

Vol. 4. No. 2-3 (2018)
ISSN: 2448-8100

Cymbella Revista de investigación y difusión sobre algas

Biomarcadores de estrés oxidativo en *Gracillaria vermiculophylla*
El Código en Nomenclatura. Un instrumento de trabajo
para los ficólogos



COMITÉ EDITORIAL

EDITOR EJECUTIVO:

Dr. Eberto Novelo

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

EDITORES ADJUNTOS:

Dr. Abel Sentfies

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

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

Dra. 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:

Dra. Pilar Mateo Ortega

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

Algas tóxicas y FANs:

Dra. 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 :

Dra. Ligia Collado Vides

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

Dra. Rosaluz Tavera

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

Ficología aplicada y biotecnología:

Dra. Eugenia J. Olguín Palacios

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

Dra. Marcia G. Morales Ibarra

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
e-mail: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. 4, Núm. 2-3, mayo - agosto y septiembre - diciembre de 2018, 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.mx/>, 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, 19 de febrero de 2019.

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.

Spatial and temporal variation in the biomarkers of oxidative stress in red macroalgae *Gracilaria vermiculophylla* (Gracilariales, Gracilariaceae)

Variación espacio-temporal en los biomarcadores de estrés oxidativo en la macroalga roja *Gracilaria vermiculophylla* (Gracilariales, Gracilariaceae)

Paola A. Tenorio-Rodríguez¹, Elisa Serviere-Zaragoza², Lia C. Méndez-Rodríguez¹, and Tania Zenteno-Savín^{1*}

¹Planeación Ambiental y Conservación, ²Ecología Pesquera, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Calle Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, CP 23096, México

* Corresponding author:
email: tzenteno04@cibnor.mx

Tenorio-Rodríguez, P., E. Serviere-Zaragoza, L. C. Méndez-Rodríguez, and T. Zenteno-Savín . 2018. Spatial and temporal variation in the biomarkers of oxidative stress in red macroalgae *Gracilaria vermiculophylla* (Gracilariales, Gracilariaceae). *Cymbella* 4 (2-3): 57-68. <http://cymbella.mx>

ABSTRACT

Macroalgae may be exposed to spatial and seasonal variations in environmental factors, such as irradiance (visible and ultraviolet radiation, UVR), temperature, salinity and exposure to air. Changes in any of these factors lead to increased reactive oxygen species (ROS) production and potential oxidative stress. Oxidative stress biomarkers were measured in the marine red algae *Gracilaria vermiculophylla* in the Baja California peninsula to assess effects of spatial and seasonal variability. Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) and carbonyl proteins levels were measured as markers of oxidative damage to lipids and proteins, respectively, in tallus samples. Polyphenols content and activity of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), glutathione S-transferase (GST) and glutathione reductase (GR) were quantified as antioxidant defenses. Polyphenols content, and activities of SOD, GPx and

GST were higher in the warm season compared to the cold season. Antioxidant enzyme activities varied with site, being lower in “La Boca”, the deepest site, than in “La Estufa”, the shallower site. Higher antioxidant enzyme activities suggest an effective protection against ROS in the shallower regions, which may contribute to the ecological success of *G. vermiculophylla* along its vertical distribution, and may allow for adequate responses to the changing environmental conditions across the water column.

Keywords: Antioxidants, biomarkers, *Gracilaria vermiculophylla*, macroalgae, oxidative stress.

RESUMEN

Las macroalgas pueden estar expuestas a variaciones espaciales y estacionales de los factores ambientales, como la radiación visible y la ultravioleta (UVR), la temperatura, la salinidad y la exposición al aire. Los cambios en estos factores conducen a

aumentos en la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y potencial estrés oxidativo. Los biomarcadores de estrés oxidativo se cuantificaron en la macroalga roja marina *Gracilaria vermiculophylla* en la península de Baja California para evaluar los efectos por la variabilidad espacio-temporal. Los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) y a carbonilos protéicos se midieron como marcadores de daño oxidativo a lípidos y proteínas, respectivamente, en el talo. El contenido de polifenoles y la actividad de la superóxido dismutasa (SOD), la glutatión peroxidasa (GPx), la glutatión S-transferasa (GST) y la glutatión reductasa (GR) se cuantificaron como defensas antioxidantes. El contenido de polifenoles y actividades de SOD, GPx y GST fueron mayores en la estación cálida que en la fría. La actividad de las enzimas antioxidantes varió con el sitio; fue menor en el sitio "La Boca", en las muestras más profundas, en comparación a las muestras más someras del sitio "La Estufa". Mayores actividades de enzimas antioxidantes sugieren protección efectiva contra ERO en las regiones someras, contribuyendo al éxito ecológico de *G. vermiculophylla* en su distribución vertical y permitiendo respuestas adecuadas a condiciones ambientales cambiantes de la columna de agua.

Palabras clave: antioxidantes, biomarcadores, *Gracilaria vermiculophylla*, macroalgas, estrés oxidativo.

INTRODUCTION

Gracilaria vermiculophylla (Ohmi) Papenfuss is a species of Northwestern Pacific origin, which is an invader in the east Pacific (Bellorin *et al.* 2004), inhabiting intertidal and subtidal zones, and may be found throughout the year (Thomsen & McGlathery 2007). The success of such cosmopolitan invader species has been related to traits that include regenerative abilities and capacity to survive to changing environmental factors (Nyberg & Wallentinus 2005). In Northwestern Mexico, *G. vermiculophylla* has been present since at least 1979 (Bellorin *et al.* 2004), reflecting the first time a specimen was collected, rather than the date at which the introduction occurred. Its distribution and taxonomic confirmation in the region is analyzed by Krueger-Hadfield *et al.* (2016). In Mexico according with the *Ponderación de Invasividad de Especies Exóticas*, the species is classified as a high risk invasive species which, due to its characteristics and stress resistance, can thrive in diverse environments (SEMARNAT, 2017). Studying the antioxidant capacity and adaptive mechanisms in *G. vermiculo-*

phylla may allow for understanding the features that allow certain species of macroalgae to thrive under various, seemingly extreme, conditions.

G. vermiculophylla occurs from shallow to deep water forming a vertical distribution of organisms along environmental gradients. This vertical zonation (defined as the vertical distribution of organisms, species, ecosystems (Benson 2002)) can be influenced by unpredictable factors, such as climate disruptions (e.g. storms), biological interactions (e.g. grazing, shading; Dayton 1975), and differential stress tolerance along the water column (e.g. desiccation, radiation), where a strong environmental stress gradient occurs perpendicular to the shore with the most extreme values towards the upper limit of the littoral zone (Chappuis *et al.* 2014; Davison & Pearson 1996).

Macroalgal zonation patterns have been related to the ability to resist a variety of potential stressful environmental conditions, including high radiation (visible and ultraviolet radiation, UVR), high and low temperature, desiccation, and osmotic stress (Davison & Pearson 1996; Flores-Molina *et al.* 2014; Lesser 2006; Phooprang *et al.* 2007). These factors may disrupt respiratory or photosynthetic metabolism, leading to the production of reactive oxygen species (ROS), including superoxide radical ($O_2^{\cdot-}$), hydroxyl radical ($HO^{\cdot}$), and hydrogen peroxide (H_2O_2) (Collén & Davison 1999; Dring 2005; Lesser 2006). Oxidative stress, with a concomitant oxidative damage to cells and tissues, results from ROS production exceeding the antioxidant capacity (Halliwell & Gutteridge 2007). As other aerobic organisms, macroalgae may respond to an oxidative stress event by the activation of the antioxidant defense system, which includes enzymes and low-molecular-weight molecules. Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione reductase (GR), glutathione peroxidase (GPx) and glutathione S-transferase (GST) are the main antioxidant enzymes (Halliwell & Gutteridge 2007). Polyphenols, ascorbate, chlorophylls, glutathione are among the non-enzymatic antioxidants distributed in higher plants and algae (Abdala-Díaz *et al.* 2014; Celis-Plá *et al.* 2014; Flores-Molina *et al.* 2014). Studies related to the scavenging mechanisms for protection against oxidative damage in macroalgae are scarce; however, evidence suggests a correlation between antioxidant capacity and tolerance to environmental stressors in higher plants (Peltzer & Polle 2001; Tian & Yu 2009), green and brown algae (Aguilera *et al.* 2002; Choo *et al.* 2004; Dring 2005; Flores-Molina *et al.* 2014), as well as some red algae (Burritt *et al.* 2002; Kumar *et al.* 2010; Maharana *et al.* 2015; Pise *et al.* 2013).

Enzyme, in particular SOD, activities in different algal groups have been related to a species' vertical distribution and tolerance to solar radiation exposure (Aguilera *et al.* 2002; Choo *et al.* 2004; Dring 2005). SOD scavenges O_2^- , the initiator of the ROS production and oxidative damage cascades. GPx and GR play important roles in plant responses to environmental stressors, including changes in temperature (Aguilera *et al.* 2002; Betancor *et al.* 2015; Choo *et al.* 2004;). Another antioxidant defense mechanism against solar radiation in plants are the phenolic compounds (Aguilera *et al.* 2002); these substances can act as photoprotector agents against intense solar irradiance by absorbing incident photons, or indirectly by transferring hydrogen atoms to lipid peroxyl radicals (Abdala-Díaz *et al.* 2014; Tenorio-Rodríguez *et al.* 2017). ROS produced in chloroplasts can interact with many biomolecules inducing the formation of fatty acid hydroperoxides and oxidation of proteins (Choo *et al.* 2004). Ecophysiological studies of macroalgae suggest a strong relationship of the antioxidant capacity with algal zonation patterns, as well as tolerance to desiccation, temperature, and irradiation, particularly for some brown and red macroalgae species, such as *Fucus* spp., *Chondrus crispus* Stackhouse (Collén and Davison 1999), and *Bostrychia arbuscula* W.H. Harvey (= *Stictosiphonia arbuscula*) (Burrit *et al.* 2002; Dring 2005). Contreras-Porcia *et al.* (2011) suggest that *Pyropia columbina* (Montagne) W.A. Nelson (= *Porphyra columbina*) exposed to natural

desiccation during low tide has elevated activities of antioxidant enzymes and high concentration of photosynthetic pigments. This does not seem to be the case for species that inhabit the lower intertidal zone (Flores-Molina *et al.* 2014).

The objective of this study was to examine the changes in antioxidant enzyme activities, polyphenol content and oxidative damage of *G. vermiculophylla* at different sites, to reflect the vertical distribution of this species, and seasons. The results contribute to the identification of physiological strategies employed by *G. vermiculophylla* to cope with environmental stressors associated with zonation and seasonal changes.

MATERIAL AND METHODS

Sampling was performed in Estero Banderitas, situated at 24° 15' - 25° 20' N and 112° 15' W within the Bahía Magdalena – Almejas complex, Baja California, Mexico. This is a coastal lagoon complex, where the sea surface water temperature ranges from 18 to 31 °C in winter and summer, respectively (Álvarez-Borrego *et al.* 1975). The sampling area is considered pristine and unpolluted (Escobar-Sánchez *et al.* 2011). *G. vermiculophylla* species were collected by scuba diving in three sampling sites: "La Estufa", mean depth 0.5-1 m, "El Conchalito", mean depth 7 m, and "La Boca", mean depth 20 m according to its distribution at different depths along the estuary in November 2009, February, April and June 2010 (Fig. 1). During each visit, healthy fronds of *G. vermiculophylla* were randomly collected. Macroalgae thallus

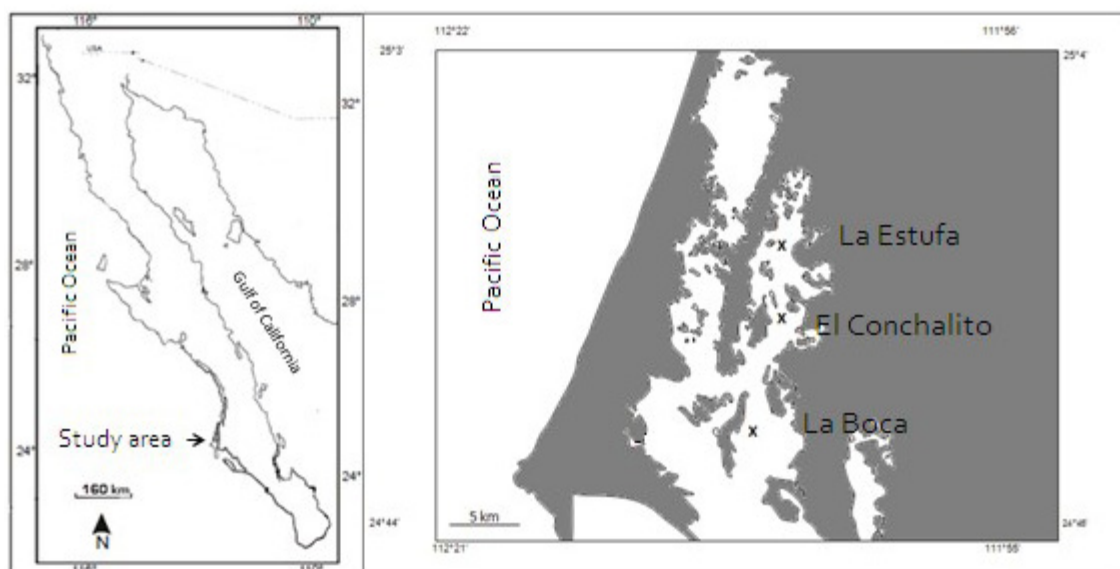


Figure 1. Study area and sites where *Gracilaria vermiculophylla* was collected.

were cleaned by hand to remove epiphytes, pooled, and randomly separated in five replicates of 5-10 individuals each at each site. Samples were dried, milled and frozen by immersion in liquid nitrogen. Prior to SOD, GR, GPx and GST enzymatic activity determinations, tallus samples (0.2 g fresh weight) of *G. vermiculophylla* were ground in liquid nitrogen with potassium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0) containing 0.25 % (v/v) Triton X-100 (w/v), 1 mM phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF) and 1 % polyvinylpyrrolidone (PVPP). Extracts were centrifuged at 15,000 g for 10 min at 4 °C before assaying. In order to standardize the results for enzyme activities, protein concentration in the extracts was determined on a microplate reader (Multiscan FC Thermo Fisher, Vantaa, Finland) using the method described by Bradford (1976) with bovine serum albumin (BSA) as a standard (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA., USA).

Superoxide dismutase (SOD): The activity of SOD was assayed following the inhibition of the reduction of nitroblue tetrazolium (NBT) by $O_2^{\cdot-}$, yielding formazan, at 560 nm according to Suzuki (2000). SOD activity is expressed in units (U) mg^{-1} of protein. One unit of SOD activity is defined as the amount of enzyme needed to inhibit the maximum reaction by 50 %.

Glutathione S-transferase (GST): GST activity was measured at 340 nm following the formation of tioether glutathione dinitrobenzene as a product of the reaction between the tripeptide glutathione (GSH) and 1-chloro-2,4-dinitrobenzene (Habig & Jakoby 1981). GST activity is expressed in U mg^{-1} of protein. One unit of GST activity is defined as the amount of enzyme that synthesizes 1 μ mol of product min^{-1} .

Glutathione peroxidase (GPx): GPx activity was measured by monitoring the continuous decrease in reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH) concentration using H_2O_2 as a substrate at 340 nm (Folh  & G nzler 1984). One unit of GPx activity is defined as the amount of enzyme that oxidizes 1 μ mol of NADPH min^{-1} . GPx activity is expressed in U mg^{-1} of protein.

Glutathione reductase (GR): GR activity was measured at 340 nm monitoring the oxidation of NADPH by oxidized glutathione (GSSG) (Goldberg & Spooner 1987). One unit of GR activity is defined as the amount of enzyme that reduces 1 μ mol of GSSG min^{-1} . GR activity is expressed in U mg^{-1} of protein.

The total concentration of polyphenols was quantified using the Folin-Ciocalteu colorimetric method

(Singleton & Rossi 1965). In brief, 1 g of fresh sample was homogenized with a mixture of water:methanol:acetone (2:3:5 v/v). Samples were incubated in a water bath at 65 °C with agitation for 1 h. Sodium carbonate (Na_2CO_3) was added and samples were incubated for 1 h at room temperature. The absorbance at 750 nm was recorded in a microplate reader (BioRad TM 550, Hercules, CA, USA) and compared to a gallic acid calibration curve. The results are expressed as gallic acid equivalents (GAE) in $mg\ g^{-1}$ fresh weight (f.w.).

The levels of lipid peroxidation were determined as the thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) content (Persky *et al.* 2000), as previously described (Labrada-Martag n *et al.* 2011; López-Cruz *et al.* 2010). Results were expressed in nmoles of TBARS mg^{-1} of wet tissue.

Oxidative damage to proteins was assessed as the content of protein carbonyls (Levine *et al.* 1994). Extracts were incubated with 10 mM 2,4-dinitrophenyl-hydrazine for 60 minutes at ambient temperature. Proteins were precipitated with trichloroacetic acid; the pellet formed after centrifugation was washed twice with ethanol:ethyl acetate (1:1) and dissolved in 6 M guanidine. The protein carbonyl content was determined spectrophotometrically at 370 nm. Results were expressed as μ moles of protein carbonyls mg^{-1} of tissue.

STATISTICAL ANALYSIS

Shapiro-Wilks test was used to test for normality and Bartlett's test to determine the homoscedasticity of variance of the variables (Zar 1999). Data were natural log (ln) transformed prior to running the parametric analyses. In order to evaluate seasonal effects, data were grouped as cold (February and April; ~18 °C) or warm (November and June; ~31 °C) season according to the physicochemical characteristics in Bahía Magdalena (Koch *et al.* 2007), and were analyzed by two-factor ANOVA with site and season as factors and oxidative stress biomarkers as dependent variables. Tukey's *post hoc* analysis was used when differences were detected. Statistical significance was set at $p < 0.05$. All statistical analyses were performed using GraphPad PRISM  software 5.0 (Statsoft, Tulsa, OK).

RESULTS

To investigate the spatial and seasonal changes in the protection mechanism against oxidative stress in *G. vermiculophylla*, the activity of antioxidant enzymes and polyphenols content were quantified. Results for the activity of antioxidant enzymes and polyphenols content are shown in figures 2 and 3, respectively.

Significant differences in the antioxidant enzyme activities were found between sampling sites and seasons. SOD activity was higher in “La Estufa”, the shallower (0.5-1 m deep) site, and lower in “La Boca”, the deepest (20 m deep) site ($p < 0.05$). The SOD activity in *G. vermiculophylla* was higher in the warm season (November and June; $\sim 31^\circ\text{C}$) compared to the cold season (February and April; $\sim 18^\circ\text{C}$) ($p < 0.05$) (Table 1). During the warm season, but not during the cold season, significant differences in SOD activity by site were observed (Fig. 2).

Significantly higher GST activity was observed in “La Estufa” during the warm season compared with the other sampled sites ($p < 0.05$) (Fig. 2). Similarly GPx activity in *G. vermiculophylla* from “La Estufa” was higher in comparison with the other sites ($p < 0.05$) (Fig. 2). In “La Estufa”, GPx activity was lower in the cold season compared with the warm season ($p < 0.05$) (Table 1). There was no significant difference in the activity of GR neither between sites nor between seasons ($p > 0.05$).

The total phenolic content of *G. vermiculophylla* was higher in “La Estufa”, the shallower (0.5-1 m) site, and in “El Conchalito” (mid-depth; ~ 7 m) than “La Boca” (deepest site; 20 m) ($p < 0.05$) (Fig. 3) (Table 1) during the warm season. The phenolic content was lower in the three sites during the cold season, and no differences between sites were found in the cold season (Fig. 3).

To investigate the spatial and seasonal changes in oxidative damage to lipids and proteins in *G. vermiculophylla*, content of TBARS and protein carbonyls were quantified. Results of oxidative damage are shown in figure 4. No significant differences in TBARS levels were found between sites in either season ($p > 0.05$) (Table 1). TBARS levels were significantly higher in the warm season compared to cold season within each site ($p < 0.05$) (Fig. 4).

Significant differences in the level of protein carbonyls were found between sites and among seasons (Fig. 4). In “La Estufa” during the warm season protein carbonyl levels were higher than those recorded in the same site in the cold season ($p < 0.05$).

DISCUSSION

In nature, algae are not exposed to factors independently, but collectively experience stressors that may have synergistic effects. In Estero Banduritas, *G. vermiculophylla* showed higher SOD activity in the shallower site, “La Estufa”, during the warm (November and June; 31°C) season, it appears that SOD activity is dependent on depth and season. Similar results have been reported for the red algae *Devaleraea ramentacea* (Linnaeus) Guiry and

Palmaria palmata (Linnaeus) Weber & Mohr, which typically occur in the upper sublittoral zone (Aguilera *et al.* 2002). Penetration of the solar radiation into the water column is attenuated with increasing water depth; therefore, lower antioxidant defenses are expected in algae inhabiting the deepest water layers, as was observed in this study.

In this study, *G. vermiculophylla* exhibited spatial and temporal differences in the activities of SOD, GPx and GST. It is possible that during the summer months when temperatures, solar irradiation, as well desiccation conditions are at their peak, the interaction of these factors trigger an increase in antioxidant defenses in this species in contrast with the cold season. Similar results in the activities of these enzymes have been reported for other algae species exposed to abiotic stresses which induce overproduction of ROS (Contreras-Porcia *et al.* 2011; Flores-Molina *et al.* 2014; Kumar *et al.* 2010). In red algae *Mastocarpus stellatus* (Stackhouse) Guiry and *Chondrus crispus* Stackhouse and in green algae *Ulva pseudorotundata* Cormaci, Furnari & Alongi (= *Ulva rotundata*), the efficiency of ROS scavenging was partly related to the species' zonation pattern along its vertical distribution and the radiation conditions (Bischof *et al.* 2003; Collén & Davison 1999). Similarly, Maharana *et al.* (2015) reported increased antioxidant activities as well photosynthetic pigments in the red algae *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux during summer months.

The phenolic content in *G. vermiculophylla* in this study was 78 % higher at the shallow site during the warm season, and 1 % lower in the deeper site. Similar observations were reported by Abdala-Díaz *et al.* (2006) and Betancor *et al.* (2015) for brown algae *Cystoseira tamariscifolia* (Hudson) Papenfuss, *C. humilis* Schousboe ex Kützinger and red algae *Digenea simplex* (Wulfen) C. Agardh. The difference between seasons in the polyphenol content could be related to the lower irradiance exposure and photosynthetically active radiation, as it has been reported previously for brown algae *C. tamariscifolia* and *Desmarestia anceps* Montagne and for red algae *Chondrus crispus* and *Mastocarpus stellatus* (Celis-Plá *et al.* 2014; García-Sánchez *et al.* 2014; Flores-Molina *et al.* 2016; Lohrmann *et al.* 2004). Increased content of phenolic compounds is a complementary strategy to increased activity of antioxidant enzymes in avoidance of oxidative damage.

Low lipid peroxidation and high protein carbonyl levels found in *G. vermiculophylla* in the shallow site (“La Estufa”) during the warm season resulted quite intriguing. In this context, the low lipid peroxidation

Table 1. Summary of two-way analyses of variance (ANOVA) to test the effect of “site” and “season” on the antioxidant enzyme activities, the total phenolic content and oxidative damage in *Gracilaria vermiculophylla* collected at Bahia Magdalena, Baja California Sur, Mexico. Sites, La Estufa (LAE; 0.5-1 m deep), El Conchalito (CON; 7 m deep), La Boca (LB; 20 m deep). Seasons, Warm, November and June, 31°C; cold, February and April, 18°C. SOD, superoxide dismutase; GST, glutathione S-transferase; GPx, glutathione peroxidase; GR, glutathione reductase; TBARS, thiobarbituric acid reactive substances. Significant values are highlighted in bold. Statistical significance was set as $p < 0.05$.

Source of variation	df	F-ratio	P-value
SOD			
Site	2	7.6	0.002
Season	1	28.3	0.016
Site*Season	2	4.9	<0.001
GST			
Site	2	5.76	0.009
Season	1	15.34	0.001
Site*Season	2	23.38	<0.001
GPx			
Site	2	2.5	0.103
Season	1	129.7	<0.001
Site*Season	2	18.2	<0.001
GR			
Site	2	22.89	<0.001
Season	1	1.67	0.208
Site*Season	2	10.03	0.001
TBARS			
Site	2	0.7	0.487
Season	1	7.9	0.009
Site*Season	2	2.2	0.130
Carbonyl protein			
Site	2	5.76	0.009
Season	1	15.34	0.001
Site*Season	2	23.38	<0.001
Polyphenol content			
Site	2	1.41	0.260
Season	1	9.48	0.004
Site*Season	2	2.19	0.132

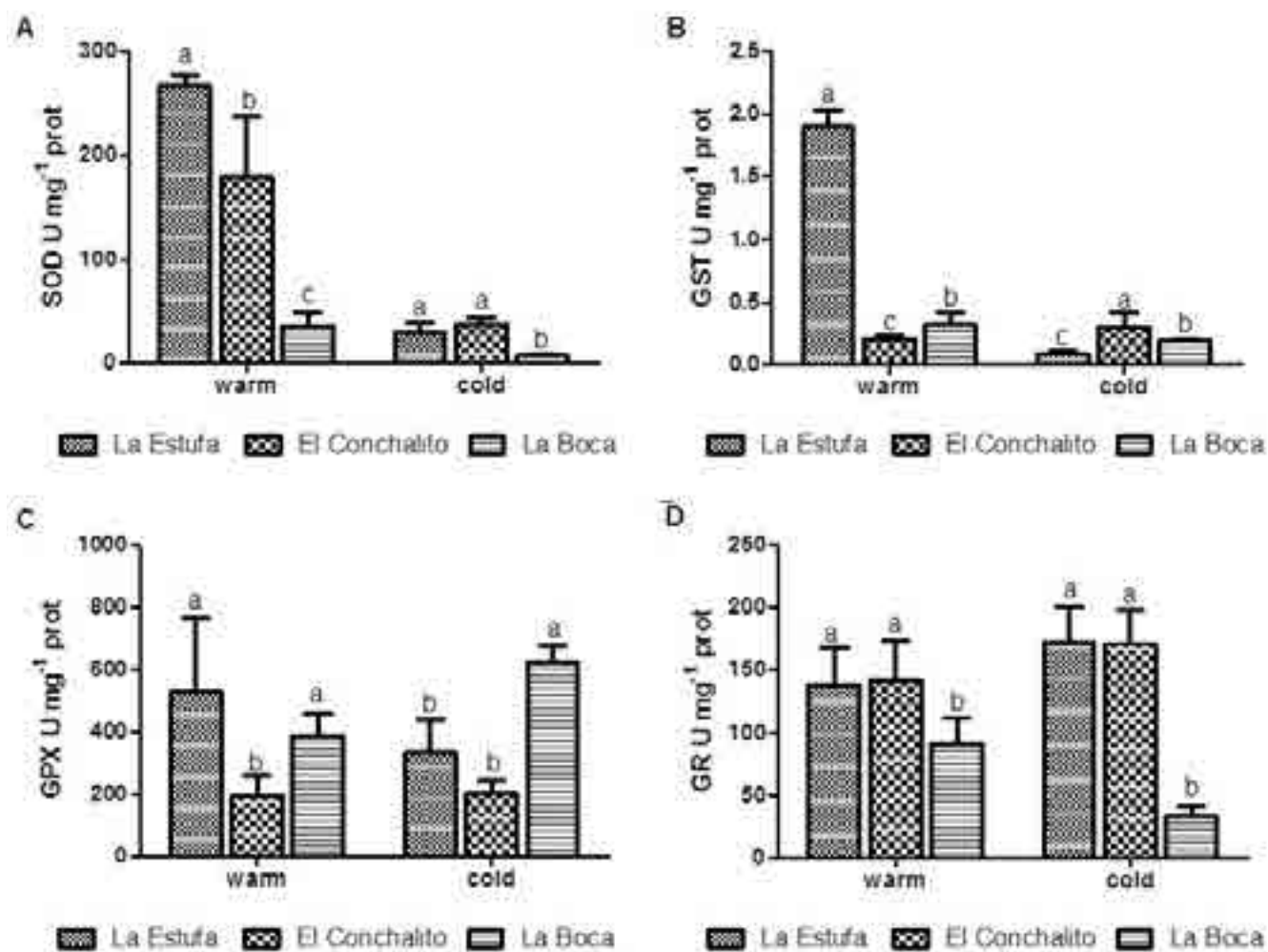


Figure 2. Seasonal variation in the antioxidant enzyme activities (U mg⁻¹ protein) of A) superoxide dismutase (SOD), B) glutathione S-transferase (GST), C) glutathione peroxidase (GPx), and D) glutathione reductase (GR) in *Gracilaria vermiculophylla* collected at Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. La Estufa (LAE; 0.5-1 m deep), El Conchalito (CON; 7 m deep), La Boca (LB; 20 m deep). Warm, November and June, 31 °C; cold, February and April, 18 °C. Data are shown as mean ± standard error (n=4). Letters indicate significant differences between sites for each season. Statistical significance was set as p<0.05.

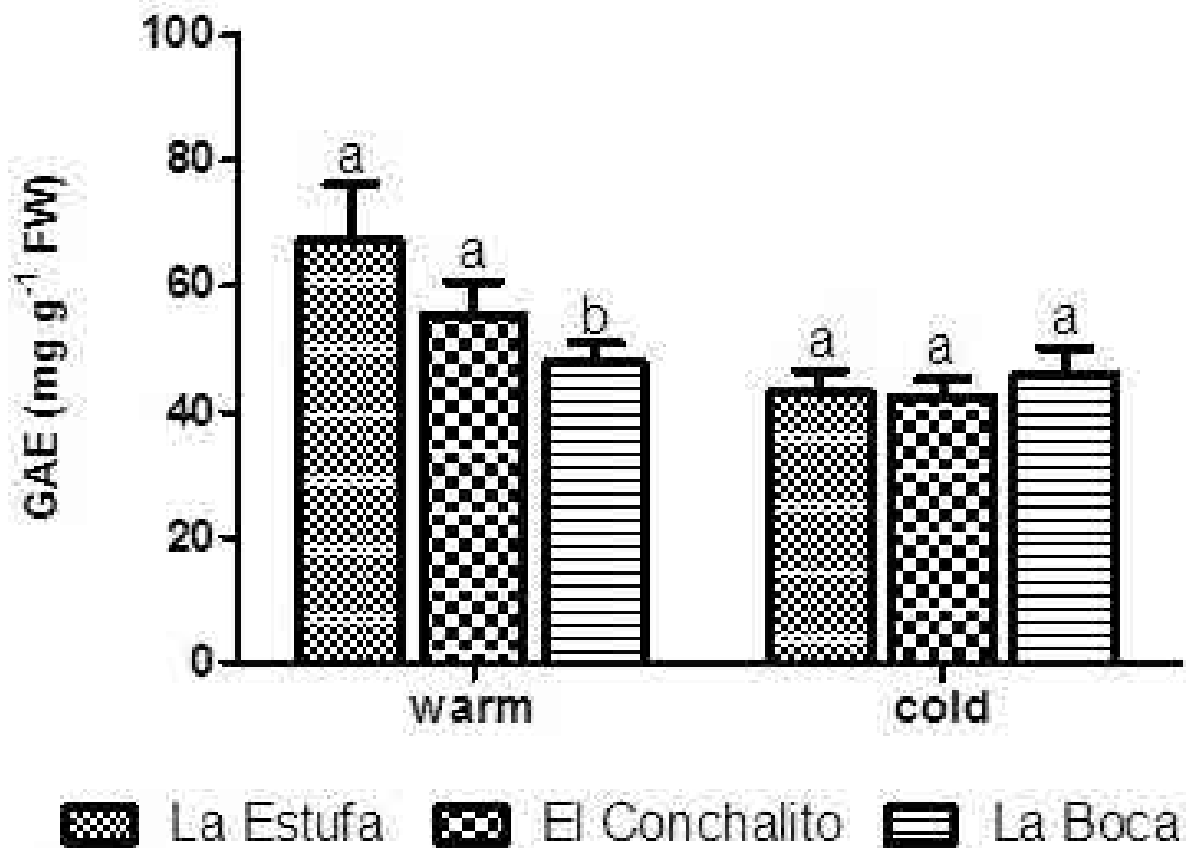


Figure 3. Total phenolic content expressed as gallic acid equivalents (GAE, mg⁻¹ g FW) in *Gracilaria vermiculophylla* collected at Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. La Estufa (LAE; 0.5-1 m deep), El Conchalito (CON; 7 m deep), La Boca (LB; 20 m deep). Warm, November and June, 31 °C; cold, February and April, 18 °C. Data are shown as mean ± standard error (n=4). Letters indicate significant differences between sites for each season. Statistical significance was set as p<0.05.

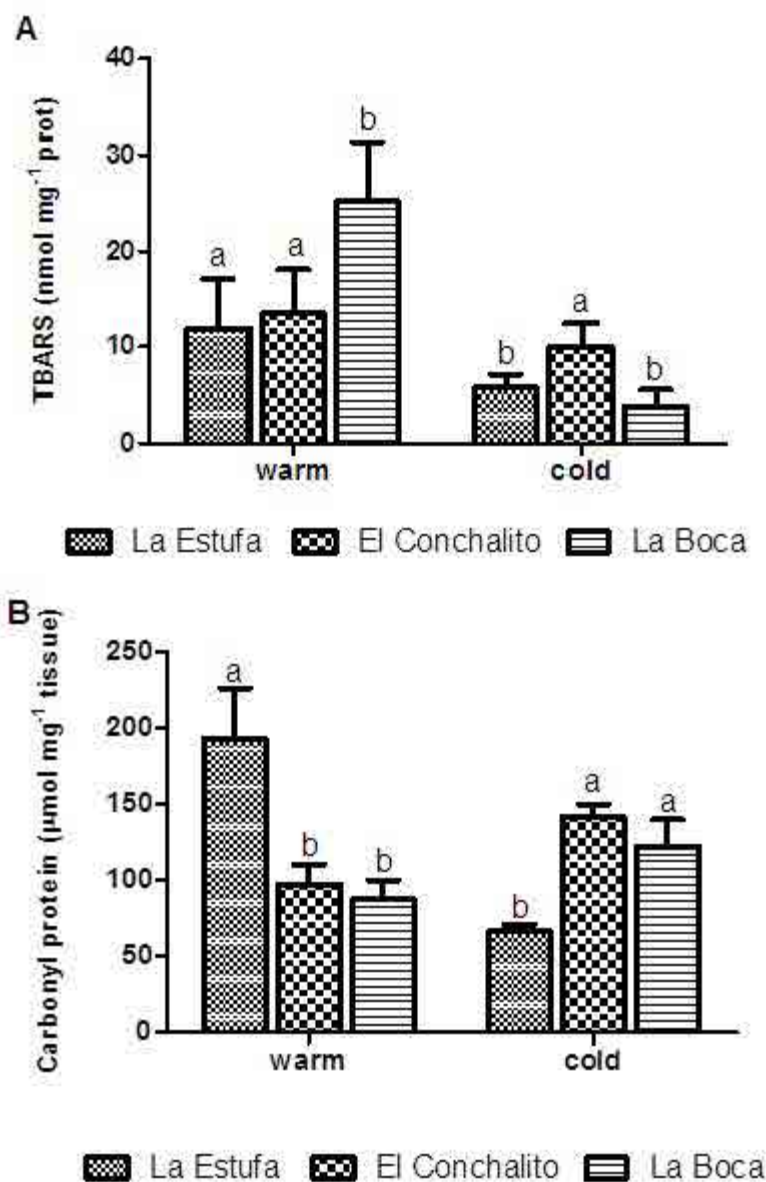


Figure 4. Oxidative damage, assessed as A) lipid peroxidation (TBARS) levels ($\mu\text{moles mg}^{-1}$ protein) and B) protein carbonyl content ($\mu\text{moles mg}^{-1}$ wet tissue) in *Gracilaria vermiculophylla* collected at Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. La Estufa (LAE; 0.5-1 m deep), El Conchalito (CON; 7 m deep), La Boca (LB; 20 m deep). Warm, November and June, 31 °C; cold, February and April, 18 °C. Data are shown as mean $\pm$ standard error (n=4). Letters indicate significant differences between sites for each season. Statistical significance was set as $p < 0.05$.

may be related to the activities of key antioxidant enzymes SOD and GST. During events that potentially lead to oxidative stress (e.g., excessive or prolonged radiation, temperature, or a combination of these factors, as observed during the warm season), the antioxidant system is finely tuned to respond accordingly, and contribute to avoidance of oxidative damage. However, the observed levels of protein carbonyls in *G. vermiculophylla* suggest the involvement of other pathways in the oxidative stress-mediated induction of cell injury, as proposed for higher plants (Anjum *et al.* 2015; Boscolo *et al.* 2003). The combined results from this study suggest that the antioxidant defenses may contribute to the ecological success of *G. vermiculophylla* along its vertical distribution, and may allow for adequate responses to the changing environmental conditions along the water column.

CONCLUSION

It was found that the antioxidant enzyme activity and the polyphenol content in *G. vermiculophylla* are higher in the shallower site ("La Estufa", 0.5-1 m deep), where this species is exposed to drastic changes in environmental conditions, especially during the warm season (November and June, 31 °C). *G. vermiculophylla* seems to be a stress-tolerant species in which the antioxidant defense systems, including the antioxidant enzymes and polyphenols, contribute to protection against ROS; thus, allowing this species to cope with changing environmental conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors appreciate the assistance of H. Bervera León and J. Angulo Calvillo in the field. N.O. Olguin-Monroy and O. Lugo-Lugo at Laboratorio de Estrés Oxidativo, as well as A. Mazariegos and students at Laboratorio de Macroalgas (CIBNOR) in sample collection, processing and technical assistance. This study was funded by Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR, PC2.0, PC0.10).

REFERENCES

- Abdala-Díaz, R.T., A. Cabello-Pasini, E. Pérez-Rodríguez, R.M. Conde-Álvarez & F.L. Figueroa. 2006. Daily and seasonal variations of optimum quantum yield and phenolic compounds in *Cystoseira tamariscifolia* (Phaeophyta). *Marine Biology* 148: 459-465.
- Abdala-Díaz, R.T., A. Cabello-Pasini, E. Márquez-Garrido & F. López Figueroa. 2014. Intra-thallus variation of phenolic compounds, antioxidant activity, and phenolsulphatase activity in *Cystoseira tamariscifolia* (Phaeophyceae) from southern Spain. *Ciencias Marinas* 40: 1-10.
- Aguilera, J., A. Dummermuth, U. Karsten, R. Schriek & C. Wiencke. 2002. Enzymatic defences against photooxidative stress induced by ultraviolet radiation in Arctic marine macroalgae. *Polar Biology* 25: 432-441.
- Álvarez-Borrego, S., B.P. Flores-Báez & L.A. Galindo-Bect. 1975. Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante Invierno, Primavera y Verano. *Ciencias Marinas* 2: 21-36.
- Anjum, N.A., A. Sofo, A. Scopa, A. Roychoudhury, S.S. Gill, M. Iqbal, A.S. Lukatkin, E. Pereira, A.C. Duarte & I. Ahmad. 2015. Lipids and proteins—major targets of oxidative modifications in abiotic stressed plants. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 4099-4121.
- Bellorin, A.M., M.C. Oliveira & E.C. Oliveira. 2004. *Gracilaria vermiculophylla*: A western Pacific species of Gracilariaceae (Rhodophyta) first recorded from the eastern Pacific. *Phycological Research* 52: 69-79.
- Benson, K.R. 2002. The study of vertical zonation on rocky intertidal shores—a historical perspective. *Integrative and Comparative Biology* 42: 776-779.
- Betancor, S., B., Dominguez, F. Tuya, F.L. Figueroa & R. Haroun. 2015. Photosynthetic performance and photoprotection of *Cystoseira humilis* (Phaeophyceae) and *Digenea simplex* (Rhodophyceae) in an intertidal rock pool. *Aquatic Botany* 121: 16-25.
- Bischof, K., P.J. Janknegt, A.G.J. Buma, J.W. Rijstenbil, G. Peralta & A.M. Breeman. 2003. Oxidative stress and enzymatic scavenging of superoxide radicals induced by solar UV-B radiation in *Ulva* canopies from southern Spain. *Scientia Marina* 67: 353-359.
- Boscolo, P.R.S., M. Menossi & R.A. Jorge. 2003. Aluminum-induced oxidative stress in maize. *Phytochemistry* 62: 181-189.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Burritt, D.J., J. Larkindale & K.L. Hurd. 2002. Antioxidant metabolism in the intertidal red seaweed *Stictosiphonia arbuscula* following desiccation. *Planta* 215: 829-838.
- Celis-Plá, P.S.M., N. Korbee, A. Gómez-Garreta & F.L. Figueroa. 2014. Seasonal photoacclimation patterns in the intertidal macroalga *Cystoseira tamariscifolia* (Ochrophyta). *Scientia Marina* 78: 377-388.
- Chappuis, E., M. Terradas, M.E. Cefali, S. Mariani & E. Ballesteros. 2014. Vertical zonation is the main distribution pattern of littoral assemblages on rocky shores at a regional scale. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 147: 113-122.
- Choo, K.S., P. Snoeijs & M. Pedersen. 2004. Oxidative stress tolerance in the filamentous green algae

- Cladophora glomerata* and *Enteromorpha ahlneriana*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 298: 111-123.
- Collén, J. & I.R. Davison. 1999. Stress tolerance and reactive oxygen metabolism in the intertidal seaweeds *Mastocarpus stellatus* and *Chondrus crispus*. *Plant Cell & Environment* 22: 1143-1151.
- Contreras-Porcia, L., D. Thomas, V. Flores & J.A. Correa. 2011. Tolerance to oxidative stress induced by desiccation in *Porphyra columbina* (Bangiales, Rhodophyta). *Journal of Experimental Botany* 62: 1815-1829.
- Davison, I.R. & G.A. Pearson. 1996. Stress tolerance in intertidal seaweeds. *Journal of Phycology* 32: 197-211.
- Dayton, P.K. 1975. Experimental evaluation of ecological dominance in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs* 45: 137-159.
- Dring, M.J. 2005. Stress resistance and disease resistance in seaweeds: the role of reactive oxygen metabolism. In: J.A. Callow. Ed. *Advances in Botanical Research* 43. *Incorporating Advances in Plant Pathology*. Academic Press, New York, pp. 175-207.
- Escobar-Sánchez, O., F. Galván-Magaña & R. Rosiles-Martínez. 2011. Biomagnification of mercury and selenium in blue shark *Prionace glauca* from the Pacific Ocean of Mexico. *Biological Trace Element Research* 144: 550-559.
- Flores-Molina, M.R., D. Thomas, C. Lovazzano, A. Núñez, J. Zapata, M. Kumar & L. Contreras-Porcia. 2014. Desiccation stress in intertidal seaweeds: Effects on morphology, antioxidant responses and photosynthetic performance. *Aquatic Botany* 113: 90-99.
- Flores-Molina, M.R., R. Rautenberger, P. Muñoz, P. Huovinen & I. Gómez. 2016. Stress tolerance of the endemic antarctic brown alga *Desmarestia anceps* to UV radiation and temperature is mediated by high concentrations of phlorotannins. *Photochemical & Photobiological Sciences* 92: 455-466.
- Folh , L. & W.A. G nzle. 1984. Assays of glutathione peroxidase. *Methods in Enzymology* 105: 114-120.
- García-Sánchez, M., N. Korbee, I.M. Pérez-Ruzafa, C. Marco, F. López-Figueroa & A. Pérez-Ruzafa. 2014. Living in a coastal lagoon environment: Photosynthetic and biochemical mechanisms of key marine macroalgae. *Marine Environmental Research* 101: 8-21.
- D. M. Goldberg and R. J. Spooner, "Glutathione Reductase," In: H. U. Bergmeyer, J. Bergmeyer and M. GraBl, Eds., *Methods of Enzymatic Analysis*, 3rd Edition, Verlag Chemie, Weinheim, 1983, pp. 258-265..
- Habig, W.H. & W.B. Jakoby. 1981. Glutathione S-transferases (rat and human). *Methods in Enzymology* 77 Academic Press, New York, pp 218-235.
- Halliwell, B. & J.M.C. Gutteridge. 2007. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 4th ed. Oxford University Press, New York.
- Koch, V., L.B. Brooks, & W.J. Nichols. 2007. Population ecology of the green/black turtle (*Chelonia mydas*) in Bahía Magdalena, Mexico. *Marine Biology* 153: 35-46.
- Krueger-Hadfield, S.A., G. Hernández Carmona, R. Tera-da, J.M. López-Vivas & R. Riosmena-Rodríguez. 2016. New Record of the non-native seaweed *Gracilaria parvispora* in Baja California – A Note on Vergara-Rodarte et al. *Cryptogamie, Algologie* 37:257-263.
- Kumar, M., P. Kumari, V. Gupta, C.R.K. Reddy & J. Bhavanath. 2010. Biochemical responses of red alga *Gracilaria corticata* (Gracilariales, Rhodophyta) to salinity induced oxidative stress. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 91: 27-34.
- Labrada-Martag n, V., P.A. Rodríguez, L.C. Méndez-Rodríguez & T. Zenteno-Sav n. 2011. Oxidative stress indicators and chemical contaminants in east Pacific green turtles (*Chelonia mydas*) inhabiting two foraging coastal lagoons in the Baja California peninsula. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology* 154: 65-75.
- Lesser, M. 2006. Oxidative stress in marine environments: Biochemistry and Physiological Ecology. *Annual Review of Physiology* 68: 253-278.
- Levine, R.L., J.A. Williams, E.P. Stadtman & E. Shacter. 1994. Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins. In: L. Packer. Ed. *Methods in Enzymology* 233. *Oxygen Radicals in Biological Systems Part C*. Academic Press, New York, pp. 346-357.
- Lohrmann, N., B. Logan & A. Johnson. 2004. Seasonal acclimatization of antioxidants and photosynthesis in *Chondrus crispus* and *Mastocarpus stellatus*, two co-occurring red algae with differing stress tolerances. *Biology Bulletin* 207: 225-232.
- López-Cruz, R.I., T. Zenteno-Sav n & F. Galván-Magaña. 2010. Superoxide production, oxidative damage and enzymatic antioxidant defenses in shark skeletal muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology* 56: 50-56.
- Maharana, D., P. Brata Das, X. N. Verlecar, N. M. Pise & M. U. Gauns. 2015. Oxidative stress tolerance in intertidal red seaweed *Hypnea musciformis* (Wulfen) in relation to environmental components. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 18741-18749.
- Nyberg, C. & I. Wallentinus. 2005. Can species traits be used to predict marine macroalgal introductions? *Biological Invasions* 7: 265-279.
- Peltzer, D. & A. Polle. 2001. Diurnal fluctuations of antioxidative systems in leaves of field-grown beech trees (*Fagus sylvatica*): responses to light and temperature. *Physiologia Plantarum* 111: 158-164.
- Persky, A.M., P.S. Green, L. Stublely, C.O. Howell, L. Zaulyanov, G.A. Brazeau & J.W. Simpkins. 2000. Protective effect of estrogens against oxidative damage to heart and skeletal muscle in vivo and in vitro. *Proceedings of*

- the Society for Experimental Biology and Medicine* 223: 59-66.
- Phooprong, S.I., H. Ogawa & K. Hayashizaki. 2007. Photosynthetic and respiratory responses of *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss collected from Kumamoto, Shizuoka and Iwate, Japan. *Journal of Applied Phycology* 5: 293-300.
- Pise, N.M., D.K. Gaikwad & T.G. Jagtap. 2013. Oxidative stress and antioxidant indices of the marine red alga *Porphyra vietnamensis*. *Acta Botanica Croatica* 72: 197-209.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2017. Listado de Especies Exóticas Invasoras para México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222541/Gracilaria_vermiculophylla.PDF
- Singleton, V.L. & J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
- Suzuki, K. 2000. Measurement of Mn-SOD and Cu, Zn-SOD. In: N. Taniguchi & J. Gutteridge, Eds. *Experimental Protocols for Reactive Oxygen and Nitrogen Species*. Oxford University Press, Oxford pp. 91-95.
- Tenorio-Rodriguez, P.A., J.I. Murillo-Álvarez, A.I. Campa-Cordova & C. Angulo. 2017. Antioxidant screening and phenolic content of ethanol extracts of selected Baja California Peninsula macroalgae. *Journal of Food Science and Technology* 54: 422-429.
- Thomsen, M.S. & K.J. McGlathery. 2007. Stress tolerance of the invasive macroalgae *Codium fragile* and *Gracilaria vermiculophylla* in a soft-bottom turbid lagoon. *Biological Invasions* 9: 499-513.
- Tian, J. & J. Yu. 2009. Changes in ultrastructure and responses of antioxidant systems of algae (*Dunaliella salina*) during acclimation to enhanced ultraviolet-B radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 97: 152-160.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Recibido: 20.09.18

Revisado: 03.12.18

Corregido: 19.12.18

Aceptado: 30.12.18

Revisores: 2 árbitros anónimos.

El Código de Nomenclatura. Un instrumento de trabajo para los ficólogos.

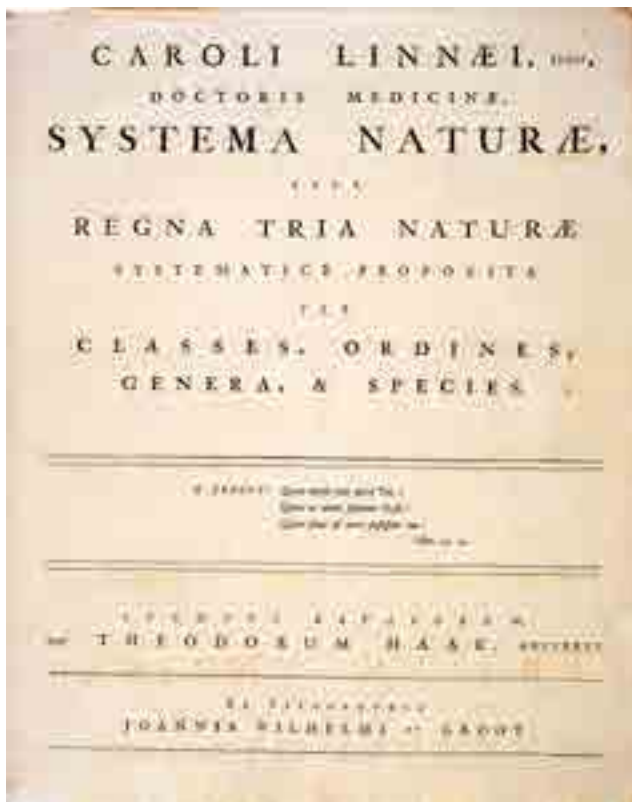
The Code of Nomenclature. A work instrument for phycologists

Francisco F. Pedroche

Comité Internacional de Nomenclatura – sección Algas
Ciencias Ambientales, UAM-Lerma
Av. De las Garzas # 10, Lerma de Villada, Edo. Mex. 52005 México

fpedroche@correo.ler.uam.mx

Pedroche, Francisco F. 2018. El Código de Nomenclatura. Un instrumento de trabajo para los ficólogos).
Cymbella 4 (2-3): 69-75. <http://cymbella.mx>

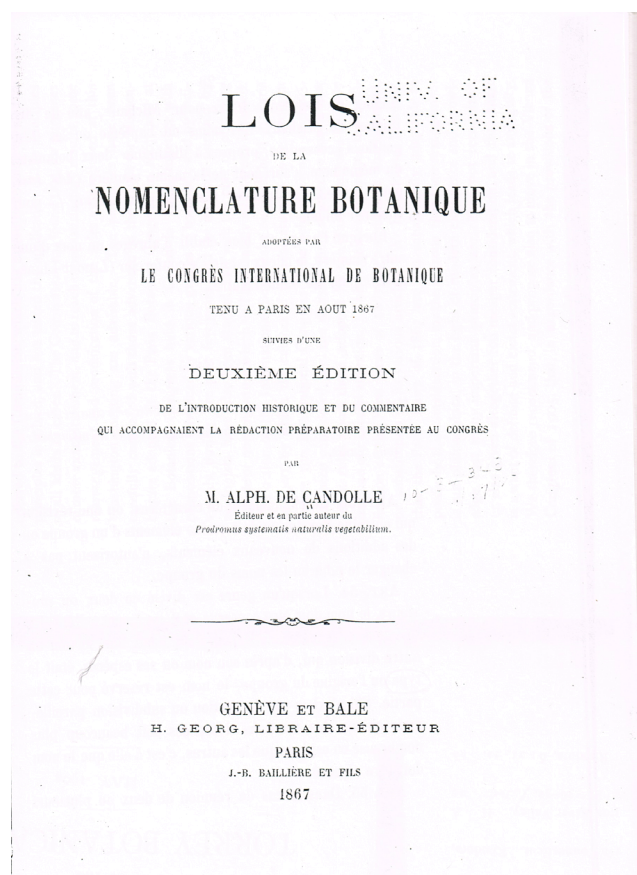


INTRODUCCIÓN

Desde la publicación de Darwin (1859) y con la emersión del paradigma de Hennig (1966), la mayoría de los biólogos hemos acordado que es necesario que las clasificaciones sean cada vez “más naturales” es decir que reflejen, en la información que almacenan, el origen, evolución y parentesco de los seres vivos; para usar pocas palabras, que incorporen su filogenia. Sin embargo, los métodos para designar un nombre para los organismos están basados en la manifestación de estos procesos, es decir patrones que se reconocen como discontinuidades en la Naturaleza y que pueden distinguirse de una u otra forma. Esta “doble” visión, de reconocer patrones o procesos, ha llevado a una larga y fructífera discusión sobre el mantener, modificar o de plano eliminar el sistema binomial conocido, y en su mayor parte propuesto por Linneo (1758). Este sistema resultó en una clasificación que tiene estructura y contenido, la primera como sabemos es jerárquica, la segunda implica una relación, no filogenética, entre las entidades colocadas en cierto grupo, que como mencionábamos arriba difiere de otros grupos. Un sistema que resultó simple, informativo y estable. Como todo sistema, su comprensión requiere intuir el propósito que subyace en él y por supuesto tener cierto conocimiento sobre los objetos clasificados (Wiley 1979).

Como apuntábamos arriba, la publicación de Henig abrió la posibilidad de ver con otros ojos los trabajos de Darwin y en 1970 Nelson escribió: "With the theory of evolution, however, came the realizations that biological entities and processes are diverse because they have become diverse, and that the study of life's diversity and the study of life's history are one and the same", forzosamente esto tiene consecuencias sobre los sistemas de clasificación y lo que algunos consideraban un arte, se convierte en una ciencia en donde la biología comparada define la era moderna de la biología (Nelson, 1970). A partir de este momento, diversos autores (Cracraft 1974; De Queiroz & Gauthier, 1990; Nelson 1971) han señalado que el sistema actual de clasificación no es el idóneo para los resultados generados por los estudios filogenéticos y algunos de estos autores han propuesto alternativas de solución, algunas de ellas muy acabadas y en discusión continua como el PhyloCode (Cantino & De Queiroz 2010). La literatura a este respecto es muy amplia y variada, y su discusión ameritará seguramente, en el futuro, un escrito para esta sección.

La realidad es que después tantos años y tantos trabajos, legos e investigadores, seguimos utilizando el sistema binomial y jerárquico para referenciar y ubicar los resultados de la ciencia en lo general o en lo particular. Esta tarea requiere conocer lo básico y suficiente sobre la denominación de las entidades biológicas y de los instrumentos vigentes para ello. Por eso, en esta primera contribución y con la intención de introducir a nuestros lectores en el marco de referencia que sirve como punto de partida y llegada a las decisiones sobre los nombres de las algas, he elegido escribir de manera muy general, sobre el instrumento denominado actualmente *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas*, conocido con anterioridad como el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (CINB) y que desde ahora llamaremos **El Código**, el cual es un **acuerdo voluntario**, entre los que ejercemos la taxonomía, para comunicar y facilitar que el sistema de designación de nombres o etiquetas, para reconocer a los organismos que pueblan este planeta, sea hasta donde sea posible estable y que no cause confusión en el desarrollo de la ciencia en general. Es importante recalcar que el ámbito de competencia del Código es la nomenclatura y no la taxonomía. Una discusión sobre la distinción de estas dos se puede encontrar en De Queiroz (2006). El Código consta de una serie de principios, reglas, recomendaciones y ejemplos que cada seis años evoluciona y se adapta para mantener la estabilidad taxonómica, pero al mismo tiempo reconoce cierta flexibilidad al incorporar los avances y necesidades de un mundo que se mueve y comunica cada día mas por medios digitales y electrónicos. Así, recientemente (agosto, 2018) tenemos la versión digital en español del último Código, revisado y aprobado en el pasado Congreso Internacional de Botánica, celebrado en Shenzhen, China durante 2017 y por lo que coloquialmente se conoce como el Código de Shenzhen. Esta versión, así como la originalmente publicada en inglés, se puede consultar en la página electrónica de la Asociación Internacional para la Taxonomía de Plantas (IAPT) (<https://www.iaptglobal.org/shenzhen-code>). Esta traducción es la que nos acompañará, en todo momento, durante el desarrollo de la presente sección y a la que invitamos a nuestros lectores, interesados en Nomenclatura, a considerar su socio en el viaje que hoy iniciamos. Quizá antes de entrar en materia sea bueno mencionar, para aquellos no muy familiarizados con la nomenclatura biológica, que existen actualmente varios Códigos vigentes y que se encuentran dedicados a grupos biológicos particulares. Así, adicionales al Código mencionado, que orienta y regula



a las algas, hongos y plantas, están los de zoología (Código Internacional de Nomenclatura Zoológica [<http://www.iczn.org/iczn/index.jsp>]), el de procariontes (Código Internacional de Nomenclatura de Procariontes) antes conocido como Código Internacional de Nomenclatura Bacteriana (Parker *et al.* 2016), el relativo a los virus (Código Internacional de Clasificación y Nomenclatura de Virus [<https://talk.ictvonline.org/information/w/ictv-information/383/ictv-code>]) y uno especializado sobre plantas cultivadas (Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (Brickell *et al.* 2016). También desde el año 1985 se han realizado esfuerzos, a través de un comité internacional que reúne a especialistas de cada uno de los códigos, para armonizar y tratar de construir un instrumento de aplicación general para todo tipo de organismos. Este ha sido denominado Biocódigo (BioCode) cuya versión más reciente (2011) puede ser consultada en línea, en el sitio: <http://www.bionomenclature.net/biocode2011.html>.

Para finalizar esta introducción solo resta recomendar el sitio de la IAPT, mencionado anteriormente y que constituye una fuente colaborativa donde se pueden encontrar recursos muy diversos relacionados con Nomenclatura, ahí se pueden consultar los Códigos de Nomenclatura, los miembros de los diversos Comités, índices nomenclaturales y repositorios, recursos bibliográficos, guías de cómo hacer y otros acervos relacionados con esta disciplina.

El Código

La historia de El Código se remonta, al parecer, a principios de los años 1800 cuando A.P. de Candolle en su obra “*Théorie élémentaire de la botanique*” (1813), critica la nomenclatura de Linneo y brinda, lo que Nicolson (1991) llama buenas prácticas, adicionando algunos ejemplos. Sin embargo, la postulación de un instrumento formal se dio hasta 1867 cuando siendo de Candolle el presidente del Congreso Internacional de Botánica (CIB) presenta la propuesta de sus *Lois de la nomenclature botanique* las cuales son adoptadas y publicadas (de Candolle 1867). Como se menciona en el artículo 1 de estas leyes, la intención fue primero establecer un sistema que regulase la nomenclatura de las plantas y segundo, que este sistema fuera reconocido y utilizado por la mayoría de los naturalistas de todos los países.

Dieciséis años después, de Candolle publicó una nueva versión en la que incorporó respuestas a preguntas y críticas surgidas sobre la Leyes de 1867. Esta edición se considera no oficial pues no fue adoptada mediante un Congreso Internacional;

sin embargo, una reunión de botánica celebrada en Genua, Italia en 1892 dio cabida a los cambios propuestos por de Candolle. No es sino hasta 1905 cuando se celebra el segundo CIB en Viena y contando con las Leyes de de Candolle como antecedente se adoptan y publican las Reglas Internacionales de Nomenclatura Botánica (principalmente en Plantas Vasculares), estas normas se conocen como las Reglas de Viena (Briquet 1906). A partir de ese momento, en todos los CIB celebrados se ha dedicado espacio y tiempo para analizar propuestas y efectuar cambios al Código, excepto en el IV Congreso (Ithaca, EU) en el cual las decisiones sobre nomenclatura fueron diferidas.

Es interesante mencionar que las “Leyes” de de Candolle fueron sustituidas por las “Reglas”, denominación que se mantuvo hasta el Congreso de Estocolmo en 1950, aunque en 1929, en la introducción de las propuestas presentadas por los británicos, previo a la celebración del Congreso en Cambridge en 1930, se menciona textualmente que el subcomité ha preparado la propuesta del “Código Internacional de Nomenclatura Botánica” (Green 1929). Así, con la publicación de las Reglas de Cambridge (Briquet 1935) se afina y consensua la estructura de un sistema sobre nombres en donde se acuerda que los pilares del sistema son: **la prioridad, el método del tipo, la publicación efectiva, la publicación válida y la legitimidad**. La **retroactividad** de las normas es un aspecto que desde de Candolle fue considerado importante como parte del *modus operandi* de los Códigos.

En 1950 se publica la sinopsis de propuestas relacionadas con las reglas internacionales de nomenclatura botánica (Lanjouw 1950) pero en 1952 aparecen formalmente publicadas ya como Código (Lanjouw 1952). Desde entonces, las “Reglas” dan paso al CINB con el sobrenombre del lugar en donde se acordó y no es sino hasta 2011 que el CINB cambia su denominación a Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas, reconociendo que su ámbito de competencia no son solo las plantas *sensu stricto*, pero si un grupo polifilético de organismos. A la fecha, se han publicado 19 “Códigos” y una versión y visión detallada de ellos se puede encontrar en el sitio electrónico elaborado por Paul van Rijkvorsel (<https://www.iapt-taxon.org/historic/index.htm>).

El Código de Shenzhen

Cada una de las versiones de El Código incorpora, en el prefacio, una descripción de los cambios importantes aprobados por el CIB en turno. Por lo general estos cambios impactan mayoritariamente

el contenido, más no la estructura del Código, la cual se conserva en su mayoría desde la propuesta de Candolle. Una historia de los cambios a lo largo de la vida de los códigos puede seguirse, si alguno está interesado, en el sitio antes mencionado. En la presente contribución se toca solo lo referente a la última edición, la del Código de Shenzhen, en lo que toca a su estructura y al espíritu que cada parte contiene. Aportaciones de otros colegas borderán sobre los contenidos y su interpretación. El Código de Shenzhen parte de una premisa contenida en todos los códigos: “nombres inequívocos para los organismos son esenciales para una comunicación científica efectiva; los nombres solo pueden ser inequívocos si existen reglas aceptadas internacionalmente que rijan su formación y uso” (McNeill *et al.* 2006).

Con este marco de referencia la estructura de El Código es muy sencilla, aunque no así su contenido, consta de: principios, reglas y recomendaciones. A éstas se suman, como material complementario o contextual, las secciones denominadas prefacio, preámbulo, apéndices y los índices.

Como se mencionó en el párrafo anterior el *Prefacio*, primer elemento de la estructura, indica los cambios mayores con respecto a la versión anterior, en este caso el Código de Melbourne. Aquí es importante citar que **las versiones vigentes siempre reemplazan a las ediciones anteriores**. Así pues, el cambio más importante y extremo según los editores fue “la decisión de la Sección de Nomenclatura de que las propuestas futuras para enmendar el Código relacionadas únicamente con nombres de organismos tratados como hongos se decidieran exclusivamente en la Sesión de Nomenclatura de un Congreso Micológico Internacional” (Greuter & Ranklin Rodríguez 2018). No obstante, estas decisiones deberán vincularse al CIB y la decisión final quedará en manos del Comité General. Relacionado con este aspecto, se creó también un Capítulo F que concentra todas las disposiciones, contempladas en el Código, que regulan los nombres de los hongos. El segundo cambio fue el remplazo de la División III, que regula la gobernanza del Código, por una versión más amplia y renovada. El tercer y último gran cambio fue la aceptación, por parte de Sección de Nomenclatura del CIB, de un mecanismo para el registro de nombres para algas y plantas (Art. 42), el cual aun no es un requisito para la publicación válida de un taxón. Otras correcciones menores tocan el contenido y redacción de los artículos.

Posterior al prefacio, en El Código se incluyen algunas fechas que representan los puntos de partida para la consideración nomenclatural de algunos grupos (*Fechas importantes en el Código*). Esta sec-

ción podría ser un apéndice más; sin embargo, por su relevancia y trascendencia aparece como un rubro independiente.

El *Preámbulo* por su parte explica y circunscribe el contenido de El Código como un todo. En él se presentan: el espíritu u objetivo del instrumento (Pre. 1), el ámbito de aplicación del código (Pre. 2 y 8), el significado de los principios (Pre. 3), la intención que tienen las disposiciones, agrupadas en reglas y manifiestas en artículos (Pre. 4-6). Se precisa como se regulan las modificaciones al código (Pre. 7), las razones, en general, para cambiar un nombre (Pre. 12) y dos consideraciones importantes: ¿qué hacer ante la ausencia de una disposición clara o pertinente? (Pre. 13) y como se anotó anteriormente, la edición de un código nuevo reemplaza a los anteriores (Pre. 14).

La parte medular del texto está sectorizada en tres *Divisiones*. La primera aborda los principios de: **independencia, tipificación, prioridad, unicidad, latinización y retroactividad**. Estos seis principios son la médula del sistema de nomenclatura. La División II contiene las reglas y recomendaciones, ordenadas por capítulos y artículos. La mayoría de los artículos poseen ejemplos que ilustran el concepto o su aplicación, así como en ocasiones notas aclaratorias que, aunque son vinculantes no introducen disposiciones o conceptos nuevos. Esta División posee ocho capítulos con números romanos (I-VIII) y dos con letras (F-H). La traducción española incluye el capítulo VIII en corchetes para indicar que corresponde a las disposiciones para los hongos que fueron movidas al capítulo F y el numerado como IX es el correspondiente al VIII en la versión original. El **Capítulo I. Los taxones y sus rangos**, tiene cinco artículos; el **Capítulo II. Estatus, tipificación y prioridad de los nombres**, cuenta con nueve artículos; el **Capítulo III. Nomenclatura de los taxones según su rango**, presenta 12 artículos; el **Capítulo IV. Publicación efectiva**, posee tres artículos; el **Capítulo V. Publicación válida de los nombres**, con 13 artículos; el **Capítulo VI. Citación**, tiene cuatro artículos; el **Capítulo VII. Rechazo de nombres**, cuenta con siete artículos y finalmente el **Capítulo VIII. Ortografía y género gramatical de los nombres**, con dos artículos. Sesenta y dos artículos conforman este cuerpo normativo. Dos capítulos nuevos se sumaron en esta edición, el primero identificado como F corresponde a las disposiciones referente a los organismos tratados como hongos (**Capítulo F. Nombres de organismos que se consideran hongos**, nueve artículos) y el segundo, considerado anteriormente como un apéndice, aborda a los organismos híbridos entre

dos o más taxones (**Capítulo H. Nombres de los híbridos**, 12 artículos). Finalmente, la División III considera las disposiciones, a manera de provisiones no de artículos (Prov. 1-8), para alcanzar una gobernabilidad adecuada en las diversas acciones que confluyen en la formulación de El Código cada seis años. Aquí se incluyen algunas consideraciones sobre la forma de tomar decisiones, la conformación y funcionamiento del comité general y de los comités permanentes, cómo se modifica la forma y contenido del código, el valor y ponderación de los votos, las funciones y conformación de la Sección de Nomenclatura, entre otras.

El *Glosario*, introducido por primera vez en el Código de Viena y originalmente como un apéndice, ahora posee un estatus independiente. Se contemplan en él, los términos empleados y definidos en el Código (111 conceptos) más algunos términos de uso particular, incluidos en el Código, pero sin una definición explícita (18 conceptos). La traducción al

español mantuvo tres inserciones, que habían sido ya introducidas en el Código de Melbourne, que no se encuentran en la versión original (inglesa) y que a juicio de los traductores son necesarias. Estas son: autor sancionador, obra sancionadora y tratamiento sancionador. La aplicación de estos conceptos está restringida a los organismos tratados como hongos.

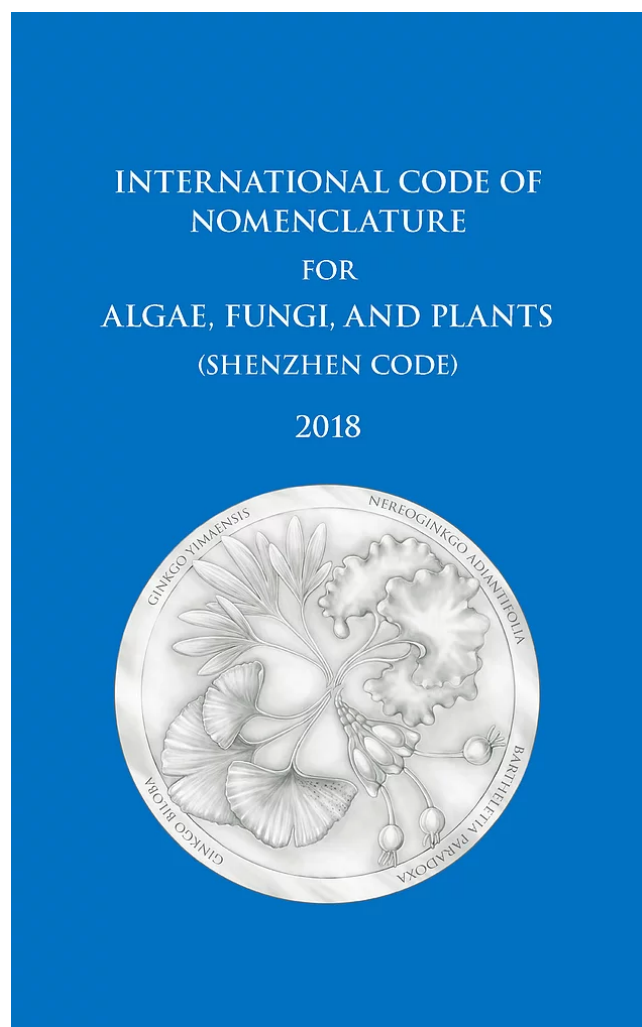
Los *Apéndices*, numerados del I al VII, no se encuentran en la traducción debido a su naturaleza. El primero establece las obras suprimidas (*operae utique oppressae*) aprobadas por el Comité General y que son consideradas obras potencialmente desestabilizadoras de la nomenclatura, principalmente aquellas que incluyen en su mayoría nombres no publicados válidamente. Esta opción, fue inicialmente introducida principalmente para obras que no utilizan consistentemente el sistema binario de nomenclatura para el rango de especie. El apéndice II enumera los nombres conservados, protegidos y rechazados en el rango de Familia; el denominado IIA, abarca a las algas, hongos, pteridofitas y fósiles, el IIB cubre a las briofitas y espermatofitas. El apéndice III enlista, al igual que el apéndice II, aquellos nombres conservados, protegidos y rechazados, pero a nivel de género o subdivisiones de él. El IV lo hace para especies y taxones infraespecíficos. Apéndice V, relaciona aquellos nombres que han sido suprimidos, ya sea ilegítimos o no publicados válidamente o bien homónimos tardíos de un nombre rechazado. Los dos últimos apéndices versan sobre decisiones vinculantes, es decir recomendaciones, presentadas por el Comité General y ratificadas en un CIB, así el apéndice VI presenta las decisiones, sobre propuestas relacionadas con las descripciones y sus declaraciones, por otra parte, el apéndice VII presenta las decisiones sobre los nombres, cuya ortografía los hace muy similares y que pueden causar confusión, algunos de ellos claramente homónimos.

Dos *Índices* cierran El Código, el primero referente a los nombres científicos incluidos en el Preámbulo y en la División II (en otras ediciones se ha incluido un índice a los nombres presentes en los Apéndices) y un índice de materias.

Artículos o Provisiones en los que se citan particularmente a las algas

A continuación, se referencian aquellos Artículos o Provisiones en los que se citan particularmente a las algas. Se ha tratado de respetar de manera literal la redacción proveniente de la traducción, pero en algunos casos se han hecho modificaciones o comentarios menores.

Prov. 7.1. Existen nueve Comités Permanentes de



Nomenclatura, incluyendo cinco Comités de Especialistas (a) el Comité General; (b) el Comité Editorial; (c) el Comité para los Votos Institucionales (d) el Comité para el Registro (e) el Comité de Nomenclatura para las Plantas Vasculares; (f) el Comité de Nomenclatura para los Briófitos; (g) el Comité de Nomenclatura para los Hongos; (h) el **Comité de Nomenclatura para los Algas** (i) el Comité de Nomenclatura para los Fósiles.

Art. 8.4. Los ejemplares tipo de nombres de taxones deben ser preservados de manera permanente y no pueden ser organismos vivos o cultivos. Sin embargo, los cultivos (cepas) de algas y hongos, si están preservados en un estado metabólicamente inactivo (p. ej. por liofilización o congelamiento para permanecer vivos en ese estado inactivo), se aceptan como tipos. (véase también el Art. 40.8).

Una recomendación relacionada, es que siempre que sea posible debería prepararse un cultivo vivo del material holotipo del nombre de un taxón nuevo de algas u hongos, y depositarse en al menos dos ceparios o colecciones de recursos genéticos reconocidos.

Art. 13.1. La publicación válida de nombres de organismos de los diferentes grupos se considera que comienza en las fechas siguientes [punto de partida] (para cada grupo se menciona un trabajo que se trata como publicado en la fecha indicada para ese grupo).

Los corchetes no son de la traducción, igualmente solo se mencionan los trabajos, punto de partida, referentes a las algas incorporando la referencia como una cita al final del texto.

Organismos no fósiles:

ALGAE, 1 de mayo de 1753 (Linnaeus, 1753).

Excepciones:

NOSTOCACEAE HOMOCYSTEAE, 1 de enero de 1892 (Gomont, 1892a; 1892b). Las dos partes de la "Monographie" se tratan como publicadas simultáneamente el 1 de enero de 1892.

NOSTOCACEAE HETEROCYSTEAE, 1 de enero de 1886 (Bornet & Flahault, 1886 – 1888). Las cuatro partes de la "Révision" se tratan como publicadas simultáneamente el 1 de enero de 1886.

DESMIDIACEAE (*sensu lato*), 1 de enero de 1848 (Ralfs, 1848).

OEDOGONIACEAE, 1 de enero de 1900 (Hirn, 1900).

Art. 16.3. Los nombres tipificados automáticamente terminan como sigue: un nombre de división o filo termina en *-phyta*, a menos que pertenezca a los hongos, en cual caso termina en *-mycota*; un nombre de subdivisión o subfilo termina en *-phyti-*

na, a menos que pertenezca a los hongos, caso en el cual termina en *-mycotina*; el nombre de una clase de algas termina en *-phyceae* y de una subclase en *-phycidae*; el nombre de una clase de hongos termina en *-mycetes* y de una subclase en *-mycetidae*; el nombre de una clase de plantas termina en *-opsida* y de una subclase en *-idae* (pero no en *-viridae*). Los nombres tipificados automáticamente cuya terminación no concuerde con estas disposiciones, o con las disposiciones del Art. 17.1, deben ser corregidos, sin cambio de autoría y fecha (véase el Art. 32.2). Sin embargo, si esos nombres se publicaron con una terminación no latina no están válidamente publicados.

Así, las Divisiones algales deben de terminar en *phyta* en lugar de *phycota* como se establecía anteriormente en el Código de Melbourne.

Art. 40.5 (en la traducción, erróneamente marcado como 40.4). A efectos del Art. 40.1, el tipo del nombre de una especie nueva o un taxón infraespecífico nuevo de algas microscópicas o microhongos (a excepción de los fósiles: véase el Art. 8.5) puede ser una ilustración efectivamente publicada cuando sea imposible o técnicamente difícil la preservación de un ejemplar que muestre las características atribuidas al taxón por el autor del nombre.

Art. 40.8. Para el nombre de una especie nueva o un taxón infraespecífico nuevo, publicados desde el 1 de enero de 2019, cuando el tipo es un cultivo, el protólogo tiene que incluir una declaración de que el cultivo se mantiene en un estado metabólicamente inactivo.

Aunque este artículo no menciona explícitamente a las algas se ha incluido por la importancia que tendrá próximamente en la descripción de taxones nuevos con esta naturaleza.

Art. 44-1. Para estar válidamente publicado, el nombre de un taxón nuevo de algas no fósiles publicado entre el 1 de enero de 1958 y el 31 de diciembre de 2011 debe estar acompañado por una descripción o diagnosis en latín o por una referencia (véase el Art. 38.13) a una descripción o diagnosis en latín previa y efectivamente publicada.

Este artículo posee una nota en la que se aclara que, para el caso de las algas, una descripción o diagnosis (véase el Art. 38) en cualquier idioma es aceptable antes de 1958.

Art. 44.2. El nombre de un taxón nuevo de algas no fósiles de rango de especie o inferior publicado desde el 1 de enero de 1958 no está válidamente publicado a menos que esté acompañado por una ilustración o figura que muestre los rasgos morfológicos distintivos, o por una referencia a una ilustración o figura previa y efectivamente publicada que muestre esos rasgos.

Este artículo contempla una recomendación para la ilustración o figura requerida por el Art. 44.2 y es que ésta debería estar basada en ejemplares reales, preferentemente que incluyan al holotipo. Art. 45.1. Si un taxón originalmente asignado a un grupo no regulado por este Código se trata como perteneciente a las algas o los hongos, cualquiera de sus nombres necesita cumplir solo con las condiciones del otro Código pertinente, usado por el autor, para un estatus equivalente al de válidamente publicado según este Código (pero véanse los Art. 54 y F.6.1, en relación con la homonimia). El Código usado por el autor se determina mediante evidencia interna, sin considerar ninguna aserción del autor en cuanto al grupo de organismos al cual asigna al taxón. Sin embargo, un nombre generado en la nomenclatura zoológica de acuerdo con el Principio de Coordinación no está válidamente publicado según este Código a menos que, y hasta que, concretamente aparezca en una publicación como el nombre aceptado de un taxón.

Consideraciones finales

A diferencia de otras disciplinas de la Biología, en las que los trabajos antiguos son solo una referencia o un antecedente, en el campo de la nomenclatura y aun en el de la taxonomía su quehacer exige el estudio de muchas fuentes bibliográficas publicadas décadas o siglos atrás. Las modificaciones a los códigos son incluso retroactivas afectando a los nombres publicados más atrás de 1753. Determinar la aplicación correcta de un nombre requiere conocer su historia, sus transformaciones y a qué organismos "representa". La estabilidad, pero también en ocasiones los usos y costumbres juegan un papel importante en esta aplicación correcta, que determina en no pocas veces la necesidad de un cambio en su posición y rango. Las primeras reglas se publicaron en 1813 y hoy 2018 el sistema de clasificación y nomenclatura sigue vigente. Doscientos años de afinar un instrumento de aplicación mundial y que impacta cotidianamente a millones de personas. Quizá en un futuro cercano se concilie una transición gradual del sistema tradicional a uno robusto en términos filogenéticos, pero por ahora los taxónomos estamos comprometidos en una comunicación rápida, expedita y precisa de nuestras investigaciones y esto implica una responsabilidad y rigor en el tratamiento de los nombres científicos. Con este primer texto se ha intentado brindar un panorama general sobre el marco de referencia que gobierna nuestras decisiones taxonómicas y nomenclaturales. Las entregas futuras versarán en aspectos más particulares o los impactos más glo-

bales de su aplicación. Para finalizar y aunado a las lecturas ya citadas en el texto, se recomiendan dos textos que podrían coadyuvar en la comprensión y aplicación de las materias contenidas en El Código; el primero, escrito por Turland (2013) directamente relacionado con los conceptos y procedimientos del código y el segundo, seguramente mejor conocido que el anterior, con una visión generalizadora sobre los procedimientos prácticos de la Taxonomía (Winston 1999).

Referencias

- Bornet, É. & C. Flahault. 1886 – 1888. Révision des Nostocacées hétérocystées contenues dans les principaux herbiers de France. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique* ser. 7, 3: 323–381 (1886a); *ibid.* 4: 343–373 (1886b); *ibid.* 5: 51–129 (1887); *ibid.* 7: 177–262 (1888).
- Brickell, C.D., C. Alexander, J.J. Cubey, J.C. David, M.H. A. Hoffmann, A.C. Leslie, V. Malécot & X.B. Jin, Eds. (2016). *International Code of Nomenclature for Cultivated Plants*. International Society for Horticultural Science, Belgium.
- Briquet, J. 1906. *International rules for botanical nomenclature*. Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- Briquet, J. 1935. *International rules of botanical nomenclature... revised by the International Botanical Congress of Cambridge*, 1930. Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- Cantino, P.D. & K. De Queiroz. 2010. PhyloCode: A phylogenetic code of biological nomenclature. Version 4c. Ohio University. <https://www.ohio.edu/phylocode/> (consultado el 5 de Agosto, 2018).
- Cracraft, J. 1974. Phylogenetic models and classification. *Systematic Zoology* 23: 71–90.
- Darwin, C. 1859. *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. John Murray, London.
- de Candolle, A.P. 1813. *Théorie élémentaire de la botanique*. Deterville, Paris.
- de Candolle, A.P. 1867. *Lois de la nomenclature botanique*. Geneve et Bale, Paris.
- De Queiroz, K. 2006. The PhyloCode and the distinction between taxonomy and nomenclature. *Systematic Biology* 55: 160–162.
- De Queiroz, K. & J. Gauthier. 1990. Phylogeny as a central principle in taxonomy: phylogenetic definitions of taxon names. *Systematic zoology* 39: 307–322.
- Gomont, M. 1892a. Monographie des Oscillariées (Nostocacées homocystées). *Annales des Sciences Naturelles, Botanique* ser. 7, 15: 263–368.
- Gomont, M. 1892b. Monographie des Oscillariées (Nostocacées homocystées). *Annales des Sciences Naturelles, Botanique* ser. 7, 16: 91–264.
- Green, M.L. 1929. *International botanical congress, Cambridge (England) 1930: Proposals by British botanists*. Wyman & Sons, London.

- Greuter, W. & R. Ranklin Rodríguez, Eds. 2018. Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (Código de Shenzhen). *Occasional papers from the Herbarium Greuter*. 4. Stiftung Herbarium Greuter, Berlin.
- Hennig, W. 1966. *Phylogenetic Systematics*. University of Illinois Press. Chicago.
- Hirn, K.E. 1900. Monographie und Iconographie der Oedogoniaceen. *Acta Societatis Scientiarum Fennicae* 27, Helsingfors.
- Lanjouw, J. 1950. *Synopsis of proposals concerning the international rules of botanical nomenclature.....* Chronica Botanica Co., Utrecht,.
- Lanjouw, J., Ed. 1952. *International code of botanical nomenclature adopted by the Seventh International Botanical Congress, Stockholm*, Utrecht, International Bureau for Plant Taxonomy and Nomenclature of the International Association for Plant Taxonomy.
- Linneo, C. 1753. *Species plantarum ...* Holmiae, Stockholm.
- Linneo, C. 1758. *Systema naturae per regna tria naturae ...* Editio decima ... Vol. 1. Holmiae, Stockholm.
- McNeill, J., F.R. Barrie, H.M. Burdet, V. Demoulin, D.L. Hawksworth, K. Marhold, D.H. Nicolson, J. Prado, P.C. Silva, J.E. Skog, J.H. Wiersema & N.J. Turland, Eds. 2006. International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). *Regnum Vegetabile* 146 A.R.G Gantner Verlag KG, Liechtenstein.
- Nelson, G.J. 1970. Outline of a theory of comparative biology. *Systematic Zoology* 19: 373-384.
- Nelson, G.J. 1971. "Cladism" as a philosophy of classification. *Systematic Zoology* 20: 373-376.
- Nicolson, D.H. 1991. A history of botanical nomenclature. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 78: 33-56.
- Parker, C.T., B.J. Tindall & G.M. Garrity. 2016. International Code of Nomenclature of Prokaryotes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 66: 2016.
- Ralfs, J. 1848. *The British Desmidiaceae*. Reeve, Benham, and Reeve, Strand, London.
- Turland, N.J. 2013. The Code Decoded: A user's guide to the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants. *Regnum Vegetabile* 155. Koeltz Scientific Books, Königstein.
- Wiley, E.O. 1979. An annotated Linnaean hierarchy, with comments on natural taxa and competing systems. *Systematic Biology* 28: 308-337.
- Winston, J.E. 1999. *Describing species. Practical taxonomic procedure for biologists*. Columbia University Press, New York.

Recibido: 20.11.18

Aceptado: 03.12.18

IN MEMORIAM

DR. JULIO ESPINOZA ÁVALOS

José A. Zertuche-González

Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO-UABC)
email: zertuche@uabc.edu.mx

Zertuche-Gonzalez, José A. 2018. In memoriam Dr. Julio Espinoza Ávalos.
Cymbella 4 (2-3): 76-78. <http://cymbella.mx>



Julio Espinoza Ávalos nació en Ensenada, Baja California el 31 de enero de 1952. Inició su carrera académica en la Escuela Superior de Ciencias Marinas (hoy Facultad) de la Universidad Autónoma de Baja California. Continuó con sus estudios de Maestría en Dalhousie University en Halifax, Canadá, bajo la dirección del reconocido ficólogo Dr. Anthony Chapman. El trabajo de Maestría de Julio resultó en una publicación clásica en el tema de la expresión fenotípica en Laminariales (1). Posteriormente, obtuvo su Doctorado de la Universidad Autónoma Metropolitana bajo la dirección de la Dra. Esther Meave. Tan pronto terminó su licenciatura, Julio inició su carrera de investigador en el Centro de Investigaciones Biológicas de la Paz ahora Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB-NOR), Baja California Sur. En 1990 se integró al Centro de Investigaciones de Quintana Roo que posteriormente convirtió en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) donde Julio laboró hasta al día de su fallecimiento. Desde el inicio de su carrera, el tema de la ecología de las macroalgas fue el eje de sus investigaciones que le valieron distinguidos reconocimientos como ser merecedor al Premio Estatal de Ciencia y Tecnología y Reconocimiento a

la Innovación en el 2006 otorgado por el Gobierno del Estado de Quintana Roo. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986 y ratificado como Nivel II en el 2015. La contribución de Julio al desarrollo de la Ficología en México fue muy significativa por sus investigaciones en el Pacífico templado, el Golfo de California y el Caribe Mexicano, Julio además contribuyó con la formación de recursos humanos de manera destacada; dirigió cinco tesis de Licenciatura, nueve de Maestría y dos de Doctorado. Entre otros cargos académicos de liderazgo ocupó la Jefatura del Departamento y Sistemática y Ecología Acuática y Coordinador del Postgrado del ECOSUR.

Tuve el placer de colaborar con Julio como miembro de su comité de tesis de Doctorado y durante un sabático en nuestro laboratorio. Se distinguía entre sus colaboradores y alumnos por su juicio crítico, perfeccionista y rigurosamente imparcial. Aunque siempre se consideró ficólogo, sus trabajos con los corales fueron reconocidos al ser invitado a dar una ponencia magistral en el IX Congreso Nacional de Arrecifes Coralinos en junio de 2017. Al siguiente año, fue invitado a dar una ponencia magistral con el tema de interacciones algas-corales en el CEBIO 2018 de la USON. Sin duda, la apasionada actitud de Julio en su desempeño científico y su contribución a la ficología en México, fueron y serán una inspiración para sus alumnos y los que colaboramos con él.

Agradezco a los colegas que contribuyeron a enriquecer esta semblanza de nuestro muy estimado colega, de manera particular, a la Dra. Neydi Cetz-Navarro, esposa y colaboradora de Julio.

CONTRIBUCIONES DEL DR. JULIO ESPINOZA-ÁVALOS

- van Tussenbroek, B.I., H.A. Hernández-Arana, R.E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Ávalos, H.M. Canizales-Flores, C.E. González-Godoy, M. Guadalupe Barba-Santos, A. Vega-Zepeda & L. Collado-Vides. 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin* 122: 272-281. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.06.057.
- Cetz-Navarro N.P., J. Espinoza-Ávalos, A. Vega-Zepeda, A.I. Cerón-Flores, R. Raigoza-Figueras & E.J. Carpizo-Ituarte. 2016. Reclutamiento del coral *Acropora palmata* sobre sustratos de dos materiales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 51, 643-653. doi:10.4067/S0718-19572016000300015.
- Espinoza-Ávalos, J., L.E. Aguilar-Rosas, R. Aguilar-Rosas, J.M. Gómez-Poot & R. Raigoza-Figueras. 2015. Presencia de *Caulerpaceae* (Chlorophyta) en la península de Yucatán, México. *Botanical Sciences* 93: 845-854. doi:10.17129/botsoci.160.
- Cetz-Navarro, N.P., L.I. Quan-Young & J. Espinoza-Ávalos. 2015. Morphological and community changes of turf algae in competition with corals. *Scientific Reports* 5: 12814. doi:10.1038/srep12814.
- Gutiérrez-Isaza, N., J. Espinoza-Ávalos, H.P. León-Tejera & D. González-Solís. 2015. Endolithic community composition of *Orbicella faveolata* (Scleractinia) underneath the interface between coral tissue and turf algae. *Coral Reefs* 34: 625-630. doi:10.1007/s00338-015-1276-0.
- Cetz-Navarro, N.P., E.J. Carpizo-Ituarte, J. Espinoza-Ávalos & G. Chee-Barragán. 2015. The effect of filamentous turf algal removal on the development of gametes of the coral *Orbicella annularis*. *PLoS ONE* 10: e0117936. doi:10.1371/journal.pone.0117936
- Cetz-Navarro, N.P., J. Espinoza-Ávalos, H.A. Hernández-Arana & J.P. Carricart-Ganivet. 2013. Biological responses of the coral *Montastraea annularis* to the removal of filamentous turf algae. *PLoS ONE* 8: e54810. doi:10.1371/journal.pone.0054810
- Pacheco-Ruiz, I., A. Cabello-Pasini, J.A. Zertuche-González, S. Murray, J. Espinoza-Ávalos & M.J. Dreyfus-Leon. 2011. Carpospore and tetraspore release and survival in *Chondracanthus squarulosus* (Rhodophyta: Gigartinales) from the Gulf of California. *Botanica Marina* 54: 127-134. doi:10.1515/BOT.2011.019
- Hirales-Cota, M., J. Espinoza-Ávalos, B. Schmook, A. Ruiz-Luna & R. Ramos-Reyes. 2010. Drivers of mangrove deforestation in Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, southeast Mexico. *Ciencias Marinas* 36: 147-159. doi:10.7773/cm.v36i2.1653
- Jorgensen, P., J. Espinoza-Ávalos & H. Bahena-Basave. 2009. High population density survival of the sea urchin *Diadema antillarum* (Philippi, 1845) to a category 5 hurricane in southern Mexican Caribbean. *Hidrobiológica* 18: 257-260. <http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/publicaciones/>
- Zertuche-González, J.A., V.F. Camacho-Ibar, I. Pacheco-Ruiz, A. Cabello-Pasini, L.A. Galindo-Bect, J.M. Guzmán-Calderón, V. Macías-Carranza & J. Espinoza-Ávalos. 2009. The role of *Ulva* spp. as a temporary nutrient sink in a coastal lagoon with oyster cultivation and upwelling influence. *Journal of Applied Phycology* 21: 729-736. doi:10.1007/s10811-009-9408-y
- González-Leija, J.A., E. Hernández-Garibay, I. Pacheco-Ruiz, J. Guardado-Puentes, J. Espinoza-Ávalos, J.M. López-Vivas & J. Bautista-Alcantar. 2009. Optimization of the yield and quality of agar from *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales) from the Gulf of California using an alkaline treatment. *Journal of Applied Phycology* 21: 321-326. doi:10.1007/s10811-008-9370-0
- Cetz-Navarro, N.P., J. Espinoza-Ávalos, A. Sentíes-Granados & L.I. Quan-Young. 2008. Nuevos registros de macroalgas para el Atlántico mexicano y riqueza florística del Caribe mexicano. *Hidrobiológica* 18: 11-19. <http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/publicaciones/>
- Quan-Young, L.I. & J. Espinoza-Ávalos. 2006. Reduction of zooxanthellae density, chlorophyll a concentration, and tissue thickness of the coral *Montastraea faveolata* (Scleractinia) when competing with mixed turf algae. *Limnology and Oceanography* 51: 1159-1166. doi:10.4319/lo.2006.51.2.1159
- Quan-Young, L.I., S.G. Jiménez-Flores & J. Espinoza-Ávalos. 2006. Flora béntica y reproducción de *Batophora* spp. (Chlorophyta) de una laguna costera contaminada (Bahía de Chetumal). *Revista de Biología Tropical* 54: 341-355. doi:10.15517/rbt.v54i2.13874
- Quan-Young, L.I., M.A. Díaz-Martín & J. Espinoza-Ávalos. 2006. Algas epífitas en Bajo Pepito, Isla Mujeres, Quintana Roo, México. *Revista de Biología tropical* 54: 317-328. doi:10.15517/rbt.v54i2.13872
- Pacheco-Ruiz, I., J.A. Zertuche-González & J. Espinoza-Ávalos. 2005. The role of secondary attachment discs in the survival of *Chondracanthus squarulosus* (Gigartinales, Rhodophyta). *Phycologia* 44: 629-631. doi:10.2216/0031-8884(2005)44[629:TROSAD]2.0.CO;2
- Espinoza-Ávalos, J. 2005. Fenología de macroalgas marinas. *Hidrobiológica* 15: 109-122. <http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/publicaciones/>
- Quan-Young, L.I., M.A. Díaz-Martín & J. Espinoza-Ávalos. 2004. Floristics, cover and phenology of marine macroalgae from Bajo Pepito, Isla Mujeres, Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 75: 11-25. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bull-mar/2004/00000075/00000001/art00002>
- Espinoza-Ávalos, J., E. Hernández-Garibay & J.A. Zertuche-González. 2003. Agar from two coexisting species of *Gracilaria* (Gracilariaceae) from the Mexican

- Caribbean. *Ciencias Marinas* 29: 221-228. doi:10.7773/cm.v29i2.144
- Cruz-Piñón, G., J.P. Carricart-Ganivet & J. Espinoza-Ávalos. 2003. Monthly skeletal extension rates of the hermatypic corals *Montastrea annularis* and *Montastrea faveolata*: biological and environmental controls. *Marine Biology* 143: 491-500. doi:10.1007/s00227-003-1127-3
- Gómez-Poot, J.M., J. Espinoza-Ávalos & S.G. Jiménez-Flores. 2002. Vegetative and reproductive characteristics of two species of *Batophora* (Chlorophyta, Dasycladaceae) from Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Botanica Marina* 45: 189-195. doi:10.1515/BOT.2002.018
- Díaz-Martín, M.A. & J. Espinoza-Ávalos. 2000. Distribution of brown seaweeds (Phaeophyta) in the Yucatán peninsula, México. *Bulletin of Marine Science* 66: 279-289. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2000/00000066/00000002/art00001>
- Ruiz-Zárate, M.A., J. Espinoza-Ávalos, J.P. Carricart-Ganivet & D. Fragoso-Tejas. 2000. Relationships between *Manicina areolata* (Cnidaria: Scleractinia), *Thalassia testudinum* (Anthophyta) and *Goniolithon* sp. (Rhodophyta). *Marine Ecology Progress Series* 206: 135-146. doi:10.3354/meps206135
- Sentíes-Granados, A., J. Espinoza-Ávalos & J.C. Zurita. 1999. Epizoic algae of nesting sea turtle *Caretta caretta* (L.) and *Chelonia mydas* (L.) from the Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 64: 185-188. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1999/00000064/00000001/art00017>
- Quan-Young, L.I., M.A. Díaz-Martín & J. Espinoza-Ávalos. 1998. *Caulerpa webbiana* (Chlorophyta, Caulerpaceae) en la península de Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical* 46: 447. https://www.researchgate.net/publication/286417535_Caulerpa_webbiana_Chlorophyta_Caulerpaceae_en_la_peninsula_de_Yucatan_Mexico
- Díaz-Martín, M.A., E. Torres-Mejía & J. Espinoza-Ávalos. 1998. Lista de algas del área de protección Yum Balam, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 46: 487-492. doi:10.15517/rbt.v46i3.19717
- Espinoza-Ávalos, J. 1996. Distribution of seagrasses in the Yucatán peninsula, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 59: 449-454. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1996/00000059/00000002/art00013>
- Espinoza-Ávalos, J. 1996. Reflexiones sobre la cosecha, cultivo y coloides de las macroalgas marinas *Gracilaria* y *Eucheuma* en Latinoamérica y el Caribe. *Interciencia* 21: 255-258. https://www.researchgate.net/publication/281655142_Reflexiones_sobre_la_cosecha_el_cultivo_y_los_coloides_de_las_macroalgas_marinas_Gracilaria_y_eucheuma_en_latinoamerica_y_el_caribe?ev=prf_pub
- Espinoza-Ávalos, J. 1996. Estructura de talla y reproducción de *Gelidium robustum* (Rhodophyta) en la parte central de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 22: 415-426. doi:10.7773/cm.v22i4.878.
- Espinoza, J. 1990. The southern limit of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Phaeophyta, Fucales) in the Mexican Pacific. *Botanica Marina* 33: 193-196. doi:10.1515/botm.1990.33.2.193.
- Espinoza, J. 1990. Estructura por edades de tres poblaciones de *Sargassum sinicola* (Phaeophyta, Fucales) en la Bahía de La Paz, Golfo de California. *Acta Botánica Mexicana* 11: 1-9.
- Espinoza, J. & H. Rodríguez. 1989. Crecimiento de *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en la parte sur del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas* 15: 141-149. doi:10.7773/cm.v15i4.661.
- Espinoza, J. & H. Rodríguez. 1987. Seasonal phenology and reciprocal transplantation of *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner in the southern Gulf of California. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 110: 183-195. doi:10.1016/0022-0981(87)90027-X
- Espinoza, J. & H. Rodríguez. 1985. Observaciones preliminares de *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en la Bahía de La Paz, Golfo de California. *Ciencias Marinas* 11: 115-120. doi:10.7773/cm.v11i3.476
- Espinoza, J. 1979. Resultados preliminares sobre la distribución superficial de parámetros físico-químicos de la Ensenada de La Paz, B.C.S., durante la primavera de 1976. *CALCOFI Reports* 20: 150-163. http://www.calcofi.org/publications/calcofireports/v20/CalCOFI_Rpt_Vol_20_1979.pdf
- Espinoza, J. & A.R.O. Chapman. 1983. Ecotypic differentiation of *Laminaria longicruris* in relation to seawater nitrate concentration. *Marine Biology* 74: 213-219. doi:10.1007/BF00413924
- Mathews, C.P. & J. Espinoza. 1975. Distribución y abundancia de las existencias de pescado de escama en Bahía Magdalena, Baja California Sur. *Ciencias Marinas* 2: 73-76. <http://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarias/article/view/267/226>

Editor de Número Especial

Zertuche-González, J.A., J. Espinoza-Ávalos & L.B. Ladah. 2012. Eds. Marine Botany of the Gulf of California. *Botanica Marina* (Special Issue) 55(2): 117-197.

Recibido: 24.03.18

Revisado: 25.03.18

Aceptado: 25.03.18

Microalgas de la Península de Yucatán. 2017. Silvia Juana López-Adrián y Eberto Novelo Maldonado (Eds.) Edición de Silvia López-Adrián. Mérida. Diciembre 2017. 225 pp.

Pech y Aké, América A. E. 2018. Reseña del libro "Microalgas de la Península de Yucatán" 2017. López-Adrián, Silvia Juana y Novelo Maldonado, Eberto (Eds). Ed. por la autora. Mérida. *Cymbella* 4(2): 79-80.



El libro "Microalgas de la península de Yucatán" es el producto del trabajo de investigación y docencia de la M. en C. Silvia Juana López-Adrián durante treinta y un años sobre microalgas dulceacuícolas y marinas, el cual se realizó en cuerpos de agua de zonas urbanas y conurbadas, naturales o artificiales, en lagunas interiores y costeras. En este volumen se introduce al lector al interesante conocimiento de las microalgas, a sus técnicas de recolección, aislamiento, preservación, identificación y caracterización con ayudas como claves de identificación e imágenes de las especies al micros-

copio, también anota sobre los usos potenciales de las microalgas en diferentes campos en biorremediación, bioenergía, farmacéutica, nutricionales o como bioindicadores.

El libro cuenta con la colaboración de otros investigadores como la Dra. Rosaluz Tavera, el Dr. Eberto Novelo, el M. en C. Roberto C. Barrientos Medina, el Dr. Víctor Cobos Gasca, la Dra. Ruby Valdez Ojeda y la Biól. Katia Ancona. Está conformado por 16 capítulos en los que se describe el inicio y desarrollo de los estudios sobre las microalgas de agua dulce en la Península de Yucatán, varios estudios florísticos, otros de tipo ecológico, sobre calidad del agua y la utilidad de las microalgas como bioindicadores de esa calidad, la formación de un cepario de algas nativas de la Península y la descripción sobre aislamiento y cultivo de varias especies.

El capítulo 1 describe como se inició el estudio de las microalgas en Yucatán y su desarrollo histórico, desde 1980 en la Universidad de Yucatán, en el Departamento de Botánica de la Licenciatura de Biología hasta llegar a consolidarse como una colección de Herbario muy importante. En este capítulo describe los cuerpos de agua de la península, como las canteras, haltunes, aguadas, cenotes, pozos y sascaberas, los cenotes, chultunes, humedales, acuaparcos y las charcas artificiales y naturales e incluye los almacenamientos temporales sobre las piedras y aun sobre la superficie de las estructuras de las pirámides mayas.

Los capítulos 2, 8 son de tipo ecológico, describen las características ambientales donde proliferan las microalgas.

Los capítulos 3, 4, 5 y 11 son estudios florísticos de sitios o áreas relativamente amplias, son un recuento de la riqueza de microalgas que puede encontrarse en la Península.

Los capítulos 6, 7, 9 y 10 muestran los trabajos de la Maestra López-Adrián en el aislamiento, cultivo y formación de un cepario de algas de la región

asociado al Herbario Alfredo Barrera Marín de la Universidad de Yucatán. Describe en particular el aislamiento y cultivos de especies de los géneros *Scenedesmus* y *Chlorella*.

Los capítulos 12, 13, 14 y 15 son estudios sobre la utilidad de las microalgas en la evaluación de la calidad del agua y el efecto sobre las microalgas de algunos contaminantes.

El capítulo 16 es un estudio taxonómico de algunas especies del género *Scenedesmus*.

De los estudios florísticos se observa que existe una mayor diversidad en las áreas abiertas de las sascaberas las cuales se pueden considerar como un sitio potencial para la obtención de microalgas con utilidad biotecnológica para diferentes áreas como alimentos, farmacéuticos y bioenergía. Nos presenta el estudio de la microflora de las aguas de cenotes y lagunas de las áreas naturales protegidas de Yucatán, las cuales están en riesgo debido a factores como la disminución de su superficie debido al desarrollo urbano, al crecimiento de las zonas industriales, a la contaminación ambiental y a las descargas de residuos de forma directa al suelo y a los cuerpos de agua.

Un estudio se dedica al establecimiento de los patrones de composición, riqueza y distribución de las cianofíceas planctónicas en cuatro áreas Naturales Protegidas en Yucatán. Muestra los parámetros ambientales que están relacionados con la diversidad y distribución de este importante grupo. El contar con un cepario de microalgas nativas de la Península, posibilitó el estudio sobre los efectos de sustancias organofosforados en las algas, lo que permitirá establecer políticas de manejo y conservación.

El libro contiene un anexo de láminas con fotografías de las microalgas que ha estudiado la Mtra. López Adrián y que será de mucha utilidad para los que tienen interés en las microalgas.

El libro es interesante y está escrito de una forma muy sencilla, conduce al lector de una forma simple a la clasificación de las microalgas y a las distintas especies encontradas en los sitios y áreas muestreadas de la península de Yucatán. Las microalgas son organismos con una gran variedad de formas y tallas las cuales se encuentran en diferentes ambientes en formas coloniales o en asociaciones, ellas son importantes debido a que forman parte de la producción primaria de la cadena alimenticia, pero también pueden ser benéficas o perjudiciales, dependiendo de las condiciones en las que se encuentren.

En conclusión, el libro es valioso por la información para las ciencias básicas, en particular de las microalgas y una buena herramienta para los estudiantes que se inician en este tema. Conduce al lector una forma sencilla a un área del conocimiento poco difundida, con información nueva, con listados de las microalgas de agua dulce de la Península, que se convierte en un referente florístico importante.

Dra. América A.E. Pech y Aké

Agroecología

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Autónoma de Yucatán

email: america.pech@correo.uady.mx

Recibido: 24.03.18

Melina Celeste Crettaz-Minaglia

Estudio del crecimiento de *Microcystis aeruginosa* y de la producción de microcistina en cultivo de laboratorio

Tesis de doctorado.

Laboratorio de Toxicología General, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 115, La Plata, Buenos Aires, Argentina. C.P. 1900.

Correspondencia: mcretta@exactas.unlp.edu.ar

Las floraciones de cianobacterias pueden encontrarse en lagos, lagunas, ríos y arroyos de todo el mundo y es posible observar que su ocurrencia es cada vez más frecuente durante todo el año. En Argentina, se han registrado en casi todas las provincias, siendo *Microcystis aeruginosa* una de las cianobacterias más frecuentemente reportadas junto con el género *Dolichospermum*. En este sentido, existe gran preocupación por el fenómeno de las floraciones de cianobacterias dado los múltiples efectos ambientales y sanitarios que ocasionan, siendo la producción de cianotoxinas uno de los aspectos más preocupantes.

En este marco, el objetivo de la presente Tesis Doctoral fue estudiar la influencia de los factores temperatura, irradiación y relación N:P sobre el crecimiento y producción de clorofila-a (clo-a) y MC-LR de *M. aeruginosa* cepa CAAT 2005-3, autóctona y de ambiente templado, en condiciones de laboratorio utilizando modelos matemáticos. Se realizó un diseño factorial combinando 3 niveles de temperatura (26, 30, 36°C), irradiación (30, 50, 70 $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y relación N:P (10, 100, 150). Los ensayos se realizaron en una cámara de cultivo por duplicado con un inóculo de $9\cdot 10^5$ - $1\cdot 10^6$ cél. mL^{-1} ($\text{D.O.}_{740\text{nm}} \approx 0,1$). En cada ensayo, se determinó periódicamente el número de células, el contenido de clo-a y de D-Leu¹ [MC-LR], principal MC producida por la célula. Los datos obtenidos de recuento fueron modelados utilizando la ecuación de Gompertz y se calcularon los parámetros velocidad de crecimiento (μ), duración de la fase de latencia (LPD) y máxima densidad de población (MPD). También, se utilizó un modelo secundario tipo Arrhenius para evaluar los efectos de la temperatura en μ y LPD

y el modelo modificado de Ratwosky para determinar las temperaturas óptima, máxima y mínima de crecimiento. La producción de clo-a se modeló utilizando un modelo lineal que permitió calcular el tiempo de duplicación medio (t_m). La producción de D-Leu¹ [MC-LR] se modeló utilizando un modelo dinámico que incluye el modelo de Gompertz y el modelo lineal de Long para evaluar la relación entre la producción de cianotoxina respecto a la velocidad de crecimiento. Además, para evaluar el efecto de todos los factores sobre los parámetros se utilizó un modelo de superficie de respuesta.

Los modelos propuestos y utilizados para modelar los datos se ajustaron a los datos experimentales con buenos coeficientes de determinación. Se observó que la temperatura y la irradiación incrementan los valores de μ (0,20-0,38 d^{-1} a 26° y 0,22-0,36 d^{-1} a 30°C), sin embargo, a máxima temperatura, la intensidad de irradiación no tiene efectos significativos ($p < 0,05$) sobre los valores de μ (0,17-0,31 d^{-1} a 36°C). De modo similar, la temperatura y la irradiación también afectaron los valores de MPD observándose los valores máximos (7,19-7,44 cél. mL^{-1} a 26°C; 6,58-6,72 cél. mL^{-1} a 30°C y 6,33-6,50 cél. mL^{-1} a 36°C) a irradiación 50 $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Los valores de LPD se encontraron afectados por la temperatura y la relación N:P observándose menores valores en condiciones de exceso de nitrógeno y aumento de la temperatura. El modelo modificado de Ratkowsky permitió calcular las temperaturas cardinales: $T_{\text{min}} = 8,58 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,34$, $T_{\text{max}} = 45,04 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,35$ y $T_{\text{óptima}} = 33,39 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,55$. Los valores de energías de activación de μ fueron mayores en el dominio de temperaturas más bajas ($83,08 \pm 0,9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) y menores en el dominio de

temperaturas más altas ($13,30 \pm 0,81 \text{ kJ.mol}^{-1}$). Por el contrario, los valores de energías de activación de LPD fueron menores a temperaturas más bajas ($50,32 \pm 0,19 \text{ kJ.mol}^{-1}$) y mayores a temperaturas más altas ($149,91 \pm 1,9 \text{ kJ.mol}^{-1}$). Respecto a la producción de clo-a, los valores de t_m fueron menores a baja irradiación y temperatura (2,90-3,41d a 26°C y 2,90-3,87d a 30°C , a $30 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$). A 36°C , los t_m fueron menores a alta irradiación (2,73-4,75d a $70 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$) aunque se obtuvieron las menores producciones de clo-a (en $\mu\text{g.L}^{-1}$). Por otra parte, la producción de D-Leu¹ [MC-LR] se incrementó al disminuir la temperatura, a una relación N:P 10 y a baja intensidad de irradiación ($30 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$). El modelo de Long mostró que la producción de D-Leu¹ [MC-LR] por célula se incrementa al incrementarse la velocidad de crecimiento. A partir de los parámetros obtenidos de los modelos utilizados, se aplicó un modelo secundario de superficie respuesta o polinomial que permite predecir, en el rango de estudio, el comportamiento de los parámetros de crecimiento y producción de D-Leu¹ [MC-LR] de la cepa nativa de *M. aeruginosa*. Se observó que a 30 y $50 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ los valores de μ máximos ocurren a una temperatura cercana a los 30°C independientemente de la relación N:P y, de modo contrario, los valores de máximos de p ocurren a $<30^\circ\text{C}$ reduciéndose hacia 36°C . A $70 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$, si bien es similar la relación de μ y p son similares, se observa que en este último parámetro hay un efecto de la relación de nutrientes reduciéndose hacia la N:P 100. En todas las irradiaciones, la LPD aumenta de la relación N:P 150 hacia N:P 10 y de 36 a 26°C y la MPD disminuye hacia las temperaturas más elevadas y de modo independiente a la relación N:P.

Por otra parte, la irradiación se correlacionó positivamente con la velocidad de crecimiento ($r=0,70$) y el tiempo de generación ($r=0,62$); la temperatura se correlacionó inversamente con la MPD ($r=-0,90$); la relación N:P se correlacionó inversamente con la

LPD ($r=-0,60$) y RLPD ($r=-0,54$). En el caso de los parámetros de producción de MC, p y d_m , y de clo-a, k_o , no se observaron correlaciones con ninguno de los factores estudiados. Esto se debe, al igual que alguno de los coeficientes bajos, a que, en la mayoría de los parámetros, se hallaron efectos combinados.

Este es el primer trabajo en donde, además de modelar la curva completa de crecimiento de *M. aeruginosa* de una cepa nativa argentina de ambientes templados, se modeló la producción de sus metabolitos (clo-a y D-Leu¹ [MC-LR]) evaluando los efectos de los principales factores que determinan la formación de floraciones cianobacterianas de esta especie en el ambiente natural. Si bien el desarrollo experimental de la presente Tesis Doctoral fue en condiciones de laboratorio, este es el primer acercamiento global al comportamiento de una cepa nativa frente al conjunto de factores ambientales (temperatura, irradiación y relación N:P). Esto permitió determinar que la producción de toxina es un proceso acoplado a la velocidad de crecimiento y que la velocidad de crecimiento de la cepa es más susceptible a los cambios térmicos a bajas temperaturas y, de modo contrario, que la recíproca de la duración de la fase de latencia es más susceptible a los cambios térmicos a altas temperaturas. Asimismo, debido a la generación de gran cantidad de datos dentro del diseño experimental propuesto, se pudieron utilizar diversas herramientas matemáticas como los modelos primarios y secundarios que, finalmente, permitirían el desarrollo de un Software como herramienta de alerta temprana que puede ser utilizada en la toma de decisiones frente a la problemática ambiental de las floraciones cianobacterianas.

Palabras clave: Cianobacterias. Cianotoxina. Modelado matemático.

Texto completo disponible en: Biblioteca de la Universidad Nacional de La Plata, SEDICI. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/65910>

Beatriz Lira Hernández
**Taxonomía integral de *Durinskia baltica* (Dinophyta:
Peridinales) en un florecimiento en aguas continentales
no salinas en México**

**Tesis de doctorado
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Facultad de Ciencias, UNAM.**

Correspondencia: bealirah@ciencias.unam.mx

Al estudiar organismos biológicos como las algas, las herramientas utilizadas para la descripción de diferentes aspectos de su biología dependerán de los objetivos del estudio. Comúnmente, uno de los primeros objetivos que se deben resolver cuando se desconoce a los organismos es la identificación taxonómica, ya que representa la oportunidad de comprender las entidades sistemáticas como especies y, por lo tanto, poder relacionarlas con los procesos evolutivos y ecológicos. En este contexto, la taxonomía integral se enfoca en obtener la mayor cantidad de información sobre la especie, combinando diferentes herramientas (microscópicas, fisiológicas, moleculares, entre otras), lo que permite obtener una visión más compleja de las especies que nos ayudará a entender él cómo la evolución de sus personajes se refleja en la gran variedad de interacciones entre su fisiología y el medio ambiente. Es importante tener siempre en cuenta; que las algas, y en particular las dinofitas, tienen respuestas especie-específicas sensibles a una gran variedad de cambios físicos, químicos y biológicos en ambientes acuáticos.

En el caso de las dinofitas que sobresalen en ambientes de agua dulce, la importancia de resaltar aspectos particulares de su biología ha aumentado recientemente, ya que se han reportado florecimientos de varias especies como resultado de ciertas estrategias reproductivas que les permiten desarrollarse y sobrevivir en estos ambientes bajo condiciones que pueden ser desfavorables para otras algas. Si bien hay varios informes de eventos de florecimientos de dinofitas en estos entornos, no hay suficiente información sobre la ecología, la fisiología general y el ciclo de vida de estas especies, así como su papel en la dinámica del florecimiento. Este es el caso de *Durinskia baltica*, la cual es una dinofita con un solo estudio en aguas continentales no salinas de México, reportada como dominante

para dinofitas, y, para el resto del fitoplancton, así como responsable de un florecimiento permanente dentro de un canal de agua continental no salina en el sistema de canales de Xochimilco dentro de la Ciudad de México.

Para comprender la dinámica y el efecto de este florecimiento, es necesario conocer no solo los factores ambientales y fisiológicos que determinan su generación y permanencia, sino también el efecto que tendría la modificación de cualquiera de estos factores sobre la población. Sin embargo, no es fácil encontrar un patrón que relacione uno o varios nutrientes por sí mismos directamente con la formación de cualquier evento de florecimiento, ya que estas dinámicas se modifican dependiendo de las variables fisicoquímicas particulares de cada entorno. Por esta razón, los estudios experimentales son esenciales para definir las posibles causas de estos florecimientos considerando las particularidades tanto de la especie como del ambiente.

Una forma apropiada de abordar estas relaciones es a través del trabajo con cultivos modificados, debido a que en cultivo es posible manipular y controlar condiciones particulares, además de monitorear y describir los diversos cambios presentados dentro de las poblaciones. Estos estudios son herramientas muy importantes para resolver características eco-fisiológicas particulares relacionadas con las historias de vida, como afinidades específicas para algunas respuestas de nutrientes a variables como la temperatura y las tasas de crecimiento.

El presente estudio buscó comprender a través de cultivos de laboratorio las posibles relaciones entre las variaciones ambientales (traducidas como concentraciones de nutrientes y pH) y las diferentes etapas del ciclo de vida de *Durinskia baltica*, lo cual nos permitió avanzar en la comprensión de los cambios en la densidad reportada para esta

especie en ambientes como el canal “El Japón” en la zona lacustre de Xochimilco, México. Asimismo, se buscó observar si existe alguna relación entre la identidad genética de esta especie y su ecología, ya que en estudios recientes ha habido confusión con respecto a su presencia en ambientes de aguas continentales no salinas.

En esta investigación se concluyó que la cantidad y la calidad de los nutrientes, así como el pH, juntos tienen una influencia directa en el crecimiento de *Durinskia baltica* en cultivo. A su vez, el crecimiento vegetativo de *Durinskia baltica* en Xochimilco, así como su florecimiento, está relacionado con sus estrategias de ciclo de vida que comprenden 4 rutas alternativas diferentes posteriores a la fusión de gametos, la presencia de dos tipos de quistes sexuales, un período de latencia corto (primera descripción completa del ciclo de vida de *Durinskia*

baltica) y cambios temporales de las condiciones ambientales. Las poblaciones que viven en Xochimilco pertenecen al género *Durinskia* y se corresponden morfológicamente con el nombre de *Durinskia baltica*, y genéticamente con secuencias generadas a partir del gen 18S del mismo nombre que confirma la presencia de esta especie en ambientes de aguas continentales no salinas.

Palabras clave: Dinophyceae, ciclo de vida, fisiología, taxonomía molecular, Peridinales.

Texto completo disponible en: TESIUNAM, Repositorio Institucional, UNAM. http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/E8IBU8Q966E-KACK6SJFF515925VV2PAEDEKXIDMS4SDQ-B217QV-26593?func=full-set-set&set_number=026610&set_entry=000001&format=999

Martha Xóchitl Segura Guzmán

Análisis polifacético de las especies de *Microcystis* (Cyanoprokaryota, Chroococcales) en tres lagos urbanos del centro de México.

Tesis de Maestría
Facultad de Ciencias, UNAM

Correspondencia: segumar@ciencias.unam.mx

Microcystis (Chroococcales, Cyanoprokaryota) es un género de cianoprocariontes conocido a nivel mundial por formar florecimientos generalmente tóxicos en cuerpos de agua epicontinentales. La situación taxonómica de sus especies es problemática por la falta de congruencia entre la morfología y la información genética de la secuencia que codifica para la región ITS 16S-23S rDNA. Con el objetivo de integrar las diferentes fuentes de información (morfológica, genética y ambiental) para las especies de *Microcystis* en México, en este trabajo se realizó un estudio polifacético de las poblaciones de *Microcystis* de tres lagos urbanos de la región central de México: Lago Mayor de Chapultepec, el embalse Valle de Bravo y el lago de Chalco, durante dos temporadas de muestreo, seca y de lluvias.

La determinación de especies se realizó con microscopía fotónica; la diversidad genética de las poblaciones de *Microcystis* se obtuvo con el marcador de la secuencia que codifica para la región ITS 16S-23S rDNA a través de la amplificación por PCR acoplada a DGGE. Las secuencias obtenidas se realizaron para construir filogenias por Máxima Verosimilitud y también para obtener las estructuras secundarias de los sectores internos de la región ITS 16S-23S rDNA hélice D y la caja B para complementar el análisis de las secuencias. Respecto a las condiciones ambientales, se determinaron los factores fisicoquímicos y el perfil hidroquímico para cada sitio.

Los resultados mostraron una riqueza de siete especies, de las cuales *M. ichthyoblabe* y *M. aeruginosa* presentaron variantes morfológicas o morfotipos. Se determinó un total de 10 secuencias que codifican para la región ITS 16S-23S rDNA de poblaciones de *Microcystis* en los tres sitios de estudio, las cuales no mostraron una correspondencia con el número

de especies determinadas morfológicamente. La presencia de las especies, variantes morfológicas y la diversidad genética se relacionó con las condiciones ambientales particulares de cada lago y con la temporada de muestreo.

La filogenia construida con un tamaño de muestra de 40 secuencias, diez de ellas obtenidas en este trabajo y 30 de GenBank, presentó tres clados principales, en los cuales las secuencias de DNA mexicanas se asociaron con secuencias de *M. ichthyoblabe* y *M. aeruginosa* principalmente, lo cual coincidió con las especies identificadas morfológicamente en los tres sitios estudiados. Los sectores hélice D y caja B así como la temperatura, mostraron ser caracteres importantes por analizar las relaciones de parentesco entre las poblaciones de *Microcystis*. El valor de bootstrap soportó las relaciones de un número reducido de grupos, indicio de la necesidad de abarcar un mayor número de marcadores de distintos genes para fortalecer la circunscripción de las especies de *Microcystis*.

El estudio presente indica que el enfoque polifacético que contemple información morfológica y ambiental detalladas y un número mayor de marcadores moleculares es necesario para la circunscripción de especies de *Microcystis*. Es un trabajo complejo que se encuentra en proceso.

Palabras clave: análisis polifacético, *Microcystis*, región ITS 16S-23S rDNA, lagos urbanos, México.

Texto completo disponible en la Dirección General de Bibliotecas, UNAM / TesiUNAM: <http://dgb.unam.mx/index.php/catalogos/tesiunam> o con la autora.

DIRECTORIO

COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL

Sociedad Mexicana de Ficología
Mesa Directiva 2017-2019

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Presidenta
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.
(CIBNOR)
La Paz, BCS
serviere04@cibnor.mx

Dra. Alejandra Piñon Gimete

Secretaria General
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN)
La Paz, BCS
ale_pinion@hotmail.com

Dr. José Zertuche González

Secretario Académico
Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO-UABC)
Ensenada, BC
zertuche@uabc.edu.mx

Dra. Lourdes Morquecho Escamilla

Secretaria Administrativa
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
(CIBNOR)
La Paz, BCS
lamorquecho@cibnor.mx

Dr. Daniel Robledo Ramírez

Secretario de Difusión y Extensión
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
(CINVESTAV-IPN)
Mérida, Yucatán
daniel.robledo@cinvestav.mx

Delegados Regionales:

NORTE

Dr. Juan Manuel López Vivas

Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS)
La Paz, BCS
jmlopez@uabcs.mx

CENTRO

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación
Facultad de Ciencias (UMDI-FC-J-UNAM)
Juriquilla, Querétaro
cantoral@ciencias.unam.mx

SUR

Dra. Ileana Ortegón Aznar

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)
Mérida, Yucatán
oaznar@correo.uady.mx

OCCIDENTE

Dr. Edgar Francisco Rosas Alquicira

Universidad del Mar (UMAR)
Puerto Ángel, Oaxaca
erosas@angel.umar.mx

ORIENTE

Dra. Eugenia J. Olguín Palacios

Instituto de Ecología (INECOL)
Xalapa, Veracruz
eugenia.olguin@inecol.mx

CRÉDITO DE FOTO DE LA PORTADA

La vida en rosa

Asparagopsis taxiformis (Delile) Trevisan y *Ulva* sp.

Las Cruces, B.C.S, Golfo de California

Foto de Tonatiuh Chávez Sánchez

Concurso de fotografía del Encuentro Activo de Jóvenes Ficólogos (octubre 2017)

