología. Juriquilla, Querétaro, México.