Vol. 11 Nos. 2-3 (2025)
ISSN: 2448-8100

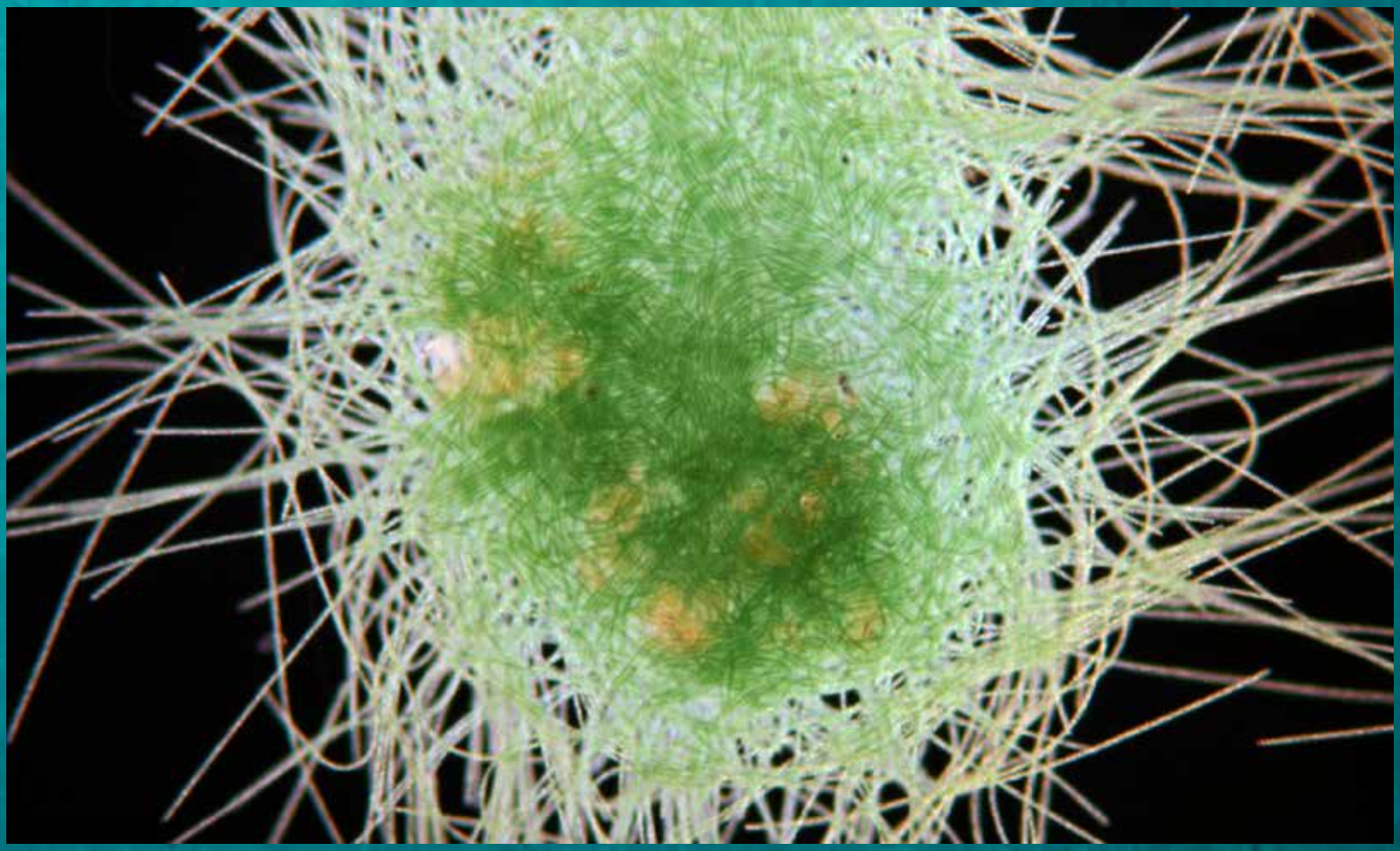
Cymbella *Revista de investigación y difusión sobre algas*

Composición química de macroalgas comestibles

Florecimientos Algales Nocivos

Fitoplancton de La Sauceda, Sonora

Epónimos: nombres que honran a personasE



Publicado en línea enero 2026
Sociedad Mexicana de Ficología
www.somfico.org

COMITÉ EDITORIAL

EDITOR EJECUTIVO:

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

EDITORES ADJUNTOS:

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

Dr. Juan Manuel Lopez-Bautista
Universidad de Alabama, United States of America
jlopez@biology.as.ua.edu

ASISTENTE EDITORIAL:

M. en C. Alejandra Mireles Vázquez
Fac. Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
alemirelesv@ciencias.unam.mx

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

Nomenclatura:
Dr. Francisco F. Pedroche
Depto. Ciencias Ambientales, División CBS, UAM-Lerma
fpedroche@correo.ler.uam.mx

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

CINTILLO LEGAL

Cymbella Revista de investigación y difusión sobre algas. – Vol. 11, Núms 2-3, mayo – agosto, septiembre – diciembre 2025, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Alcaldía 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, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56225430, https://cymbella.fciencias.unam.mx/, enm@ciencias.unam.mx. Editor responsable: Dr. Eberto Novelo Maldonado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-112410454200-203. 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, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de la última modificación, 11 de enero de 2025.

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.

El VII Congreso de la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos A.C. (SOMEFAN) se realizó en octubre de 2024. Gracias a un acuerdo con su Mesa Directiva y con el Comité Organizador del Congreso algunos trabajos que ahí se presentaron fueron evaluados para su publicación en *Cymbella*. Este acuerdo de colaboración entre la SOMEFAN, la SOMFICO y la Facultad de Ciencias de la UNAM pretende impulsar la publicación de trabajos relacionados con las algas, tanto las útiles, las inocuas como las nocivas y muestra que nuestro interés es principalmente por la comunicación del trabajo científico y que es posible crear redes de colaboración e intercambio, sin las limitaciones de las redes institucionales.

En este número presentamos 4 trabajos derivados del Congreso mencionado, un texto sobre algas comestibles en Argentina y un texto de divulgación sobre las algas de un humedal en el estado de Sonora (uno de los estados de México con menor número de especies algales registradas). Además, en la sección de Nomenclatura hablamos sobre los epónimos y registramos algunos de los que existen en México; finalmente, el resumen de una tesis sobre la utilización del sargazo.

El número reúne gran cantidad de trabajo de colegas de muy diversas áreas y confiamos en que despertará gran interés para todos.

Comparative studies of chemical composition of commercial and native edible macroalgae from Mar del Plata (Buenos Aires, Argentina): Mineral Content, lipids, and toxic metals

Estudios comparativos de composición química de macroalgas comestibles comerciales y nativas de Mar del Plata (Buenos Aires, Argentina): Contenido de minerales, lípidos y metales tóxicos

Vanesa N. Salomone[1*]

[1]IIIA-UNSAM-CONICET, Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Escuela de Hábitat y Sostenibilidad (EHyS), Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Campus Miguelete, 25 de mayo y Francia, 1650-San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

*Email: vsalomone@unsam.edu.ar

Salomone, V.N. 2025. Comparative studies of chemical composition of commercial and native edible macroalgae from Mar del Plata (Buenos Aires, Argentina): Mineral Content, lipids, and toxic metals. *Cymbella* 11 (2-3): 102-114.

DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.1

ABSTRACT

Macroalgae are recognized as a healthy food source due to their high content of minerals, lipids, and secondary metabolites. However, their ability to accumulate high concentrations of toxic metals, such as As, Cd, Cr, Hg, and Pb, among others, necessitates chemical studies to determine the benefits and risks associated with their consumption. The objective of this study was to analyze and compare the chemical composition of various macroalgae samples collected in Mar del Plata, Argentina, and commercial samples of *Undaria pinnatifida*. Mineral content was determined by ICP-MS, total polyphenols were measured using the Folin-Ciocalteu method in methanolic and aqueous extracts, and lipids were quantified gravimetrically. Significant differences were observed in the mineral composition between local samples of *Ulva lactuca* and *U. pinnatifida*. In *U. lactuca*, major metals included Ca, Fe, and Al, whereas Ca, Fe, and Sr predominated in *U. pinnatifida*. Notably, *U. pinnatifida* exhibited higher accumulation of Cr, As, and Pb. Commercial samples generally showed lower levels of toxic metals, with the exception of Cd and Hg. The Japanese *Undaria* sample presented elevated levels of As, Cd, and Pb, while the sample originating from China displayed high concentrations of Cr. Polyphenol extraction efficiency was greater with methanol. Lipid content was low (ranging from 3.4 % to 4.3 % of dry weight), with *U. lactuca* showing higher levels. These results highlight the chemical variability among macroalgae species and underscore the importance of conduc-

ting such studies to ensure safe consumption and promote the sustainable utilization of this resource.
Key words: algal resources, chemical content, food safety, seaweed.

RESUMEN

Las macroalgas son reconocidas como un alimento saludable por su alto contenido de minerales, lípidos y metabolitos secundarios. Sin embargo, su capacidad de acumular altas concentraciones de metales tóxicos, como el As, Cd, Cr, Hg y Pb, entre otros, plantea la necesidad de realizar estudios químicos para determinar beneficios y riesgos de su consumo. El objetivo fue analizar y comparar la composición química de distintas muestras de macroalgas recolectadas en Mar del Plata, Argentina y de muestras comerciales de *Undaria pinnatifida*. Se determinó el contenido mineral mediante ICP-MS, los polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu en extractos metanólicos y acuosos, y lípidos gravimétricamente. La composición mineral de muestras locales de *Ulva lactuca* y *U. pinnatifida* mostró diferencias. Los metales mayoritarios en *U. lactuca* fueron Ca, Fe y Al, mientras que en *U. pinnatifida* predominaron Ca, Fe y Sr. *U. pinnatifida* mostró una mayor acumulación de Cr, As y Pb. Las muestras comerciales exhibieron menor contenido de metales tóxicos, a excepción de Cd y Hg. La muestra de *Undaria* japonesa mostró niveles elevados de As, Cd y Pb, mientras que la muestra proveniente de China exhibió altas concentraciones de Cr. La eficiencia de extracción de polifenoles fue mayor con metanol. El contenido lipídico fue bajo (entre 3.4 y 4.3 % del peso seco) mostrando *U. lactuca* niveles más elevados. Los resultados destacan la variabilidad química entre especies de macroalgas y resaltan la importancia de realizar estos estudios para garantizar el consumo seguro y promover el aprovechamiento de este recurso.
Palabras clave: algas marinas, contenido químico, recursos algales, seguridad alimentaria

INTRODUCTION

Marine macroalgae are considered a natural and healthy foodstuff due to their high protein, vitamin (notably vitamins A, C, and B^{-12}), lipid, natural fatty acids including omega-3, fibre, and mineral content with a particular focus on micronutrients such as iron, calcium, iodine, potassium, and selenium (Cofrades *et al.* 2019; Schmid *et al.* 2018; Skirzypczyk *et al.* 2019). For all these reasons, seaweeds are consumed either directly or as a dietary supplement in both human and animal feed (Cofrades *et al.* 2019; Ganesan *et al.* 2019; Losada *et al.* 2020; Mouritsen *et al.* 2018; Rebours *et al.* 2014; Taboada *et al.* 2013). Global consumption has grown in recent years (FAO 2024), influenced by changing eating habits, including plant-based diets and greater interest in gourmet food (Baroni *et al.* 2019). The principal cultivated species for human consumption include *Undaria pinnatifida*, *Pyropia* sp., *Porphyra* sp., *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., typically sold in dehydrated forms (such as rolls, chopped, minced, ground, flour) or as cooked or smoked products (Muñoz 2015).

The chemical composition of seaweed is highly variable, influenced by both environmental and biological factors. Variations in metal concentrations and bioaccumulation capacity in macroalgae have been attributed to seasonally fluctuating environmental conditions, such as water temperature, light intensity, and nutrient availability, as well as metabolic factors related to type of algae and species (Astorga *et al.* 2016; Balboa *et al.* 2015; Losada *et al.* 2020; Rodrigues *et al.* 2015). Macroalgae demonstrate a notable capacity to absorb and accumulate potentially harmful metals and metalloids from their surrounding environment, including arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb) (Bonanno & Orlando-Bonaca 2018; Monteiro *et al.* 2019; Rubio *et al.* 2017; Salomone *et al.* 2017; Salomone & Riera 2019). This aspect is of particular concern in the context of edible seaweed, given the potential implications for human health. Numerous studies have addressed this issue, highlighting the relevance of evaluating metal content in edible seaweeds (Circuncisão *et al.* 2018; Ma *et al.* 2018; Marzocchi *et al.* 2016; Miedico *et al.* 2017; Paz *et al.* 2018; Paz *et al.* 2019; Taylor & Jackson 2016). Toxic elements such as Al, Pb, Hg, Cd, and As are of significant concern due to their potential impacts on both human health due to can cause harm even at low concentrations if exposure is prolonged (Khan *et al.* 2015). Some authors have even suggested that the intake of toxic metals through seaweed consumption may be non-negligible and warrants careful assessment (Amin *et al.* 2018; Taylor *et al.* 2017; García-Salgado & Quijano, 2014). Considering the world's growing population and increasing environmental challenges, seaweed is emerging as a sustainable solution to enhance food security and restore aquatic ecosystems (FAO 2024). Consequently, analysis of the elemental composition of edible marine macroalgae is imperative for the determination of their nutritional value and potential toxicity. However, it is crucial to

highlight that the concentration of an element in a foodstuff does not necessarily indicate the amount that is absorbed by the human gastrointestinal tract. Therefore, it is essential to conduct simulated digestion experiments to estimate this value (Alves *et al.* 2018; García-Sartal *et al.* 2013).

Although the lipid content is low in macroalgae (1-5% of dry weight), they contain lipids with important functional compounds, such as omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs), carotenoids, chlorophylls, terpenoids and sterols. These compounds are associated with health benefits, including antioxidant, anti-tumor, anti-inflammatory, and neuroprotective effects (Susanto *et al.* 2019). Polyphenols derived from marine algae are distinguished by their structural diversity and powerful biological effects, particularly their antioxidant capacity. These substances have been demonstrated to contribute to the prevention of diseases associated with the ageing process, oxidative stress and neurodegenerative disorders. In addition, these compounds have been shown to possess anti-inflammatory properties, anti-cancer effects, and antibacterial, antiviral, anti-diabetic, and neuroprotective benefits. This positions them as promising candidates for therapeutic and nutraceutical applications (Cotas *et al.* 2020; Kumar *et al.* 2022).

Even though seaweed consumption remains relatively infrequent in Argentina, there is a growing body of research focused on the chemical composition of macroalgae, particularly regarding their content of metals, lipids, phenolic content, and photosynthetic pigments (Arijón *et al.* 2023; Dellatorre *et al.* 2020; Muse *et al.* 1999; Nagai *et al*. 2022; Pérez *et al.* 2007). Recent studies have also reported the presence of emerging pollutants, such as microplastics, in macroalgal tissues (Forero-López *et al.* 2024). Given Argentina's recognized potential for algal production within Latin America (Mendez *et al.* 2024), advancing research in this field is of strategic importance. The aim of this study is to evaluate the chemical composition of macroalgae from Mar del Plata (Buenos Aires, Argentina), with the goal of identifying their potential applications as food. The analysis focuses on polyphenols, total lipids, and mineral content, including potentially harmful elements such as arsenic (As), cadmium (Cd), and mercury (Hg). The results will be compared with those of commercially available edible seaweeds and previous studies on edible macroalgae.

MATERIALS AND METHODS

Chemical and standard solutions

All reagents employed in this experiment were of analytical grade. When required, solutions were prepared using distilled and ultrapure water. The ultrapure water required for solution preparation was obtained using a Heal Force PW VF 1.5-2 L purification system. The following reagents were used: methanol (Merck), gallic acid (Biopack), sodium carbonate (Na_2CO_3) (Sigma-Aldrich), Folin-Ciocalteu reagent (Anedra), chloroform (Biopack), and NaCl (Biopack). Ultrapure oxygen peroxide (Merck) was employed in its unmodified form. Additionally, nitric acid (Anedra, 65 %) was utilised, which had been purified through sub-boiling distillation. A stock solution of 0.1 g L^{-1} gallic acid was prepared and stored in a falcon tube in darkness for the quantification of total polyphenols. A solution of Folin-Ciocalteu reagent at a concentration of 2N was prepared. Furthermore, a 20 % sodium carbonate solution was prepared by dissolving the precise amount of reagent in distilled water.

Sample preparation and analytical determinations

Samples: Algae samples were collected from the coast of Mar del Plata, Buenos Aires Province, Argentina (latitude: 38°02′ S and longitude: 057° 31´ W) in August 2018. The samples comprise native *Ulva lactuca* Linnaeus (Ulvophyceae) and the invasive *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Phaeophyceae), both of which are edible macroalgae. However, in that location, they are not utilised for this purpose. One kilogram of each seaweed species was collected from Mar del Plata and subjected to a washing process with distilled water to remove sediment and epifauna. Thereafter, the seaweed was frozen and freeze-dried in the laboratory setting using a freeze-drying apparatus fabricated by LABCONCO. Finally, all samples were pulverised using a mortar to produce a fine and uniform powder, which was then stored in opaque plastic bags until analysis. To make a comparison, two commercial samples of *U. pinnatifida*, commonly known as wakame, purchased from a market in Buenos Aires, were subjected to analysis. The commercial samples were identified as follows: a) Trademark Wakou: 100 grams of dried seaweed of *U. pinnatifida* from Japan; b) Trademark Kinwaya: 100 grams of dried seaweed of *U. pinnatifida* from China.

For mineral content analysis two randomly selected sub-samples of each seaweed powder were subjected to acid digestion using a CEM-SPD-Discover Explorer microwave digester (MW). The operating conditions for MW digestion are presented in Table 1. A control sample without algae was prepared and processed in the same manner as the samples

in each series. In summary, the digestion process entailed the transfer of 0.5 g of dried algae samples into the digestion vessel, followed by the addition of 1 mL of purified HNO_3 and 0.5 mL of ultrapure H_2O_2. Once the digestion process was completed, the vessel was allowed to cool, resulting in the formation of a transparent and homogeneous solution. These solutions were then diluted with ultrapure water to a final volume of 10 mL and filtered using a Whatman 0.45 µm nylon filter. Ultimately, the processed samples, along with their corresponding blanks, were placed in conical tubes and refrigerated at 4 °C until analysis by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) Agilent instrument model 7500cx with Octopole Reaction System collision/reaction cell and pure He as the inert collision gas. The elements determined were aluminum (Al), arsenic (As), barium (Ba), calcium (Ca), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), selenium (Se), strontium (Sr), uranium (U) and zinc (Zn). The method was validated by measuring BCR-279 *Ulva* sp. certified reference material in a previous study (Camurati *et al.* 2021).

Table 1. Conditions used for MW acid digestion of dried algal material.

Algae sample	0.5 g
Reagents	1 mL HNO3 + 0.5 mL H2O2
Final volume	10 mL
Temp (°C)	180
Ramp Time (min)	5
Rest time (min)	15
Pression (PSI)	300
Power (W)	300

Total polyphenol content: The first step involves extracting polyphenols from the algal matrix. According to the literature, two different moderate extraction solutions are used to maximize polyphenol yield without compromising their structural integrity:
-*Methanol extraction*: 0.1 grams of each dried seaweed sample were mixed with 10 milliliters of 80 % methanol solution in a conical tube, then placed in a preheated thermostatic bath (TESLAB) at 70 °C for 60 minutes. The tubes were then removed, cooled, and the thermostat was adjusted for the next extraction at 80 °C. The resulting extracts were diluted at a 1:10 ratio and stored for analysis (Machu *et al.* 2015).
-*Aqueous extraction*: 0.1 grams of each died seaweed sample were mixed with 10 milliliters of distilled water in a conical tube, then placed in a preheated thermostatic bath (TESLAB) to 80 °C for 10 minutes. The tubes were then removed, cooled, and stored until analysis (Machu *et al.* 2015).
The polyphenol content of the extracts was determined using the Folin-Ciocalteu method, with absorbance measurements taken at 760 nm using a UV-VIS spectrophotometer (Gutiérrez-Avella *et al.* 2008). To achieve this, 0.5 mL of 1N Foulin-Ciocalteu reagent, obtained by 1:2 dilution of the commercial reagent of 2N concentration, and 1mL of a 20 % Na_2CO_3 solution are added to 1 ml of algae extract, which may be in either methanol or water. The solutions were then vortexed and adjusted to a final volume of 4 mL with the addition of 1.5 mL of distilled water. Subsequently, the samples were stored in the dark for 90 minutes, after which the absorbance was measured at 760 nm using a Perkin Elmer UV-VIS spectrophotometer. The polyphenol content was quantified by measuring the gallic acid equivalents per gram of the dried sample. The calibration curve was prepared with gallic acid in the range of 0.25–5 mg/L.
Total lipids content: The gravimetric method for estimating total lipids, as described by Rougham (1985), comprises the extraction of lipids using a solution of methanol and chloroform in a 1:1 ratio. A gram of seaweed sample was introduced into a previously dried and weighed 100 mL beaker. Subsequently, 5 mL of a 1:1 methanol:chloroform solution was added, and the mixture was stirred with a magnetic stirrer (ITESTER) for a period of 10 minutes. After this, the solution was filtered. This process was repeated twice. Thereafter, the aqueous fraction of the solution was obtained by adding a few milliliters of 1 % NaCl solution to the extract. The lipid fraction was then obtained by drying the solution in an oven at 60 °C for 72 hours. The percentage of total lipids was obtained by the following calculation (Equation 1):

$$L = \frac{(W1 - W2)}{W_{\text{sample}}} \times 100 \qquad \text{Equation 1}$$

where L is the percentage of lipids in the sample (%), W1 is the initial weight of the beaker without extract (g), W_2 is the final weight of the beaker after evaporation of the extract (g), and W_{sample} is the mass of dry seaweed sample used (g).

Statistical analysis

Results are expressed as mean values ± standard deviation, significances between species were analysed using one-way analysis of variance (ANOVA), followed

by post hoc Tukey testing if a significant difference was found (IBM SPSS Statistics). A significant level of $p < 0.05$ was accepted for all statistical analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Mineral content

Table 2 presents the mineral content of the algal samples collected in Mar del Plata and commercial seaweeds (Wakou and Kinwaya), expressed in µg g^{-1} dry weight. The results show that there are notable variations in the mineral composition of the Mar del Plata algal species, despite their collection from the same site and at the same time. The relative abundance of elements in *U. lactuca* decreases in the following order: Ca, Fe, Al, Sr, Mn, Zn, Cu, As, Cr, Se, Ni, Pb and Ba; while in *U. pinnatifida* the order is: Ca, Sr, Fe, Zn, Al, Cr, As, Ba, Mn, Cu, Pb, Ni, U and Se. Furthermore, our findings indicate that *U. pinnatifida* from Mar del Plata, exhibits a notable accumulation of toxic elements such as, Cr (24.64 ± 1.85), As (14.0 ± 1.0), and Pb (2.0 ± 0.1) in comparison to *U. lactuca*. The difference in elemental content between *Ulva lactuca* and *Undaria pinnatifida* observed in this study, may be attributable to the fact that both species belong to distinctly different groups of algae. The three main taxonomic groups of macroalgae: (a) phylum Chlorophyta—green algae; (b) phylum Rhodophyta — red algae; (c) phylum Ochrophyta, class Phaeophyceae — brown algae (Pereira 2021). In addition to differences in pigmentation, these organisms exhibit variations in their chemical and structural cell wall compositions (Fabre *et al.* 2020). These characteristics are closely related to the ability to adsorb and absorb substances through different mechanisms. Brito *et al.* (2017) observed that, in general, samples from the green algal group exhibited a lower calcium concentration compared to the brown group, in accordance with the findings of the present study. In research conducted by Arisekar *et al.* (2021), it was found that brown algae have the highest potential for accumulating trace elements such as Cu

Table 2. Mean elemental composition of samples of *U. lactuca* and *U. pinnatifida* from Mar del Plata and commercial seaweed (*U. pinnatifida*). Results are expressed in micrograms per gram of dry weight (µg g^{-1} dry weight). Not detected (ND).

	Mar del Plata samples	*Commercial samples*		
Element	***U. lactuca***	***U. pinnatifida***	***U. pinnatifida (Wakou)***	***U. pinnatifida (Kinwaya)***
Al	190.6 ± 17.1	27.1 ± 2.5	15.5 ± 1.5	36.2 ± 2.0
As	5.0 ± 0.4	14.0 ± 1.0	9.3 ± 0.8	6.7 ± 0.5
Ba	0.18 ± 0.01	14.0 ± 1.0	8.5 ± 0.7	8.5 ± 0.7
Ca	3502 ± 224	9186 ± 785	11.3 ± 1.1	10.4 ± 1.0
Cd	ND	ND	0.25 ± 0.01	0.14 ± 0.01
Cu	5.5 ± 0.4	5.0 ± 0.4	0.27 ± 0.02	0.39 ± 0.01
Cr	2.7 ± 0.2	24.6 ± 1.9	0.03 ± 0.01	0.07 ± 0.01
Fe	234.6 ± 3.6	137.0 ± 10.2	13.4 ± 1.0	22.7 ± 1.8
Hg	ND	ND	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001
Mn	13.6 ± 1.1	8.8 ± 0.6	2.17 ± 0.18	2.7 ± 0.1
Ni	0.94 ± 0.08	0.96 ± 0.05	0.11 ± 0.02	0,16 ± 0.01
Pb	0.33 ± 0.01	2.0 ± 0.1	0.09 ± 0.01	0.06 ± 0.01
Se	2.5 ± 0.2	0.12 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01
Sr	38.2 ± 2.8	638.4 ± 5.6	123.0 ± 8.8	104.8 ± 10.0
U	ND	0.7 ± 0.1	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01
Zn	7.9 ± 0.7	31.5 ± 2.7	4.2 ± 0.2	4.0 ± 0.2

and Zn. The concentration Cu and Zn is important in food due to their antifouling chemical properties (Nomura *et al.* 2023). Our findings are consistent with those previously documented in the published literature for Zn, yet not for Cu, where the content of both samples did not demonstrate significant differences. Similarly, Losada *et al.* (2020) discovered that brown algae species have a higher bioconcentration capacity for certain metals, such as As, U and Sr, in comparison to other groups. These findings reveal that *U. pinnatifida* accumulates higher levels of Cr, As, and Pb compared to *U. lactuca*. The concentration of toxic metals and metalloids in edible algae represents a crucial aspect that demands attention (Casas *et al.* 2010).

The analysis of commercially available samples of algae is of great importance. In this study, commercial samples of *Undaria pinnatifida* were analysed. *U. pinnatifida* is an invasive seaweed from Asia and one of the most important commercial seaweeds in the world (Arijón *et al.* 2023). Since its initial discovery in Argentina in 1992, research has been conducted into its potential applications, yet the market has not been sufficiently promoted (Camurati & Salomone 2019; Lobato *et al.* 2023; Nagai *et al.* 2022; Salcedo *et al.* 2020). Regarding toxic elements, the results indicated that the *U. pinnatifida* from Japan (Wakou) exhibited higher concentrations of As (9.3 ± 0.9), Cd (0.25 ± 0.01), and Pb (0.09 ± 0.01), whereas the same species of algae from China (Kinwaya) showed a higher content of Cr (0.07 ± 0.01). However, analysis of commercial samples revealed no significant differences in the other elements quantified, with the exception of Al and Fe content, which exhibited the highest levels in seaweed from China. The Argentine Food Code (AFC) recognises marine macroalgae as a foodstuff suitable for human consumption. However, no limits are specified about their mineral content. The AFC has only established maximum limits for As (1 μg g^{-1}), Cu (10 μg g^{-1}), Pb (2 μg g^{-1}) and Zn (100 μg g^{-1}) in solid food. The analysis revealed that all samples exhibited arsenic levels above the permitted maximum, while also complying with the established limits for Cu and Zn. Furthermore, the Pb content in *U. pinnatifida* approached the maximum permitted level. However, international regulations governing edible marine macroalgae have established specific maximum limits for metal levels. For example, French regulations stipulate that the maximum permissible levels of Cd, Hg, and Pb are 0.5 μg g^{-1}, 0.1 μg g^{-1}, and 5 μg g^{-1}, respectively (CEVA 2024). Furthermore, the European Regulation 1881/2006 for authorised supplements has established maximum levels for toxic contaminants in macroalgae-based supplements, as follows: 3.0 μg g^{-1} for Cd and Pb and 0.1 μg g^{-1} for Hg (Commission Regulation 2006). The concentrations of Cd, Hg, and Pb in the algal samples analysed in this study were found to be below the specified limits. It is noteworthy that the commercially available algae exhibited lower levels of toxic elements compared to the samples collected in Mar de Plata, with the exception of Cd and Hg, which were not detected in the local samples. Both samples complied with the current regulations regarding toxic element levels. In particular, arsenic content is often high in algae, and arsenic speciation studies are crucial in this context, where chemical form and toxicity are related (Camurati *et al.* 2021; Camurati & Salomone 2019).

In comparison with our results, samples of *U. pinnatifida* from Nuevo Gulf and San José Gulf (Patagonia, Argentina) exhibited lower concentrations of certain elements than the samples from Mar del Plata, including Fe (86 and 17.3 mg Kg^{-1} dw), Zn (28.4 and 18.7 mg Kg^{-1} dw), Mn (5.0 and 2.0 mg Kg^{-1} dw), and Cu (1.0 and 0.7 mg Kg^{-1} dw); however, they showed a higher concentration of As (47.7 and 46.9 mg Kg^{-1} dw), Ni (1.8 mg Kg^{-1} dw), Cd (1.0 and 5.9 mg Kg^{-1} dw), and Hg (0.11 and 0.02 mg Kg^{-1} dw) (Casas *et al.* 2010; Gil *et al.* 2014). A further study of *U. pinnatifida* samples from San Jorge Gulf revealed notable discrepancies in the concentrations of certain potentially toxic elements (Salomone & Riera 2019). The concentration of arsenic was found to be higher in the algal samples obtained from San Jorge Gulf (17-33 mg Kg^{-1} dw), while the levels of Cu (1-2 mg Kg^{-1} dw) and Cr (0.8-2.6 mg Kg^{-1} dw) were observed to be higher in the samples from Mar del Plata. The research findings suggest that, in addition to the taxonomic factor of the species, the environment exerts a significant influence on the elemental composition of the samples analysed.

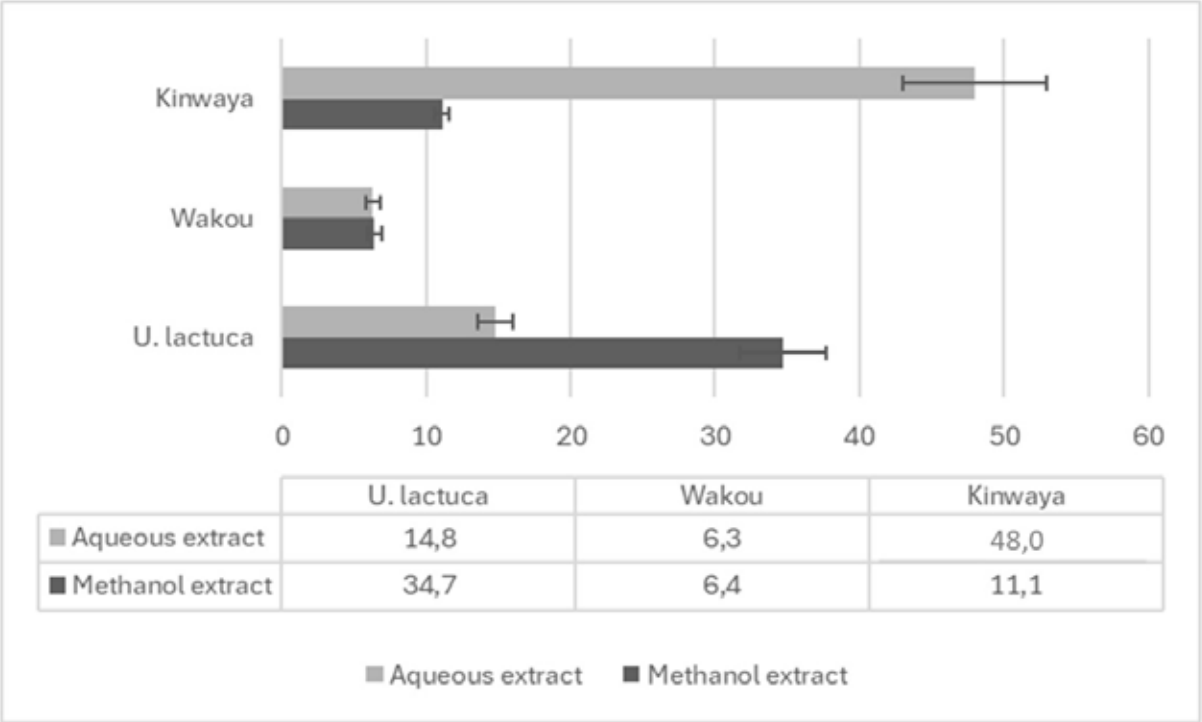
Studies on *U. lactuca* are also found in Argentina. This species is adaptable to a range of climates and can be used for various purposes (Areco *et al.* 2021). In a study conducted by Muse *et al.* (1999), the metal content of *U. lactuca* was analysed in two locations within San Jorge Gulf (Patagonia, Argentina). The levels of Cd (0.12 mg Kg^{-1} dw) and Pb (3.68 mg Kg^{-1} dw) at Punta Borja, a city with a high degree of human influence, were found to be higher than those observed in the Mar del Plata samples, which exhibited the highest levels of Cr (1.56 mg Kg^{-1} dw), and Zn (5.20 mg Kg^{-1} dw). In Punta Maqueda, a naturally protected area situated at a considerable distance from potential sources of contamination, significantly lower levels of toxic metals were observed (0.33, 0.55, 1.73 and 1.98 mg Kg^{-1} dw for Cr, Cd, Pb

and Zn, respectively). Later, Muse *et al.* (2006) published findings regarding the Cd (0.28 and 1.70 mg Kg^{-1} dw) and Pb (3.55 and 1.65 mg Kg^{-1} dw) content of *U. lactuca* from Punta Borja and Punta Maqueda, which exhibited higher levels than those observed in the present study and previously reported. Another study examined the concentrations of As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, and Zn in *Ulva sp.* from three locations in southern Argentina with varying levels of human activity exposure (Pérez *et al.* 2007). When we compared our results with those from Bahía Solano, a site in the San Jorge Gulf that is free from anthropogenic influence, we found that the concentrations of Cu (3.81 mg Kg^{-1} dw), As (2.98 mg Kg^{-1} dw), Cr (1.05 mg Kg^{-1} dw), and Se (0.75 mg Kg^{-1} dw) in *U. lactuca* samples from Mar del Plata were higher. In contrast, levels of Ca (10.53 mg g^{-1} dw), Fe (380 mg Kg^{-1} dw), Mn (51.4 mg Kg^{-1} dw), Zn (31.3 mg Kg^{-1} dw), Ni (4.11 mg Kg^{-1} dw), Pb (1.72 mg Kg^{-1} dw), and Cd (0.46 mg Kg^{-1} dw) were lower than those reported for Bahía Solano. Comparing Mar del Plata samples with those from Arroyo La Mata, an area impacted by industrial activities, showed that Ca (7.06 mg g^{-1}dw), Fe (532 mg Kg^{-1} dw), Zn (17.4 mg Kg^{-1} dw), Mn (15.1 mg Kg^{-1} dw), As (5.61 mg Kg^{-1} dw), Pb (1.33 mg Kg^{-1} dw), Ni (1.22 mg Kg^{-1} dw), and Cd (0.17 mg Kg^{-1} dw), concentrations were higher in Arroyo La Mata, while Cu (3.21 mg Kg^{-1} dw), Cr (1.14 mg Kg^{-1} dw), and Se (0.53 mg Kg^{-1} dw) levels were lower.

Total polyphenols

Figure 1 presents the total polyphenol content of the methanolic, and aqueous extracts obtained from all algal samples, except *U. pinnatifida* from Mar de Plata.

In accordance with the findings of other studies, the results of this investigation demonstrate that the polyphenol content is significantly influenced by the extraction method employed (Apumayta-Suárez 2019; Chakraborty *et al.* 2013; Chan-



	U. lactuca	Wakou	Kinwaya
Aqueous extract	14,8	6,3	48,0
Methanol extract	34,7	6,4	11,1

Figure 1. Total polyphenols content in algal samples. Results expressed in mg equivalent of gallic acid 100 g^{-1} of dry weight.

dini *et al.* 2008; Cofrades *et al.* 2017; Córdova 2018; García-Casal *et al.* 2009; Gómez-Ordóñez 2013; Machu *et al.* 2015; Montero *et al.* 2018; Ortiz Viedma, 2011; Rodríguez *et al.* 2010; Sathya *et al.* 2017; Vidal *et al.* 2006, 2009). Except for the Kinwaya sample, methanolic extracts exhibited a higher polyphenol content than aqueous extracts. In the case of the commercial sample Wakou, the values observed in both extracts were found to be comparable. Despite the biological value of polyphenols and the high polyphenol content of marine macroalgae, there is a scarceness of studies on Argentinean marine algae (Dellatorre *et al.* 2020). The authors found that total phenolic content in seaweed powder (*Undaria* sp.) reached 1550 mg GAE/100g). The values obtained were significantly higher than those observed for our samples. Previous research has demonstrated that the polyphenol content of algae varies depending on the species, yet this is not the unique contributing factor. Brown algae have consistently been reported to contain substantial levels of phenolic compounds, which exhibit notably high biological activity. Compared to green and red algae, they tend to possess both higher concentrations of these compounds and greater antioxidant capacity (Melkinic *et al.* 2019). Machu *et al.* (2015) analysed the total polyphenol content of various seaweed species. In accordance with them, the aqueous extracts of *U. pinnatifida* (wakame) samples were found to contain elevated levels of total polyphenols. Furthermore, the study revealed that two species of red algae (*Palmaria palmata* and *Porphyra ternera*) and green algae (*Chlorella pyrenoidosa*) exhibited a similar trend. The results indicate that there is no correlation between the algal class and the polyphenol content. The polyphenol values obtained in this study are markedly lower than those reported in the literature for algae of the same division.

Total lipids

The lipid content was found to range from 3.4 % to 4.3 % of dry weight. Higher values, but without significant differences, were observed in the *U. lactuca* samples (4.3%), followed by the commercial *U. pinnatifida*, Wakou and Kinwaya (3.4 % and 3.7 %, respectively). In comparison with the results obtained by other authors for the same species, Dellatorre *et al.* (2020) analysed different species of algae from the Gulf Nuevo (Chubut, Argentina) and found lipids values for *Ulva* sp. of between 8 and 9 %, while for *U. pinnatifida*, about 6.3% were found, higher values than those reported in this study. Casas *et al.* (2010) obtained values of 3.1 % and 1.4 % in *U. pinnatifida* from Nuevo and San José gulfs (Chubut, Argentina), respectively. Sánchez-Machado *et al.* (2004) reported 1 % lipids in *U. pinnatifida*, lower values than those reported in this study. In the study conducted by Maehere *et al.* (2014), the lipid content of various seaweed samples was analysed, with reported values ranging from 1-3 % for *U. lactuca*. These values were found to vary according to the extraction solvent employed in the analysis. All previously reported studies agree that the lipid content of marine macroalgae typically does not exceed 6 % of the dry matter; however, they are of high quality (Cardoso *et al.* 2017; Quitral *et al.* 2012). Seaweeds are not typically considered a conventional source of energy, despite having a polyunsaturated fatty acid content that can be as high as that of vegetables (Mæhere *et al.* 2014; Sánchez-Machado *et al.* 2004; van Ginneken *et al.* 2011). Consequently, seaweeds represent promising natural sources of novel bioactive compounds with diverse biological functions, making them suitable candidates for use as functional ingredients in various industrial sectors, including the development of functional foods (Quitral *et al.* 2012). Further studies are required to determine the specific lipids present in algal extracts and to establish a reliable and reproducible procedure for their determination. The results may be significantly influenced by the method of algae treatment, particularly during the harvesting stage.

CONCLUSIONS

This study investigates the chemical and nutritional composition of selected macroalgal samples, including two species currently available on the market for human consumption. Assessing the chemical profile of macroalgae allows for the identification of both beneficial and potentially toxic elements, thus enabling an informed evaluation of their suitability as a food source for human or animal use. The analysis of metal concentrations revealed that marine macroalgae contain appreciable levels of essential minerals—such as calcium, iron, and zinc—when compared to other plant-based foods. However, these organisms also tend to bioaccumulate non-essential and potentially hazardous elements, including arsenic, lead, cadmium, and mercury. Regarding lipid content, the values obtained are consistent with those previously reported for other seaweed species. In contrast, polyphenol concentrations were comparatively lower than those documented in other studies. This discrepancy appears to be strongly influenced by sample preparation variables, including drying methods,

storage conditions, and the type of extract used, which complicates direct comparisons. Overall, the chemical composition of macroalgae is highly variable and influenced by multiple factors, such as environmental element concentrations, life cycle stage, and seasonal variation. The findings of this study underscore the current gaps in knowledge, the methodological challenges inherent in macroalgal analysis, and the relevance of continued research to support their safe and sustainable use in food systems.

ACKNOWLEDGEMENTS

The present research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Technology, through the allocation of a PICT2016. In this study, acknowledgement is extended to CONICET, the Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA-UNSAM), and Julieta Camurati, whose contributions have been fundamental to the advancement of this research.

REFERENCES

Alves, R.N., A.L. Maulvault, V.L. Barbosa, M. Fernandez-Tejedor, A. Tediosi, M. Kotterman, F.H.M. van del Heuvel, J. Robbens, J.O. Fernandes, R.R. Rasmussen, J. Sloth, & A. Marques. 2018. Oral bioaccessibility of toxic and essential elements in raw and cooked commercial seafood species available in European markets. *Food Chemistry*. 367: 15-27. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.045

Amin, M.H.A., C. Xiong, R.A. Glabonjat, K.A. Francesconi, T. Oguri, & J. Yoshinaga. 2018. Estimation of daily intake of arsenolipids in Japan based on a market basket survey. *Food and Chemical Toxicology* 118: 245-251. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.019

Apumayta-Suárez, E.V. 2019. Actividad antioxidante y determinación del contenido de fucoidano, Compuestos fenólicos y flavonoides en extractos de macroalga parda Lessonia trabeculata. Tesis de Licenciatura. Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina. 58 pp. https://hdl.handle.net/20.500.12996/3906

Areco, M.M., V.N. Salomone, & M. dos Santos Afonso. 2021. *Ulva lactuca*, A bioindicator for anthropogenic contamination and its environmental remediation capacity. *Marine Environmental Research* 171: 105468. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105468

Arijón, M., M.P. Raffo, N. Sànchez, & F.G. Dellatorre. 2023. Photosynthetic pigments and color of wild *Undaria pinnatifida* for wakame production (Chubut, Patagonia Argentina). *Algal Research* 69: 102918. https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102918

Arisekar, H.R., S. Rajendran, J. Geevartnam, S. Balasubramanian, & T. Surya. 2021. Heavy metal concentrations in the macroalgae, seagrasses, mangroves, and crabs collected from the Tuticorin coast (Hare Island), Gulf of Mannar, South India. *Marine Pollution Bulletin* 163: 111971. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111971

Argentine Food Code. (AFC). Chapter 3. De los productos alimenticios. https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario

Astorga, E.M.S., B. Rodríguez-Galdón, E.M. Rodríguez-Rodríguez, & C. Díaz-Romero. 2016. Aminoacid content in seaweeds from the Magellan Straits (Chile). *Journal of Food Composition and Analysis* 53: 77-84. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.09.004

Balboa, E.M., C. Gallego-Fábrega, A. Moure, & H. Dominguez. 2015. Study of the seasonal variation on proximate composition of oven-dried Sargassum muticum biomass collected in Vigo Ria, Spain. *Journal of Applied Phycology* 28: 1943-1953. https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-015-0727-x

Baroni, L., S. Goggi, R. Battaglino, M. Berveglieri, I. Fasan, D. Filippin, P. Griffith, G. Rizzo, C. Tomasini, M.A. Tosatti, & M.A. Battino. 2019. Vegan nutrition for mothers and children: practical tools for healthcare providers. *Nutrients* 11: 1-16. https://doi.org/10.3390/nu11010005

Bonanno, G. & M. Orlando-Bonaca. 2018. Chemical elements in Mediterranean macroalgae. A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 148: 44-71. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.013

Brito, G.B., L.S.G. Teixeira, & M.G.A. Korn. 2017. Direct analysis of marine macroalgae for determination of macro minerals by energy dispersive X-ray fluorescence. *Microchemical Journal* 134: 35-40. http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2017.05.001

Camurati, J.R., & V.N. Salomone. 2019. Arsenic in edible macroalgae: an integrated approach. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: *Critical Reviews* 23: 1-12. https://doi.org/10.1080/10937404.2019.1672364

Camurati, J.R., J. Hocsman, V.N. Salomone. 2019. Potencialidades de las macroalgas marinas de Argentina. *Marine and Fishery Science* 32(2):169-183. https://ojs.inidep.edu.ar/index.php/mafis/article/view/125

Camurati, J.R., A. Londonio, P. Smichowski, & V.N. Salomone. 2021. On-line speciation analysis of arsenic compounds in commercial edible seaweed by HPLC-UV-thermo-oxidation-HG-AFS. *Food Chemistry* 357: 129725. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129725

Cardoso, C., A. Ripol, C. Afonso, M. Freire, J. Varela, H. Quental-Ferreira, P. Pousão-Ferreira, & N. Bandarra. 2017. Fatty acid profiles of the main lipid classes of green seaweeds from fishpond aquaculture. International *Journal of Food Sciences and Nutrition* 5: 1186–1194. https://doi.org/10.1002/fsn3.511

Casas, G., M. Gil, M. Commendatore & A. Torres. 2010. Evaluación de la composición químico-nutricional y del nivel de metales pesados e hidrocarburos en *Undaria pinnatifida* de los golfos San José y Nuevo, Chubut. Informe Final. Proyecto financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, Prov. del Chubut. CENPAT-CONICET, Puerto Madryn, Chubut. 47 pp. https://www.researchgate.net/publication/305278201_Evaluacion_de_la_composicion_quimico-utricional_y_del_nivel_de_metales_pesados_e_hidrocarburos_en_*Undaria_pinnatifida*_de_los_golfos_San_Jose_y_Nuevo_Chubut_Informe_Final

Centre d'Etude & Valorisation des algue (CEVA) 2024. Macroalgues et microalgues alimentaires - Statut règlementaire en France et en Europe Synthèse. https://www.ceva-algues.com/wp-content/uploads/2019/10/V14-synthese-reglementaire2024-1.pdf

Chakraborty, K., P.N. Krishnankartha, V.K. Kizekadath, & R.G. Syda. 2013. Evaluation of phenolic contents and antioxidant activities of brown seaweeds belonging to *Turbinaria* spp. (Phaeophyta, Sargassaceae) collected from Gulf of Mannar. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 3: 8-16. https://doi.org/10.1016/s2221-1691(13)60016-7

Chandini, K.S., P. Ganesan, & N. Bhaskar. 2008. *In vitro* antioxidant activities of three selected brown seaweeds of India. *Food Chemistry* 107: 707–713. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.081

Circuncisao, A.R., M.D. Catarino, S.M. Cardoso, & A.M.S. Silva. 2018. Minerals from macroalgae origin health benefits and risks for consumers. *Marine Drugs* 16: 400-430. https://doi.org/10.3390/md16110400

Cofrades, S., J. Benedí, A. Garcimartin, F.J. Sánchez-Muñiz, & F. Jimenez-Colmenero. 2017. A Comprehensive approach to formulation of seaweed-enriched meat products: from technological development to assessment of healthy properties. *Food Research International* 99: 1084-1094. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.029

Cofrades, S., I. López López, L. Bravo, C. Ruiz Capilla, S. Batidas, M.T. Larrea, & F. Jimenez Colmenero. 2019. Nutritional and antioxidant properties of different Brown and red Spanish edible seaweed. *Food Science and Technology International* 16: 361-370. https://doi.org/10.1177/1082013210367049

Córdova, I.D.C. 2018. Contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante *in vitro* en extractos hidroalcohólicos de Chondracanthus chamissoi. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Médicas, Escuela Académica Profesional de Nutrición. Trujillo, Perú. 34 pp. https://hdl.handle.net/20.500.12692/25574

Commission Regulation. 2006. No 118/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union, Versao Con* 364: 5–24. https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF

Cotas, J, A. Leandro, P. Monteiro, D. Pacheco, A. Figueirinha, A.M.M. Gonçalves, G.J. da Silva, & L. Pereira. 2020. *Seaweed Phenolics: From Extraction to Applications. Marine Drugs* 18: 384. https://doi.org/10.3390/md18080384

Dellatorre, F.G., M.G. Avaro, M.G. Commendatore, L. Arce, & M.E Díaz de Vivar. 2020. The macroalgal ensemble of Golfo Nuevo (Patagonia, Argentina) as a potential source of valuable fatty acids for nutritional and nutraceutical purposes. *Algal Research* 45: 101726. https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101726

Fabre, E., M. Días, M. Costa, B. Henriques, C. Vale, C.B. Lópes, J. Pinhiero-Torres, C.M. Silva, & E. Pereira. 2020. Negligible effect of potentially toxic elements and rare earth elements on mercury removal from contaminated waters by green, brown and red living marine macroalgae. *Science of the Total Environment* 724: 138133. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138133

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2024. Producción acuícola mundial 1950-2022. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024*. https://doi.org/10.4060/cd0683es.

Forero-López, A.D., A.M. Poza, C.V. Colombo, N.G. Morales-Pontet, G.N. Rimondino, M.A. Toniolo, F.E. Malanca, & S.E. Botté. 2024. Chemical analysis of marine microdebris pollution in macroalgae from the coastal areas of Argentina. *Science of the Total Environment* 923: 171390. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171390

Ganesan, A.R., U. Tiwari, & G. Rajauria. 2019. Seaweed nutraceuticals and their therapeutic role in disease prevention. *Food Science and Human Wellness* 8: 252-263. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.001

García-Casal, M.N., J. Ramírez, I. Leets, A.C. Pereira, & M.F. Quiroga. 2009. Antioxidant capacity, polyphenol content and iron bioavailability from algae (*Ulva* sp., *Sargassum* sp. and *Porphyra* sp.) in human subjects. *British Journal of Nutrition* 101: 79-85. https://doi.org/10.1017/s0007114508994757

García-Salgado, S. & M.A. Quijano. 2014. Stability of toxic arsenic species and arsenosugars found in the dry alga Hijiki and its water extracts. *Talanta* 128: 83-91. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.04.038

García-Sartal, C., M.C. Barciela-Alonso, A. Moreda-Piñeiro, & P. Bermejo-Barrera. 2013. Study of cooking on the bioavailability of As, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Se and Zn from edible seaweed. *Microchemical Journal* 108: 92-99. http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2012.10.003

Gil, M.N., A.I. Torres, M.G. Commendatore, C. Marinho, A. Arias, E. Giarratano, & G.N. Casas. 2014. Nutritive and xenobiotic compounds in the alien algae *Undaria pinnatifida* from Argentine Patagonia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 68: 553-565.

http://dx.doi.org/10.1007/s00244-014-0090-y

Gómez-Ordóñez, E. 2013. Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios *in vitro* e in vivo. Tesis de doctorado. Departamento de Nutrición y Bromatología II (Bromatología). Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 201 pp. https://hdl.handle.net/20.500.14352/37346

Gutiérrez-Avella, D.M., C.A. Ortiz García & A. Mendoza Cisneros. 2008. Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. Simposio de Metrología 2008. Santiago de Querétaro, México. 5 pp. https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/m2/sm2008-m220-1108.pdf

Khan, N., K.Y. Ryu, J.Y. Choi, E.Y. Nho, G. Habte, H. Choi, M.H. Kim, K.S. Park, & K.S. Kim. 2015. Determination of toxic heavy metals and speciation of arsenic in seaweeds from South Korea. *Food Chemistry* 169: 464-470. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.020

Kumar, Y., A. Tarafdar, D. Kumar, C. Saravanan, P.C. Badgujar, A. Pharande, S. Pareek S, & O.A. Fawole. 2022. Polyphenols of Edible Macroalgae: Estimation of *In Vitro* Bio-Accessibility and Cytotoxicity, Quantification by LC-MS/MS and Potential Utilization as an Antimicrobial and Functional Food Ingredient. *Antioxidants (Basel)* 11: 993. https://doi.org/10.3390/antiox11050993

Lobato, M.C., F.P. Olivieri, M.F. Machinandiarena, M.E. Becherucci, & M.L. Feldman. 2023. *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar aqueous extract activates potato defense responses against Phytophthora infestans. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 127: 102081. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4418779

Losada, R.L., M. Owsianiak, & O. Ogmundarson. 2020. Metal residues in macroalgae feedstock and implications for microbial fermentation. *Biomass and Bioenergy* 142: 105812. http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105812

Ma, Z., L. Lin, M. Wu, M. Yu, T. Shang, T. Zhang, & M. Zhao. 2018. Total and inorganic arsenic contents in seaweeds: absorption, accumulation, transformation and toxicity. *Aquaculture* 497: 49-55. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.040

Machu, L., L. Misurcova, J.V. Ambrozova, J. Orsavova, J. Mlcek, J. Sochor, & T. Jurikova. 2015. Phenolic Content and Antioxidant Capacity in Algal Food Products. *Molecules* 20: 1118-1133. https://doi.org/10.3390/molecules20011118

Maehere, H.K., M.K. Malde, K.E. Eilertsen, & E.O. Elvevoll. 2014. Characterization of protein, lipid and mineral contents in common Norwegian seaweeds and evaluation of their potential as food and feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94:3281-90. https://doi.org/10.1002/jsfa.6681

Marzocchi, M., D. Badocco, A. Plovan, & P. Pastore. 2016. Metals in *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar and Sargassum muticum (yendo) Fensholt edible seaweeds growing around Venice (Italy). *Journal of Applied Phycology* 28: 2605-2613. https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-016-0793-8

Mendez, C., D.E. Bustamante, M.S. Calderon, C. Gauna, L. Hayashi, D. Robledo, C. Tapia-Larios, I. Campbell, R. Westermeier, & P. Murúa. 2024. Biosecurity baseline for a sustainable development of seaweed aquaculture in Latin America. *Marine Policy* 159: 105933. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105933

Miedico, O., C. Pompa, C. Tancredi, A. Cera, E. Pellegrino, M. Tarallo, & A.E. Chiaravalle. 2017. Characterisation and chemometric evaluation of 21 trace elements in three edible seaweed species imported from south-east Asia. *Journal of Food Composition and Analysis* 64: 188-197. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.09.004

Montero, L., A. Sánchez-Camargoa, E. Ibáñeza, & B. Gilbert-López. 2018. Phenolic Compounds from Edible Algae: Bioactivity and Health Benefits. *Current Medicinal Chemistry* 25: 4808-4826. https://doi.org/10.2174/0929867324666170523120101

Monteiro, M., J. Sloth, S. Holdt, & M. Hansen. 2019. Analysis and Risk Assessment of Seaweed. National Food Institute, Technical University of Denmark, Denmark. *EFSA Journal* 17: e170915, 11 pp. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170915

Mouritsen, O.G., P. Rhatigan, & J.L. Pérez-Lloréns. 2018. World Nagai cuisine of seaweed: Science meets gastronomy. *International Journal of gastronomy and Food Science* 14: 55-65. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2018.09.002

Muñoz, J. 2015. Informe final: Incorporación de la industria alimentaria de consume humano directo como Fuente de agregación de valor para las macroalgas nacionales. Universidad Arturo Prat. Instituto de Ciencia y Tecnología (ICYT), Puerto Montt, Chile. 411 pp. https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89395_informe_final.pdf

Muse, J.O., J.D. Stripeikis, F.M. Fernández, L. d' Huicque, M.B. Tudino, C.N. Carducci, & O.E. Troccoli. 1999. Seaweeds in the assessment of heavy metal pollution in the Gulf San Jorge, Argentina. *Environmental Pollution* 104: 315-322. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00096-7

Muse, J.O., C.N. Carducci, J.D. Stripeikis, M.B. Tudino, & F.M. Fernández. 2006. A link between lead and cadmium kinetic speciation in seawater and accumulation by the green alga *Ulva lactuca*. *Environmental Pollution* 141: 126-130. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.021

Nagai, N.F., J.M. Lorenza, N. Ranalli, J.A. Pérez-Álvarez, N. Sepúlveda, R. Dominguez, E.M. Santos, A. Texeira, & S.C. Andrés. 2022. Use of seaweed powder (*Undaria*

sp.) as a functional ingredient in low-fat pork burgers. *Algal Research* 67: 102862. https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102862

Nomura, M., H. Okamura, Y. Horie, C.K. Yap, C. Emmanouil, S. Uwai, & H. Kawai. 2023. Effects of antifouling compounds on the growth of macroalgae *Undaria pinnatifida*. *Chemosphere* 312: 137141. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137141

Ortiz Viedma, J.A. 2011. Composición Nutricional y Funcional de las Algas Clorofíceas Chilenas: Codium fragile y *Ulva lactuca*. Tesis de Licenciatura. Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. 25 pp. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121457

Paz, S., C. Rubio, A.J. Gutiérrez, D. González-Weller, C. Revert, & A. Hardisson. 2018. Metal concentrations in wild-harvested Phaeophyta seaweed from the Atlantic Ocean (Canary Island, Spain). *Journal of Food Protection* 81: 1165-1170. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-038

Paz, S., C. Rubio, I. Frías, A.J. Gutiérrez, D. Gonzáles-Weller, V. Martín, C. Revert, & A. Hardisson. 2019. Toxic metals (Al, Cd, Pb and Hg) in the most consumed edible seaweeds in Europe. *Chemosphere* 218: 879-884. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.165

Pereira, L. 2021. Macroalgae. *Encyclopedia* 1:177–188. https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010017

Pérez, A.A., S.S. Farías, A.M. Strobl, L.B. Pérez, C.M. López, A. Piñeiro, O. Roses, & M.A. Fajardo. 2007. Levels of essential and toxic elements in *Porphyra columbina* and *Ulva* sp. from San Jorge Gulf, Patagonia Argentina. *Science of the Total Environment* 376: 51–59. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.11.013

Quitral, R.V., G.C. Morales, L.M. Sepúlveda, & M.M. Schwartz. 2012. Nutritional and health properties of seaweeds and its potential as a functional ingredient. *Revista Chilena de Nutrición* 39: 196-202. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000400014.

Rebours, C., E. Marinho-Soriano, J.A. Zertuche-González, L. Hayashi, J.A. Vásquez, P. Kradolfer, G. Soriano, R. Ugarte, & M.H. Abre*u.* 2014. Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of Applied Phycology* 26: 1939-1951. https://doi.org/10.1007/s10811-014-0304-8

Rodríguez Bernaldo de Quirós, A., M.A. Lage-Yusty, & J. López-Hernández. 2010. Determination of phenolic compounds in macroalgae for human consumption. *Food Chemistry* 121: 634–638. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.078

Rodrigues, D., A.C. Freitas, L. Pereira, T.A.P. Rocha-Santos, M.W. Vasconcelos, M. Roriz, L.M. Rodríguez-Alcalá, A.M.P. Gomes, & A.C. Duarte. 2015. Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. *Food Chemistry* 183: 197-207. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.057

Rougham, G. 1985. Phosphatidylglycerol and Chilling Sensitivity in Plants. *Plant Physiology* 77: 740. https://doi.org/10.1104/pp.77.3.740

Rubio, C., G. Napoleone, G. Luis-González, A.J. Gutiérrez, D. González-Weller, A. Hardisson, & C. Revert. 2017. Metals in edible seaweed. *Chemosphere* 173: 572-579. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.064

Salcedo, M.F., S.L. Colman, A.Y. Mansilla, M.A. Martínez, D.F. Fial, V.A. Alvarez, & C.A. Casalongué. 2020. Amelioration of tomato plants cultivated in organic-matter impoverished soil by supplementation with *Undaria pinnatifida*. *Algal Research* 46: 101785. https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101785

Salomone, V.N., M. Riera, L. Cerchietti. G. Custo, & C. Muniain. 2017. Seasonal determination of trace and ultra-trace content *Macrocystis pyrifera* from San Jorge Gulf (Patagonia) by Total Reflection X-ray Fluorescence. *Spectrochimica Acta Part B* 131: 74-78. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0584854716302725

Salomone, V.N. & M. Riera. 2019. Proximal composition of *Undaria pinnatifida* from San Jorge Gulf (Patagonia, Argentina). *Biological Trace Element Research* 196: 252-261. https://doi.org/10.1007/s12011-019-01905-1

Sánchez-Machado D.I., J. López-Cervantes, J. López-Hernández, & P. Paseiro-Losada. 2004. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry* 85: 439–444. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.001

Sathya, R., N. Kanaga, P. Sankar, & S. Jeeva. 2017. Antioxidant properties of phlorotannins from brown seaweed *Cystoseira trinodis* (Forsskal) C. Agardh. *Arabian Journal of Chemistry* 10: S2608-S2614. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.039

Schmid, M., L.G.K. Kraft, L.M. van del Loos, G. Kraft, P. Virtue, P.D. Nichols, & C.L. Hurd. 2018. Southern Australian seaweed: a promising resource for omega-3 fatty acids. *Food Chemistry* 265: 70-77. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.060

Skirzypczyk, V.M., K.M. Hermon, F. Norambuena, G.M. Turchini, R. Keast, & A. Bellgrove. 2019. Is Australian seaweed worth eating? Nutritional and sensorial properties of wild-harvested Australian versus commercially available seaweeds. *Journal of Applied Phycology* 31: 709-724. https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-018-1530-2

Susanto, E., S. Fahmi, M. Hosokawa, & K. Miyashita, 2019. Variation in lipid components from 15 species of tropical and temperate seaweeds. *Marine Drugs* 17: 630-651. https://doi.org/10.3390/md17110630

Taboada, M.C., R. Millán, & M.I. Miguez. 2013. Nutritional value of the marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and nori (*Porphyra purpurea*) as food supplements. *Journal of Applied Phycology* 25: 1271-1276. https://doi.org/10.1007/S10811-012-9951-9

Taylor, V.F., & B.P. Jackson. 2016. Concentrations and speciation of arsenic in New England seaweed species harvested for food and agriculture. *Chemosphere* 163: 6-13. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.004

Taylor, V., B. Goodale, A. Raab, T. Schwerdtle, K. Reimer, S. Conklin, M.R. Karagas, & K.A. Francesconi. 2017. *Science of the Total Environment* 580: 266-282. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.113

van Ginneken, V.J.T, J.P.F.G. Helsper, W. de Visser, H. van Keulen, & W.A. Brandenburg. 2011. Polyunsaturated fatty acids in various macroalgal species from north Atlantic and tropical seas. *Lipids in Health and Disease* 10: 104-109. https://doi.org/10.1186/1476-511x-10-104

Vidal, A., A. Fallarero, E.R. Silva de Andrade-Wartha, A.M. de Oliveira, A. Silva, R. Pavan Torres, P. Vuorela & J. Mancini-Filho. 2006. Composición química y actividad antioxidante del alga marina roja Bryothamnion triquetrum (S.G. Gmelin) Howe. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 42: 589-600. https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000400015

Sometido: 18 de febrero de 2025
Revisado: 6 de junio de 2025
Corregido: 9 de julio
Aceptado: 15 de julio de 2025

Monitoring microcystin-LR-producing cyanobacterial bloom in La Purísima Dam in Guanajuato, Mexico

Monitoreo de floración cianobacteriana productora de microcistina-LR en la Presa La Purísima en Guanajuato, México

Laura Valdés Santiago[1*], Juan G. Colli Mull[2], José Luis Castro Guillén[2], Rosalba Alonso-Rodríguez[3], Jorge Noé García Chávez[4], Alejandro Zúñiga Zúñiga[2], Paulette Mathieu González[2], María José León Hernández[2]

[1]SECIHTI-Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Carretera Irapuato Silao km 12.5, Irapuato, C.P. 36821. Guanajuato, México.
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Carretera Irapuato Silao km 12.5, Irapuato, C.P. 36821. Guanajuato, México. División: Ingeniería Bioquímica
[3]Unidad Académica Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, P.O Box 811, Mazatlán C.P. 82000. Sinaloa, México.
[4]Langebio, Unidad de Genómica Avanzada, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional km 9.6 Libramiento Norte Irapuato-León, Irapuato, C.P. 36821. Guanajuato, México.

Email: laura.valdes@secihti.mx

Valdés Santiago, L., J.G. Colli Mull, J.L. Castro Guillén, R. Alonso-Rodríguez, J.N. García Chávez, A. Zúñiga Zúñiga, P.M. González y M.J. León Hernández. 2025. Monitoring microcystin-LR-producing cyanobacterial bloom in La Purísima Dam in Guanajuato, Mexico. *Cymbella* 11 (2-3): 115-120.

DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.2

ABSTRACT

Toxic cyanobacterial blooms are a growing concern due to their increasing frequency. The presence of cyanotoxins, classified as emerging contaminants, in freshwater sources poses a serious threat to aquatic ecosystems and human health. Assessing cyanotoxin levels in water bodies is essential to safeguard public well-being and ensure the continued availability of this vital resource. In Guanajuato, the water from dams and reservoirs is primarily used for crop irrigation, as well as for recreational activities and fishing. La Purísima Dam is a Protected Natural Area with a background of eutrophication and home to migratory birds. This study reports the presence of *Planktothrix*, *Microcystis* and *Raphidiopsis*. The genes *mcy*C, *mcy*D, *cyrA*, and *sxt*A, which are involved in the synthesis of microcystins, cylindrospermopsin and saxitoxin, were detected at DNA level, and MC-LR was quantified.

Key words: cyanotoxins, Cylindrospermopsin, reservoirs, Planktothrix, saxitoxin.

RESUMEN

Las floraciones tóxicas de cianobacterias son una preocupación creciente debido a su incremento. La presencia de cianotoxinas, clasificadas como contaminantes emergentes, en fuentes de agua dulce representa una seria amenaza tanto para los

ecosistemas acuáticos como para la salud humana. Conocer los niveles de cianotoxinas en los cuerpos de agua es esencial para garantizar el bienestar público y la disponibilidad de este recurso vital. En Guanajuato, el agua de presas y embalses se utiliza principalmente para el riego de cultivos vegetales, así como para actividades recreativas y pesca. La presa La Purísima es un Área Natural Protegida con antecedentes de eutrofización y es hábitat de aves migratorias. Este estudio reporta la presencia de los géneros de cianobacterias *Planktothrix*, *Microcystis* y *Raphidiopsis*. Adicionalmente, los genes *mcy*C, *mcy*D, *cyrA*, y *sxt*A, que están involucrados en la síntesis de microcistinas, cilindrospermopsinas y saxitoxina se detectaron a nivel de ADN y se cuantificó la MC-LR.
Palabras clave: cyanotoxinas, Cylindrospermopsina, embalses, Planktothrix, saxitoxina.

INTRODUCTION

Cyanobacterial blooms are a growing global concern due to their ability to produce cyanotoxins, specialized metabolites harmful to both ecosystems and public health. Some cyanobacterial species can synthesize a wide variety of toxins, which are classified according to the primary organ they affect: hepatotoxins (e.g., microcystins), neurotoxins (e.g., anatoxins and saxitoxins), cytotoxins, and dermotoxins (Chorus & Welker 2021). Microcystin-LR (MC-LR), the most studied and prevalent variant, is particularly hazardous due its stability in water, resistance to conventional water treatment, and ability to bioaccumulate in aquatic food webs (Akbar *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2023).

Recreational activities in water bodies such as dams represent a significant route of human exposure to cyanotoxin through ingestion, skin contact, or inhalation of aerosolized particles. Such exposure to cyanotoxin has been linked to liver damage, gastrointestinal disorders, and potential long-term carcinogenic effects (Chorus & Welker 2021; Graham *et al.* 2020). At the same time, eutrophication driven by anthropogenic nutrient inputs, along with climate change-related factors like increased temperature and light availability, strongly favors the formation and persistence of cyanobacterial blooms (López-Hernández *et al.* 2022; Paerl & Otten 2013).

Human activities in water reservoirs contribute to the proliferation of cyanobacterial blooms, adversely affecting water quality and public health. Therefore, it is imperative to establish monitoring protocols for the prevention and remediation of cyanotoxin contamination.

In Mexico, the National Water Commission has defined 757 hydrological basins, organized into 37 hydrological regions, grouped into 13 hydrological-administrative regions. The state of Guanajuato, located in hydrological regions 12 and 26, comprises nine major dams that are vital for various human activities, including agriculture, livestock, fishing, industry, domestic use, electricity generation, and the preservation of protected flora and fauna (Sistema Nacional de Información del Agua 2024). Knowing the cyanotoxin content in water bodies is essential to ensure public welfare and the availability of this vital liquid (Paerl & Otten 2013; Zahra *et al.* 2020).

Despite their importance, technical reports studies that evaluate the presence of cyanobacteria and cyanotoxins in Guanajuato´s reservoirs are notably scarce, particularly those involving molecular detection techniques or toxin quantification. Given the high ecological and social value of these water bodies, systematic monitoring protocols are essential not only to mitigate risks to human and animal health, but also to inform water management policies and conservation strategies (Rodríguez *et al.* 2024).

This study aims to fill this knowledge gap by monitoring cyanobacterial blooms and Microcystin-LR levels in Purísima Dam, an artificial reservoir of ecological significance in Guanajuato, Mexico, using morphological identification, molecular tools, and toxin quantification assays.

METHODOLOGY

For the sample collection, preservation, and transportation procedures, the protocol outlined by NOM-230-SSA1-2002 was followed. Sterile glass containers with ground-glass stopper were used to collect the samples from a surface body, the flask was submerged in the water with the neck pointing downward to a depth of 15 to 30 cm. The sampling was conducted on March 11, 2024. Collected point locations were MLP1: 20° 53′ 41″ N, 101° 16′ 49″ W (20.894722, -101.280278); MLP2: 20° 53′ 45″ N, -101° 16′ 45″ W (20.895833, -101.279167); MLP3: 20° 52′ 20″ N, -101° 17′ 34″ W (20.872222, -101.292778); MLP4: 20° 52′ 09″ N, -101° 17′ 28″ W (20.869167, -101.291111).

Morphological identification and quantification were performed using a compound microscope (Leica DMLS) following the key guidelines of Komárek & Anagnostidis (1999). Cell counts were conducted using Sedgwick-Rafter chamber, as outlined by APHA (2017).

For microcystin quantification, samples were analyzed using the Microcystin ADDA ELISA kit, following the manufacturer's instructions (Abraxis Eurofins® product #520011OH).

Before pelleted cells from environmental samples, 400 mL of the sample was homogenized and poured into an ultrasonic sonicator, treated for 90 seconds at 42 kHz. Aliquots of 50 mL were then centrifuged at 5,200 rpm for 10 minutes. The supernatant was decanted, and this procedure was repeated until a pellet of at least 50 mg wet weight was obtained. The cell pellets were stored at -70 °C before use. Genomic DNA was extracted using the DNA mini-prep kit (Zymo Research) according to the instructions of the manufacturer. Amplification of genes 16S, *mcy*E, *cyr*A and *sxt*A by PCR technique was performed with the Dream Taq super mix reaction mixture (Thermo Scientific) with oligos 16SF (AGCCACACTGGGACTGAGACA), 16SR (TCGCCCATTGCGGAAA), *mcy*F (AATAAATCATAATTTAGAACSGGVGATTTAGG), *mcyR* (AATAAATCATAACGRBTVADTTGRTATTCAATTTCT), *cyr*F (GTCTGCCCACGTGATGTTATGAT), *cyr*R (CGTGACCGCCGTGACA); *sxt*F (GGAGTGGATTTCAACACCAGAA), *sxt*R (GTTTCCCAGACTCGTTTCAGG) (Al-Tebrineh *et al.* 2012), with the following program: an initial denaturation for 5 min at 95 °C, followed by 25 cycles at 94 °C for 1 min, 53.6 °C for 50 s, and 72 °C for 2 min, with a final extension step at 72 °C for 5 min. The PCR products were observed using 1 % agarose gel electrophoresis, staining, and visualized.

RESULTS

The La Purísima Dam area is part of the Silao-Romita aquifer. This dam receives effluents from Guanajuato rivers. Chapín and Trinidad rivers supplies water for irrigation. Samples were collected from four points around the dam, specifically in areas with greater green coloration, the presence of scum, and the locations of water pumps. Locations MLP1 and MLP2 are near to the Molinero community, where a strong fishy odor was detected in the area, that could be associated with the presence of geosmin, a compound linked to cyanobacterial blooms (Fig. 1A-1C). The MLP2 sampling point was notable because residents were pumping water from this location for irrigation for cultivating coriander and zucchini (Fig. 1C). At the MLP3 sampling point, scum was observed and MLP4 sample was taken near the water pump that supplies water to cultivation land (Fig. 1D, 1E). At the collection sample time, La Purísima dam was medium, with a fill percentage of 54 % relative to the ordinary maximum water level.

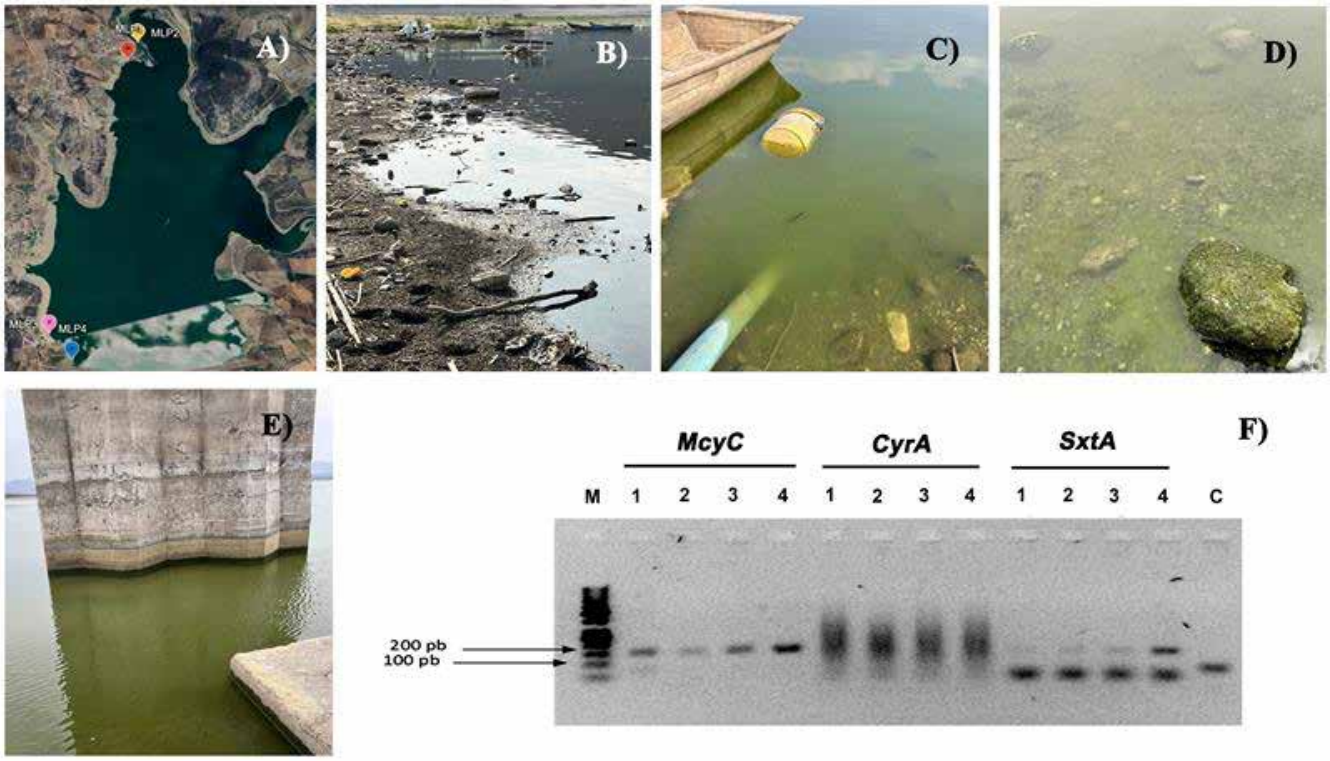


FIGURE 1. Collecting points at the La Purísima dam on March 11th, 2024. A. A) Satellite map of La Purísima dam, with sampling points MLP1, MLP2, MLP3, and MLP4 highlighted. B) MLP1. C) MLP2. D) MLP3. E) MLP4. F. Amplification of DNA regions encoding genes involved in cyanotoxin synthesis: *mcy*C, *cyr*A and *sxt*A at the four sampling points (1: MLP1; 2: MLP2; 3: MLP3; 4: MLP4). M: Molecular weight marker.

Microscopic inspection revealed 11 different species, including *Chlamydomonas* sp., *Trichodesmium* sp., *Trachelomonas* sp., *Lemmernannia tetrapedia*, *Nitzschia* sp., *Mesodinium rubrum*, *Scenedesmus* sp., *Zygnema* sp., *Monoraphidium capricornutum*, *Oscillatoria* sp. and *Eudorina elegans* were identified (Table 1) according to morphological criteria. Cyanobacteria with toxic potential, such as *Planktothrix* as the dominant microcystin-producing genus co-occurring with *Microcystis* and, to lesser extent, *Raphidiopsis*, were also observed, as confirmed by methagenomics 16S (data not shown).

Regions of cyanotoxin synthesis gene clusters were amplified by PCR to detect toxigenic genotypes. *mcy*C for microcystin synthesis, *cyr*A for cylindrospermopsin synthesis and *sxt*A for saxitoxin synthesis gene (Al-Tebrineh *et al.* 2012). From all point samples, a PCR product was amplified corresponding to the molecular weight of each cyanotoxin biosynthesis gene. Thus, indicate the presence of the genes and genotype capacity for toxin production (Fig. 1F). The results for the concentration of MC-LR were below detection limit (0.1 ppb), indicating minimal microcystin levels in the water samples. Specifically, the concentrations were as follows: MLP1 and MLP2: 0.06 ppb; MLP3: 0.21 ppb; MLP4: 0.05 ppb. The lower detection limit was 0.56 ppb therefore, no significant MC-LR production was occurring.

DISCUSSION

On November 25, 2005, declared the area known as La Purísima Dam and its surrounding zone as a Protected Natural Area (ANP) in the Sustainable Used category by Mexican Government Decree No. 249. This designation, requested by the Civil Association *Colonos y Usuarios de la Presa La Purísima, A. C.*, and the State Ecology Institute, recognized the ecological relevance of the site due to its high aquatic biodiversity and its role in sustaining migratory bird population and aquatic life (Periódico Oficial 188). In addition to its ecological value, La Purísima serves as a recreational area and receives water inputs from the Guanajuato, Chapín and Trinidad rivers.

This dam supplies water to Irrigation District No. 11 and supports a wide range of aquatic species that are harvested for human consumption. However, irrigation with water contaminated by cyanobacteria poses a significant public health risk. Cyanotoxins produced during toxic blooms can adversely affect soil microbial communities, bioaccumulate in plant tissues, and ultimately enter the food chain, reaching fruits and vegetables consumed by the population (Bouaïcha & Corbel 2016; Levizou *et al.* 2020; Machado *et al.* 2017).

One of the persistent issues in La Purísima dam is its eutrophic condition, exacerbated by untreated domestic and agricultural waste, elevated temperatures, and poor water circulation (Tirado *et al.* 2023). These factors collectively promote phytoplankton growth and increase the frequency of cyanobacteria blooms, as confirmed in the present study (Table 1).

Our monitoring from 2021 to 2024 has consistently documented eutrophic conditions and the presence of potentially toxigenic cyanobacteria. The genera *Planktothrix*, *Raphidiopsis*, *Oscillatoria*, *Microcystis*, and *Anabaena*/*Dolichospermum* have been recurrently identified, all of which are known microcystin producers and are among the most common genera responsible for cyanotoxin blooms worldwide (De Alavision *et al.* 2023).

Quantification of microcystin-LR (MC-LR) across different years showed the following concentrations: 0.42 ppb (µg/L) in 2021; 0.30 ppb in 2022 (to be published); and 0.21 ppb in 2024 (this study). These levels, while below the World Health Organization´s guideline value for drinking water (1 µg/L), indicate a persistent presence of cyanotoxins. Notably, these concentrations are up to ten times lower than those reported for other artificial reservoirs (Rodríguez *et al.* 2024), yet their chronic presence may still pose risks for long-term human exposure and ecosystem health.

Molecular analysis by PCR confirmed the presence of gene clusters responsible for the synthesis of microcystins (*mcy*C), cylindrospermopsins (*cyr*A), and saxitoxins (stxA) (Fig. 1F), supporting the toxigenic potential of the cyanobacterial community. These findings along with previous metagenomics data (unpublished), which detected *Planktothrix*, *Microcystis* and *Raphidiopsis* as dominant genera in the reservoir.

Given these results, it is essential to implement routine molecular and chemical monitoring of La Purísima Dam to detect early signs of toxigenic blooms and prevent potential health impacts. The integration of molecular tools like PCR and quantitative toxin assays (e.g. ELISA) into local water management protocols can serve as an early warning system.

Finally, this study represents a contribution to the understanding of cyanobacterial contamination in freshwater bodies of Guanajuato. To our knowledge, this is the first report to provide a comprehensive assessment combining field observations, morphotaxonomic identification, molecular detection of toxin genes, and quantification of MC-LR in La Purísima Dam an ecosystem of ecological and social importance for the region.

Table 1. Microbial diversity and cell density measured using Sedgwick-Rafter counting chamber.

Sample	Identification	Cell density (cells/L)	Taxonomic Group
MLP1	*Chlamydomonas* sp.	142,857	Chlorophyceae (Green algae)
	Oscillatoria sp.	85,714	Cyanophyceae (Cyanobacteria)
	Trachelomonas sp.	192,857	Euglenophyceae (Euglenoids)
	Zygnema sp.	64,285	Zygnematophyceae (Green algae)
	Scenedesmus spp	92,857	Chlorophyceae (Green algae)
	Nitzschia sp.	64,285	Bacillariophyceae (Diatoms)
	No identified	128,571	Unidentified
	Crucigenia tetrapedia	200,000	Chlorophyceae (Green algae)
	Myrionecta rubra	128,571	Cryptophyceae (Mixotrophic protists)
	Selenastrum capricornctum	85,714	Chlorophyceae (Green algae)
	∑=	**1,185,711**	
MLP2	*Trichodesmium* sp.	16,564,285	Cyanophyceae (Cyanobacteria)
	Chlamydomonas sp.	1,971,428	Chlorophyceae (Green algae)
	Nitzschia sp.	42,857	Bacillariophyceae (Diatoms)
	Zygnema sp.	35,714	Zygnematophyceae (Green algae)
	Scenedesmus quadricauda	21,428	Chlorophyceae (Green algae)
	Eudorina elegans	42,857	Chlorophyceae (Green algae)
	∑=	**18,678,569**	
MLP3	*Chlamydomonas* sp.	190,571,428	Chlorophyceae (Green algae)
	Trichodesmium	31,500,000	Cyanophyceae (Cyanobacteria)
	Trachelomonas sp.	71,428	Euglenophyceae (Euglenoids)
	∑=	**222,142,856**	
MLP4	*Trichodesmium* sp.	17,414,285	Cyanophyceae (Cyanobacteria)
	Chlamydomonas sp.	6,785,714	Chlorophyceae (Green algae)
	Nitzschia sp.	71,428	Bacillariophyceae (Diatoms)
	∑=	**24,271,427**	

CONCLUSIONS

Nontoxigenic cyanobacterial bloom containing the general *Planktothrix*, *Microcystis* and *Raphidiopsis* was found in La Purísima Dam. Genes involved in the production of microcystin, cylindrospermopsin and saxitoxin were detected by PCR. However, MC-LR level suggests that gene expression was not active at enough level to be detected, or it is post-transcriptionally or post-traductionally regulated.

ACKNOWLEDGMENTS

We gratefully acknowledge financial support from UNAM-PAPIIT (IN113925) and Proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico e Innovación TecNM 2025 (22380.25-PD).

REFERENCES

Akbar, S., S. Iqbal, M. Azam, M.A. Mehmood, & N. Shahid. 2022. A comprehensive review on microcystin-LR toxicity, detection, and removal strategies: Water safety under threat. *Environmental Advances* 10: 100306. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100306

Al-Tebrineh, J., L.A. Pearson, S.A. Yasar, & B.A. Neilan. 2012. A multiplex qPCR targeting hepato- and neurotoxigenic cyanobacteria of global significance. *Harmful Algae* 15: 9–25. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.11.001

APHA. 2017. Counting cell (Sedgwick-Rafter) *In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. American Public Health Association, Washington.

Bouaïcha, N., & S. Corbel. 2016. Cyanobacterial toxins as emerging contaminants in soils: A review of sources, fate and impacts on ecosystems, plants and animal and human health. *In:* M.L. Larramendy & S. Soloneski. *Eds. Soil Contamination - Current Consequences and Further Solutions.* 1st ed. InTechOpen. DOI: https://doi.org/10.5772/64940

Chorus, I., & M. Welker (Eds.). 2021. *Toxic Cyanobacteria in Water*. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, on behalf of the World Health Organization, Geneva.

De Alavision, M., C. Reynolds, & T. Creswell. 2023. Harmful cyanobacterial blooms: Going beyond the "green" narrative. *Hydrology & Water Management* 3: 1-20. DOI: https://doi.org/10.3390/hydrolwater3010012

Komárek, J., & K. Anagnostidis. 1999. Cyanoprokaryota. 1. Chroococcales. *In:* H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer. Eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band* 19/1: Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg & Berlin.

Graham, J.L., K.A. Loftin, & M.T. Meyer. 2020. Cyanotoxin mixtures and their effects on human health: Understanding complex exposures. *Toxins* 12: 248. DOI: https://doi.org/10.3390/toxins12040248

Levizou, E., T. Papadimitriou, E. Papavasileiou, N. Papadimitriou, & K.A. Kormas. 2020. Root vegetables bioaccumulate microcystins-LR in a developmental stage-dependent manner under realistic exposure scenario: The case of carrot and radish. *Agricultural Water Management* 240: 106274. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106274

López-Hernández, J.E., J. Morales-Ventura, & O. Peña-Navarro. 2022. Climatic and nutrient drivers of cyanobacterial blooms in subtropical reservoirs: A case study from Central Mexico. *Water Research* 212: 118112. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118112

Machado, J., A. Campos, V. Vasconcelos, & M. Freitas. 2017. Effects of microcystin-LR and cylindrospermopsin on plant-soil systems: A review of their relevance for agricultural plant quality and public health. *Environmental Research* 153: 191-204. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.015

Paerl, H., & T. Otten. 2013. Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology* 65: 995-1010. DOI: https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato. 2005. Decreto por el que se declara Área Natural Protegida la presa La Purísima. Recuperado de https://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/GUANAJUATO/Municipios/Irapuato/IraDec01.pdf

Rodriguez Uro, V.H., J. Azevedo, M.J. Araújo, R. Silva, J. Bedoya, B. Paredes, C. Ranilla, V. Vasconcelos, & A. Campos. 2024. New report of cyanobacteria and cyanotoxins in El Pañe reservoir: A threat for water quality in high-Andean sources from Peru. *Toxins* 16: 378. DOI: https://doi.org/10.3390/toxins16090378

Sistema Nacional de Información del Agua. 2024. *Situación de los recursos hídricos*. Gobierno de México. Accesible en: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/

Tirado, D., G. Vázquez, C. Patlan, O. Estrasa, & B. García. 2023. Análisis de la calidad del agua para consumo humano en la presa "La Purísima", Guanajuato, Gto. Universidad de Guanajuato. Volumen 21 XXVIII Verano de la Ciencia. Accesible en: https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/download/3988/3472/13069.

Zahra, Z., D. Choo, H. Lee, & A. Parveen. 2020. Cyanobacteria: Review of current potentials and applications. *Environments* 7: 13. DOI: https://doi.org/10.3390/environments7020013

Zhang, D., J. Tang, L. Zhuang, W. Chen, & Q. Zeng. 2023. Environmental behavior and risks of microcystin-LR: A review of current understanding. *Science of the Total Environment* 873: 162210. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162210

Sometido: 26 de febrero de 2025
Revisado: 4 de junio de 2025
Corregido: 16 de julio de 2025
Aceptado:18 de septiembre de 2025

Cianobacterias, sus toxinas, afectaciones y control de florecimientos nocivos

Cyanobacteria, their toxins, effects and control of harmful blooms

David Alexis Hernández-Ángeles[1,2], Alejandra Siliceo-Pacheco[1,2], Alejandra Torres-Ariño [2,3*]

[1]Licenciatura en Biología Marina, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.
[2]Instituto de Industrias, Universidad del Mar campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.
[3]Área de Biología Experimental y Microalgas de los Laboratorios de Acuicultura, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.
*Email: alejandra_torres@aulavirtual.umar.mx, cyanodarla@gmail.com

Hernández-Ángeles D.A., A. Siliceo-Pacheco y A. Torres-Ariño. 2025. Cianobacterias, sus toxinas, afectaciones y control de florecimientos nocivos. *Cymbella* 11 (2-3): 121-137.

DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.3

RESUMEN

Las cianobacterias son microorganismos similares a las bacterias y se diferencian por que realizan fotosíntesis oxigénica, su incremento ocurre de manera natural, pero se ha magnificado en frecuencia e intensidad por la interferencia humana a partir de fuentes puntuales (descargas municipales, agricultura, malas prácticas de acuicultura), deficientes sistemas de tratamientos de aguas y la formación de diques de ríos, lo que aumenta el tiempo de retención y exposición del agua a la luz solar y naturales con el incremento de la temperatura. Presentan estrategias ante los cambios ambientales (geoquímicos y climáticos) por lo que habitan ambientes muy diversos, donde las poblaciones pueden ser dominadas por una única especie o estar compuestas por una variedad de ellas y algunas pueden ser tóxicas. El análisis microscópico no define la toxicidad, por lo que es importante hacer otros análisis. El potencial tóxico se evalúa mediante bioensayos controlados y análisis químicos en laboratorio donde los valores de algunas cianotoxinas, superan los 100 µg L^{-1} o más, poniendo en riesgo la salud humana-animal por el contacto, ingesta directa e indirecta, generando impacto ambiental y económico. Es necesario desarrollar procesos de evaluación y caracterización de riesgo, desarrollo de políticas y acciones de gestión (niveles de alerta).

Palabras clave: biomanipulación, cianotoxinas, eutrofización, salud pública.

ABSTRACT

Cyanobacteria are microorganisms similar to bacteria but that carry out oxygenic photosynthesis. Their increase occurs naturally, but has been magnified in frequency and intensity by human interference from point sources (municipal discharges, agriculture, poor aquaculture practices), poor water treatment systems and the damming of rivers, which increases the retention time and exposure of water to sunlight and natural light with increasing

temperature. They have strategies to cope with environmental changes (geochemical and climatic) and therefore inhabit very varied environments, where populations can be dominated by a single species or be composed of a variety of them and some can be toxic. Microscopic analysis does not define toxicity, so it is important to perform other analyses. The toxic potential is assessed by controlled bioassays and chemical analysis in laboratories where the values of some cyanotoxins exceed 100 µg/L or more, putting human and animal health at risk through contact, direct and indirect ingestion, generating environmental and economic impact. It is necessary to develop risk assessment processes that allow the identification of the danger, the evaluation and characterization, the development of policies, and management actions (alert levels).
Key words: Biomanipulation, cyanotoxins, divulgation, eutrophication, public health.

¿QUÉ SON LAS CIANOBACTERIAS Y POR QUÉ SON IMPORTANTES?

Las cianobacterias (Cyanobacteria) o cianoprocariotas (Cyanoprokaryota), son microorganismos autótrofos pertenecientes al grupo de los procariotas quienes poseen una estructura celular simple, son aerobios capaces de realizar fotosíntesis oxigénica, es decir, emplean de manera efectiva la luz del sol para convertirla en biomasa y productos bioactivos y al final liberan parte del oxígeno que respiramos. Además, se consideran uno de los organismos más antiguos de la tierra, con un origen que se calcula en aproximadamente 3 500 millones de años (Roset *et al.* 2001). Se conocen alrededor de 6 161 especies y se estima que hay 6 280 aún por describir (Guiry & Guiry 2025; Nabout *et al.* 2013). Su capacidad adaptativa les ha permitido habitar en diferentes ambientes y algunos de ellos con condiciones extremas ya sea bajo una condición o varias a la vez (p. ej. temperaturas altas o bajas, pH ácidos o básicos, altas salinidades, entre otros). Por lo cual, también tienen la capacidad de producir una serie de moléculas bioactivas y algunas toxinas, a partir de las cuales, los investigadores se han interesado e incentivado en el estudio de estas (Torres-Ariño 2019) (Fig. 1).

Las cianobacterias representan un reto a nivel taxonómico por los escasos rasgos que se pueden observar de ellas a través de un microscopio fotónico. Aun así, se distinguen distintas organizaciones celulares desde especies unicelulares, coloniales o filamentosas (multicelularidad), además tienen una capacidad de comunicación por señales químicas entre las células que pueden analizarse con métodos químicos de amplia resolución (Humbert & Fastner 2017). Presentan una pared celular de tipo Gram-negativa que cuenta con una capa de peptidoglucanos con un grosor que varía entre 1-10 nm (Castenholz 2015). Muchas cianobacterias, ya sean unicelulares, coloniales o filamentosas, presentan una "cobertura" que se encuentra fuera de su membrana externa y es rica en polisacáridos. Esta cobertura recibe diferentes nombres, como vaina, glicocálix o cápsula. Además, según su textura, también puede ser descrita como mucilaginosa (Castenholz 2015) (Fig. 2).

La mayoría de las cianobacterias, se reproducen a través del proceso de fisión binaria, la cual es un proceso de reproducción asexual que implica la separación del material genético de la célula y su posterior división para formar dos células exactamente iguales, aunque existen excepciones como es el caso del género *Chamaesiphon* en el que la reproducción ocurre por un proceso de división asimétrica con la posterior generación de un individuo semejante al reproductor (Castenholz 2015). Además, cuentan con estructuras especializadas que desempeñan un papel en la reproducción como son los acinetos, los hormogonios, hormocistos y "esporas" (endosporas y exosporas, que son células iguales a las progenitoras, pero más pequeñas) (Echenique & Aguilera 2009). En las cianobacterias filamentosas y después de la división celular, las células permanecen adheridas entre sí y forman una cadena conocida como tricoma, que puede estar envuelta en una vaina mucilaginosa en algunos taxones llamados filamentos (Uyeda *et al.* 2016; Vidal *et al.* 2021). Cuando los tricomas se rompen o fragmentan dentro de un filamento, se forman ramificaciones falsas, presentes en varios órdenes de cianobacterias. Sin embargo, en algunos miembros de Nostocales, la división celular se produce de forma perpendicular u oblicua en más de un plano, lo que da lugar a una ramificación verdadera (Dvořák 2017; Mehdizadeh-Allaf & Peerhossaini 2022) (Fig. 3).

Las cianobacterias son fundamentales como colonizadores iniciales ya que ayudan a añadir materia orgánica al suelo y a protegerlo de la erosión (Estrada & Menjivar 2013), sin olvidar que forman parte de la base de la red trófica (es decir, son el alimento de muchos microorganismos) debido a que son fotosintetizadores y son las que contribuyen con el oxígeno que respiran todos los organismos aerobios.

Son importantes ecológicamente en los ambientes marinos ya que participan activamente en los

ciclos biogeoquímicos del agua como por ejemplo en el ciclo del nitrógeno, esto debido a la capacidad que tienen algunas cianobacterias de fijar N_2, por presentar la enzima nitrogenasa generalmente en una célula especializada denominada heterocito (h) (Figs. 2, 3 y 4) (p. ej. *Trichodesmium* spp. *Synechococcus* sp. y *Oscillatoria* sp.) gracias a esto a menudo son los únicos habitantes de aguas con deficiencias extremas de nitrógeno y se les considera a algunas de ellas como fertilizadoras de ecosistemas marinos como las cianobacterias filamentosas *Trichodesmium erythraeum* y *T. thiebautii* (Estrada & Menjivar 2013; Fernández-Carrera 2013) (Fig. 4).

La capacidad de las cianobacterias para habitar diferentes ambientes radica en su amplia adaptabilidad y a su maquinaria metabólica a partir del cual producen diversos metabolitos bioactivos que presentan una amplia gama de estructuras químicas, de las que hasta ahora se han identificado más de 2 000 compuestos metabólicos, algunos de ellos son toxinas (Carmichael *et al.* 2001; Jones *et al.* 2021; Zamora-Barrios 2023). Dentro de la gama de metabolitos secundarios producidos por las cianobacterias, están los polisacáridos, lípidos, vitaminas, enzimas, esteroles y pigmentos como las ficobiliproteínas (p. ej. ficocianina y ficoeritrina), que presentan aplicaciones para la industria farmacéutica, cosmética, agrícola y alimentaria. Algunos compuestos presentan diversas actividades biológicas, incluyendo efectos anticancerígenos, antioxidantes, antimicrobianos y disruptores endocrinos, por lo que en los últimos años se ha centrado la atención en la recolección y producción de biomasa para la explotación de estos metabolitos (Priyadarshani & Rath 2012) (Fig. 4).

Las cianobacterias son un grupo con gran diversidad de especies las cuales presentan distintas características y rasgos morfológicos. Muchos de estos rasgos y características les brindan a las cianobacterias una ventaja competitiva frente al fitoplancton eucariota, lo que suele favorecer su predominio y facilita la formación de florecimientos algales nocivos (FAN) de cianobacterias, es decir una proliferación o incremento exponencial en el número de células (Huisman *et al.* 2018). Aunque los FAN de cianobacterias han sido descritos desde hace mucho tiempo, diversos estudios sugieren que en la actualidad están en un aumento a nivel mundial (Huisman *et al.* 2018). Factores ambientales previamente estudiados como la eutrofización por descargas de efluentes de diversas industrias (agropecuarias, industriales y urbanos), el aumento de los niveles de CO_2 y el calentamiento global, baja turbulencia de las aguas o bien tiempos de retención prolongados, todo en conjunto, probablemente aumenten la frecuencia, la intensidad y la duración de las floraciones de cianobacterias en diversos ecosistemas acuáticos alrededor del mundo (Huisman *et al.* 2018) y si bien algunos de estos factores son producidos por condiciones naturales (p. ej. huracanes, surgencias, etc.), la gran mayoría es provocada por acciones del humano.

Se ha observado que la eutrofización (el incremento de nutrientes en los cuerpos de agua) es más usual en lagos, ríos y reservorios, esto es un síntoma común en agua dulce con bajos requerimientos de nutrientes (Cobo 2015). Además, ya se está presentando en los sistemas costeros quienes también reciben las aguas de desecho producidas en las ciudades, las industrias y las actividades agrícolas de las zonas altas y de los asentamientos costeros. Las FAN pueden causar consecuencias en la calidad del agua relacionadas con una carga alta de fósforo y nitrógeno, mal olor y generar ambientes de hipoxia o deficiencia de oxígeno lo que llevará a la muerte de los organismos que habitan en este lugar donde se presenten estos FAN. También habrá consecuencias debido a que algunos de estos organismos generan toxinas, lo cual ocasionará daños en animales silvestres, ganado, mascotas e inclusive en los humanos (Kang *et al.* 2022), causando, además, pérdidas económicas a nivel industrial y turístico (Dodds *et al.* 2009) (Fig. 5).

CIANOBACTERIAS Y SUS TOXINAS: ¿QUÉ CONSECUENCIAS PRODUCEN?

Entre los miles de metabolitos bioactivos que las cianobacterias producen se encuentran las cianotoxinas que son metabolitos secundarios, y hay que aclarar que no todos los metabolitos secundarios son toxinas, aunque pueden causar daños a aves, peces, zooplancton, protozoos, bacterias y causar intoxicación aguda grave en mamíferos (incluido el humano) afectando distintos sistemas/aparatos como el hepatopancreático, digestivo, endocrino, dérmico y nervioso, por lo que se han convertido en un tema de salud pública (Yadav *et al.* 2011; Zamora-Barrios 2023).

Las cianotoxinas se pueden clasificar en dos tipos: las citotoxinas y las biotoxinas (Zamora-Barrios 2023); así mismo estas toxinas se pueden categorizar por el efecto que ejercen sobre algún órgano o tejido y pueden ser (Figura 6):

1. Citotoxinas cuyo efecto es a nivel de células,
2. Neurotoxinas que actúan en la transmisión del impulso nervioso. Existen diversas variantes químicas, las más importantes son: anatoxi-

na-a, homoanatoxina-a, anatoxina-a (s), n-éster de fosfato de metilo hidroxiguanidina, afanotoxinas I y II (saxitoxina y neosaxitoxina) y la b-N-metilamino-L-alanina (BMAA),

3. Hepatotoxinas cuyo efecto es en el hígado y ocasionan el tipo más común de intoxicación relacionado con las cianobacterias de las cuales se conocen más de 80 tipos químicos de microcistinas (MC).
4. Dermatotoxinas cuyo efecto es en piel, se encuentran entre las toxinas menos estudiadas, sus efectos se han visto sobre todo asociados a cianobacterias marinas y se conoce muy poco sobre cómo actúan, no son letales para los organismos, pero provocan irritación en la piel por contacto (Lucena 2008). Tienen efectos inflamatorios y se ha observado que son potentes promotores de tumores relacionados con la proteína quinasa C (Estrada & Menjivar 2013; Roset *et al.* 2001).

El hecho es que diferentes especies de cianobacterias en entornos acuáticos tienen la capacidad de producir toxinas potentes; no obstante, dentro de una misma especie, pueden encontrarse cepas productoras y no productoras de toxinas e inclusive especies que pueden producir más de una toxina (Pearl & Otten 2013; Roset *et al.* 2001), de ahí que es importante hacer la determinación de estas, mediante el aislamiento y así poder detectar, cuantificar y purificar las toxinas (Cuadro 1).

En el Cuadro 1, se mencionan algunos ejemplos de especies que han formado FAN y sus toxinas, el lugar y año y la densidad celular, la cual varía mucho entre las especies y el sitio en donde se han presentado. La mayoría de los registros se enfocan en las costas de México (península de Baja California, el Golfo de California, el Pacífico Oriental, Golfo de México y el Caribe Mexicano), mientras que los estudios de FAN en aguas continentales e interiores se han registrado en lagos de la Ciudad de México: Chapultepec, Xochimilco, Tezomoc, Alameda Oriente, Cuemanco y Tlamelaca; y en sus alrededores como el Estado de México: Reservorios de Valle de Bravo e Ignacio Ramírez, Sistema Lerma-Chapala, Zumpango, Laguna Atotonilco y Ciénega Chica (García-Mendoza *et al.* 2016). Además de otros lugares en varios estados de la República Mexicana como Lago de Pátzcuaro en Michoacán, Akumal y Cenote Uxuxubi en Quintana Roo (Cantoral-Uriza *et al.* 2017, Hernández-Terrones *et al.* 2016; Pérez-Morales *et al.* 2016) y en León, Guanajuato (Valdés-Santiago *et al.* 2023).

Para poder estudiar sus efectos, existen muchos métodos para su detección, clasificados en biológicos y fisicoquímicos. Dentro de los primeros, están los bioensayos con ratones, los bioensayos con organismos acuáticos (*Artemia* y *Daphnia*, algunos peces y anfibios), otros alternativos (hepatocitos de rata y los fibroblastos de hámster), ensayos enzimáticos, como la inhibición de la enzima fosfatasa e inmunológicos, donde se emplean anticuerpos monoclonales con pruebas de ELISA para microcistinas; además, las aproximaciones genéticas (p. ej. secuencias de rARN y ADN, análisis cuantitativo de la PCR) han contribuido mucho en su detección, cada una de las técnicas tiene ventajas y desventajas o limitaciones, pero han servido para identificar el efecto, diferenciar a nivel de género las cepas tóxicas de diferentes poblaciones, conocer los genes involucrados en la biosíntesis de las toxinas, entre otras más (Chen *et al.* 2012; Sipari *et al.* 2010)

Por su parte, entre los métodos fisicoquímicos destacan la detección de microcistinas con el análisis de HPLC (Cromatografía líquida de alta eficacia) que sirve para hacer la separación a 238 nm de luz UV (Pérez & Aga 2005) y la cromatografía de gases (CG) que se ha empleado para determinar a estas microcistinas (Gilroy *et al.* 2000).

Al momento ya se conocen muchas especies con potencial en la producción de toxinas y con el avance de la tecnología se ha logrado conocer y caracterizar el efecto, tipo y cantidad de toxina, así como identificar a las especies potenciales formadoras de proliferaciones y productoras de toxinas. Se considera que, desde un punto de vista ecológico, la producción de toxinas en las cianobacterias parece ser un mecanismo efectivo en la disminución de la herbivoría por el zooplancton, ya que les resta la apetencia por la toxicidad acumulada en las células (Cantoral-Uriza *et al.* 2017; Lucena 2008).

¿CÓMO SE CONTROLAN? UN VISTAZO A LOS AVANCES EN LOS MÉTODOS DE CONTROL

Como se ha mencionado anteriormente, las FAN de cianobacterias son las más estudiadas y conocidas porque estos organismos pueden producir metabolitos bioactivos (cianotoxinas) que constituyen un serio problema ambiental con graves repercusiones sobre la salud humana y animal, de ahí la necesidad de contar con métodos o estrategias que ayuden a minimizar la aparición, establecimiento, proliferación de las cianobacterias. Existen distintos métodos de control, los cuales podemos clasificar en cuatro tipos; los métodos por control de nutrientes, control biológico, químico y mecánico, cada uno presenta ventajas y desventajas en su uso y por consiguiente en su efectividad (Cobo 2015) (Fig. 7).

CONTROL DE NUTRIENTES

Una de las mejores estrategias para la limitación de los FAN es la disminución de nutrientes en el cuerpo de agua. Por lo cual se han investigado y aplicado distintos métodos (p. ej. dragado, uso de floculantes, filtrado de aguas superficiales, agitación masiva, entre otros) para reducir la carga de fósforo interna y de otros nutrientes para poder mitigar las floraciones de cianobacterias. Sin embargo, algunos pueden causar afectaciones al ecosistema y su valor de uso es alto (Cobo 2015; Cooke *et al.* 2005; McComas & Stuckert 2011).

CONTROL BIOLÓGICO

El control biológico se basa en utilizar otros organismos vivos (p. ej. agentes virales, bacterianos, hongos, protozoos, macrofitas o material vegetal) que sirvan como competencia de nutrientes en el ambiente donde existe el FAN, este método es considerado una alternativa respetuosa y sustentable con el ambiente en comparación de los métodos físicos y químicos (Shao *et al.* 2013), aunque la mayoría de los estudios se han desarrollado a nivel laboratorio y no hay aplicaciones directas exitosas en el campo, ya que el cultivo a gran escala de muchos de estos organismos es problemático (Cobo 2015).

CONTROL QUÍMICO

Los métodos químicos (Fig. 7) para el control de las FAN son los más utilizados por su bajo costo y por la rapidez con la que actúan, se utilizan para reducir las FAN de cianobacterias directamente mediante la inhibición del crecimiento o la disminución de la concentración de nutrientes. Sin embargo, muchas veces presentan desventajas ecológicas puesto que los compuestos pueden ser también tóxicos (p. ej. sulfato de cobre o quinonas) para especies que no son el objetivo y llegan a acumularse en el ambiente, provocar cambios en el pH del agua e incluso liberar toxinas después de su liberación en el FAN. Recientemente se ha trabajado en la implementación de compuestos y moléculas naturales (p. ej. peróxido de hidrógeno en disolución o en su forma sólida) que causan estrés oxidativo a través de la producción de especies reactivas de oxígeno, aunque aún es poco usual debido a los altos costos, comparado con los químicos ya comercializados y no hay información sobre la liberación de toxinas después del tratamiento (Jančula & Maršálek 2011; Vargas *et al.* 2016).

CONTROL MECÁNICO

Estos métodos abarcan tanto la eliminación directa de las cianobacterias como la regulación de su crecimiento mediante la disminución de la luz o la lisis celular a través de procesos físicos (Fig. 7), por ejemplo, aireación, ultrasonido, desecación (Cobo 2015). Un ejemplo de los métodos mecánicos es el del ultrasonido, en el cual se emplea un equipo de irradiación por ultrasonido a frecuencias que descompondrá la estructura interna de las cianobacterias al romper los aerotopos que funcionan como sistemas de flotación. Este método es efectivo en pequeños estanques o tajamares, no requiere el uso de productos químicos y generalmente es económico. Su ventaja radica en que no se produce lisis celular, por lo que no se aumenta la liberación de microcistinas, aunque las vesículas se regeneran poco tiempo después del cese del ultrasonido. Falta información sobre sus efectos en otros organismos y en los ecosistemas acuáticos. De ahí que su eficacia varía según la forma del cuerpo de agua y las especies de cianobacterias presentes y del tipo de toxinas que produzcan (Cobo 2015; Miguez 2016).

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de las cianobacterias revela una dualidad en su presencia y dos caras opuestas.

Recientemente, los FAN han aumentado debido a los cambios ambientales que se han acelerado especialmente por causas de origen antropogénico y aunque se han realizado abundantes estudios con cianobacterias y toxinas, su dificultad radica en la complejidad para identificarlas taxonómica y molecularmente, así como los cambios en sus clasificaciones.

Sin embargo, no todo es negativo con estos microorganismos, ya que pueden extraerse sus componentes para beneficio de diversas industrias (acuícola, biotecnológica, en especial en la cosmetología y algunos suplementos alimenticios). Por lo tanto, visibilizar a las cianobacterias es fundamental para fomentar más investigaciones sobre ellas, lo que permitirá un mejor manejo y aprovechamiento, evitando problemas en los ecosistemas acuáticos y generando beneficios para las personas.

Es crucial prestar atención a las cianobacterias en el contexto de los florecimientos algales nocivos, ya que su estudio y manejo adecuado pueden prevenir problemas de salud y económicos. Al visibilizar su importancia, se promoverán investigaciones que no solo ayudarán a controlar sus efectos adversos, sino que también permitirán aprovechar sus beneficios, contribuyendo así a la salud de los ecosistemas acuáticos y al bienestar de la sociedad.

Al momento y en relación con actividades recreacionales en agua, no existe una legislación, por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS)

sugiere prohibir el acceso a sitios de recreo para evitar el contacto directo con las cianobacterias, cuando se tengan más de 20 000 células mL^{-1} en el agua (Quesada *et al.* 2006). Es importante contar con guías para el manejo de riesgo que ayuden a tomar las medidas preventivas que eviten intoxicaciones por contacto o ingesta, pero sobretodo es una necesidad la implementación de políticas ambientales y en materia de salud pública que atiendan dicha problemática, en conjunto con sistemas de monitoreo continuo.

Es fundamental prevenir el incremento o proliferación de las cianobacterias en los reservorios acuáticos, por lo que es necesario realizar buenas prácticas de manejo y una cultura del agua, donde se realicen tratamientos previos para minimizar la carga excesiva de nutrientes y otros componentes que promuevan el crecimiento masivo.

El apoyo a la investigación básica es fundamental para conocer la composición de especies, los datos ambientales, las concentraciones de nitrógeno y fósforo y sus proporciones (N:P), para entender la estructura y funcionamiento, la sistemática y ecología de las cianobacterias de cada región y sistema, que deriven en aplicaciones técnicas y mejoren la gestión del agua a través de planes de manejo integrales.

REFERENCIAS

Aké-Castillo, J.A., Y.B. Okolodkov, C.F. Rodríguez-Gómez, & G. Campos-Bautista. 2014. Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). *In:* A.V. Botello., J. Rendón von Osten., J.A. Benítez & G. Gold-Bouchot. Eds. Golfo de México. *Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida, pp. 133-146.

Alonso-Rodríguez, R. & F. Páez-Osuna. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219: 317-336. DOI: https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00509-4

Cantoral-Uriza, E.A., A.D. Asencio-Martínez, & M. Aboal-Sanjurjo. 2017. Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *Hidrobiológica* 27: 241-251. DOI: https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/hidro/2017v27n2/Cantoral

Carmichael, W.W., S.M. Azevedo, J.S. An, R.J. Molica, E.M. Jochimsen, S. Lau, & G.K. Eaglesham. 2001. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives* 109: 663-668. DOI: https://doi.org/10.1289/ehp.01109663

Castenholz, R.W. 2015. General characteristics of the Cyanobacteria. *In:* D.H. Bergey., F.C. Harrison., R.S. Breed., B.W. Hammer & F.M. Huntoon. Eds. Bergey's *Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, pp. 1-23.

Chen, K., M. Liu, G. Zhao, H. Shi, L. Fan, & S. Zhao. 2012. Fabrication of a novel and simple microcystin-LR photoelectrochemical sensor with high sensitivity and selectivity. *Environmental Science & Technology* 46: 11955-11961. http//doi.org/10.1021/es302327w

Cobo, F. 2015. Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales. *Limnetica* 34: 247-268. https://doi.org/10.23818/limn.34.20

Cooke, G.D., E.B. Welch, S.A. Peterson, & S.A. Nichols. 2005. *Restoration and management of Lakes and Reservoirs.* 3rd edition. Taylor and Francis, Boca Raton.

Cortés-Lara, M., A.L Cupul-Magaña, & A.M. Cupul-Velázquez. 2022. Fitoplancton marino de Bahía de Banderas con una revisión de los florecimientos algales nocivos en la región. *In:* A. Pérez Morales., M.A. Galicia Pérez & A. Olivos Ortiz. Eds. *Estudios marinos y pesqueros en el Pacífico mexicano.* Universidad de Colima, Colima. pp. 9-30.

Dalinger, F.S.A., B.C Nidia, V.L Lozano, L.B. Moraña, & M.M. Salusso. 2024. Bloom-forming cyanobacteria and dinoflagellates in five Argentinian reservoirs: Multi-year sampling. *Water Biology and Security* 3: 100232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watbs.2023.100232

Dodds, W.K., W.W. Bouska, J.L. Eitzmann, T.J. Pilger, K.L Pitts, A.J. Riley, J.T. Schloesser, & D.J. Thornbrugh. 2009. Eutrophication of U. S. freshwaters: Analysis of potential economic damages. *Environmental Science and Technology* 43: 12-19. https://doi.org/10.1021/es801217q

Dvořák, P., D.A. Casamatta, P. Hašler, E. Jahodářová, A.R. Norwich, & A. Poulíčková. 2017. Diversity of the cyanobacteria. *In:* P.C. Hallenbeck. Ed. *Modern topics in the phototrophic prokaryotes: Environmental and applied aspects.* Springer International Publishing, Switzerland. pp. 3-46. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5

Echenique, R.O & A. Aguilera. 2009. Cyanobacteria toxígenas. Aspectos generales para su identificación taxonómica. *In:* L. Giannuzzi. Ed. *Cianobacterias y cianotoxinas: Identificación Toxicología, Monitoreo y Evaluación de Riesgo*. Moglia Ediciones, Buenos Aires. pp. 37-51.

Estrada, R.M.H. & R.F. Menjivar. 2013. Rol ecológico de las cianobacterias y su presencia en los ríos Torola, Titihuapa y Jiboa de El Salvador. *Bioma 1*: 5-19.

Fernández-Carrera, A. 2013. Trichodesmium spp. y fijación de N2 en el océano Atlántico tropical y subtropical. Tesis de Doctorado, Universidad de Vigo, España. 170 p.

Freer, E. & M. Vargas-Montero. 2003. Floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica: toxicología y sus efectos en el ecosistema y salud pública. *Acta Médica Costarricense* 45: 158-164.

Gárate-Lizárraga, I., Y.B. Okolodkov, & R. Cortés-Altamirano. 2016. Microalgas formadoras de florecimientos algales en el Golfo de California. *In:* García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz & E.J. Núñez-Vázquez. Eds. *Florecimientos algales nocivos en México*. CICESE, Ensenada. pp. 130-145.

García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos Ortíz & E.J. Núñez-Vázquez. 2016. *Florecimientos algales nocivos en México*. CICESE, Ensenada.

Gilroy, D.J., K.W. Kauffman, R.A. Hall, X. Huang, & F.S. Chu. 2000. Assesing potencial health risks from microcystin toxins in blue-green algae dietary supplements. *Environmental Health Perspectives* 108: 435-439. https://doi.org/10.1289/ehp.00108435

Hernández-Terrones, L.M., V.M. Nava-Ruiz, S. Escobar-Morales & D. Ortega-Camacho. 2016. Florecimientos algales de cianobacterias en un cenote de Quintana Roo y su relación con la calidad el agua. *In:* García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortíz & E.J. Núñez-Vázquez. Eds. *Florecimientos Algales Nocivos en México.* CICESE, Ensenada. pp 422-432.

Huisman, J., G.A. Codd, H.W. Paerl, B.W. Ibelings, J.M.H. Verspagen, & P.M. Visser. 2018. Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology* 16: 471–483. https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1

Humbert, J.F. & J. Fastner. 2017. Ecology of cyanobacteria. *In:* J. Meriluoto., L. Spoof & G.A. Codd. Eds. *Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. pp. 11-18.

Jančula, D. & B. Maršálek. 2011. Critical review of actually available chemical compounds for prevention and management of cyanobacterial blooms. *Chemosphere* 85: 1415-1422. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.08.036

Jones, M.R., E. Pinto., M.A. Torres., F. Dörr., H. Mazur-Marzec., K. Szubert, & E.M.L Janssen. 2021. CyanoMetDB, a comprehensive public database of secondary metabolites from cyanobacteria. *Water Research* 196: 117017. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117017

Kang, L., M. Mucci, & M. Lurling. 2022. Compounds to mitigate cyanobacterial blooms affect growth and toxicity of Microcystis aeruginosa. *Harmful Algae* 118: 102311. https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102311

Lucena, E. 2008. Aspectos sanitarios de las cianotoxinas. *Higiene y Sanidad Ambiental* 8: 291-302. Accesible en: https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018a4f6ac40_Hig.Sanid_.Ambient.8.291-302(2008).pdf

McComas, S. & J. Stuckert. 2011. Water quality, aquatic plants, and fish conditions in ponds in Bloomington, Minnesota in 2010. St. Paul, Minnesota. City of Bloomington. Accesible en: https://www.bloomingtonmn.gov/sites/default/files/fnlrprt26pnd.pdf

Miguez, D, 2016. Tecnologías de control de floraciones de cianobacterias y algas nocivas en cuerpos de agua, con énfasis en el uso de irradiación por ultrasonido. *INNOTEC* 12: 54-61.

Mehdizadeh-Allaf, M., & H. Peerhossaini. 2022. Cyanobacteria: Model Microorganisms and Beyond. *Microorganisms* 10: 696. 10.3390/microorganisms10040696

Nabout, J.C., B. da Silva, F. Melo, & C.L. Sant' Anna. 2013. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. *Biodiversity and Conservation* 22: 2907-2918. https://doi.org/10.1007/s10531-013-0561-x

Narayana, S., J. Chitra., S.R. Tapase., V. Thamke., P. Karthick., C. Ramesh, & R. Mohanraju. 2014. Toxicity studies of *Trichodesmium erythraeum* (Ehrenberg, 1830) bloom extracts, from Phoenix Bay, Port Blair, Andamans. *Harmful Algae* 40: 34-39. https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.003

Palacio, M.C.R., C.L. Ramírez., M.M. Hernández, & R.B.E. Cabrera-Cruz. 2022 Eutrofización y florecimientos algales nocivos (FAN). Caso de estudio: laguna del Carpintero, Tampico, Tamaulipas, México. *In:* R. Pichardo Ramírez., J. Treviño Trujillo & J.C. Rolón Aguilar. Eds. *Tópicos selectos de ingeniería y ciencias ambientales*. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria. pp. 43-58. https://doi.org/10.29059/LUAT.312

Pearl, H.W. & T.G. Otten. 2013. Harmful cyanobacterial blooms: Causes, Consequences, and controls. *Microbial Ecology* 65: 995–1010. https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y

Pérez, S. & D.S. Aga. 2005. Recent advances in the sample preparation liquid chromatography tandem mass spectrometric analysis and environmental fate of microcystins in water. *Trends in Analytical Chemistry* 24: 658-670. https://doi.org/10.1016/j.trac.2005.04.005

Pérez-Morales, A., A. Olivos-Ortiz, S.I. Quijano-Scheggia, C.A. Espinosa-Rodríguez & M.A. Jiménez-Santos. 2016. Estado actual del estudio de cianobacterias dulceacuículas formadoras de florecimientos en el centro de México. *In:* E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortíz & E. J. Núñez-Vázquez. Eds. *Florecimientos Algales Nocivos en México.* CICESE, Ensenada. pp 408-421.

Poot-Delgado, C.A.P. 2016. Florecimientos algales nocivos en las costas de Campeche, Golfo de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 68: 91-96. https://doi.org/10.33064/iycuaa2016682264

Poot-Delgado, C.A.P., Y.B. Okolodkov., J.A.A. Castillo, & J.R. Von Osten, J. 2015. Fitoplancton potencialmente nocivo en el muelle la Puntilla, Laguna de Términos, sureste del Golfo de México. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología* 8: 570-582.

Poot-Delgado, C.A. & Y.A. Guzmán-Noz. 2009. Composición y abundancia del fitoplancton marino, con énfasis en las especies potencialmente tóxicas y/o nocivas,

en la Bahía de Campeche, México. *Resúmenes III Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos, Acapulco.* 38 pp.

Poot-Delgado, C.A. & P. Rosado-García. 2013. Fitoplancton marino potencialmente nocivo en las aguas costeras de Champotón, Campeche. *Memorias del XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, Los Cabos, México.*

Poot-Delgado, C. A., Y. B. Okolodkov, J. A. Aké-Castillo, & J. Rendón von Osten. 2018. Potentially harmful cyanobacteria in oyster banks of Términos lagoon, southeastern Gulf of Mexico. *Acta Biológica Colombiana* 23: 51–58. https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.65809

Priyadarshani, I. & B. Rath. 2012. Bioactive compounds from microalgae and cyanobacteria: utility and applications. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 3: 4123.

Proença, L.A.O., M.S. Tamanaha, & R.S. Fonseca. 2009. Screening the toxicity and toxin content of blooms of the cyanobacterium Trichodesmium erythraeum (Ehrenberg) in northeast Brasil. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases* 15: 204-215. https://doi.org/10.1590/S1678-91992009000200004

Quesada, A., D. Carrasco & S. Cirés. 2006. Cianobacterias en aguas de consumo y recreo: un problema de todos. *Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.* 10 pp.

Roset, J., Aguayo, S. Aguayo, & M.J. Muñoz. 2001. Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Revista de Toxicología* 18: 65-71.

Shaika, N.A., E. Alhomaidi., M.M. Sarker., A. An Nur., M.A. Sadat., S. Awal., G. Mostafa., S.J. Hasan., Y. Mahmud, & S. Khan. 2023. Winter bloom of marine cyanobacterium, *Trichodesmium erythraeum* and its relation to environmental factors. *Sustainability* 15: 1311. https://doi.org/10.3390/su15021311

Shao, J., R. Li., J.E. Lepo, & J.D. Gu. 2013. Potential for control of harmful cyanobacterial blooms using biologically derived substances: Problems and prospects. *Journal of Environmental Management* 125: 149-155.

Sipari, H., A. Rantala-Ylinen, J. Jokela, I. Oksanen, & K. Sivonen. 2010. Development of a chip assay and quantitative PCR for detecting microcystin synthetase e gene expression. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 3797-3805. https://doi.org/10.1128/AEM.00452-10

Spatharis, S., N. Skliris., A. Meziti, & K.A. Kormas. 2012. First record of a *Trichodesmium erythraeum* bloom in the Mediterranean Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69: 1444-1455. https://doi.org/10.1139/f2012-020

Steffen, M.M., B.S, Belisle., S.B. Watson., G.L. Boyer, & S.W. Wilhelm. 2014. Status, causes and controls of cyanobacterial blooms in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research* 40: 215-225. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.12.012

Torres-Ariño, A. 2019. Manual de técnicas básicas para el estudio de cianobacterias y microalgas. *Curso Biotecnología de cianobacterias y microalgas: aislamiento, cultivo y aplicación.* Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas y Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Monterrey, Nuevo León, México.

Uyeda, J.C., L.J. Harmon, & C.E. Blank. 2016. A comprehensive study of cyanobacterial morphological and ecological evolutionary dynamics through deep geologic time. *PLoS ONE* 11: e0162539. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162539

Valdés-Santiago, L., J.N. García-Chávez & J.L. Castro-Guillén. 2023. Caracterización de las comunidades microbianas asociadas a un florecimiento cianoalgal en una presa de León, Gto. México mediante secuenciación de regiones variables de los genes que codifican la rARN 16S y 18S. *Hidrobiológica* 31(1): 93-105. https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n1/Valdes

Vargas, E.C., K.B. Artavia, & J.B. Abarca. 2016. Floraciones algales nocivas durante el periodo 2008-2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 8: 129-149. https://doi.org/10.15359/revmar.8-1.9

Vidal, L., A. Ballot., S.M.F.O. Azevedo., J. Padisák & M. Welker. 2021. Introduction to cyanobacteria. *In:* I. Chorus, & M. Welker. (eds.). *Toxic Cyanobacteria in Water.* 2nd ed. CRC Press; Boca Raton. pp. 163-211.

Yadav, S., R.P. Sinha., M.B. Tyagi, & A. Kumar. 2011. Cyanobacterial secondary metabolites. International *Journal of Pharmacy and Biological Sciences* 2: 144-167. https://doi.org/10.5772/intechopen.75648

Zamora-Barrios, C.A. 2023. Revisión de cianobacterias potencialmente nocivas. *Tecnología y Ciencias en el agua* 14: 250-313. https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-03-06

Sometido: 21 de abril de 2025
Revisado: 27 de mayo de 2025
Corregido: 28 de agosto de 2025
Aceptado: 18 de septiembre de 2025

Cuadro 1. Ejemplos de algunos registros de Florecimientos Algales Nocivos (FAN) de cianobacterias en México y otras partes del mundo

Especie	Toxinas	Lugar	Fecha	Densidad cel L^{-1}	Referencia
Dolichospermum flos-aquae	Aanatoxina-a (s) LPS (lipopolisacáridos)	Laguna Mandinga, Veracruz	sep-06	-	Aké-Castillo *et al.* 2014
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Muelle Puntilla Laguna de Términos	2012-2013	438,000	Poot-Delgado *et al.* 2015
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Laguna de Términos	may-13	660,000	Poot-Delgado *et al.* 2015
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado *et al.* 2014
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Litoral de Champotón	2010	100,000	Poot-Delgado & Rosado García 2013
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Bahía de Campeche	2007	323,000	Poot Delgado & Guzmán-Noz 2009
Aphanocapsa delicatissima	Anatoxina-a LPS	Embalse Itiyuro,	2020	-	Dalinger *et al.* 2024
Raphidiopsis cuspis	Cilindrospermopsina LPS	Muelle Puntilla Laguna de Términos	2012-2013	330,000	Poot-Delgado *et al.* 2015
Cylindrospermopsis cuspis	Cilindrospermopsina LPS	Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado *et al.* 2014
Leptolyngbya sp.	Microcistinas LPS	Embalse Campo Alegre, Argentina	2021	-	Dalinger *et al.* 2024
Lyngbya majuscula	Saxitoxinas LPS	Golfo de California	2016	-	Gárate-Lizárraga 2016
Merismopedia sp.		Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado *et al.* 2014
Microcystis aeruginosa	Beta-metilamino-L alanina	Lago Erie	2013	-	Steffen *et al.* 2014
	Microcistinas LPS				
Microcystis aeruginosa	Beta-metilamino-L alanina	Laguna del Carpintero, Tamaulipas	2015	616 556 hasta más de 1 000 000	Palacio *et al.* 2022
	Microcistinas LPS				
Oscillatoria sp.	Cilindrospermopsina	Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado *et al.* 2014
	Anatoxina-a LPS				
Oscillatoria sp.	Cilindrospermopsina	Litoral de Champotón	2010	100 000	Poot-Delgado & Rosado-García 2013
	Anatoxina-a LPS				
Raphidiopsis mediterranea	Cilindrospermopsina LPS	Embalse El Limón, Argentina	2020	-	Dalinger *et al.* 2024

Especie	Toxinas	Lugar	Fecha	Densidad cel L^{-1}	Referencia
Richelia intracellularis	-	Costas del estado de Guerrero	2006	-	Gárate-Lizárraga 2016
Schizothrix calcicola	-	Estanques de camarón, Sinaloa	2003	140×10^6	Alonso-Rodríguez 2003
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica	2010	61 640	Vargas *et al.* 2016
Trichodesmium erythraeum	Cilindrospermopsina	Malecón de Campeche	2010	36 000	Poot-Delgado 2016
	Anatoxina-a LPs				
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Golfo de California	2016	-	Gárate-Lizárraga
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Isla de Lesbos, Mediterráneo	2012	-	Spatharis *et al.* 2012
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Puerto Caldera, Costa Rica	2002	-	Freer & Vargas 2003
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Costa de Andamán, Tailandia	2013	14.56×10^6	Narayana *et al.* 2014
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Bahía Banderas, Jalisco	-	$1\,658 \times 10^6$	Cortés-Lara *et al.* 2022
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Costa de Brasil	2009	577.20×10^6	Proença *et al.* 2009
Trichodesmium erythraeum	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Costas de Bangladesh	2020	91 470	Shaika *et al.* 2023
Trichodesmium sp.	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Muelle Puntilla Laguna de Términos	2012-2013	306 000	Poot-Delgado *et al.* 2015
Trichodesmium thiebautii	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Golfo de California	2016	-	Gárate-Lizárraga 2016

Figura 1. Características generales de las cianobacterias o cianoprocariotas

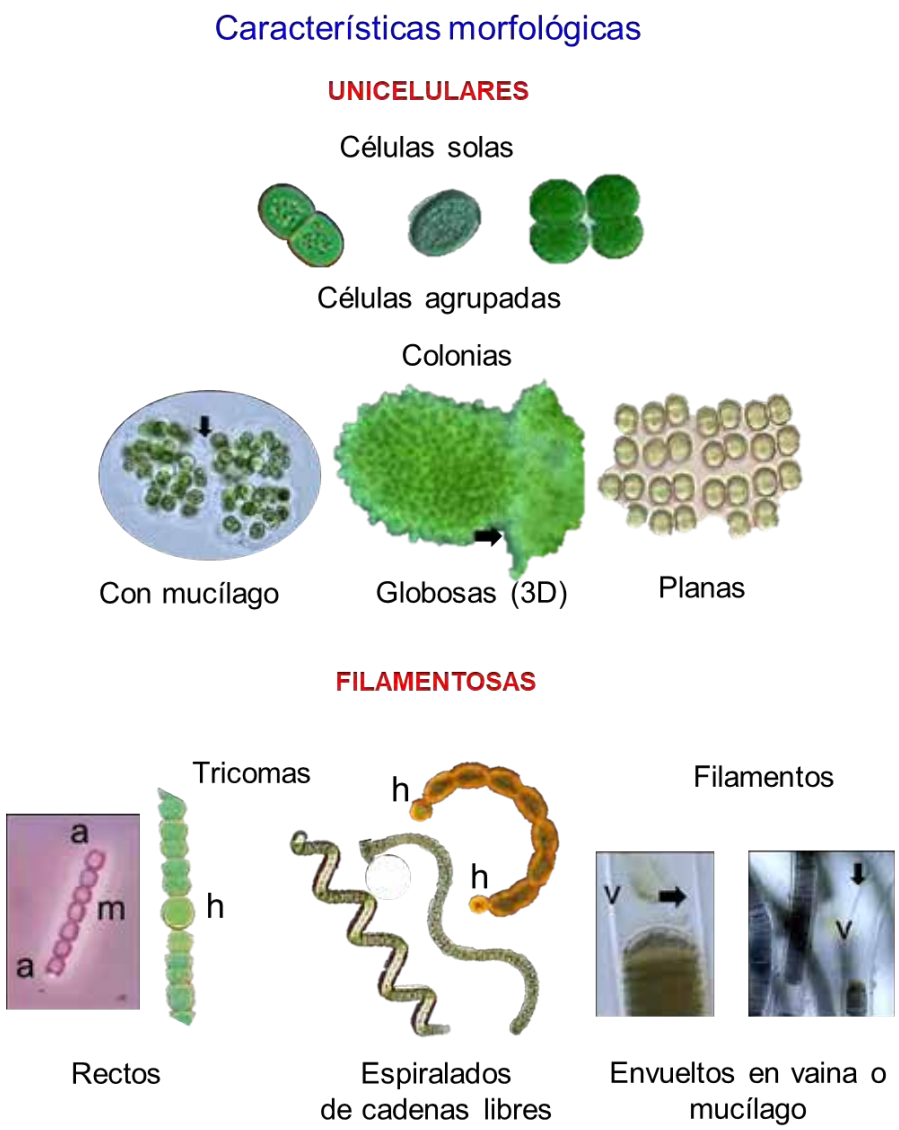


Figura 2. Características morfológicas de las cianobacterias unicelulares (coloniales) y filamentosas con producción de mucílago (m), vaina (v) y presencia de estructuras especializadas como los heterocistos (h) o la presencia de aerotopos (a).

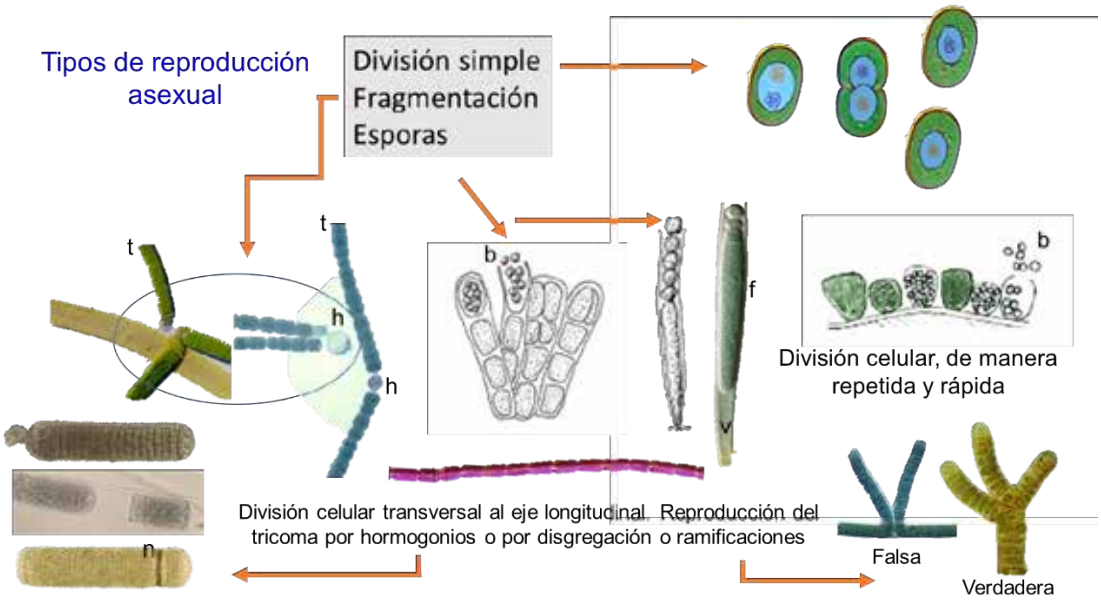


Figura 3. Tipo de reproducción asexual realizada por las cianobacterias unicelulares mediante una división simple o múltiple y por esporas (baeocitos, b) y en las filamentosas por fragmentación del tricoma (t) o filamento (f), o bien por la formación de un necridio (n) o heterocisto (h), así como por ramificaciones falsas o bien verdaderas.

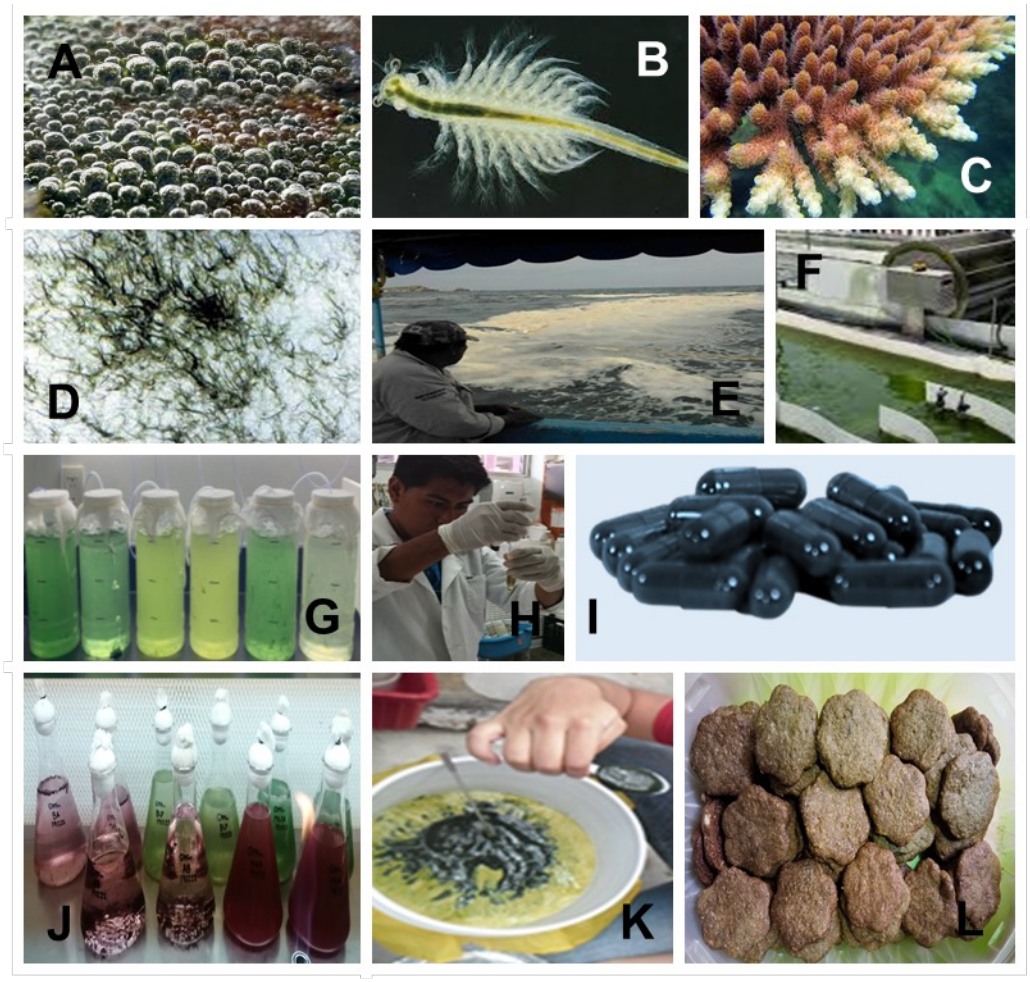


Figura 4. Características que resaltan la importancia de las cianobacterias. A) Aportan oxígeno que respiramos (50%), B) Son productores primarios (95%) y se emplean en alimentación larvaria, C) Sustentan la red trófica, D) Restauran suelos y sirven de biofertilizantes, E) Son fertilizadores en el ambiente marino y pueden producir FAN y toxinas, F-J) Su producción en laboratorio o a gran escala sirve para ciencia básica y aplicada, I) Se pueden producir metabolitos para la industria alimentaria y médica, J) son una fuente de pigmentos, K-L) Empleadas en la alimentación humana.

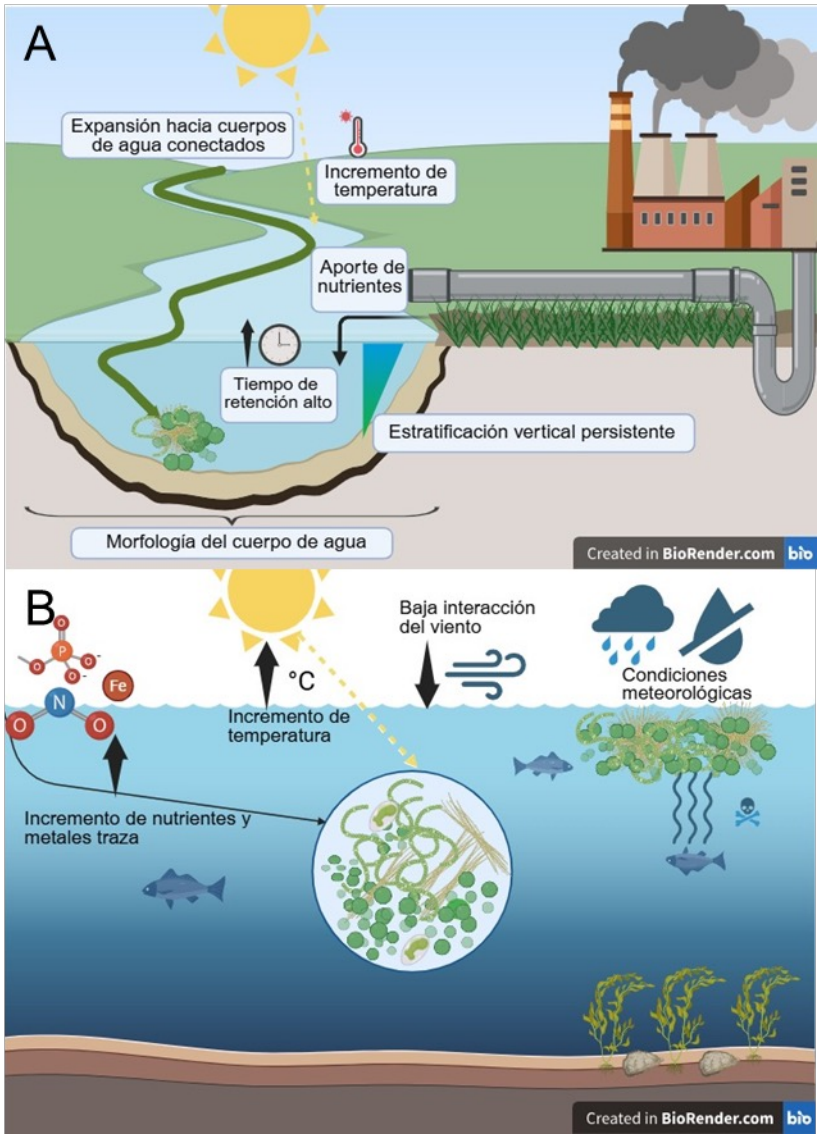


Figura 5. Causas que contribuyen a la proliferación de las cianobacterias en aguas continentales (A) y marinas (B).

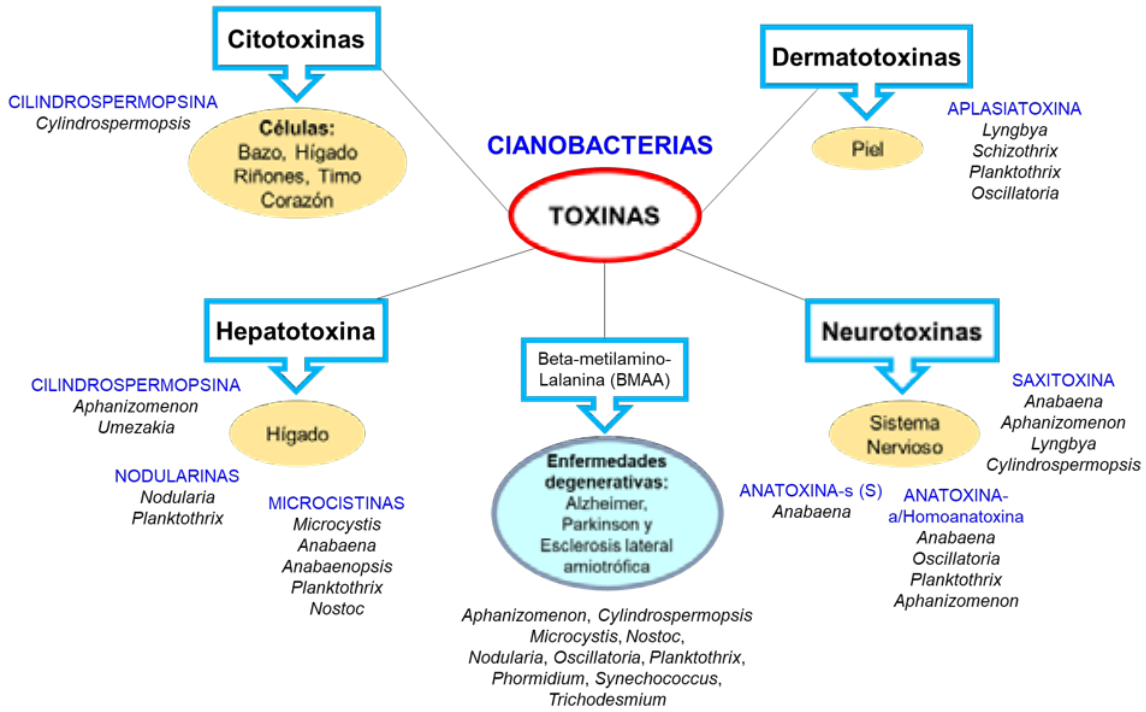


Figura 6. Toxinas producidas por las cianobacterias, lugar en donde inciden o se presenta su efecto y algunos géneros que las producen.

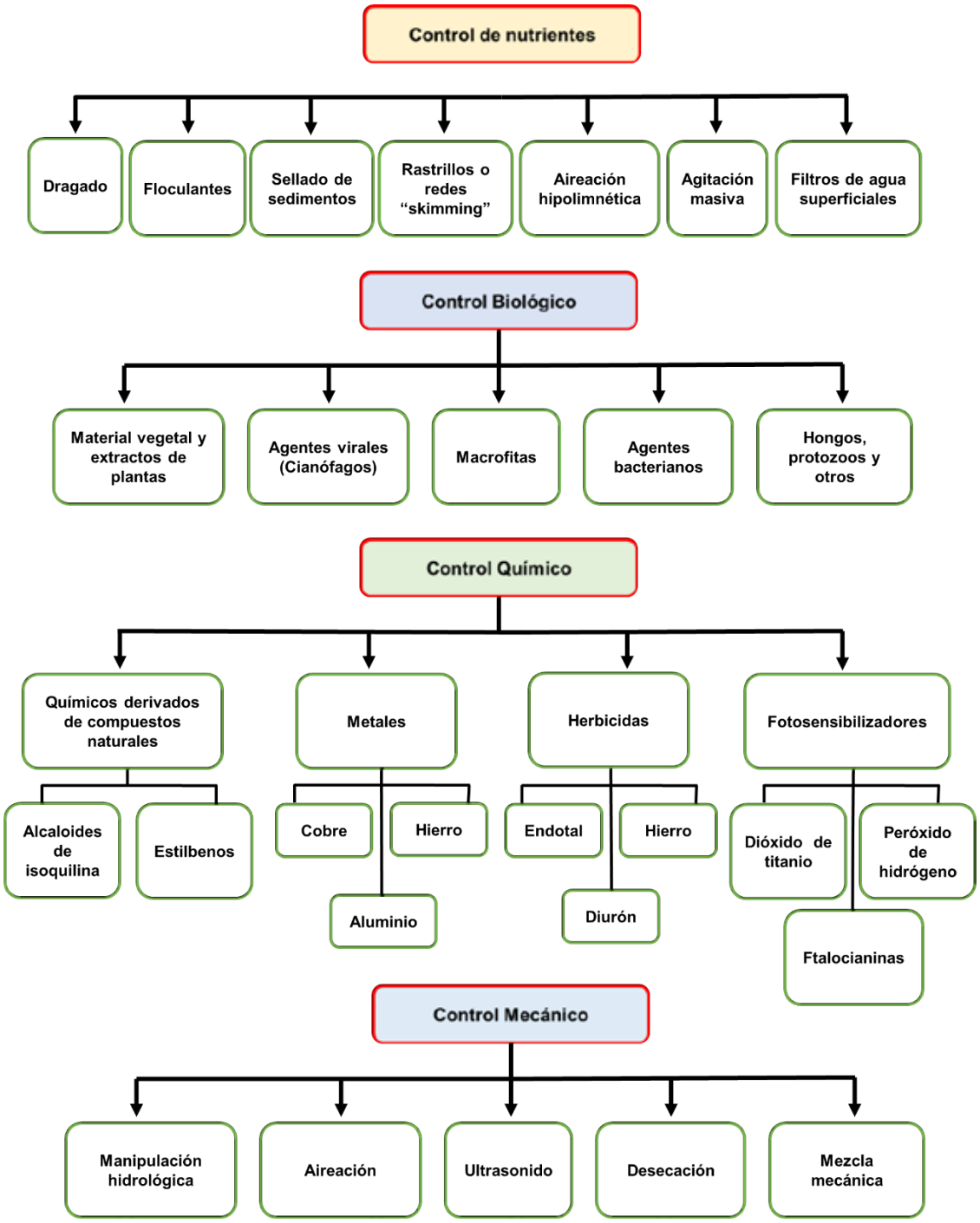


Figura 7. Ejemplos de métodos de control de FAN de cianobacterias en sistemas acuáticos. Tomado de Cobo (2015).

Advancing cancer therapeutics: a mini-review of the challenges and opportunities in exploring dinoflagellate-derived bioactive molecules through human cancer cell models

Avances en la terapia contra el cáncer: una mini revisión sobre los retos y las oportunidades en la exploración de moléculas bioactivas derivadas de dinoflagelados a través de modelos de cultivo celular con células de cáncer humano

María del Carmen Osorio-Ramírez[1] & Lorena M. Durán-Riveroll[2]

[1]Departamento de Biotecnología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, Ensenada, México. ORCID 0000-0002-3467-5941

[2]SECIHTI-Departamento de Biotecnología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, Ensenada, México. ORCID 0000-0001-8805-7228

Email: lduran@secihti.mx

Osorio-Ramírez, M.A. & L.M. Durán-Riveroll. 2025. Advancing cancer therapeutics: a mini-review of the challenges and opportunities in exploring dinoflagellate-derived bioactive molecules through human cell culture models. *Cymbella* 11 (2-3): 138-142

DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.4

ABSTRACT

This review outlines a critical segment of the integration process involved in the discovery of compounds with biological activity as well as pharmacological and biotechnological potential, specifically those derived from dinoflagellates. It discusses the challenges and opportunities in exploring these bioactive molecules in pharmacological research. The objective is to detail some key cell culture techniques, which involve the precise control of experimental conditions and the monitoring of cellular response parameters —including viability, proliferation, cytotoxicity, and cell death— and the appropriate selection of cancerous and non-cancerous human cell lines. Furthermore, this review explores the impact of the various limitations associated with the large-scale biomass production required to obtain pure compounds. The integration of these approaches through specific *in vitro* assays enables the biological characterization of bioactive compounds or active fractions, underscoring the essential role of cell culture as a strategic tool in the search for novel anticancer agents from marine dinoflagellates.

Keywords: bioactive compounds; cell viability; in vitro assay; marine biotechnology

RESUMEN

La presente revisión muestra una parte crítica del proceso de integración que implica el descubrimiento de compuestos con actividad biológica con poten-

cial farmacológico y biotecnológico, específicamente aquellos derivados de dinoflagelados. En esta se discuten algunos de los retos y las oportunidades en la exploración de moléculas bioactivas. El objetivo es detallar algunas técnicas clave del cultivo celular, que involucran el control preciso de las condiciones experimentales y el monitoreo de los parámetros de respuesta celular, como la viabilidad, la proliferación, la citotoxicidad y la muerte celular, así como la selección adecuada de líneas celulares humanas, tanto cancerosas como no cancerosas. Además, esta revisión explora el impacto de las diferentes limitaciones asociadas a la producción de la biomasa de dinoflagelados necesaria para la obtención de compuestos puros. La integración de estas aproximaciones mediante ensayos *in vitro* específicos permite la caracterización biológica de los compuestos o fracciones bioactivas sobre células cancerosas y no cancerosas. Es de esta manera que se resalta la importancia del cultivo celular como herramienta estratégica en la búsqueda de nuevos agentes anticancerosos derivados de dinoflagelados marinos.
Palabras clave: compuestos bioactivos; biotecnología marina; ensayo in vitro; viabilidad celular

INTRODUCTION

Dinoflagellates (Dinophyceae) are a taxonomic group of photosynthetic organisms that play different roles in freshwater and marine ecosystems as primary producers and some build symbiotic relationships with other organisms (De Vera *et al.* 2018; Orefice *et al.* 2023). These organisms are well-known producers of toxins such as the saxitoxins, amphidinols, ciguatoxins, brevetoxins, and cooliatoxin. However, these microalgae have been reported as producers of other secondary metabolites with different biological activities and pharmacological potential, because these microorganisms are found in various environmental conditions. Hence, these compounds are produced through several metabolic pathways; therefore, they have diverse molecular targets for illnesses like cancer (Assunção *et al.* 2017; Cousseau *et al.* 2020).

These compounds acquire a significant relevance in today's world due to their cytotoxic, antineoplastic, and antitumor activities, given that cancer is a growing problem of global concern (Assunção *et al.* 2017). Despite advances in treatments, the incidence of new cases has increased considerably in recent decades, and this group of diseases remains one of the leading causes of death worldwide. One of the most substantial challenges in its treatment is the resistance of cells to standard chemotherapy drugs. This need has driven research to find new molecules with cytotoxic activity, and marine dinoflagellates are a promising source of bioactive compounds (Abd El- Hack *et al.* 2019). In fact, despite massive research identifying over 300 marine algal toxins, the gaps remain in understanding their mechanisms of action (Gao *et al.* 2024).

OBTAINING BIOACTIVE COMPOUNDS FROM DINOFLAGELLATES

The search for bioactive compounds in marine and limnological organisms, such as dinoflagellates, represents a complex challenge. This process involves culturing, harvesting, and processing biomass (preferably by freeze-drying), and the use of purified solvents according to the potential components in the mix. The most common solvents are ethanol, methanol, acetone, and water. The reason for using these solvents is that they are polar solvents and they can extract a variety of non-polar and polar compounds with high efficiency. However, the best or optimal solvent depends on the compounds' polarity in the crude extract (Lee *et al.* 2024). Once extracts are dry, to ensure the complete removal of any solvent residues, bioassay-guided fractionation is a common approach to discovering natural products. This method involves a series of steps requiring extract fractionation and purification based on biological activity (Kildgaard *et al.* 2017; Reverter *et al.* 2020).

However, there are numerous challenges in obtaining bioactive compounds. One of the main obstacles is the amount of available biological material, as the cultivation times are often long, and yields are often low. The efficiency of cell disruption methods is critical to ensure the release of all target compounds (López Rodríguez *et al.* 2020). In addition, other technical factors can hinder the process, for example, co-extraction of other compounds, use of large volumes of one or more solvents, or poor selection of these (Getachew *et al.* 2020). Once a pure (or fairly purified) compound is obtained, advanced spectroscopic techniques, such as mass spectrometry (MS), infrared spectroscopy (IRS), and nuclear magnetic resonance (NMR), are used for structural identification. For instance, NMR is a sensitive technique for determining chemical structures, as it is effective with small quantities such as micrograms or even nanograms for analysis. However, it has a significant limitation: the compound must be pure and available for its correct identification (Reverter *et al.* 2020).

A promising strategy to overcome these challenges involves the adoption of high-throughput technologies capable of detecting molecular targets within

minimal sample volumes. Notably, the development of omics approaches — Including genomics, transcriptomics, and metabolomics — has revolutionized the study of secondary metabolites. These techniques facilitate not only the comprehensive analysis of low molecular weight compounds (<2 000 Da) but also enable the mapping of vast chemical diversity through metabolomic and proteomic profiling. Simultaneously, genomic and transcriptomic analyses elucidate the underlying biosynthetic pathways and regulatory mechanisms governing metabolite production (Reverter *et al.* 2020; Rochfort 2005).

PRINCIPLES OF HUMAN CANCER CELL CULTURE AS RESEARCH MODELS

Human cell culture is one of the most important techniques for cellular and molecular biology research. The process consists of the growth of cells under controlled conditions (*in vitro*), e.g., temperature, pH, and nutrients. The use of cultured cells is linked to creating model systems of several diseases that have led to studying basic cell biology, mechanisms of action, investigating the toxicity of novel drug compounds (Segeritz & Vallier 2017), and to screen novel chemicals, cosmetics, and other compounds for efficacy and to assess drug cytotoxicity (Gilmor *et al.* 2023).

In this review we are focused on the research on cancer cells, because this group of illnesses is a leading cause of incidence and death in the world, and the search for new molecules continues to be a challenge (Gilmor *et al.* 2023). For this reason, exploring bioactive compounds of dinoflagellates can be used to determine the potential of those that possess biological activity against cancer (Pradhan & Ki 2022).

In this context, we will expand on important aspects of human cell cultures and cancer to evaluate secondary metabolites of dinoflagellates as potential treatments. Depending on the cell type (i.e., the cancer type), some of the discussed parameters may vary. This is particularly true for protocols involving activation, maintenance, and cryopreservation. In this context, cell viability is considered the most critical factor, as experimental results and their reproducibility, the number of passages, and the activation process post-thaw all depend on cells being in optimal condition (Geraghty *et al.* 2014).

IMPLEMENTING BEST PRACTICES FOR OPTIMAL HUMAN CELL CULTURE

Good practices in the cell culture laboratory are necessary to evaluate different biological activities. These include: 1) safe handling of human cell lines; 2) safe and reliable experimental designs and procedures; 3) aseptic technique in the handling of cells, an organized work environment, and sufficient reagents and media for cell culture; 4) the correct selection of cell lines to be used; and 5) the proper conditions under which cells are maintained, and the know-how of subculture maintenance and cell cryopreservation processes (Dubovi & Rankin 2023; Gilmor *et al.* 2023; Segeritz & Vallier 2017; Weiskirchen *et al.* 2023; Zhao 2023).

In addition to these considerations, it is important to record the number of passages performed from the start of the culture. The consequence of not having these records is that some cell lines are unsuitable for experimental work beyond a certain number of passages, such as a high number of passages and a prolonged time between subcultures, which can lead to mutations, duplications, and epigenetic changes. For this reason, it is important to certify the cells from the start of the experiment, as these changes can alter the morphology and proliferation rate and increase or decrease the cell divisions over time, affecting cell behavior and overall cell health. Consequently, these changes could affect reproducibility in experiments and results (Geraghty *et al.* 2014). Another problem is cell misidentification or contamination. This includes the use of illegible labels and mislabeling of cell culture vessels during manipulation. The misidentification of cell lines has resulted in erroneous results, interpretations and publications (Babic *et al.* 2019).

The correct selection of cell lines is important for experimental design. Understanding the fundamental classification of cell types is essential, as cells are broadly categorized into three groups:

a) stem cells are considered undifferentiated cells capable of self-renewal and multilineage differentiation, e.g. embryonic stem cells (Zumwalt & Reddy 2020);

b) primary cells or fine cell lines: these cells are directly taken from a body or tissue. As the name implies, they can only be cultured for a finite number of passages, e.g., fibroblasts (Godbey 2014);

c) immortalized cells or continuous cell lines: these are primary cells that have been genetically modified for infinite culture, e.g., human cancer cell lines (Rahman *et al.* 2016).

CELL VIABILITY AND PROGRAMMED CELLULAR DEATH DETECTION ASSAYS

In vitro studies are essential steps in the search for new therapies against cancer, and specific mechanisms of action have been found. Therefore, depending on the biological activity of interest, such as cytotoxic, antineoplastic, or antitumor, different assays are employed to determine whether these

compounds are bioactive. However, it is necessary to first define some concepts:

Viability, which is the capacity to perform the essential metabolic processes to maintain structural and functional integrity, is represented as the percentage of healthy cells in the population.

Proliferation is a process that leads to an increased number of cells through cell division.

Cell death refers to irreversible conditions or processes in non-viable cells, including apoptosis, autophagy, and necrosis.

Cytotoxicity is a cellular injury that may be reversible or progress to cell death (Adan *et al.* 2016).

Cell death includes the measurement of dead cells (cytotoxicity assay), quantification of live cells (viability assay), and finally, determination of the accurate mechanisms of death (Cousseau *et al.* 2020). For this, various assays can be used, such as dye exclusion, one of the most common being trypan blue dye exclusion. Colorimetric assays, including lactate dehydrogenase, 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-5-3(3-carboxymethoxyphenyl)-2-(4-sulfophenyl)-2H-tetrazolium (MTS), and 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT), and luminometric assays, such as the ATP assay, are used to determine the viability of cells and proliferation assays (Aslantürk 2018). According to the many proteins involved in the apoptosis signaling cascade, there are different apoptosis assays to assess cell death. Two or more assays should be used to detect apoptosis accurately since many overlapping features exist between apoptosis and necrosis. There are six major groups of available assays to detect apoptosis: membrane alteration, mitochondrial assays, cytomorphological alterations, DNA fragmentation, detection of caspases, cleaved substrate, inhibitors and regulators, and detection of apoptosis. Among those assays, early apoptosis could be detected through annexin V or acridine orange and ethidium bromide (AO/EB), which is based on the loss of cellular membrane integrity. Also, many assays can detect the midphase of apoptosis using caspase activation and molecular processing, including the key enzyme poly (ADP-ribose) polymerase (PARP). The late phase of apoptosis could be detected with DNA fragmentation assays. Combinations of these assays allow us to identify the mechanisms of apoptosis induction after a specific stimulus (Alshiraihi & Kato 2023; Azqueta *et al.* 2022).

FINAL CONSIDERATIONS

The exploration of secondary metabolites from dinoflagellates offers innovative opportunities for discovering novel cancer therapeutics. However, the success of such research relies heavily on the chemical identification of the compounds of interest. As emphasized in this work, this process requires obtaining purified compounds from cell cultures, coupled with the rigorous application of human cell culture techniques to enable reliable evaluation of their biological activities and mechanisms of action. Therefore, integrating appropriate practices in metabolite extraction, handling both cancerous and non-cancerous cell lines, and employing specific assays to assess viability, proliferation, and cell death is essential to ensure reproducible results and accurately propose mechanisms of action for dinoflagellate-derived metabolites. Ultimately, cell culture serves as a critical bridge connecting marine biodiversity to the development of future pharmacology strategies based on natural products.

REFERENCES

Abd El-Hack, M.E., S. Abdelnour, M. Alagawany, M. Abdo, M.A. Sakr, A.F. Khafaga, S.A. Mahgoub, S.S. Elnesr, & M.G. Gebriel. 2019. Microalgae in modern cancer therapy: Current knowledge. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 111: 42-50. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.069

Adan A., Y. Kiraz, & Y. Baran. 2016. Cell proliferation and cytotoxicity assays. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 17: 1213-1221. https://doi.org/10.2174/1389201017666160808160513

Alshiraihi, I., Kato, T.A. 2023. Apoptosis detection assays. *In:* Gotoh, E. Ed. Chromosome Analysis. Methods in Molecular Biology. *Springer Protocols* 2519. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2433-3_6

Aslantürk, Ö. S. 2018. *In vitro* cytotoxicity and cell viability assays: principles, advantages, and disadvantages. *In:* M. L. Larramendy & S. Soloneski. Eds. Genotoxicity – A predictable risk to our actual world. *IntechOpen* 2: 64-80. https://doi.org/10.5772/intechopen.71923

Assunção, J., A.C. Guedes, & F.X. Malcata. 2017. Biotechnological and pharmacological applications of biotoxins and other bioactive molecules from dinoflagellates. *Marine Drugs* 15: 393. https://doi.org/10.3390/md15120393

Azqueta, A., H. Stopper, B. Zegura, M. Dusinska, & P. Møller. 2022. Do cytotoxicity and cell death cause false positive results in the *in vitro* comet assay? *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 881: 503520. https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2022.503520

Babic, Z., A., Capes-Davis, M.E. Martone, A. Bairoch, I.B. Ozyurt, T.H. Gilespie, & A. E. Bandrowski. 2019. Incidences of problematic cell lines are lower in papers that use RRIDs to identify cell lines. *Elife* 8: e41676. https://doi.org/10.7554/eLife.41676

Cousseau, A., Siano, R., Probert, I., Bach, S., & Mehiri, M. 2020. Chapter 4 - Marine dinoflagellates as a source of new bioactive structures. *In:* Atta-ur-Rahman. Ed. *Studies in Natural Products Chemistry.* V. 65. Elsevier. pp: 125-171. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817905-5.00004-4.

De Vera, C.R., G. Díaz Crespín, A. Hernández Daranas, S. Montalvão Looga, K. E. Lillsunde, P. Tammeña, M. Perälä, V. Hongisto, J. Virtanen, & H. Rischer. 2018. Marine microalgae: promising source for new bioactive compounds. *Marine Drugs* 16: 317. https://doi.org/10.3390/md16090317

Dubovi, E.J. & S.C. Rankin. 2023. Isolation in cell culture. *In:* J. E. Sykes. Ed. *Greene's Infectious Diseases of the Dog and Cat*. Elsevier, London. pp. 3-10. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-50934-3.01001-6

Gao, X., H. Wang, K. Chen, Y. Guo, J. Zhou, & W. Xie. 2024. Toxicological and pharmacological activities, and potential medical applications, of marine algal toxins. *International Journal of Molecular Sciences* 25: 9194. https://doi.org/10.3390/ijms25179194

Geraghty, R., A. Capes-Davis, J. Davis, J. Downward, R. Freshney, I. Knezevic, R. Lovell-Badge, J. Masters, J. Meredith, & G. Stacey. 2014. Guidelines for the use of cell lines in biomedical research. *British Journal of Cancer* 111: 1021-1046. https://doi.org/10.1038/bjc.2014.166

Getachew, A.T., C. Jacobsen, & S.L. Holdt. 2020. Emerging technologies for the extraction of marine phenolics: Opportunities and challenges. *Marine Drugs* 18: 389. https://doi.org/10.3390/md18080389

Gilmor, R., H. Qamar, & N. Huerta. 2023. Basic research. *In:* A.E.M. Eltorai, P.C. Newel, J.A. Bakal, A.J. Osband. Eds. *Translational Surgery*. Elservier, London. pp: 15-19.

Godbey, W.T. 2014. Cell Culture and the eukaryotic cells used in biotechnology. *In:* W.T. Godbey. Ed. *An introduction to Biotechnology*. Elservier, Amsterdam. pp: 165-172. https://doi.org/10.1016/B978-1-907568-28-2.09993-7

Kildgaard, S., K. Subko, E. Phillips, V. Goidts, M. De la Cruz, C. Díaz, C.H. Gotfredsen, B. Andersen, J.C. Frisvad, & K.F. Nielsen. 2017. A dereplication and bioguided discovery approach to reveal new compounds from a marine-derived fungus *Stilbella fimetaria*. *Marine Drugs* 15: 253. https://doi.org/10.3390/md15080253

Lee, J., T.M.J. Jayakodge, K. Jae-Il, J. Jim-Woo, C. Kyung-Min, K. Tae-Su, S. Chan, A. Iman, H. Jimin, & R. Bomi. 2024. The influence of solvent choice on the extraction of bioactive compounds from Asteraceae: A comparative review. *Foods* 12: 19. https://doi.org/10.3390/foods13193151

López Rodríguez, M., M.C. Cerón, L. López-Rosales, E. Navarro-López, A. Sánchez-Mirón, A. Molina Miras, A.C. Abreu, I. Fernández, & F. García Camacho. 2020. Improved extraction of bioactive compounds from the marine dinoflagellate microalga *Amphidinium carterae* biomass. *Bioresource Technology*: 313: 123518. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123518

Orefice, I., S. Balzano, G. Romano, & A. Sardo. 2023. *Amphidinium* spp. as a source of antimicrobial, antifungal, and anticancer compounds. *Life* 13: 2164. https://doi.org/10.3390/life13112164

Pradhan, B. & J. S. Ki. 2022. Phytoplankton toxins and their potential therapeutic applications: A journey toward the quest for potent pharmaceuticals. *Marine Drugs* 20: 271. https://doi.org/10.3390/md20040271

Rahman, N.A., A.N.H.M. Rasil, U. Meyding-Lamade, E.M. Craemer, S. Diah, A.A. Tuah, & S.H. Muharram. 2016. Immortalized endothelial cell lines for *in vitro* blood–brain barrier models: a systematic review. *Brain Research* 1642: 532-545. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.04.024

Reverter, M., S. Rohde, C. Parchemin, N. Tapissier-Bontemps, & P.J. Schupp. 2020. Metabolomics and marine biotechnology: coupling metabolite profiling and organism biology for the discovery of new compounds. *Frontiers in Marine Science* 7: 613471. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.613471

Rochfort, S. 2005. Metabolomics reviewed: a new "omics" platform technology for systems biology and implications for natural products research. *Journal of Natural Products* 68: 1813-1820. https://doi.org/10.1021/np050255w

Segeritz, C.-P. & L. Vallier. 2017. Cell culture: Growing cells as model systems *in vitro*. *In:* M.B. Mortaza Jalali. Ed. Basic science methods for clinical researchers. *Elsevier*, pp: 151-172. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803077-6.00009-6

Weiskirchen, S., S.K. Schröder, E.M. Buhl, & R. Weiskirchen. 2023. A beginner's guide to cell culture: Practical advice for preventing needless problems. *Cells* 12: 682. https://doi.org/10.3390/cells12050682

Zhao, C. 2023. Cell culture: *In vitro* model system and a promising path to *in vivo* applications. *Journal of Histotechnology* 46: 1-4. https://doi.org/10.1080/01478885.2023.2170772

Zumwalt, M. & A.P. Reddy. 2020. Stem cells for treatment of musculoskeletal conditions-orthopaedic/sports medicine applications. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease* 1866: 165624. https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2019.165624

Sometido: 28 de abril de 2025
Revisado: 28 de mayo de 2025
Corregido: 17 de septiembre de 2025
Aceptado: 19 de septiembre de 2025

El estudio de los florecimientos algales en México a través de los Congresos Nacionales de la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos A.C. (SOMEFAN) del 2011 al 2024l estudio de los florecimientos algales en México a través de los Congresos Nacionales de la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos A.C. (SOMEFAN) del 2011 al 2024

The Study of Harmful Algal Blooms in Mexico through the National Conferences of the Mexican Society for the Study of Harmful Algal Blooms (SOMEFAN) from 2011 to 2024

Carlos Francisco Rodríguez Gómez[1*] & Lorena María Durán Riveroll[2]

[1]Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, campus Tuxpan, Universidad Veracruzana, Tuxpan 92870, Veracruz, México. ORCID 0000-0002-7818-7632

[2]SECIHTI-Departamento de Biotecnología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada 22860, Baja California, México. ORCID 0000-0001-8805-7228

*E-mail: carlosfco.rodriguez@gmail.com

Rodríguez-Gómez, C.F. & L.M. Durán Riveroll. El estudio de los florecimientos algales en México a través de los Congresos Nacionales de la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos A.C. (SOMEFAN) del 2011 al 2024. *Cymbella* 11 (2-3): 143-154. DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.5

RESUMEN

La Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos (SOMEFAN) ha celebrado siete congresos desde el año siguiente de su formación, en el 2011, hasta el año 2024. Con el propósito de identificar la dinámica de las instituciones participantes y las líneas de investigación abordadas de quienes generan conocimiento sobre los florecimientos algales nocivos (FAN) en México, se realizó la compilación y el análisis de los trabajos participantes. Se han publicado 425 resúmenes de participación, de los cuales 294 han correspondido a ponencias orales y 131 a carteles. La mayoría de las contribuciones se han enfocado en el ambiente marino (271), seguidas por el ambiente continental (103) y las aguas transicionales como lagunas costeras y estuarios (56). Solo siete contribuciones han integrado los ambientes continentales y marinos. Las regiones más estudiadas han sido el Pacífico Tropical mexicano y el Golfo de California, seguidas por el Golfo de México, el

Pacífico Norte de México (Baja California) y diversas zonas de aguas continentales. Los trabajos sobre el Caribe mexicano han tenido menor representación. A pesar de ser congresos nacionales, se ha contado con la participación de 16 trabajos de índole internacional. Se identificaron variaciones en el número de contribuciones en los congresos realizados en Mazatlán 2011 (68), Manzanillo 2013 (54), Champotón 2015 (61), Cancún 2017 (80), Puerto Vallarta 2019 (71), Ensenada 2022 (49) y Puerto Ángel 2024 (51). El grupo biológico más estudiado es el de los dinoflagelados, presente en casi el 70 % de las contribuciones, mientras que la especie más abordada ha sido *Gymnodinium catenatum*. El análisis de los datos obtenidos permite identificar tanto áreas de oportunidad como fortalezas en el conocimiento actual sobre FAN en el territorio mexicano.
Palabras clave: bibliometría, costas mexicanas, dinámica académica, estado del arte, microalgas

ABSTRACT

The Mexican Society for the Study of Harmful Algal Blooms (SOMEFAN, for its acronym in Spanish) has held seven Conferences since its creation, from 2011 to 2024. A compilation and analysis of participating abstracts was conducted to identify the dynamics of academic institutions and research lines in generating knowledge on harmful algal blooms (HABs) in Mexico. In total, 425 contributions have been published, comprising 294 oral presentations and 131 posters. Most contributions have focused on the marine environment (271), followed by the continental environment (103), and transitional waters such as coastal lagoons and estuaries (56). Only seven contributions have integrated both continental and marine environments. The most studied regions have been the Mexican Tropical Pacific and the Gulf of California, followed by the Gulf of Mexico, the Northern Mexican Pacific (off Baja California), and inland waters. International and Mexican Caribbean studies have been topics with fewer participation. Variations in the number of contributions were identified across conferences, held in Mazatlán 2011 (68), Manzanillo 2013 (54), Champotón 2015 (61), Cancún 2017 (80), Puerto Vallarta 2019 (71), Ensenada 2022 (49), and Puerto Ángel 2024 (51). The most studied biological group is the dinoflagellates, which appeared in nearly 70 % of the contributions, while the most frequently mentioned species was *Gymnodinium catenatum*. The analysis of the obtained data reveals both existing knowledge gaps and established strengths in the current understanding of HABs in Mexican waters.
Keywords: academic dynamics, bibliometry, Mexican coasts, microalgae, state of the art,

INTRODUCCIÓN

Los florecimientos algales nocivos (FAN) son proliferaciones densas de microalgas que pueden causar efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana, y pueden tener repercusiones económicas negativas (Hallegraeff *et al.* 2021). Su estudio es fundamental para entender cómo el cambio climático y otros factores ambientales y biológicos pueden influir en el crecimiento de las especies formadoras de FAN y para mejorar las estrategias de gestión de los recursos acuáticos, ya que estos florecimientos pueden contaminar fuentes de agua potable y también afectar la pesca (Zahir *et al.* 2024).

En México, los FAN han sido fenómenos recurrentes en las costas del Pacífico, el Golfo de México y el mar Caribe. Desde el 2011 se han reconocido avances significativos para la comprensión de estos fenómenos, aunque a través de esfuerzos individuales y dispersos (Band-Schmidt *et al.* 2011). En este contexto, se llevaron a cabo tres talleres para determinar la factibilidad de iniciar una Sociedad para el estudio de los FAN. El primer Taller se realizó en La Paz en el 2005; el segundo, en Ensenada en el 2007; y el tercero en Acapulco en el 2009. Es así que la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos (SOMEFAN, A.C.) surge como una Asociación Civil en el 2010, como consta en el acta constitutiva, expuesta durante la XVI Reunión de la Sociedad Mexicana de Planctología (SOMPAC). La protocolización de esta Sociedad se formalizó el 7 de julio de 2010 a través de figuras académicas ampliamente reconocidas: Christine J. Band Schmidt, Ismael Gárate Lizárraga, David Javier López Cortés (QEPD) y José Jesús Bustillos Guzmán. Este proceso fue posible también gracias al respaldo económico de otros miembros fundadores, entre ellos Ernesto García Mendoza, Sonia Isabel Quijano Scheggia, José Antolín Aké Castillo, Beatriz Pérez Cruz y Alejandra Torres Ariño. Por último, el 22 de noviembre del mismo año, se finalizó el trámite legal ante la Secretaría de Relaciones Exteriores y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. De acuerdo con los Estatutos fundacionales de la SOMEFAN, uno de sus objetivos es organizar congresos nacionales, regionales e internacionales, seminarios, simposia y reuniones de grupos de trabajo, mientras que otro es patrocinar conferencias y cursos, la publicación de artículos científicos y de

difusión, así como libros y memorias de los eventos. El primer Congreso Nacional de la SOMEFAN se llevó a cabo en Mazatlán, Sinaloa en 2011. Previo a esta reunión, los foros donde se presentaban los trabajos sobre el tema de los FAN se enmarcaban en los congresos de la SOMPAC y la Sociedad Mexicana de Ficología (SOMFICO). En la SOMPAC, fundada en 1985, los trabajos sobre FAN representaban el 5 % de los congresos (Aceves-Medina *et al.* 2020). Por la importancia de estos fenómenos, ya se llevaban a cabo reuniones especiales sobre el tema, y fue en una de estas reuniones que se gestó la idea de crear una asociación específica enfocada en el estudio de los FAN.

Los congresos de la SOMEFAN, al estar enfocados en un tema muy específico –los florecimientos algales nocivos y las especies relacionadas– funcionan como plataformas de intercambio de conocimientos y escenario para la difusión de los estudios específicos sobre estos fenómenos. En cierta medida, los resúmenes publicados como parte de los congresos de la SOMEFAN son un reflejo de la dinámica de la investigación sobre el tema en nuestro país, por lo que un análisis de estas contribuciones puede ayudar a identificar tendencias en la investigación y áreas de interés.

Con el propósito de analizar los temas presentados en los congresos de la SOMEFAN entre 2011 y 2024, se llevó a cabo una compilación de los resúmenes de participación publicados para identificar la evolución de los enfoques, tópicos y la participación institucional, así como para comprender la dinámica de las y los académicos en la generación del conocimiento sobre los FAN en México. Este trabajo ofrece una visión general del estado de la investigación sobre los FAN en nuestro país para identificar áreas prioritarias de estudio y contribuir al diseño de futuras estrategias de investigación y gestión en el abordaje de estos fenómenos.

Cuadro 1. Listado de los Congresos Nacionales de la SOMEFAN (2011- 2024).

Número de congreso	Año	Ciudad y estado	Institución sede	Presidente/a del Comité Organizador
1	2011	Mazatlán, Sinaloa	ICMyL-UNAM	Rosalba Alonso Rodríguez
2	2013	Manzanillo, Colima	Universidad de Colima	Sonia Isabel Quijano Scheggia
3	2015	Champotón, Campeche	Instituto Tecnológico Superior de Champotón	Carlos Antonio Poot Delgado
4	2017	Cancún, Quintana Roo	Centro de Investigación Científica de Yucatán-ALEAN	Antonio Almazán Becerril
5	2019	Puerto Vallarta, Jalisco	Universidad de Guadalajara	María del Carmen Cortés Lara
6	2022	Ensenada, Baja California	Universidad Autónoma de Baja California (virtual, post-pandemia, post-ICHA)	Mary Carmen Ruiz de la Torre
7	2024	Puerto Ángel, Oaxaca	Universidad del Mar	Alejandra Torres Ariño

MATERIALES Y MÉTODOS

La información sobre los resúmenes de participación publicados en los congresos de la SOMEFAN fue recopilada a partir de las memorias y los libros de resúmenes de los siete congresos realizados desde 2011 y hasta el 2024 (Cuadro 1).

Se revisó cada resumen de participación y se organizó la información en una hoja de cálculo. En este archivo se identificaron el año del congreso, la modalidad de presentación (oral, cartel), el número total de personas autoras y sus instituciones de adscripción, la región geográfica donde se desarrolló el trabajo, el enfoque de investigación (campo, experimental o revisión), el o los grupos biológicos estudiados y el ecosistema analizado (marino, continental, transicional y marino-continental). Para establecer la región geográfica, se utilizaron los siguientes acrónimos: AC (Aguas continentales), Baja California (BC), Caribe mexicano (CM), Golfo de California (GC), Golfo de México (GM), Pacífico Tropical Mexicano (PTM), Trabajo Internacional (I). En el caso de AC (ríos, lagos y lagunas interiores de México) e I (trabajos realizados en el extranjero), si bien no corresponden a regiones geográficas, se agruparon para este análisis debido al reducido número de traba-

jos registrados en estas categorías. A partir de los títulos de los resúmenes se identificaron las especies más estudiadas. Se determinó el número de trabajos presentados en cada categoría y se graficaron los resultados cronológicamente. En los casos en los que un trabajo correspondió a más de una clasificación dentro de cada categoría, se contabilizó para cada una de ellas (por ejemplo, un mismo trabajo pudo ser considerado para el PTM y también para el GC). Los resúmenes de conferencias magistrales no fueron considerados en este análisis.

RESULTADOS

A lo largo de los siete congresos nacionales de la SOMEFAN se han presentado 425 trabajos, de los cuales 294 (69 %) corresponden a ponencias orales y 131 (31 %) a carteles. En todos los congresos se presentó un mayor número de ponencias orales que carteles, y esta proporción se ha mantenido constante a lo largo del tiempo (Fig. 1). Las ponencias orales presentaron su máximo en 2017, cuando se registraron 57 presentaciones, mientras que en 2019 se observó una disminución a 47 trabajos, seguida de una reducción más marcada en 2022 con 35 y una ligera recuperación en 2024 con 37 ponencias orales.

Las presentaciones en modalidad de cartel se han mantenido relativamente estables, oscilando entre 15 y 25 trabajos; se observó una disminución en 2022 con respecto a años previos, seguida de un leve incremento en 2024 (Fig. 1).

Los trabajos se han presentado por un amplio rango de autores, desde contribuciones individuales hasta colaboraciones de máximo 16 autores en un mismo trabajo (Fig. 2A). La distribución del número de autores por trabajo es heterogénea, pero predominan (>80 %) los trabajos presentados por grupos de entre

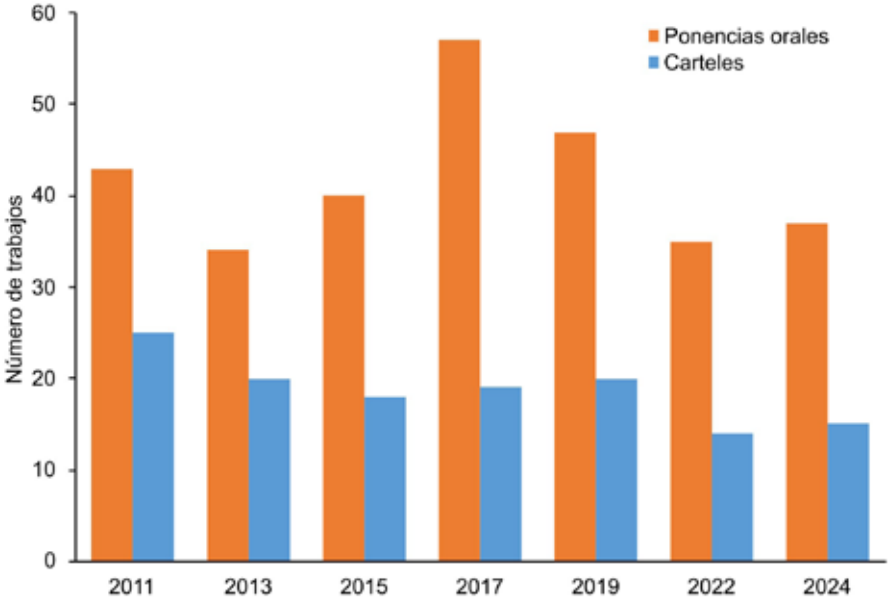


Fig. 1. Número de trabajos presentados según la modalidad (ponencias orales y modalidad cartel) durante los congresos nacionales de la SOMEFAN (2011-2024).

dos y seis autores (Fig. 2B). Los trabajos de una sola autoría representan menos del 5 % del total, mientras que apenas el 1.4 % tuvieron más de 10 autores.

Se observó una variación en la cantidad de trabajos presentados según la región geográfica abordada por cada estudio (Fig. 3A). La región del PTM ha sido la zona más estudiada, con 122 trabajos (29 %), seguida del GC, con 100 aportes (24 %). Les siguen el GM (65, 15 %), BC (50, 12 %), las AC (49, 12 %), los trabajos internacionales realizados en el extranjero (por personas investigadoras extranjeras) (16, 4 %) y el CM (11, 3 %).

En los primeros congresos (2011 y 2013), los trabajos sobre el PTM fueron los más numerosos, con más de 30 contribuciones por evento. A partir de 2015, se presentó una disminución, con fluctuaciones en la representación de cada región. En 2017 y 2019, las regiones del GM y GC registraron un aumento en el número de trabajos, mientras que en las reuniones más recientes (2022 y 2024), se identificó una

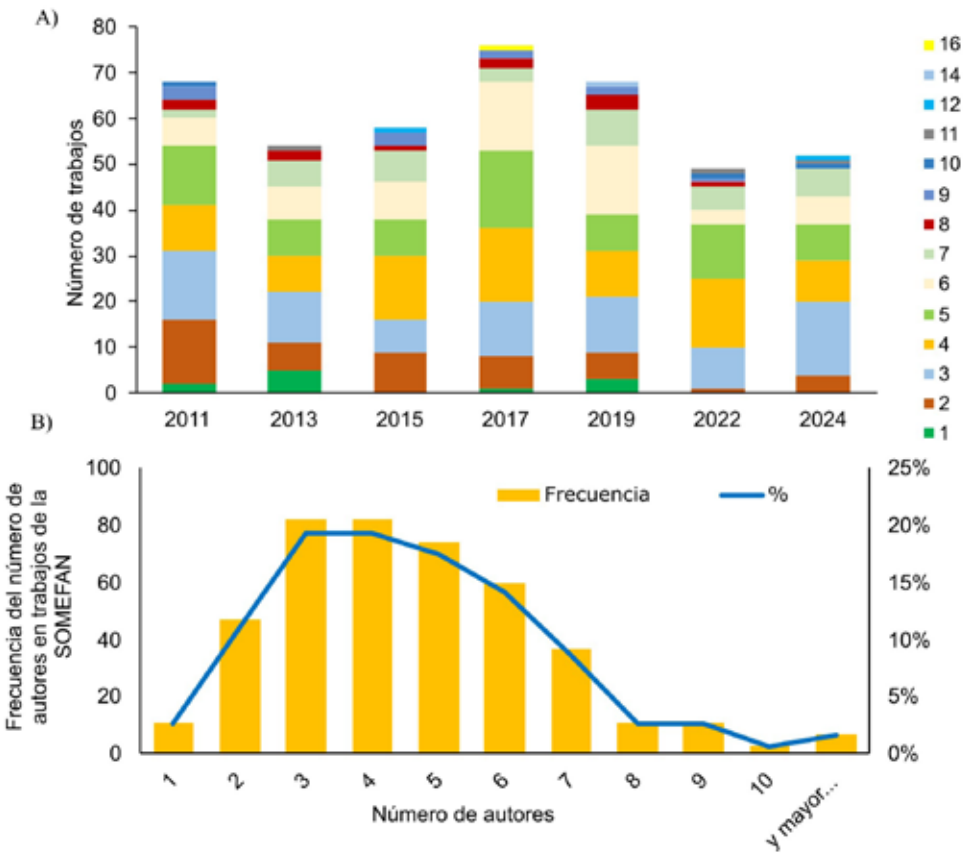


Fig. 2. A) Número de trabajos presentados por el número de autores (1-16) y **B)** por frecuencia del número de autores en trabajos presentados durante los congresos nacionales de la SOMEFAN (2011-2024).

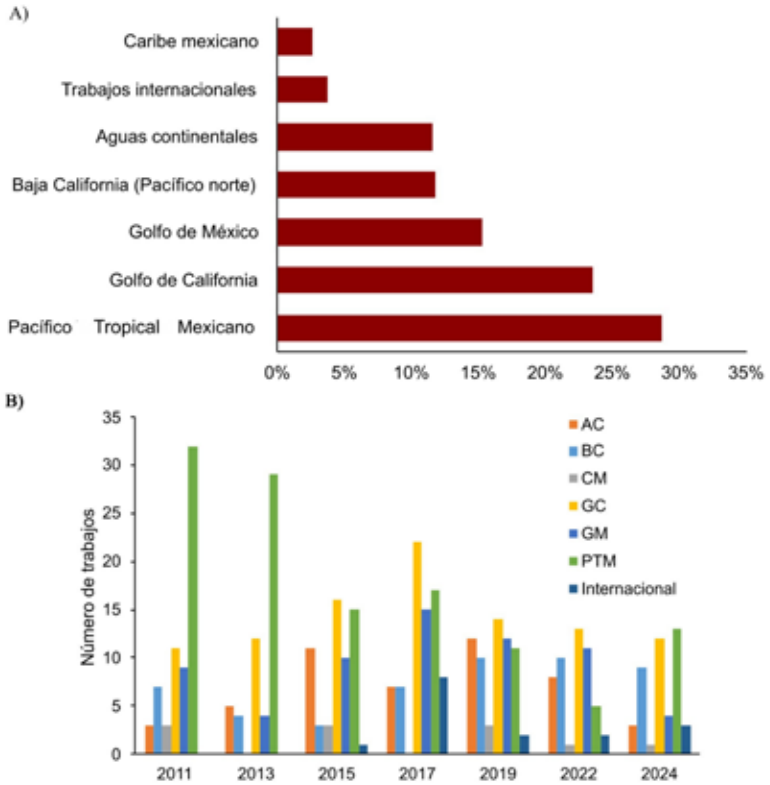


Fig. 3. A) Porcentaje de los trabajos presentados en función de la región de estudio y **B)** número total de trabajos correspondientes a las diferentes regiones geográficas de estudio presentados durante los congresos nacionales de la SOMEFAN (2011-2024).

distribución más homogénea entre las investigaciones realizadas en distintas regiones de México. Es importante mencionar que en 2015 se presentó el primer trabajo de corte internacional cuya área de estudio fue en el extranjero (Ecuador), siendo este el único para ese congreso, y para 2017 se presentaron ocho contribuciones. A partir de entonces, aunque con una tendencia a la baja desde 2017, los trabajos internacionales han estado presentes (Fig. 3B).

En lo correspondiente a los hábitats estudiados, el ambiente marino ha sido el más común, con 271 (63 %) trabajos presentados, 103 (24 %) sobre ambientes continentales y 56 (13 %) contribuciones de ambientes transicionales. El estudio de los ecosistemas marinos ha predominado a lo largo del periodo analizado, y alcanzó su máximo en el 2011 con 53 trabajos.

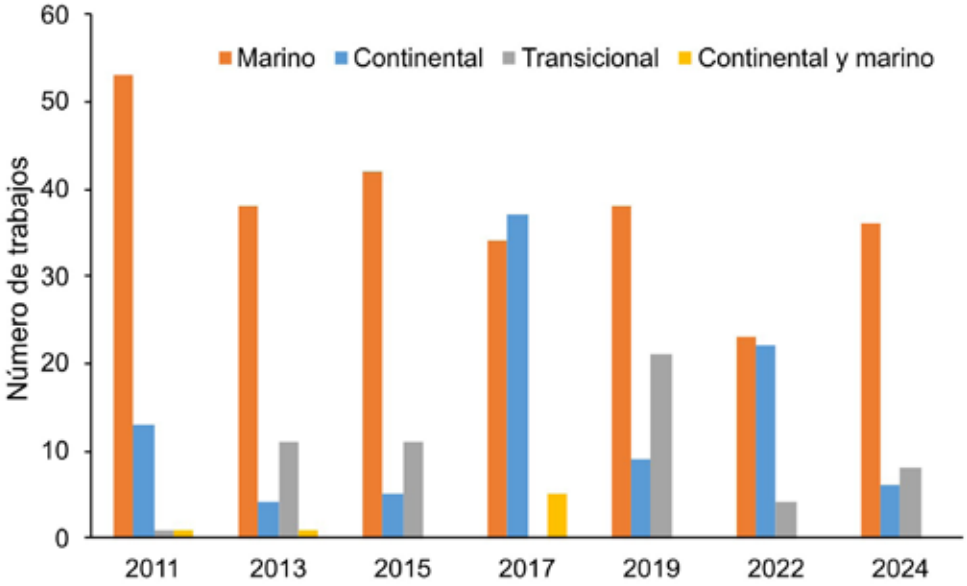


Fig. 4. Número de trabajos según el ecosistema estudiado durante los congresos nacionales de la SOMEFAN (2011-2024).

A partir de 2017, los estudios en ecosistemas continentales aumentaron, superando incluso a los estudios marinos en ese congreso. Los trabajos sobre ecosistemas transicionales han mantenido una presencia moderada, con un incremento en 2019, mientras que los estudios que abarcan tanto ecosistemas marinos como continentales han sido los menos frecuentes en todo el periodo, con solo un ligero aumento en 2017 (Fig. 4).

Con respecto al enfoque de los trabajos, aquellos de campo han sido los más comunes, con 215 contribuciones (51 %), mientras que los trabajos experimentales han sido 113 (27 %) y los trabajos de revisión, 97 (23 %). La mayor cantidad de presentaciones de la categoría de trabajos de campo ocurrió en 2011, cuando superaron las 50 contribuciones; sin embargo, ha habido una alta variación y disminuciones notables en los congresos de 2015 y 2022. Los estudios experimentales han ido a la alza desde 2011, y alcanzaron su máximo en 2017, cuando superaron en número a los trabajos de campo. Los trabajos de revisión han mostrado un aumento desde 2011, con un máximo en 2017. En 2019 se observó una reducción en la cantidad total de trabajos de revisión y experimentales, pero los estudios de campo aumentaron con respecto al Congreso anterior. En 2024 se registró una recuperación parcial, impulsada particularmente por los estudios de campo y, en menor medida por los trabajos experimentales (Fig. 5).

Con respecto a los grupos biológicos, los dinoflagelados han sido los más estudiados, con 286 trabajos, lo que representa el 62 % del total de las presentaciones a lo largo de los congresos de la SOMEFAN. Destacan también las diatomeas con 74 trabajos y las cianobacterias con 69, lo que representa el 16 % y 15 % del total, respectivamente. Las rafidofíceas han sido abordadas por ocho trabajos, las clorofitas por seis, las euglenofíceas por tres y

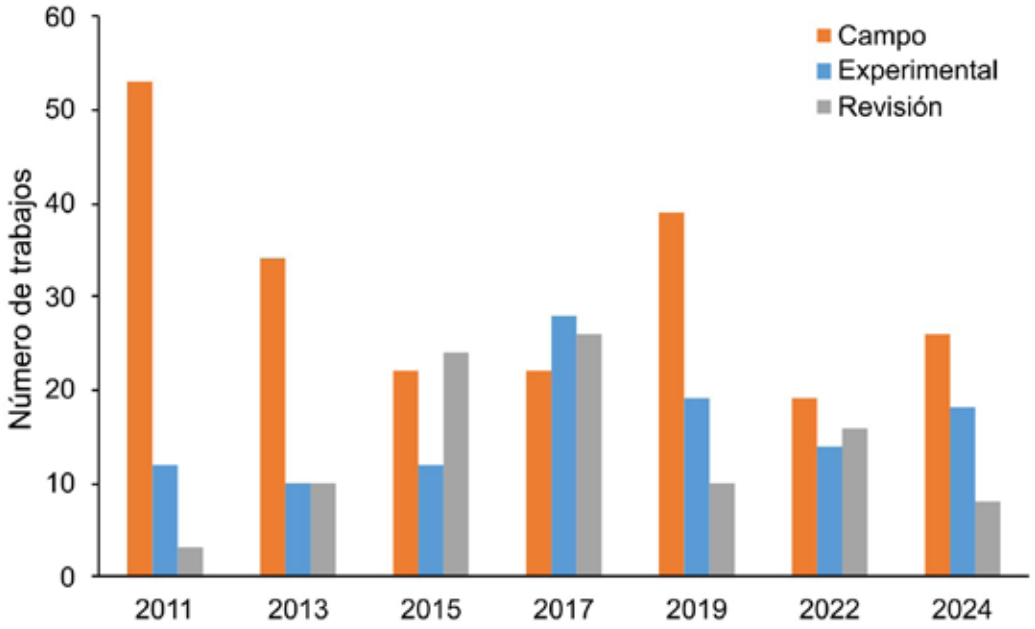


Fig. 5. Número de trabajos según el enfoque de estudio (trabajos de campo, experimentales y de revisión) presentados durante los congresos nacionales de la SOMEFAN (2011-2024).

las bacterias por un trabajo. También se han presentado algunos que incluyen a diferentes grupos del zooplancton (ciliados, cladóceros, copépodos, rotíferos) en al menos nueve presentaciones. Los trabajos que abordan únicamente el tema de ficotoxinas ascienden a ocho.

La especie que históricamente ha sido más estudiada es *Gymnodinium catenatum*, con 36 apariciones en los títulos de los resúmenes. Le siguieron especies del género *Pseudo-nitzschia* (24), *Pyrodinium bahamense* (15), *Lingulodinium polyedra* (15), diversas especies de *Prorocentrum* (14), y de *Alexandrium* (10), con un número variable de menciones. Hay un grupo de géneros que han sido presentados en un rango de 5 a 10 trabajos (*Chattonella*, *Amphidinium*, *Margalefidinium*, *Peridinium*, *Gonyaulax*, *Karenia* y *Ostreopsis*). Destacan géneros de organismos afectados por especies formadoras de FAN, como los bivalvos del género *Crassostrea* (ostión) y *Panopea globosa* (almeja generosa) (5 y 6 menciones respectivamente). Otros organismos, entre los que se encuentran los peces del género *Lutjanus* y *Sphyraena barracuda* además del mejillón *Mityllus galloprovincialis,* se han mencionado en menor número de trabajos. Por último, la cianobacteria *Microcystis aeruginosa* y los dinoflagelados del género *Coolia* se identificaron en cuatro títulos de trabajos, en cada caso (Cuadro 2, Fig. 6).

DISCUSIÓN

Los aportes presentados durante los congresos de la SOMEFAN constituyen un mosaico heterogéneo en torno a una problemática nacional. Prueba de ello es la variación en la cantidad de trabajos presentados, los diferentes enfoques, ambientes y grupos biológicos estudiados. Aunque en este análisis quedan fuera las tesis, las publicaciones en revistas y otros medios, así como los aportes en otros congresos, estos resultados pueden ser considerados una muestra representativa de la dinámica de investigación sobre el tema FAN en México, como se ha identificado en otros trabajos, incluido el de Aceves-Medina *et al.* (2020) en el que se analizan las presentaciones en los congresos de la Sociedad Mexicana de Planctología, A.C. (SOMPAC).

Los ambientes marinos son los más estudiados, una tendencia identificada por Band-Schmidt *et al.* (2011) desde hace más de una década. En contraste, el estudio de los FAN en aguas continentales requiere mayor representatividad, más aún cuando hay géneros potencialmente tóxicos de alto impacto como *Microcystis*, una cianobacteria capaz de producir toxinas y que presenta una distribución amplia a nivel global (Harke *et al.* 2016).

La mayor cantidad de trabajos relacionados con el Pacífico tropical mexicano (PTM) puede estar

Cuadro 2. *Taxa* mencionados en los títulos de los trabajos presentados durante los Congresos nacionales de la SOMEFAN (2011-2024).

Taxa	Menciones en los títulos de los trabajos
Gymnodinium catenatum	36
Pseudo-nitzschia	24
Pyrodinium bahamense	15
Lingulodinium polyedra	15
Prorocentrum	14
Alexandrium	12
Chattonella	10
Amphidinium	10
Margalefidinium polykrikoides	7
Panopea globosa	6
Peridinium quadridentatum	6
Crassostrea	6
Gonyaulax	6
Karenia	5
Ostreopsis	5
Microcystis aeruginosa	4
Coolia	4
Lutjanus	3
Mytilus galloprovincialis	3
Sphyraena barracuda	3
Lyngbya	3

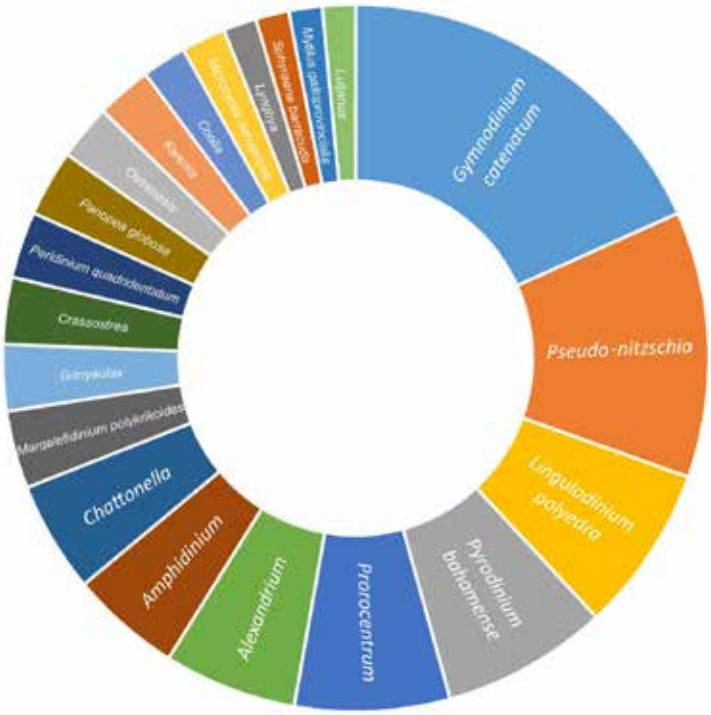


Fig. 6. Proporción de menciones de diferentes taxa en los títulos de los trabajos presentados durante los congresos Nacionales de la SOMEFAN (2011-2024). El tamaño de cada segmento representa la frecuencia relativa de menciones de cada especie.

asociada a la presencia de un mayor número de Institutos y Universidades con personal especializado en el estudio de los FAN en estas regiones (Universidad Autónoma de Guerrero, Universidad Nacional Autónoma de México, unidad Mazatlán, Universidad de Colima, Universidad Autónoma de Sinaloa, Universidad del Mar). Adicionalmente, en estas regiones se han presentado eventos con impactos económicos importantes, asociados principalmente con limitaciones de la actividad pesquera y de acuicultura, además del turismo (Rodríguez-Palacio *et al.* 2019).

Con excepción del Caribe mexicano (CM), México cuenta con una amplia distribución de los estudios realizados sobre FAN. En el CM, uno de los mayores problemas es la ciguatera, intoxicación causada por especies de los géneros *Gambierdiscus* y *Fukuyoa* (Mudge *et al.* 2023). Estas intoxicaciones pueden ocasionar serios problemas de salud pública, ya que las toxinas se acumulan en peces arrecifales y provocan síntomas gastrointestinales y neurológicos en los consumidores (Mudge *et al.* 2023). Además, al presentarse un énfasis en los estudios sobre dinoflagelados, diatomeas y cianobacterias, otros grupos biológicos han sido subrepresentados, como las rafidofíceas y otras especies nocivas que producen especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), así como hipoxia y daños mecánicos sobre las branquias de los organismos. Sin embargo, las especies más estudiadas (*Gymnodinium catenatum, Pseudo-nitzschia* spp., *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium* spp.) forman parte de las de mayor importancia a nivel global debido a su toxicidad (Hallegraeff 1993; Hallegraeff *et al.* 2021), lo que explica un mayor interés en su investigación. Un aspecto relevante es el impacto de los congresos de la SOMEFAN en la generación de publicaciones científicas. Aunque en este trabajo no se explora este tema de manera específica, un alto porcentaje de las presentaciones llega a concretarse en artículos, libros o capítulos de libro. Sobre este aspecto, Band-Schmidt *et al.* (2011) mencionan que los trabajos han ido en aumento, tanto en cantidad como en calidad científica. Parte del aumento de la calidad es el trabajo en grupos de investigación, como se identificó en este análisis, ya que las contribuciones individuales fueron escasas y lo común fue encontrar trabajos presentados por equipos de hasta seis integrantes. Este fortalecimiento del trabajo colaborativo podría estar vinculado con un mayor nivel de estudios o preparación de quienes integran dichos equipos, así como con la diversi-

dad de especialidades de los investigadores, lo que ha permitido abordar un espectro más amplio de temas relacionados con los FAN en nuestro país (taxonomía, fisiología, biología molecular, bioquímica, ecología, oceanografía, entre otros).

Por otro lado, los aportes cuya región geográfica es internacional han estado subrepresentados debido a la naturaleza mexicana de la Sociedad. Sin embargo, el máximo alcanzado en 2017, relacionado con la organización conjunta con la Asociación Latinoamericana para el Estudio de las Algas Nocivas (ALEAN), indica que este tipo de colaboraciones incentiva la extensión geográfica de los ambientes estudiados. Durante ese periodo se contó también con el apoyo de la Red temática sobre florecimientos algales nocivos (REDFAN) del entonces CONACYT, lo cual permitió contar con mayor participación de ponentes, investigadores y estudiantes en los congresos de Champotón (2015) y Cancún (2017). En el congreso de Champotón se contó por primera vez con un ponente magistral internacional. Recientemente, se eliminó de los estatutos de la SOMEFAN la cláusula sobre la exclusión de personas extranjeras, y se espera que este cambio tenga un impacto importante en la dinámica de los trabajos presentados en congresos futuros. Es posible que esta nueva apertura genere un aumento de trabajos internacionales y, con ello, mayor notoriedad de la SOMEFAN más allá del ámbito nacional.

Además de las especies formadoras de FAN, destacan las menciones de especies afectadas, como la almeja generosa *Panopea globosa* y el ostión *Crassostrea* spp., debido a que son organismos que bioacumulan toxinas, tanto lipofílicas (Leyva-Valencia *et al.* 2021) como hidrofílicas (García-Lagunas *et al.* 2013; Medina-Elizalde *et al.* 2018), por lo que son estudiados como parte de los efectos de los FAN. Los peces *Lutjanus* y *Sphyraena barracuda*, así como el mejillón *Mytilus galloprovincialis* son también vectores importantes de las toxinas producidas por las especies de fitoplancton, como las ciguatoxinas en peces carnívoros (Núñez-Vázquez *et al.* 2019) y las toxinas diarreicas, paralizantes y amnésicas en moluscos bivalvos (García-Mendoza *et al.* 2014).

Es importante mencionar el efecto de la reciente pandemia por SARS-CoV-2 en la participación de los congresos de la SOMEFAN. Si bien es cierto que en el congreso del año 2017 se presentó la mayor cantidad histórica de trabajos, debido a la colaboración con la ALEAN y el apoyo de la REDFAN de CONACYT, en el 2019 la participación fue superior a todos los años anteriores, con excepción del congreso inmediato anterior. Sin embargo, la reunión del 2021 tuvo que ser pospuesta por la situación de salud mundial, y se retomó en el 2022. Debido a las muchas y diversas afectaciones en todos los ámbitos de la vida –económico, anímico, político– y considerando las opiniones de todas las personas que forman parte de la Sociedad, se decidió realizar el encuentro de manera virtual. El formato era relativamente nuevo, y, como se esperaba, hubo una disminución en la participación.

Esta disminución también se relacionó con la suspensión de actividades presenciales de centros educativos e institutos, así como la imposibilidad de realizar salidas al campo y análisis en los laboratorios, la falta de autorizaciones para salidas de comisión, así como de apoyos económicos para asistir a eventos académicos. Finalmente, en el 2024 fue posible realizar el congreso de manera presencial y se inició un periodo de reconexión con el estudiantado, con las y los investigadores y todas las personas asociadas y miembros de la SOMEFAN. Aun así, el número de resúmenes presentados solo superó ligeramente la participación del congreso anterior en Ensenada, el cual se llevó a cabo de manera virtual. Cabe señalar que, a partir de noviembre de 2024, la SOMEFAN es donataria autorizada ante el Sistema de Administración Tributaria. Este cambio ha sido un paso enorme que implica mayores oportunidades de financiamiento y de apoyos, pero también mayores responsabilidades, y potencialmente favorecerá el apoyo al estudiantado en futuros congresos.

En conclusión, los congresos de la SOMEFAN han contribuido significativamente a consolidar un panorama integral de los estudios sobre florecimientos algales nocivos (FAN) en México, evidenciando un predominio de investigaciones centradas en ambientes marinos y en determinados grupos biológicos. La creciente participación de colaboraciones internacionales, así como la producción de conocimiento científico derivado de estos foros, subrayan la relevancia de promover el desarrollo continuo de investigaciones en esta área, la cual representa un desafío ambiental persistente en el contexto nacional. Este trabajo busca, además, destacar aquellos ambientes y grupos taxonómicos que aún presentan vacíos de conocimiento, con el fin de orientar futuras líneas de investigación hacia sectores prioritarios y poco explorados.

Toda la información relacionada con la SOMEFAN puede ser consultada en la página www.somefan.org y en sus redes sociales: https://www.facebook.com/somefan.asociacioncivil y https://www.instagram.com/somefanac/

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda con la captura de la información por parte de los estudiantes de servicio social del Laboratorio de Biología Marina (FCBA-UV): Guadalupe Soto, Edgar Morales, Jorge Osorio, José Camarillo, Itzel Quino y Brayan Castelán. Los comentarios recibidos durante el VII Congreso de la SOMEFAN ayudaron a mejorar el presente documento. Este análisis no hubiera sido posible sin la entusiasta participación de los Comités Organizadores de los congresos, las Mesas Directivas de la SOMEFAN (Cuadro 3) y los autores que han elegido a los congresos de la SOMEFAN como el foro para presentar sus trabajos. Se agradecen los comentarios de dos revisores anónimos que ayudaron a mejorar el presente documento.

REFERENCIAS

Aceves -Medina, G., G.M. Esqueda-Escárcega & I.M. Álvarez-Ramírez. 2020. La planctología en México a través de los archivos históricos de la Sociedad Mexicana de Planctología A. C. (1985–2019). CICIMAR *Oceánides* 35: 19-30. https://doi.org/10.37543/oceanides.v35i(1-2).266.

Band-Schmidt, C.J., J.J. Bustillos-Guzmán, D.J. López-Cortés, E. Núñez-Vásquez & F.E. Hernández-Sandoval. 2011. El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21: 381-413. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/770.

García-Lagunas, N., R. Romero-Geraldo & N.Y. Hernández-Saavedra. 2013. Genomics study of the exposure effect of *Gymnodinium catenatum*, a paralyzing toxin producer, on *Crassostrea gigas*' defense system and detoxification genes. *PLoS One* 8(9): e72323. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072323.

García-Mendoza, E., Y.A. Sánchez-Bravo, A. Turner, J. Blanco, A. O'Neil, J. Mancera-Flores, M. Pérez-Brunius, D. Rivas, A. Almazán-Becerril & J.L. Peña-Manjarrez. 2014. Lipophilic toxins in cultivated mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from Baja California, Mexico. *Toxicon* 90: 111-123. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.07.017.

Hallegraeff, G.M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32: 79-99. https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-2-79.1.

Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson, C. Belin, M.-Y.D. Bottein, E. Bresnan, M. Chinain, H. Enevoldsen, M. Iwataki, B. Karlson, C.H. McKenzie, I. Sunesen, G.C. Pitcher, P. Provoost, A. Richardson, L. Schweibold, P.A. Tester, V.L. Trainer, A.T. Yñiguez, & A. Zingone. 2021. Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth & Environment* 2: 1-10. https://doi.org/10.1038/s43247-021-00178-8.

Harke, M.J., M.M. Steffen, C.J. Gobler, T.G. Otten, S.W. Wilhelm, S.A. Wood, & H.W. Paerl. 2016. A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. *Harmful Algae* 54: 4-20. https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.12.007.

Leyva-Valencia, I., J.E. Hernández-Castro, C.J. Band-Schmidt, A.D. Turner, A. O'Neill, E.J. Núñez-Vázquez, D.J. López-Cortés, J.J. Bustillos-Guzmán, & F.E. Hernández-Sandoval. 2021. Lipophilic toxins in wild bivalves from the southern Gulf of California, Mexico. *Marine Drugs* 19: 99. https://doi.org/10.3390/md19020099.

Mudge, E.M., C.O. Miles, L. Ivanova, S. Uhlig, K.S. James, D.L. Erdner, C.K. Fæste, P. McCarron, & A. Robertson. 2023. Algal ciguatoxin identified as source of ciguatera poisoning in the Caribbean. *Chemosphere* 330: 138659. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138659.

Medina-Elizalde, J., E. García-Mendoza, A.D. Turner, Y.A. Sánchez-Bravo, & R. Murillo-Martínez. 2018. Transformation and depuration of paralytic shellfish toxins in the geoduck clam *Panopea globosa* from the Northern Gulf of California. *Frontiers in Marine Science* 5: 335. https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00335.

Núñez-Vázquez, E.J., A. Almazán-Becerril, D.J. López-Cortés, A. Heredia-Tapia, F.E. Hernández-Sandoval, C.J. Band-Schmidt, J.J. Bustillos-Guzmán, I. Gárate-Lizárraga, E. García-Mendoza, C.A. Salinas-Zavala, & A. Cordero-Tapia. 2018. Ciguatera in Mexico (1984–2013). *Marine Drugs* 17(1): 13. https://doi.org/10.3390/md17010013.

Rodríguez-Palacio, M., C. Lozano-Ramírez, & S.H. Álvarez-Hernández. 2019. HABs (Harmful Algal Blooms) analysis, their cost, and ecological consequences. *In:* Ibáñez, I. L. Ed.. Mexican Aquatic Environments. *Springer Nature*. pp. 219-263. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11126-7_10.

Zahir, M., Y. Su, M.I. Shahzad, G. Ayub, S.U. Rahman, & J. Ijaz. 2024. A review on monitoring, forecasting, and early warning of harmful algal bloom. *Aquaculture* 593: 741351. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741351.

Sometido: 28 de abril de 2025
Revisado: 3 de junio de 2025
Corregido: 28 de Agosto de 2025
Aceptado: 19 de septiembre de 2025

Cuadro 3. Integrantes de las Mesas Directivas de la SOMEFAN (2009-2025).

Periodo	Presidenta/e	Vicepresidenta/e	Secretaria/o	Tesorero/a	Vocales
2009-2011	Christine Johanne Band Schmidt	José Jesús Bustillos Guzmán	Ismael Gárate Lizárraga	David Javier López Cortés	Ernesto García Mendoza, Sonia Quijano Scheggia, José Antolín Aké Castillo, Alejandra Torres Ariño, José Luis Peña Manjarrez
2011-2013	Christine Johanne Band Schmidt	José Jesús Bustillos Guzmán	Ismael Gárate Lizárraga	David Javier López Cortés	Ernesto García Mendoza, Sonia Quijano Scheggia, José Antolín Aké Castillo, Alejandra Torres Ariño, José Luis Peña Manjarrez
2013-2015	Mary Carmen Ruiz de la Torre	Ivonne Sandra Santiago Morales	Sofía Alida Barón Campis	Christine Johanne Band Schmidt	José Jesús Bustillos Guzmán, José Antolín Aké Castillo, María Esther Meave del Castillo, Aramis Olivos Ortiz
2015-2017	Mary Carmen Ruiz de la Torre	Ivonne Sandra Santiago Morales	Carlos Antonio Poot Delgado	Christine Johanne Band Schmidt	José Jesús Bustillos Guzmán, Aramis Olivos Ortiz, José Antolín Aké Castillo, María Esther Meave del Castillo
2017-2019	Aramis Olivos Ortíz	Ignacio Leyva Valencia	Mary Carmen Ruiz de la Torre	Christine Johanne Band Schmidt	Lorena María Durán Riveroll, Génesis Guadalupe Ochoa Zamora, Carlos Francisco Rodríguez Gómez, Jennifer Medina Elizalde
2019-2022	Aramis Olivos Ortíz	Ignacio Leyva Valencia	Mary Carmen Ruiz de la Torre	Francisco Hernández Sandoval	Lorena María Durán Riveroll, Génesis Guadalupe Ochoa Zamora, Carlos Francisco Rodríguez Gómez, Mitzi Negrete López
2022-2024	Lorena María Durán Riveroll	Carlos Francisco Rodríguez Gómez	Génesis Guadalupe Ochoa Zamora	Ignacio Leyva Valencia	Hugo Isidro Pérez López, María del Carmen Osorio Ramírez, Mary Carmen Ruiz de la Torre, Armando Mendoza Flores
2024-2026	Lorena María Durán Riveroll	Carlos Francisco Rodríguez Gómez	Génesis Guadalupe Ochoa Zamora	Gabriel Rojas Abrahantes	María del Carmen Osorio Ramírez, Hugo Isidro Pérez López, Alejandra Torres Ariño, Nadia Valeria Herrera Herrera, Rocío Nayomi Tapia Ramírez, Sinuhé Hernández Márquez, Gabriela Estefanía Bustos Vázquez, Alexis Escárcega Bata, Elena Stephanie Castro Silva

Fitoplancton del humedal La Sauceda en Hermosillo, Sonora: la importancia de los ecosistemas acuáticos urbanos

Phytoplankton of La Sauceda Wetland in Hermosillo, Sonora: the importance of the urban aquatic ecosystems

Carlos Manuel Robles-Tamayo[1*], Norberto Miguel Ángel Pastén-Miranda[1], Erick José Ponce-Manjarrez[1] y Perla Urquidez-Bejarano[1]

[1]Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Boulevard Luis Donaldo Colosio s/n, Colonia Centro, 83000, Hermosillo, Sonora, México.

[*]Email: carlos.tamayo@unison.mx

Robles-Tamayo, C.M., N.M.A. Pastén-Miranda, E.J. Ponce-Manjarrez & P. Urquidez-Bejarano. Fitoplancton del Humedal La Sauceda en Hermosillo, Sonora: la importancia de los ecosistemas acuáticos urbanos. *Cymbella* 11 (2-3): 155-167.
DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.6

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas de transición entre ambientes acuáticos y terrestres con inundaciones temporales o permanentes que influyen en sus aspectos físicos y componentes biológicos. Uno de estos componentes es el fitoplancton, considerado la base de la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos al determinar niveles de productividad primaria y estado trófico. El humedal urbano La Sauceda, ubicado en Hermosillo, Sonora, se ve influenciado por filtraciones de acuíferos durante la temporada de lluvias, así como por descargas provenientes de una planta potabilizadora cercana. El objetivo del presente estudio fue elaborar un listado florístico del fitoplancton presente en este humedal, a partir de muestreos realizados entre septiembre de 2023 y julio de 2024. Como resultado, se identificaron 26 taxones de fitoplancton, distribuidos en cinco clases: Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae. Estos hallazgos aportan información relevante sobre el fitoplancton de agua dulce en el estado de Sonora, una región donde este tipo de estudios ha sido limitado, y contribuyen al conocimiento del patrimonio natural del noroeste de México. Esta caracterización ecológica representa un insumo clave para la conservación del ecosistema.

Palabras clave: fitoplancton, humedal urbano, listado florístico, taxones.

ABSTRACT

Wetlands are transitional ecosystems between aquatic and terrestrial environments with temporary or permanent flooding that influences their physical characteristics and biological components. One of these components is phytoplankton, considered the base of the aquatic food web, as it plays a key role in determining primary productivity levels and the trophic status of the ecosystem. La Sauceda urban wetland, located in Hermosillo, Sonora, is influenced by groundwater seepage during the rainy season, as well as by discharges from a nearby water treatment plant. The objective of this study was to develop a floristic list of the phytoplankton present in this wetland, based on samples collected between September 2023 and July 2024. As result,

26 phytoplankton taxa were identified, classified into five classes: Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Trebouxiophyceae and Zygnematophyceae. These findings provide valuable information on the freshwater phytoplankton of the state of Sonora—a region where such studies have been limited—and contribute to the understanding of the natural heritage of northwestern Mexico. This ecological characterization serves as a key input for the conservation of the ecosystem.
Keywords: floristic list, phytoplankton, taxa, urban wetland.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas inundables donde se generan suelos con alta actividad anaerobia, misma que condiciona la presencia de una biota que resista los periodos de anegación (Babaniyi *et al.* 2025), estos ambientes abarcan diferentes ecosistemas acuáticos, caracterizados por ser áreas que se inundan temporalmente, donde la capa freática emerge en la superficie o suelos poco permeables con bajos niveles de agua, lo cual provoca una reducción en el oxígeno del suelo y un efecto en la biota al tolerar condiciones anaerobias (Bello-Pineda *et al.* 2009; Keddy 2010).

Los humedales urbanos, son ecosistemas acuáticos pequeños menores a 2.6 km^2 y escasa profundidad (6 m o menos), que son de interés para la población al ser sitios con fines estéticos, recreativos y de esparcimiento (López-Mendoza *et al.* 2015; Oliva-Martínez *et al.* 2008; Rodríguez-Flores *et al.* 2019; Schueler & Simpson 2003), proveen servicios ecosistémicos clave al ser reguladores del microclima en zonas urbanas (Naselli-Flores 2008). Además, fomentan la diversidad biológica por ser áreas óptimas de refugio de especies migratorias y amenazadas, así como ser soporte de redes tróficas y regular la concentración de nutrientes (Bello-Pineda *et al.* 2009; Berlanga-Robles *et al.* 2008; Bravo & Windevoxhel 1997).

Entre la biota presente en estos ecosistemas acuáticos se encuentra el fitoplancton, conjunto de organismos microscópicos y fotosintéticos que constituyen la base de las redes tróficas acuáticas, al ser considerados productores primarios importantes, pues sirven como alimento para otros consumidores de mayor nivel trófico, al igual que por jugar un rol importante en la transformación de carbono inorgánico y energía luminosa a compuestos orgánicos y oxígeno en la red trófica (Gaxiola-Castro *et al.* 2010; Valiela 1995), por lo que su distribución y abundancia influye significativamente en el desarrollo y distribución de otras comunidades y funcionamiento del ecosistema.

El fitoplancton presenta diferentes tamaños, desde el mesoplancton (200 a 2000 µm) hasta picoplancton (0.2-2 µm) (Reynolds 1996), al igual que diferentes formas. Esta variedad de tamaños y formas es debido a la respuesta adaptativa al medio en el que habitan, caracterizado por altos niveles de luz, temperatura y nutrientes (Lara-Villa *et al.* 1996). Estas adaptaciones le permiten mantenerse en suspensión a través de apéndices, flagelos y organizaciones celulares (Ramírez 2000). El fitoplancton de aguas continentales se presenta en diferentes ecosistemas acuáticos, los cuales pueden ser lénticos (embalses, lagunas y lagos), al igual que de tipo lóticos (canales, ríos y arroyos) con características fisicoquímicas y ambientales determinadas por diversos factores como el tamaño, profundidad, temperatura, luz, oxígeno, pH y nutrientes (Oliva-Martínez *et al.* 2014; Wehr 2003).

El fitoplancton juega un rol importante en las redes tróficas como un bioindicador de calidad de agua (Oliva-Martínez *et al.* 2014), es decir, organismos vivos para evaluar la calidad del medio ambiente, siendo una herramienta indispensable de gestión para realizar caracterizaciones ecológicas y, por lo tanto, tomar medidas y acciones en el manejo adecuado de los ecosistemas, por ejemplo, prevención de proliferación de algas, contaminación marina e impacto ambiental (Souza-Araujo *et al.* 2022).

Además, el fitoplancton en conjunto con otros organismos, son componentes importantes en el funcionamiento y desarrollo de los humedales y en la incorporación de oxígeno al sistema. Entre estos organismos abarcan microorganismos (Babaniyi *et al.* 2025) que son responsables de la descomposición de materia orgánica y formación de turba en el medio, un paso importante en el secuestro y liberación de dióxido de carbono (Cronan 2023; Mustafa *et al.* 2024), el carbono se absorbe mediante la fotosíntesis por organismos vegetales, como el mismo fitoplancton, contribuyendo a la generación de oxígeno (Babaniyi *et al.* 2025; Mustafa *et al.* 2024) al igual que cianobacterias que participan en la producción primaria mediante la fijación de dióxido de carbono y producción de oxígeno (Mustafa *et al.* 2024).

Por otra parte, en los ecosistemas acuáticos se presentan acoplamiento entre el fitoplancton y bacterioplancton que influyen en el ciclo global del carbono y en el clima (Canosa & Pinilla 2007; Ramanan *et al.* 2016), cuya relación ha demostrado que la abundancia y producción de bacterias están asociadas con la producción primaria fitoplanctónica (Cole *et al.* 1993) o por la disponibilidad de nu-

trientes que afectan la abundancia y producción de bacterioplancton y fitoplancton (Vrede *et al.* 1999), principalmente fósforo y nitrógeno, elementos esenciales para el crecimiento de flora y fauna de los humedales (Yarwood 2018).

Por lo tanto, el análisis de la comunidad fitoplanctónica continental se ha considerado una herramienta óptima para analizar la ecología de los humedales por su riqueza y variabilidad biológica de sus componentes con interacciones complejas y comportamientos específicos (Pérez & Romero 2001), pues su distribución y abundancia varía de forma espacio-temporal en respuesta a factores abióticos y bióticos caracterizando el nivel trófico (Gómez-Márquez *et al.* 2013), además de ser un indicador de cambios fisicoquímicos (Roldán-Pérez & Ramírez-Restrepo 2008).

Sin embargo, el conocimiento actual del fitoplancton de aguas continentales es desigual en todo el país debido a que solo se han realizado estudios en regiones tropicales y templadas en diferentes sistemas acuáticos como lagos, lagunas y ríos, principalmente en la zona central de México (Novelo & Tavera, 2011 y 2022; Oliva-Martínez *et al.* 2014), lo que representa la mayoría de los registros de especies de fitoplancton. El análisis de la comunidad fitoplanctónica en el Estado de Sonora se ha realizado principalmente en ecosistemas marinos y costeros a lo largo de la zona oriental de Golfo de California (Peña-Álvarez 2018; Valenzuela-Sánchez 2014).

No obstante, existe un déficit de estudios de fitoplancton en cuerpos de agua dulce, como es el caso del humedal urbano La Sauceda, considerado un sitio de importancia socio-ecológica, al ser un humedal que desempeña funciones importantes para la población al brindar bienes y servicios (Mustafa *et al.* 2024) y por presentar una comunidad fitoplanctónica que además de tener un rol importante como productores primarios más importantes del planeta al ser el responsable del 45 % de la producción primaria del planeta (Souza-Araujo *et al.* 2022), por su capacidad restauradora de ecosistemas y por influir en las emisiones de efecto invernadero (Oliva-Martínez *et al.* 2014), sino también por ser una fuente de interés para la elaboración de suplementos alimenticios ricos en proteínas, ácidos grasos, vitaminas y antioxidantes que pueden brindar beneficios para la salud y mejorar el bienestar general de la sociedad (Espinoza-Escalante 2017; Naik *et al.* 2024; Oliva-Martínez *et al.* 2014; Su *et al.* 2023).

Por lo que se requiere un mayor aporte de información biológica, ambiental e hidrológica a través del análisis de la variabilidad de la comunidad del fitoplancton para realizar caracterizaciones ecológicas óptimas, mayor conocimiento de la diversidad biológica del fitoplancton continental y su análisis de variabilidad asociadas a factores ambientales o antropogénicos.

ESTUDIOS DE FITOPLANCTON DE AGUAS EPICONTINENTALES EN MÉXICO Y SONORA

El estudio enfocado al fitoplancton de aguas continentales se ha estudiado desde 1843 (Novelo & Tavera 2011; Ortega 1984) y su conocimiento científico tuvo poco desarrollo hasta 1974, sin embargo, durante la segunda mitad del siglo XX se realizó el Catálogo de las Algas Continentales Recientes de México por Martha Ortega (Ortega 1984), considerado la base del estudio de algas dulceacuícolas donde se incluye información de las primeras colecciones de algas de 1804 hasta 1974, donde se identificaron 837 taxones y 225 géneros, estos últimos distribuidos en 12 clases. Sin embargo, los estudios de fitoplancton de agua dulce han sido escasos y desarrollados de forma desigual, debido a que se han realizado en la zona central de México, con el 56 % de los registros de fitoplancton de agua dulce, principalmente en ríos y lagos, se han centrado en cinco entidades federativas, donde Bacillariophyta es el taxón con el mayor número de registros a nivel estatal y regional (Novelo & Tavera 2011, 2022).

Estudios similares de fitoplancton continental han sido realizados en la zona central de México, como es el caso de García-Rodríguez *et al.* (2011) en el río Amacuzac, Morelos que identificaron 16 especies distribuidas en dos clases (Chlorophyceae y Cyanophyceae) con distribución heterogénea y sin ningún patrón definido durante el periodo de estudio. Otro estudio es el Carrasco-Vargas *et al.* (2014) en la presa El Abrevadero, Jantetelco, Morelos, se obtuvieron cuatro grupos algales (Euglenophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae y Bacillariophyceae) que abarcaron 32 géneros, con variaciones asociadas a cambios fisicoquímicos (temperatura y nutrientes) y sucesión de especies. Godínez-Ortega *et al.* (2017) caracterizaron la composición ficoflorística del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México al determinar 55 especies distribuidas en cinco grupos (Chlorophyceae, Cyanophyceae, Trebouxiophyceae, Euglenophyceae y Zygnematophyceae), de las cuales se obtuvieron 10 nuevos registros para México. Por su parte, Díaz-Vargas *et al.* (2021) reportó 26 especies, donde la clase Bacillariophyceae presentó mayor riqueza, con variaciones temporales de especies asociadas cambios de temperatura, temporada de lluvias y disponibilidad de nutrientes.

Novelo & Tavera (2022) actualizaron el número de especies a nivel nacional, con un total de 4 268 especies, donde predominaron los Phyla Cyanoprokaryota, Bacillariophyta, Chlorophyta y Charophyta en la Ciudad de México, Estado de México y Michoacán. Otra actualización de listado de especies de dinoflagelados es el de Figueroa-Torres *et al.* (2022) donde reportaron 87 especies agrupadas en 25 géneros en ecosistemas de agua dulce, con *Ceratium hirundinella, Gymnodinium palustre, Gymnodinium* sp. y *Peridinium* sp. como especies más frecuentes en la Ciudad de México, Estado de México, Michoacán y Oaxaca.

En Sonora, los estudios de la comunidad fitoplanctónica se han realizado en ecosistemas marinos y costeros (Hungar-Sierra 1990; López-Martínez & Salinas-Zavala 1996; Valenzuela-Sánchez *et al.* 2021). Los estudios en ecosistemas de agua dulce se han enfocado en análisis de calidad de agua y contaminación e impacto ambiental (Celaya-Alegría 2021; Cortés-Jiménez *et al.* 2008; Villalva-Atondo *et al.* 2012); también se cuenta con información de registros de especies de fitoplancton continental que han sido puntuales, principalmente de los Phyla Cyanoprokaryota y Chlorophyta (Novelo & Tavera, 2011, 2022; Oliva-Martínez *et al.* 2014). Por otra parte, acorde al portal de bdLACET, una base de datos de los registros bibliográficos de algas de aguas continentales reporta que en Sonora hay registros de 102 especies (Novelo & Tavera 2025). Sin embargo, a pesar de estos registros, el conocimiento de la ficoflora regional del estado de Sonora y de sus ambientes epicontinentales es limitada, lo cual es reflejo de una falta de estudios en el estado.

Por consecuencia, es necesario actualizar la información de la composición, abundancia y diversidad del fitoplancton continental en Sonora, que permita el desarrollo de caracterizaciones ecológicas de aspectos fisicoquímicos y biológicos, así como, análisis de tendencias de cambio de tipo natural o antropogénico, los cuales pueden tener un efecto en la distribución y abundancia de recursos naturales y el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce, a través del conocimiento hidrobiológico del Estado de Sonora.

FITOPLANCTON EPICONTINENTAL DEL HUMEDAL URBANO LA SAUCEDA, EN HERMOSILLO, SONORA

Este proyecto con registro clave USO313009134 y con título "Variación estacional del fitoplancton e hidrología del Humedal La Sauceda, en Hermosillo, Sonora", financiado por la Universidad de Sonora, tuvo por objetivo general de analizar la variabilidad estacional del fitoplancton del humedal La Sauceda en Hermosillo, Sonora a través de la caracterización de la estructura y composición de la comunidad planctónica.

El área de estudio corresponde al humedal urbano La Sauceda, ubicado al este de Hermosillo, Sonora (Fig. 1). (29° 04' 14.33" Latitud Norte, 110° 55' 35.19" Longitud Oeste) El sitio presenta una longitud aproximada de 250 m, un ancho promedio de 50 m y una profundidad entre 1 a 5 m (Celaya-Alegría 2021). Este sitio constituye un área de interés al presentar un relieve rodeado por vegetación terrestre y acuática como zacate buffel (*Penisetum ciliare*), guaje (*Leucaena leucocephala*), palo fierro (*Olneya tesota*) y tule (*Typha domingensis*) además se fomenta un microclima óptimo para refugio, desove y alimentación de diversas especies animales, entre la fauna abarcan especies migratorias como la garza blanca (*Ardea alba*) y la garcita verde (*Butorides virescens*) al igual que un espacio de esparcimiento con actividades recreativas y sustentables como la pesca deportiva-recreativa y de liberación de lobina negra (*Micropterus salmoides*), bagre (*Ictalurus* sp.) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Celaya-Alegría 2021).

El humedal se originó a través del remanente natural del Río Sonora, antes de la construcción de la presa Abelardo L. Rodríguez y que formó parte de lo que fue el Parque Recreativo "La Sauceda" que está compuesto por aproximadamente 40 Ha. Su fuente de agua se origina de las infiltraciones de la presa y por las lluvias de verano, sin embargo, durante la década de 1990 se comenzó a utilizar como reservorio de agua para la planta potabilizadora del Organismo Operador Agua de Hermosillo contigua al humedal y actualmente es alimentando de manera constante por dicho organismo operador como parte de los procesos de potabilización del agua de la presa al igual que como parte de la limpieza de filtros de la potabilizadora (Estrella-Jiménez 2018).

El trabajo de campo consistió en la realización de muestreos mensuales de septiembre de 2023 a julio de 2024 en tres puntos distintos del área de estudio (Fig. 2; Cuadro 1). En cada punto de muestreo se realizó una caracterización biológica mediante la recolección de fitoplancton y una caracterización ambiental y fisicoquímica *in situ*. Para el análisis de la comunidad fitoplanctónica, se recolectaron muestras superficiales de agua (200 mL) utilizando una botella Van Dorn marca Wildco de tipo horizontal de 3.2 L de capacidad. Las muestras fueron transferidas a botellas ámbar de 250 mL y fijadas con 1 mL de lugol ácido por cada 100 mL de muestra (Moreno 2003; Ponce-Manjarrez *et al.* 2020), con el propósito de preservarlas y teñirlas para su

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo del Humedal Urbano La Sauceda, Hermosillo, Sonora.

Punto de muestreo	Latitud	Longitud
1°	29° 4'14.27"N	110°55'29.31"O
2°	29° 4'14.07"N	110°55'33.00"O
3°	29° 4'14.01"N	110°55'36.30"O

Figura 1. Humedal Urbano La Sauceda, Hermosillo, Sonora. Coordenadas geográficas: 29°04’14.33” Latitud Norte 110°55’35.19” Longitud Oeste.

Figura 2. Puntos de muestreo en el humedal Urbano La Sauceda, Hermosillo, Sonora.

posterior identificación, siendo almacenadas en la oscuridad a temperatura ambiente.

La caracterización fisicoquímica y ambiental se realizó mediante la determinación de los niveles de temperatura con un medidor de bolsillo HI98107 pHep Hanna Instruments y la colecta de 1 L de muestras superficiales de agua utilizando el agua sobrante que fue colectada previamente con la botella Van Dorn con el objetivo de determinar la concentración de clorofila a. Las muestras de agua fueron guardadas en botellas oscuras en una hielera con hielo para evitar la entrada de luz que altere la concentración de clorofila a e impedir la degradación de la calidad del agua. Las muestras fueron transportadas para su análisis en el Laboratorio de Ecología Marina del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS).

El trabajo de laboratorio abarcó la identificación de la comunidad fitoplanctónica hasta el menor nivel taxonómico posible empleando un microscopio compuesto Carl Zeiss VE-B1 con objetivos de 40X. La determinación taxonómica se realizó mediante el uso de literatura especializada: Díaz-Vargas *et al.* (2020); Godínez-Ortega *et al.* (2017); Komárek & Komárková-Legnerová (2002); Novelo & Tavera (2011, 2022); Oliva-Martínez *et al.* (2005, 2014); Ortega (1984) y Prescott (1954). Para el análisis de la concentración de clorofila a, las muestras de 1 L fueron procesadas con filtros GF/F marca Whatman de fibra de vidrio de 47 mm. El contenido del filtro fue utilizado para extraer la clorofila a y determinar su concentración de acuerdo con el procedimiento descrito por Strickland & Parsons (1972).

Se identificaron un total de 26 taxones integrados en un total de cinco clases (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae). De ellas, la clase Bacillariophyceae fue la que presentó mayor riqueza con 12 taxones que engloba el 46.2 % del total de los taxones, seguida por la Chlorophyceae con nueve taxones que abarca el 34.6 % de los taxones, Cyanophyceae con tres taxones comprendiendo el 11.5 % y las últimas dos clases Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae con un taxón cada una que representa para cada clase un 3.8 % (Fig. 3).

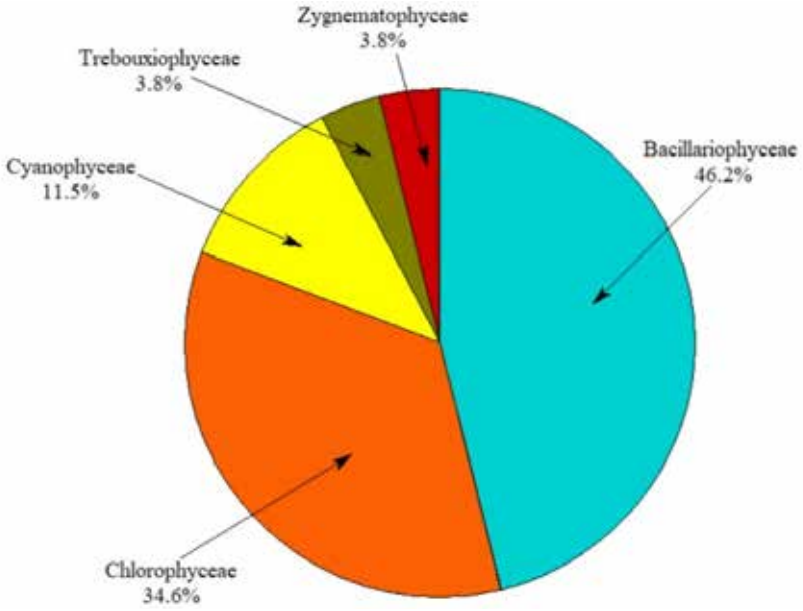


Figura 3. Porcentaje los grupos fitoplanctónicos del humedal urbano La Sauceda, Hermosillo, Sonora.

Durante el periodo de estudio, se observó un mayor número de taxones en los meses de febrero y abril del año 2024 con 15 y 17 taxones respectivamente, caso contrario a los meses de septiembre y octubre del año 2023 con seis taxones, lo cual sugiere una clara sucesión temporal al mostrar diferentes composiciones porcentuales de cada clase a lo largo del periodo de estudio. Esta variabilidad de composiciones porcentuales se comparó con las variables ambientales de temperatura (Fig. 4a) y clorofila (Fig. 4b), las cuales mostraron una variabilidad estacional. Los niveles de temperatura presentaron niveles máximos durante verano entre 32 a 34 °C y valores mínimos en invierno entre los 16 a 18 °C, mientras que la concentración de clorofila a fue mayor durante primavera con valores entre 6 y 7 mg/m^3 y una menor concentración en verano entre 2 y 3 mg/m^3, mostrando un efecto en la composición porcentual de los taxones a lo largo del muestreo al obtener mayor número de taxones durante los meses con mayor concentración de clorofila a y un menor número de taxones a mayor nivel de temperatura. Los taxones con más frecuencia se presentaron durante nueve meses y fueron *Melosira* (Fig. 5a), *Navicula* (Fig. 5b) y *Ulnaria* (Fig. 5c). Por otra parte, otros taxones fueron esporádicos, ya que se presentaron solamente en uno o dos meses de muestreo; algunos ejemplos son *Cymbella* (Fig. 5d), *Coelastrum* (Fig. 5e) y *Pseudopediastrum* (Fig. 5f).

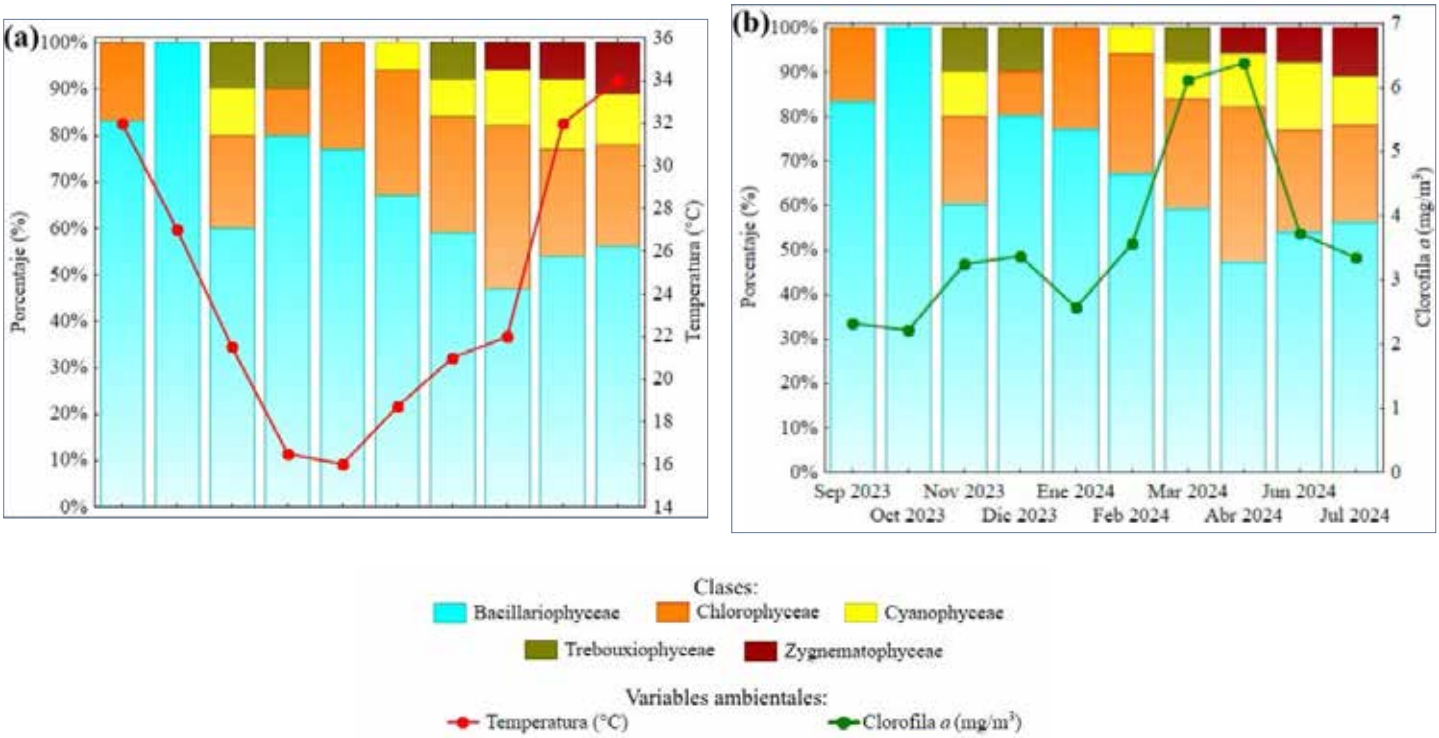


Figura 4. Composición porcentual mensual de riqueza de los grupos fitoplanctónicos del humedal urbano La Sauceda, Hermosillo, Sonora (a). Composición porcentual mensual de riqueza de los grupos fitoplanctónicos y su relación con la variabilidad ambiental: temperatura (b) y clorofila a (c)

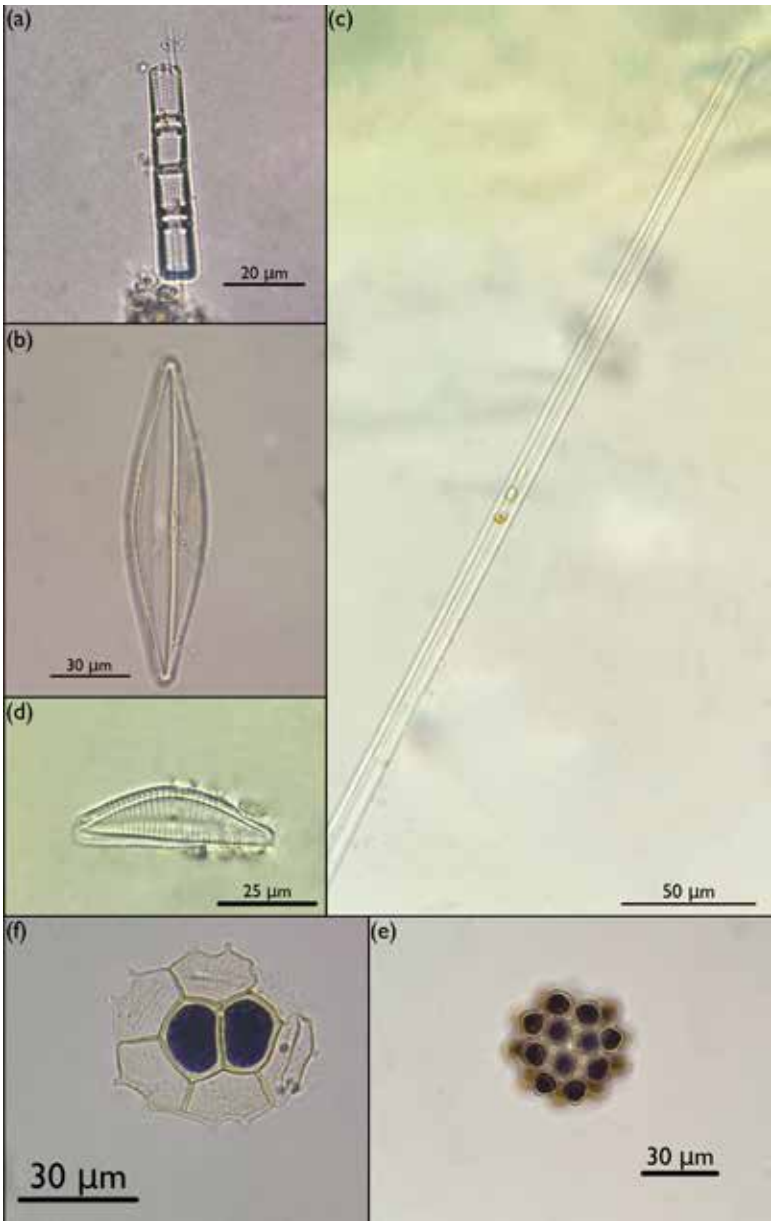


Figura 5. Taxones fitoplanctónicos con mayor registro durante el periodo de estudio en el humedal La Sauceda, Hermosillo, Sonora: *Melosira* (a), *Navicula* (b) y *Ulnaria* (c). Taxones fitoplanctónicos con menor registro durante el periodo de estudio en el humedal La Sauceda, Hermosillo, Sonora: *Cymbella* (d), *Coelastrum* (e) y *Pseudopediastrum* (f).

El registro de taxones de fitoplancton reportados de septiembre de 2023 a julio de 2024 presenta resultados similares a los obtenidos por García-Rodríguez *et al.* (2003 y 2010), sin embargo, es menor a los registrados por Godínez-Ortega *et al.* (2017) y Oliva-Martínez *et al.* (2008). Este número de taxones pareciera ser baja, sin embargo, hay que considerar que el muestreo realizado no abarca un ciclo anual completo, no obstante, los resultados presentados muestran que el humedal La Sauceda tiene una riqueza importante a pesar de no cubrir todo un ciclo anual y no presentar una geografía asociada a zonas templadas como en la zona central de México.

Hay que considerar que el número de taxones podría aumentar a medida que se realicen estudios anuales, al igual que comprender un mayor número de sitios de muestreo y la incorporación de análisis de variables fisicoquímicas que enriquecerían el estudio del humedal de La Sauceda, sin embargo, estos resultados presentan alta riqueza de especies a comparación de otros cuerpos de agua dulce de México. Por ejemplo, en el río Amacuzac, Morelos con una superficie hidrológica de 117 406 km^2 y un recorrido de 240 km se registraron 16 especies (García-Rodríguez *et al.* 2011); en el lago Alchichica, localizado en Puebla, México, caracterizado por una profundidad de 64.6 m (profundidad media = 38.55 m), una superficie de 1.81 km^2 presentó únicamente 9 especies, sin embargo, su estado hiposalino impacta en los niveles de su diversidad fitoplanctónica (Oliva *et al.* 2001).

El número de taxones clasificado en cinco clases podría estar asociado a las variaciones ambientales, principalmente a la concentración y reciclamiento de nutrientes y el nivel del agua (García-Rodríguez & Tavera 1998; Wetzel 1981, 2001). En los cuerpos de agua como los humedales, los factores que influyen en el reciclamiento es la velocidad en la que los nutrientes son reabsorbidas por los productores primarios y su tasa de desprendimiento desde el sedimento o agua profunda (Monroy-Ríos 2004). Sin embargo, el abastecimiento de agua por parte de la planta potabilizadora de agua de Hermosillo puede influir en por el agua de suministro a través de la compuesta, pues se han reportado concentraciones altas en el humedal, principalmente en la sección de suministro del agua en nitratos y ortofosfatos (Celaya-Alegría 2021).

El humedal urbano La Sauceda presenta una variabilidad estacional en el número de taxones al encontrar un mayor número de taxones durante invierno-primavera a comparación de verano-otoño. Resultados similares fueron reportados por García-Rodríguez *et al.* (2010) en el lago Zempoala, Morelos, al reportar una mayor densidad fitoplanctónica en primavera, fenómeno asociado a cambios en las condiciones abióticas como la temperatura, intensidad de luz, nivel de nutrientes en la columna de agua y las lluvias de temporada, causando una sucesión de especies (Arredondo-Figueroa & Flores-Navarro 1992; Wetzel 2001; Zalocar-De Domitrovic *et al.* 1998). Estos cambios de condiciones abióticas asociadas a la temperatura coinciden con los resultados de Celaya-Alegría (2021) en el humedal de La Sauceda al reportar valores mínimos y máximos con rangos similares, asociados a que se registraron en diferentes épocas del año obteniendo valores mínimos durante la época más fría del año (invierno) y valores máximos durante la etapa cálida (verano). El fenómeno de sucesión de especies se ha presentado en diferentes trabajos (Carrasco-Vargas *et al.* 2014; Godínez-Ortega *et al.* 2017) demostrando que el número de taxones y cada grupo presenta ciclos distintos, posiblemente relacionado a la concentración y disponibilidad de nutrientes, pues estos influyen en la variabilidad estacional y la biomasa fitoplanctónica (Casco & Toja 2003), en el humedal de La Sauceda esta última está determinada por la alta concentración de fósforo, con una condición de estado de ultra oligotrófico a oligotrófico, alta transparencia de agua y bajas concentraciones de solidos suspendidos y materia orgánica (Celaya-Alegría 2021).

Por otra parte, cabe destacar que la clase Bacillariophyceae fue la más dominante de las cinco clases del humedal. Resultados similares fueron descritos por Díaz-Vargas *et al.* (2021) y Oliva-Martínez *et al.* (2014) quienes establecen que la clase Bacillariophyceae es considerada la clase taxonómica dominante de la comunidad fitoplanctónica en México (Novelo & Tavera 2011, 2022).

Aunque estos resultados representan los primeros registros para el humedal, falta mucho trabajo por hacer con respecto al conocimiento del fitoplancton de aguas continentales del Estado de Sonora, México. La continuación de estudios de estos organismos para contribuir al conocimiento y registro de nuevas especies y la continuación de las especies ya conocidas. Por lo que la compilación de las especies de algas fitoplanctónicas de agua dulce del humedal urbano La Sauceda en Hermosillo, Sonora es una actividad indispensable para describir la diversidad biológica presente en su columna de agua, lo que permite a la vez la caracterización de un ecosistema, y con esto tener elementos para un manejo adecuado de los recursos acuáticos y con ello, realizar actividades

enfocadas a la conservación de estos cuerpos de agua y junto con su riqueza ficológica.

Además, a medida que el impacto antropogénico en el medio ambiente ha aumentado de manera drástica, es importante el monitoreo constante el nivel de biodiversidad acuática enfocada a la comunidad fitoplanctónica (Tekebayeva *et al.* 2024), considerado el principal eslabón de la cadena trófica que determina la estructura y funcionamiento de todo sistema acuático (Cartuche *et al.* 2019; Esqueda-Lara *et al.* 2016). El fitoplancton conforma una comunidad importante para el funcionamiento de la cadena acuática y para la evaluación de la calidad de agua (Beauger *et al.* 2023; Tekebayeva *et al.* 2024). Por lo tanto, es importante desarrollar la elaboración de inventarios, listados taxonómicos del número de registros para tener conocimiento de la distribución, diversidad, y abundancia de los diferentes taxones y realizar una evaluación óptima de las poblaciones fitoplanctónicas (Novelo & Tavera 2011, 2022).

Con base en el punto anterior, es necesario la formación de equipos de trabajo interdisciplinarios para la generación de información mediante la colaboración entre distintas instituciones y organizaciones nacionales y extrajeras. Además, para complementar la información y documentación de los taxones fitoplanctónicos epicontinentales, debe desarrollarse a futuro una base de datos en el Herbario de la Universidad de Sonora vía internet en conjunto con el uso de artículos y literatura especializada, se debe de realizar colecciones biológicas para diversificar y aportar conocimiento de la región, y generar interés en la construcción de estos acervos y compartir esta información mediante publicaciones, y brindar cobertura y avanzar en el conocimiento y documentación de especies de fitoplancton de los ecosistemas epicontinentales de Sonora, y de México.

REFERENCIAS

Arredondo-Figueroa, J.L & A. Flores-Navarro. 1992. Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica* 3: 10. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/533.

Babaniyi, B.R., S.A. Aransiola, E.E. Babaniyi & N.R. Maddela. 2025. *Wetlands: Ecology, Conservation and Management.* Springer Nature, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-91982-4.

Beauger, A., O. Voldoire., E. Allain., P. Gosseaume., C. Blavignac., L-A. Baker & C.E. Wetzel. 2023. Biodiversity and Environmental Factors Structuring Diatom Assemblages of Mineral Saline Springs in the French Massif Central. *Diversity* 15: 283. https://doi.org/10.3390/d15020283.

Bello-Pineda, J., L. Ortíz-Lozano, E. Ramírez-Chávez, R. Aquino-Juárez & S. Castillo-Domínguez. 2009. Humedales: definición, servicios ambientales y amenazas. *In:* J. Buenfil-Friedman. Ed. Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. *Semarnat-INE, México, D.F,* pp. 54-65. https://awsassets.panda.org/downloads/humedales_vol_1.pdf.

Berlanga-Robles, C.A., A. Ruíz-Luna & G. de la Lanza-Espino. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas : Boletín - Instituto de Geografía, Universidad Nacional, Autónoma de México* 66: 25 46. https://doi.org/10.14350/rig.17980.

Bravo, J. & J. Windevoxhel. 1997. Manual para la identificación y clasificación de humedales en Costa Rica. UICN/ORMA-MINAE-Embajada Real de los Países Bajos, Costa Rica. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/1997-061.pdf.

Canosa, A. & G. Pinilla. 2007. Relaciones entre las abundancias del bacterioplancton y del fitoplancton en tres ecosistemas lénticos de los Andes Colombianos. *Revista de biología tropical* 55: 135-146. https://doi.org/10.15517/rbt.v55i1.6064.

Carrasco-Vargas, U.Y., M. Díaz-Vargas, F.I. Molina-Astudillo, J. García-Rodríguez & E.E. Elizalde-Arriaga. 2014. Composición fitoplanctónica de la presa El Abrevadero, Jantetelco, Morelos, México. *Acta Universitaria* 24: 3-10. https://doi.org/10.15174/au.2014.649.

Cartuche, A., Z. Guan, B.W. Ibelings & P. Venail. Phytoplankton Diversity Relates Negatively with Productivity in Tropical High-Altitude Lakes from Southern Ecuador. *Sustainability* 11: 5235. https://doi.org/10.3390/su11195235.

Casco, M.A. & J. Toja. 2003. Efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses. *Limnética* 22: 115-134. https://doi.org/10.23818/limn.22.08.

Celaya-Alegría, A.D. 2021. Calidad de agua y estado trófico en el Humedal La Sauceda, Hermosillo, Sonora. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra. 78 pp.

Cole, J.J., M.L. Pace, N.F. Caraco & G.S. Steinhart. 1993. Bacterial biomass and cell size distributions in lakes: More and larger cells in anoxic waters. *Limnology and Oceanography* 38: 1627-1632. https://doi.org/10.4319/lo.1993.38.8.1627.

Cortés-Jiménez, J.M., E. Troyo-Dieguez, B. Murillo-Amador, J.L. García-Hernández, J. Garatuza-Payán & S. Suh-Lee. 2008. Índices de calidad del agua del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora. *Terra Latinoamérica* 27: 133-141. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000200006.

Cronan, C.S. 2023. Wetland ecosystems. *In:* C.S. Cronan. Ed. *Ecology and ecosystems Analysis*. Springer Nature, Cham, pp. 161-176. https://doi.org/10.1007/978-3-

031-45259-8_10.
Díaz-Vargas, M., H.E. Franco-Cotero, J. García-Rodríguez & E. Arce-Uribe. 2021. Riqueza fitoplanctónica en el lago Zempoala del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. *Inventio* 16: 1-11. https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.40/4.
Esqueda-Lara, K., A.J. Sánchez, G. Valdés-Lagunes, M.A. Salcedo, A.E. Franco-Torres & R. Florido. Fitoplancton en el humedal tropical Chaschoc en la cuenca baja del río Usumacinta. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 1177-1188. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.015.
Estrella-Jiménez, S. 2018. Soporte técnico para justificación ambiental del área del Humedal Laguna La Sauceda en Hermosillo, Sonora. *Memoria Profesional.* Universidad de la Sierra.
Espinosa-Escalante, F.M. 2017. Microalgas en la alimentación ¿Suplementos novedosos o reinventados? *Revista Ciencia* 68: i1-i5. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/MicroAlgas.pdf.
Figueroa-Torres, M.G., R.E. Muciño-Márquez & S. Almanza-Encarnación. 2022. Estado de conocimiento de los dinoflagelados de agua dulce de México. *Hidrobiológica* 32: 223-234. https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2022v32n3/figueroa.
Gaxiola-Castro, G., J. C. A. Cepeda-Morales, S. Nájera-Martínez, T. L. Espinosa-Carreón, M. E. De La Cruz-Orozco, R. Sosa-Avalos, E. Aguirre-Hernández & J. P. Cantú-Ontiveros. 2010. Biomasa y producción de fitoplancton. *In:* G. Gaxiola-Castro & R. Durazo-Arvizu. Eds. *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigación Científica y Superior de Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, México, pp. 59-85. https://imecocal.cicese.mx/wp/wp-content/uploads/Durazo-Gaxiola-2010.pdf.
García-Rodríguez, J. & R. Tavera. 1998. Fitoplancton del Lago Zempoala. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 63: 85-100. https://doi.org/10.17129/botsci.1570.
García-Rodríguez, J., F.I. Molina-Astudillo, H. Quiroz-Castelán & R. Trejo-Albarrán. 2003. Especies del Fitoplancton Presentes en el Lago Tonatiahua, Morelos, México. *Acta Universitaria* 13: 53-66. https://doi.org/10.15174/au.2003.270.
García-Rodríguez, J., F.I. Molina-Astudillo, M. Díaz-Vargas & H. Quiroz-Castelán. 2010. Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria* 20: 23-30. https://doi.org/10.15174/au.2010.75.
García-Rodríguez, J., F.I. Molina-Astudillo, H. Quiroz-Castelán, P. Trujillo-Jiménez & M. Díaz-Vargas. 2011. Distribución y sistemática del fitoplancton a lo largo del río Amacuzac (Morelos, México). *Acta Universitaria* 21: 11-23. https://doi.org/10.15174/au.2011.23.
Godínez-Ortega, J.L., M.G. Oliva-Martínez, M.A. Escobar-Oliva & B. Mendoza-Garfias. 2017. Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas. *Hidrobiológica* 27: 45-58. https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2017v27n1/Godinez.
Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza, J.L. Guzmán-Santiago & V. Gallardo-Pineda. 2013. Composición, abundancia de zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica* 23: 227-240. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/641.
Hungar-Sierra, D.G. 1990. Variación temporal de fitoplancton en Bahía de Lobos, Sonora (Agosto/1985-Mayo/1986). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. 62 pp. https://doi.org/10.57840/uabc-506.
Keddy, P.A. 2010. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge University Press, United Kingdom. https://doi.org/10.1017/CBO9780511778179.
Komárek, J. & J. Komárková-Legnerová. 2002. Contribution to the knowledge of planktic cyanoprokaryotes from central Mexico. *Preslia Praha* 74: 207-233. https://www.preslia.cz/article/pdf?id=405.
Lara-Villa, M.A., J.L. Moreno-Ruíz & E.J. Amaro-Mauricio. 1996. *Fitoplancton: Conceptos básicos y técnicas de laboratorio*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. https://ceu2.izt.uam.mx/librosUAMI/wp-content/uploads/2024/03/FITOPLANCTON.pdf.
López-Martínez, J. & C. Salinas-Zavala, 1996. El fitoplancton de primavera de la laguna de Las Guásimas, Sonora. *Oceanología* 2: 83-95.
López-Mendoza, R., R. Tavera & E. Novelo. 2015. El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *TIP Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 18: 13-28. https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.002.
Monroy-Ríos, E. 2004. Hidrología del embalse de Valle de Bravo, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 98 pp. https://repositorio.unam.mx/contenidos/hidrologia-del-embalse-de-valle-de-bravo-mexico-3512219?c=X1v7Jx&d=false&q=*:*&i=1&v=1&t=search_0&as=0.
Moreno, J.L. 2003. Fitoplancton. *In:* E.G. De la Lanza & P. Hernández. Eds. *Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de la calidad del agua.* AGT Editor, México D.F, pp. 43-107. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/229011.pdf.
Mustafa, G., S. Hussain, Y. Liu, I. Ali, J. Liu & H. Bano. 2024. Microbiology of wetlands and the carbon cycle in coastal wetland mediated by microorganisms.

Science of The Total Environment 954: 175734. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175734.

Naik, B., R. Mishra, V. Kumar, S. Mishra, U. Gupta, S. Rustagi, A.K. Gupta, M.S. Preet, S.C. Bhatt & S. Rizwanuddin. 2024. Micro-algae: Revolutionizing food production for a healthy and sustainable future. *Journal of Agriculture and Food Research* 15: 100939. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100939.

Naselli-Flores, L. 2008. Urban Lakes: Ecosystems at Risk, Worthy of the Best Care. *In:* M. Sengupta & R. Delwani. Eds. *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference*, pp. 1333-1337. https://www.researchgate.net/publication/228465620_Urban_Lakes_Ecosystems_at_Risk_Worthy_of_the_Best_Care#fullTextFileContent.

Novelo, E. & R. Tavera. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológica* 21: 333-341. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/766.

Novelo, E. & R. Tavera. 2022. Panorama florístico actual de las algas continentales mexicanas. *Hidrobiológica* 32: 235-243. https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2022v32n3/tavera.

Novelo, E. & R. Tavera. 2025. *bdLACET Base de datos de algas continentales.* Facultad de Ciencias, UNAM. México. Disponible en: https://bdlacet.mx. (consultado el 29 julio 2025).

Oliva, M.G., A. Lugo, J. Alcocer, L. Peralta & M.R. Sánchez. 2001. Phytoplankton dynamics in a deep, tropical, hyposaline lake. *In:* J.M. Melack., R. Jellison & D.B. Herbst. Eds. *Saline Lakes. Developments in Hydrobiology*. Springer, Dordrecht, pp. 299-306. https://doi.org/10.1023/A:1014578024049.

Oliva-Martínez, M.G., J.G. Ramírez-Martínez, G. Garduño-Solórzano, J. Cañetas-Ortega & M.M. Ortega. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica* 15: 1-26. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1043/628.

Oliva-Martínez, M.G., A. Rodríguez-Rocha, A. Lugo-Vázquez & M.R. Sánchez-Rodríguez. 2008. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* 18: 1-13. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/873/463.

Oliva-Martínez, M.G., J.L. Godínez-Ortega & C.A. Zúñiga-Ramos. 2014. Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 54-61. https://doi.org/10.7550/rmb.32706.

Ortega, M.M. 1984. *Catálogo de algas continentales reciente de México.* Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Peña-Álvarez, C.E. 2018. Composición y dinámica de dinoflageladas invernales de red (mayores a 65 µm) de la Laguna Costera Las Guásimas, Sonora en 2010. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. 222 pp.

Pérez, M. y J. Romero. 2001. *Prácticas de Ecología Oceánica.* Universitat de Barcelona.

Prescott, G.W. 1954. *How to know the fresh-water algae*. W.C. Brown Company. Dubuque. https://ia801301.us.archive.org/7/items/howtoknowfreshwa00pres/howtoknowfreshwa00pres.pdf.

Ponce-Manjarrez, E.J., N.M.A. Pastén-Miranda & P. Urquidez-Bejarano. 2020. *Biología de protistas y algas. Laboratorio y campo.* Universidad de Sonora, Hermosillo. https://doi.org/10.47807/UNISON.3.

Ramanan, R., B-H. Kim., D-H. Cho., H-M. Oh & H-S. Kim. 2016. Algae–bacteria interactions: Evolution, ecology and emerging applications. *Biotechnology Advances* 34: 14-29. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.003.

Ramírez, J. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Reynolds, C.S. 1996. Plant life of the pelagic. *Proceedings of the International Association for Theoretical and Applied Limnology* 26: 97–113.

Rodríguez-Flores, C.N., A. Vinocur & I. Izaguirre. 2019. Dinámica del fitoplancton en tres lagos urbanos con diferentes estrategias de manejo: Análisis de floraciones estivales. *Ecología Austral* 29: 72-93. https://doi.org/10.25260/EA.19.29.1.0.743.

Roldán-Pérez, G.A. & J.J. Ramírez-Restrepo. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín. https://repositorio.accefyn.org.co/entities/publication/9724561e-4f80-432b-ab36-46d8af8ddd4a.

Schueler, T. & J. Simpson. 2003. Why urban Lakes are different. *Watershed Protection Techniques* 1: 747-750.
https://owl.cwp.org/mdocs-posts/schuelert-_why_urban_lakes_are_different/.

Souza-Araujo, G., D. Pacheco, J. Cotas, J.W. Alves-da Silva, J. Saboya, R. Teixeira-Moreira & L. Pereira. 2022. Plankton: Environmental and Economic Importance for a Sustainable Future. *In:* L. Pereira & M. Gonçalves. Eds. *Plankton Communities*. IntechOpen, London, pp. 1-21. https://doi.org/10.5772/intechopen.100433.

Strickland, J. & T. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Broad of Canada.* Ottawa, Canada. https://epic.awi.de/id/eprint/39262/1/Strickland-Parsons_1972.pdf.

Su, M., L. Bastiaens, J. Verspreet & M. Hayes. 2023. Applications of Microalgae in Foods, Pharma and Feeds and Their Use as Fertilizers and Biostimulants: Legislation and Regulatory Aspects for Consideration. *Foods* 12: 3878. https://doi.org/10.3390/foods12203878.

Tekebayeva, Z., A. Bazarkhankyzy, A. Temirbekova, Z. Rakhymzhan, K. Kulzhanova, R. Beisenova, A.

Kulagin, N. Askarova, D. Yevneyeva, A. Temirkhanov & A. Abzhalelov. 2024. Ecological Assessment of Phytoplankton Diversity and Water Quality to Ensure the Sustainability of the Ecosystem in Lake Maybalyk, Astana, Kazakhstan. *Sustainability* 16: 9628. https://doi.org/10.3390/su16229628.

Valenzuela-Sánchez, C.G. 2014. Composición y abundancia de fitoplancton en áreas impactadas y no impactadas por descargas de granjas camaronícolas en la costa del Estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. 55 pp. http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/2088?locale=es.

Valenzuela-Sánchez, C.G., N.M.A. Pasten-Miranda, L.F. Enríquez-Ocaña, R.H. Barraza-Guardado, J.E. Valdez-Holguín & L.R. Martínez-Córdova. 2021. Phytoplankton composition and abundance as indicators of aquaculture effluents impact in coastal environments of mid Gulf of California. *Heliyon* 7: e06203. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06203.

Valiela, I. 1995. *Marine Ecology Processes*. Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4125-4.

Villalva-Atondo, A.I., J.M. Del Castillo-Alarcón, A. Gómez-Álvarez, A.M. Pérez-Villalva, G. Nubes-Ortiz, S. Villalva-Urquidy & A. Salcido-Esquer. 2012. Contaminación de Agua y suelo en Ecosistema Río Agua Prieta, Sonora. *Biotecnia* 11: 3-11. https://doi.org/10.18633/bt.v15i1.129.

Vrede, K., T. Vrede, A. Isaksson & A. Karlsson. 1999. Effects of nutrients (phosphorous, nitrogen, and carbon) and zooplankton on bacterioplankton and phytoplankton—a seasonal study. *Limnology and Oceanography* 44: 1616-1624. https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.7.1616.

Yarwood, S.A. 2018. The role of wetland microorganisms in plant-litter decomposition and soil organic matter formation: a critical review. *FEMS Microbiology Ecology* 94: fiy175. https://doi.org/10.1093/femsec/fiy175.

Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*. Editorial Omega, Barcelona, España.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. Elsevier Science, Academic Press, San Diego, https://doi.org/10.1016/C2009-0-02112-6.

Wehr, J.D. 2003. Freshwater habitats of algae. *In:* J.D. Wehr & R.J. Sheath. Eds. *Freshwater algae of North America.* Academic Press, San Diego, pp. 11-57. https://doi.org/10.1016/B978-012741550-5/50003-9.

Zalocar-De Domitrovic, Y., V.M. Asselborn & S.L. Casco. 1998. Variaciones espaciales y temporales de fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. *Revista Brasileira de Biología* 58: 359-382. https://doi.org/10.1590/S0034-71081998000300003.

Sometido: 19 de mayo de 2025
Revisado: 24 de junio de 2025
Corregido: 5 de agosto de 2025
Aceptado: 19 de septiembre de 2025

Los epítetos específicos en la ficología; el caso de los que honran a personas

Francisco F. Pedroche[1*] y Eberto Novelo[2]

[1]Comité Internacional de Nomenclatura – sección Algas.
[1]Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Metropolitana-Lerma & University Herbarium, University of California at Berkeley, USA.
[2]Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

*Email: fpedroche@correo.ler.uam.mx

Pedroche, F.F. y E. Novelo. 2025. Los epítetos específicos en la ficología. El caso de los que honran a personas. *Cymbella* 11 (2-3): 168-194.
DOI: https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.7

RESUMEN

Los epítetos específicos o infraespecíficos, en la nomenclatura botánica deben coincidir gramaticalmente con el carácter masculino, femenino o neutro del género en cuestión. Por lo general, estos epítetos son descriptores pragmáticos basados en características distintivas tomadas de la morfología, el hábitat o la localidad en la que fueron originalmente localizados los taxones. Sin embargo, aquellos construidos a partir de nombres propios de personas para honrarlas o como reconocimiento, denominados epónimos, requieren de un tratamiento especial destacado en el Código Internacional de Nomenclatura. Aquí presentamos los elementos básicos para poder formular un epíteto adecuadamente refiriendo ejemplos de la ficoflora mexicana recopilados de nuestros proyectos, mismos que pueden orientar a los autores al describir nuevos taxones. Asimismo, se incluye un panorama somero sobre la polémica actual acerca de las implicaciones éticas de los epítetos.

ABSTRACT

Specific or infraspecific epithets in botanical nomenclature must agree grammatically with the gender—masculine, feminine, or neutral—of the genus they belong to. Generally, these epithets serve as pragmatic descriptors based on distinctive traits, either morphology, habitat, or location where the taxa were originally found. However, those derived from people's proper names, intended to honor or acknowledge them, known as eponyms, require special treatment as outlined in the International Code of Nomenclature. Here, we present the essential guidelines for properly formulating an epithet and including examples from the Mexican phycoflora collected through our projects, which can guide authors in naming new taxa. We also provide a brief overview of the ongoing controversy regarding the ethical considerations associated with these epithets.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el CIN (Greuter *et al.* 2025; Turland *et al.* 2025) (art. 6.7), una **combinación** es el nombre de un taxón de rango inferior a género, que consiste en el nombre genérico combinado por uno, dos o tres **epítetos** (subdivisión de género, especie o categoría infraespecífica). Por ejemplo, *Caulerpa* (*Caulerpella*) *ambigua* var. *dichotoma* Eubank. *Caulerpa* es el nombre genérico, *Caulerpella* es el epíteto del subgénero, *ambigua* el epíteto específico y *dichotoma* el epíteto correspondiente a la categoría subespecífica. Estos epítetos, al igual que todos los nombres científicos, son derivaciones latinas, griegas o términos latini-

zados y su terminación cambia de acuerdo con el género (masculino, femenino o neutro), el número (singular, plural) y la condición gramatical (sustantivo o adjetivo) (Stearn 1992; Turland 2019).

Como lo mencionan las *Lois de la nomenclature botanique* (Candolle 1867), primer "código," en su artículo 32, los epítetos deberían de brindar información sobre la naturaleza de los taxones "*Le nom spécifique doit, en général, indiquer quelque chose de l'apparence, des caractères, de l'origine, de l'histoire ou de propriétés de l'espèce*" (El nombre específico debe, en general, indicar algo sobre la apariencia, las características, el origen, la historia o las propiedades de la especie), que permitiese distinguir unos de otros. Por ello, en general tenemos cualidades como frágil (*fragilissima*), sólida (*robusta*), espiral (*spiralis*), roja (*rubra*), etcétera. Sin embargo, el epíteto en un nombre puede ser tomado de cualquier fuente, e incluso puede ser formado arbitrariamente (art. 23.2), con algunas excepciones indicadas en el art. 60.1.

Estos epítetos, como descriptores pragmáticos en la nomenclatura algal han incluido la forma (*Cladosiphon cylindricus* (Sauvageau) Kylin, *Characium ornithocephalum* A. Braun), el tamaño (*Myriogramme minuta* Kylin), la textura (*Galaxaura rugosa* (J. Ellis & Solander) J. V. Lamouroux), el tipo de ramificación (*Bryopsis dichotoma* De Notaris), entre otros. Pero también información sobre geografía u origen (*Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve, *Amphipleura chiapasensis* Metzeltin & Lange-Bertalot), hábitat (*Codium arenicola* M. E. Chacana & P. C. Silva), afinidades ecológicas (*Achnanthidium saprophilum* (Kobayashi & Mayama) Round & Bukhtiyarova), color (*Bangia atrovirens* Lyngbye, *Phormidium aeruginеocoeruleum* (Gomont) Anagnostidis & Komárek), comportamiento reproductivo (*Caloglossa apomeiotica* J. A. West & Zuccarello) o beatitud figurada (*Oscillatoria sancta* Kützing ex Gomont, localidad tipo cercana a Roma). Ya en estas primeras Leyes y en el mismo artículo 32, se consideraba la posibilidad de nombrar una especie tomando el nombre de una persona. "*S'il est tiré d'un nom d'homme, c'est ordinairement pour rappeler le nom de celui qui l'a découverte ou décrite, ou qui s'en est occupé d'une manière quelconque*" (Si se toma del nombre de un **hombre**, suele ser para recordar a quien la descubrió, la describió, o la manipuló de alguna manera). Esta opción fue transferida a una recomendación (rec. IX) de las Reglas Internacionales de Nomenclatura Botánica (Vienna Rules) (Maiden 1906) y redactada para incluir textualmente "*Names of men and **women** and also names of countries and localities used as specific names, may be substantives in the genitive...*" Sin embargo, en la rec. XI se mantuvo la redacción "*When a specific name is taken from the name of a **man**, it is formed in the following way:*" Una recomendación (rec. XII) adicional se introdujo para reconocer los nombres de mujeres "*The same applies to the names of **women**. These are written in the feminine when they have a substantival form*" (en todos los casos las negritas son de nosotros). No fue sino hasta 1978, en el Código de Leningrado, que se modificó la redacción para reconocer, de igual manera, la participación de hombres y mujeres en la construcción de epónimos en la ciencia botánica (Stafleu *et al.* 1978). Un avance entre los botánicos del mundo hacia la equidad de género.

La práctica, otrora poco común de utilizar nombres de personas fue aumentando con el paso del tiempo. Macêdo *et al.* (2023) encontraron en el grupo de los micro crustáceos que en el período entre 1758 y 2021, la morfología figuró en los epítetos en un 62.1 % mientras que los nombres de personas alcanzaron un 20.5 %. Las etimologías que se refieren a geografía, 8.3 %, las de ecología, 7 % y las relacionadas con culturas, solo el 2.2 %. A partir de la segunda mitad del siglo XX, la tradición morfológica cayó en un 50 %, aumentando notablemente los epítetos que honran a individuos. Las geográficas y culturales también han aumentado a partir de ese período, pero en menor proporción a los epítetos honoríficos.

EL CASO ESPECIAL DE LOS EPÍTETOS HONORÍFICOS

En lo general los epítetos deben de concordar gramaticalmente con la naturaleza masculina, femenina o neutra del género en cuestión; por ejemplo, *Ectocarpus corticulatus* D. A. Saunders, *Polysiphonia corymbosa* J. Agardh o *Codium amplivesiculatum* Setchell & N. L. Gardner, respectivamente. Sin embargo, un caso especial considerado por el CIN y como se citó arriba, desde las leyes de nomenclatura, son aquellos epítetos dedicados a personas. Los nombres científicos, resultado de esta acción, se conocen como **epónimos** taxonómicos.

Para que los nombres de personas puedan ser utilizados como nombres de epítetos o incluso de géneros, primero deben ser latinizados. De acuerdo con Nicolson (1974) este proceso, puede ser de dos maneras, la primera es traduciendo al latín parte o todo el nombre y la segunda, simplemente añadiendo la terminación latina apropiada. El primer caso fundamentalmente se aplica a nombres no derivados del latín como los alemanes, suecos, etc. Una práctica que ya no se lleva a cabo comúnmente, pues los epítetos resultantes tienen la desventaja de ocultar el propio nombre y el género

de la persona. Así que, para la acción de latinizar, optamos por la elección de la terminación apropiada. Existen dos formas de construir un epíteto con base en un nombre personal. Considerar el nombre como sustantivo o como adjetivo. ¿Cuándo usar uno u otro? En 1832, Lindley propuso una forma que, a nuestro parecer, es sencilla y práctica, sobre todo para los que no dominamos el latín. Textualmente escribió "When species are named after individuals, the rule of construction is this: if the individual is the discoverer of the plant, or the describer of it, the specific name is then to be in the **genitive singular**; as *Caprifolium Douglasii*, *Carex Menziesii*; Messrs. Douglass and Menzies having been the discoverers of these species; and *Planera Richardi*, the species so called having been described by Richard: but if the name is merely given in compliment, without reference to either of these circumstances, the name should be rendered in an **adjective** form, with the termination *anus, a, um*; as *Pinus Lambertiana*, in compliment to Mr. Lambert: and, for this reason, such names as *Rosa Banksiae* and *R. Brunonii* are wrong; they should have been *R. Banksiana* and *R. Brunoniana*" (Cuando las especies reciben nombres de individuos, la regla de construcción es la siguiente: si el individuo es el descubridor de la planta, o el que la describe, el nombre de la especie debe estar entonces en (**sustantivo**) genitivo singular; como *Caprifolium douglasii*, *Carex menziesii*; habiendo sido los señores Douglass y Menzies los descubridores de estas especies; y *Planera richardi*, la especie así llamada habiendo sido descrita por Richard; pero si el nombre se da simplemente como un cumplido, sin referencia a ninguna de estas circunstancias, el nombre debe traducirse en forma de **adjetivo**, con la terminación *anus, a, um*; como *Pinus lambertiana*, en elogio de Mr. Lambert: y, por esta razón, nombres como *Rosa banksiae* y *R. brunonii* son erróneos; deberían haber sido *R. banksiana* y *R. brunoniana* (Lindley 1832, pp. 457-458). En la traducción hemos corregido los epítetos con minúscula como actualmente se indica en el CIN (art. 60, rec. 60F1), la adición de negritas y sustantivo es nuestra.

Esta propuesta o sugerencia, como muchas otras, no fue conocida o no fue considerada por los que en ese momento describían especies (Stearn 1992). Sin embargo, en el Congreso de París fue retomada y aceptada su inclusión en las Leyes (Candolle 1867), en su artículo 33. Muchos botánicos nunca la siguieron o protestaron su implementación, de tal manera que el mismo De Candolle suprimió este artículo en la segunda edición por considerarlo nulo y sin valor (Candolle 1883, p. 20). Actualmente, las consideraciones generales sobre ortografía y género gramatical, se encuentran en el capítulo VIII. El artículo 60.8, sus notas 2-4 y la rec. 60C del CIN (Turland *et al.* 2025), lidian con lo referente a los nombres derivados de nombres personales. Es importante resaltar que estas normas (art. 60.8) se refieren a las terminaciones formadas a partir de nombres que no son griegos ni latinos y que tampoco poseen una forma latinizada bien establecida. Nosotros hemos recurrido a una forma que nos parece más explicativa y puntual, y se presenta en Stearn (1992, p. 287):

a) Cuando el nombre de la persona termina en vocal, se añade la letra *i*, excepto cuando el nombre termina en *a*, entonces se añade *e*.
b) Cuando el nombre termina en consonante, se añaden las letras *ii*, excepto cuando el nombre termina en -er, agregándose solo una *i*.
c) Las sílabas no modificadas por estas terminaciones conservan su grafía original, a menos que contengan letras extrañas a los nombres de plantas latinas o signos diacríticos; estos signos diacríticos deben suprimirse y transcribirse las letras, por ejemplo, *ä*, *ö*, *ü* se convierten en *ae*, *oe*, *ue*, respectivamente, *ø* se convierte en *oe* y á se convierte en *ao*.
d) Cuando los epítetos tomados del nombre de una persona tienen una forma adjetival, se forman de manera similar.
e) El prefijo patronímico escocés e irlandés 'Mac', 'Me' o 'M', que significa 'hijo de', debe escribirse 'mac' y unirse con el resto del nombre.
f) El prefijo patronímico irlandés 'O' debe unirse con el resto del nombre u omitirse.
g) Un prefijo formado por un artículo, por ejemplo, *le, la, l', les, el, il, lo,* o que contenga un artículo; por ejemplo, *du, dela, des, del, della,* debe ir unido al nombre.
h) Debe omitirse el prefijo de un apellido que indique ennoblecimiento o canonización. En epítetos geográficos, sin embargo, 'San' se traduce como sanctus (m.) o sancta (f.).
i) Un prefijo alemán u holandés cuando normalmente se trata como parte del apellido, como sucede a menudo fuera de su país de origen, por ejemplo, en los Estados Unidos, puede incluirse en el epíteto, de lo contrario, debería omitirse.

A esta aproximación, se pueden sumar dos versiones más, la de Silva (1997) y la de Turland (2019), que nos parecen muy acertadas. La primera, con el inconveniente de que utiliza la denominación de epítetos conmemorativos y uno podría pensar que hay que modificar o construir epítetos que festejan

eventos, culturas, pueblos originarios, etc. Algunos ejemplos recientes e interesantes son *Gracilaria huavensis* Acosta-Calderón & *al*., que sugiere estar dedicado a personas de un grupo étnico, los huave de Oaxaca (Acosta Calderón *et al.* 2025, p. 5), podría ser corregible a *huaveana* si es considerado adjetivo o en su forma de genitivo sería *huaveorum*; otro caso es el de *Vaucheria zapotecana* Bonilla-Rodriguez & *al*. (Bonilla-Rodriguez *et al.* 2013, p. 551) que honra a la cultura antigua del lugar, no a los habitantes actuales, o bien *Osmundea purepecha* Sentíes & *al.* cuyo epíteto se refiere al grupo étnico llamado purépechas, habitantes de Michoacán de Ocampo en México (Sentíes *et al.* 2014, p. 300). Sin embargo, el art. 60.8 explícitamente se refiere a nombres de individuos, no grupos étnicos, **por lo que no merece corrección** (N. Turland, com. pers.). Las etnias están integradas por personas y los epítetos deberían honrarlas de manera especial.

La obra de Turland (2019) tiene la ventaja de que incorpora los elementos necesarios para decidir sobre el epíteto dedicado a personas, en la forma de una clave muy práctica, fácil de seguir (Fig. 1) y que hemos traducido a continuación.

FIGURA 1. CLAVE PARA FORMAR EPÍTETOS, QUE HONRAN A LAS PERSONAS Y CUYOS NOMBRES SE HAN DESLATINIZADO

(traducida de Turland 2019, pp. 104-105, con la inclusión de ejemplos. Los destacados en azul provienen de los cuadros 1 o 2, en rojo de INA y AlgaeBase)

1a. El epíteto es un **adjetivo**:
- 2a. El nombre propio termina en **consonante**:
  - 3a. El género del nombre genérico es **masculino**: añadir **-ianus**.
    - (*Plocamiocolax papenfuss**ianus*** M. F. Martin et Pocock)
  - 3b. El género del nombre genérico es **femenino**: añadir **-iana**.
    - (*Bornetia binder**iana*** (Sonder) Zanardini)
  - 3c. El género del nombre genérico es **neutro**: añadir **-ianum**.
    - (*Coelosphaerium kuetzing**ianum*** Nägeli)
- 2b. El nombre propio termina en **vocal**:
  - 4a. El nombre propio termina en **-a**:
    - 5a. El género del nombre genérico es **masculino**: añadir **-nus**.
      - (*Actinocyclus kanaya**nus*** (Simonsen) F. Gómez & al.)
    - 5b. El género del nombre genérico es **femenino**: añadir **-na**.
      - (*Grateloupia huerta**na*** Mateo-Cid & al.)
    - 5c. El género del nombre genérico es **neutro**: añadir **-num**.
      - (*Alsidium oliveira**num*** S. M. Guimarães & M. T. Fujii)
  - 4b. El nombre propio termina en **-e, -i, -o, -u** o **-y**:
    - 6a. El género del nombre genérico es masculino: añadir **-anus**.
      - (*Chondracanthus harvey**anus*** (Kützing) Guiry)
    - 6b. El género del nombre genérico es femenino: añadir **-ana**.
      - (*Woronichinia naegeli**ana*** (Unger) Elenkin)
    - 6c. El género del nombre genérico es neutro: añadir **-anum**.
      - (*Actinotaenium moore**anum*** (W. Archer) Teiling)

1b. El epíteto es un **sustantivo** en **genitivo**:
- 7a. El nombre propio termina en **consonante** (**pero no en -er**):
  - 8a. **Una persona** está siendo homenajeada:
    - 9a. La persona es **hombre**: añadir **-ii**.
      - (*Trachelomonas beltran**ii*** Osorio Tafall)
    - 9b. La persona es **mujer**: añadir **-iae**.
      - (*Liagora abbott**iae*** E. Y. Dawson)
  - 8b. **Dos o más personas** están siendo homenajeadas:
    - 10a. Al menos una persona es **hombre**: añadir **-iorum**.
      - (*Laurencia aguilar-rosasi**orum*** J. N. Norris)
    - 10b. Todas las personas son **mujeres**: añadir **-iarum**.
      - (*Antithamnion bayles**iarum*** N. L. Gardner)

7b. El nombre propio termina en **vocal** o **-er**:
11a. El nombre propio termina en **-a**:
12a. Se honra a **una persona** (hombre o mujer): añadir **-e**.
(*Xenococcus candelaria**e*** Tavera & Komárek)
12b. Se homenajea a **dos o más persona**s (hombres o mujeres): añadir **-rum**.
(*Fragilaria barbara**rum*** Witkowski & al.)
11b. El nombre propio termina en **-e, -er, -i, -o, -u** o **-y**:
13a. **Una persona** está siendo homenajeada:
14a. La persona es **hombre**: añadir **-i**.
(*Chondracanthus zertuche**i*** J. N. Norris & Fredericq)
14b. La persona es **mujer**: añadir **-ae**.
(*Pseudostaurosira caballero**ae*** Salinas & al.)
13b. **Dos o más personas** están siendo homenajeadas:
15a. **Al menos una persona es hombre**: añadir **-orum**.
(*Amphora peragall**orum*** Van Heurck)
15b. **Todas las personas son mujeres**: añadir **-arum**.
No localizamos un ejemplo, en algas, de esta condición.

Otra versión de esta clave se puede consultar también en el sitio de *Notulae Algarum* de Mike Guiry, en la sección honorific epithets (https://www.notulaealgarum.com/nomenclature/personal_epithet_formation.html).

De esta manera, una combinación que sí merece ser corregida de acuerdo con el art. 60, es el caso de *Sargassum ulixei* G. Andrade Sorcia & S. M. Boo. Como los autores apuntan, "The species epithet '*ulixei*' refers to the character in Homer's Odyssey, giving credit to the long trips and difficulties encountered when studying the *Sargassum* taxonomy" (Andrade-Sorcia *et al.* 2014, p. 212) (El epíteto de la especie '*ulixei*' se refiere al personaje de la Odisea de Homero, dando crédito a los largos viajes y dificultades encontradas al estudiar la taxonomía del sargazo). Así, al hacer referencia al nombre de Ulysses o Ulixes (Ulises), el epíteto se debe corregir de acuerdo con el art. 60.8, a la forma *ulixesii*, que es el sustantivo elegido por los autores. Por lo tanto, el nombre correcto para esta especie es *Sargassum ulixesii*

Para ilustrar estas situaciones y que pudieran servir de directriz en la construcción o corrección de nombres dedicados a personas, hemos elegido algunos ejemplos que se muestran en los Cuadros 1 y 2. Los de algas marinas (Cuadro 1) corresponden a todos los nombres correctos, que se encuentran en la ficoflora del Pacífico mexicano, 246 de un total de 1277 epítetos, el 20 % de los nombres han sido dedicados o conmemoran personas y en el Cuadro 2 se muestran los de agua dulce registrados a la fecha (377 de 4268, solo el 8 %)

Algunas lecturas recomendadas, para aquellos que deseen profundizar en este tema, son Nicolson & Brooks (1974), Nicolson (1974,1991), Short & George (2013) y Stearn (1992).

LOS NOMBRES GEOGRÁFICOS NO SE CONSIDERAN EPÍTETOS CONMEMORATIVOS.

No hay que confundir nombres geográficos, con nombres propios de personas. Un ejemplo para ilustrar esta situación es *Reticulobotrys catalinae* E. Y. Dawson. La terminación *ae*, como vimos arriba, está circunscrita a terminaciones de epítetos que conmemoran a una mujer en genitivo. En el caso de *Reticulobotrys catalinae*, el epíteto parece provenir de la localidad tipo de esta especie, Isla Catalina, California, no de algún nombre propio, como es el caso de *Pseudostaurosira catalinae* M. L. García & al., una diatomea argentina de agua dulce dedicada a Catalina Vega Bustos (Garcia *et al.* 2021, p. 262). Aunque en el caso de Catalina, como entidad geográfica, Stearn (1992) considera que puede usarse la terminación *ae*, por ser un nombre tratado gramaticalmente como palabra latina en femenino, la recomendación 60D.1 del CIN sugiere usar, de preferencia, las terminaciones *-ensis*, *-(a)nus, -inus e -icus* ("Un epíteto derivado de un nombre geográfico debería ser con preferencia un adjetivo, que usualmente lleva una de las terminaciones *-ensis, -(a)nus, -inus e -icus*"); así la especie de Dawson debería denominarse *Reticulobotrys catalinensis*. Sin embargo, al ser una recomendación, no obliga la corrección. Ante la posible confusión entre el nombre geográfico y el personal, sería adecuado seguir la sugerencia del CIN. *Kuckuckia catalinae* Hollenberg y *Chaetomorpha catalinae* E. Y. Dawson también refieren a la localidad tipo y no a una persona. Un caso similar son los nombres derivados del lago Victoria (*Romeria victoriae* Komárek & Cronberg). Una derivación de este caso son los que se refieren a nombres genéricos que son empleados como epítetos y que a su vez fueron nombrados en

honor a alguien. Por ejemplo, *Tryblionella victoriae* Grunow fue nombrada por crecer sobre *Victoria regia* Lindl. (= *Victoria amazonica* (Poepp.) Sowerby) (el nenúfar, con nombre genérico en honor de la Reina Victoria) y *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J. B. Petersen y *Naviculadicta vaucheriae* (J. B. Petersen) Lange-Bertalot indican que viven en especies de *Vaucheria*. El género *Vaucheria* está dedicado a Jean-Pierre Étienne Vaucher, un botánico suizo.

LA POLÉMICA ACTUAL DE LOS EPÓNIMOS.

Arriba mencionamos las acciones para reconocer a hombres y mujeres por igual en los epónimos. Esta reflexión de varios años, sobre los epítetos ha llevado recientemente al cuestionamiento ético del contenido en ellos, algo ya mencionado brevemente en Pedroche & Guiry (2024, p. 34). La pregunta toral es y sigue siendo ¿A quién honrar en los epítetos taxonómicos? Ya en su obra *Philosophia Botanica* (Linnaeus 1751) (Fig. 2), Linnaeus planteó que conservaría los nombres de aquellos que hayan promovido la botánica "*Nomina generica poëtica, deorum ficta regum confecrata & Promotorum Botanices promerita, retineo*" (p. 170, secc. 237) y "*Nomina generica, ad Botanici optime meriti memoriam confervandam construct, fancte fervanda sunt*" (p. 171, secc. 238). Esto, como mucho de lo que se propone, no se promovió y con el paso del tiempo "expresar actitudes emocionales específicas hacia personas o grupos particulares" (Pavlinov 2025) ha desatado controversia con abundantes publicaciones en los últimos tres años. Por lo general, los epónimos se refieren a colectores científicos, investigadores o, en su momento, promotores de expediciones o que las financiaban, apreciándose esto último como una muestra del colonialismo, de poder y en algunos casos, de la opresión hacia ciertos pueblos (Guedes *et al.* 2023). Esta controversia ha ido desde un extremo, como el planteado por Guedes *et al.* (2023) de eliminar del elenco nomenclatural todos los epítetos conmemorativos, pues varios de ellos son ofensivos hacia comunidades o culturas, o bien sirven para burlarse de personajes de la política, ciencia o sociedad. En el extremo opuesto la manifestación de que cambios en los nombres fomentan la inestabilidad nomenclatural y su impacto en otras áreas de conocimiento como la conservación (Ceríaco *et al.* 2023; Jablonski & Dufresnes 2024), incluso con manifestaciones, más de 1500 autores, de que en este aspecto son los taxónomos los que deben de opinar y no personas, que aunque con buenas intenciones, no han visto las consecuencias de modificar o eliminar algunos nombres científicos (Jiménez-Mejías *et al.* 2024). Esta controversia no solo cubre nombres propios sino también acrónimos de compañías o instituciones (Oren *et al.* 2017). Posturas intermedias enfatizan que los epónimos pueden promover la equidad de género en la taxonomía actual (Pétillon *et al.* 2025). Como apunta Pavlinov (2025) los nombres son el resultado de las emociones de ciertas personas; entonces quizá la controversia debería ser hacia los autores de esos nombres y no a los nombres en sí. De esa manera, los nombres no son los que deberían ser eliminados. No hay claridad en qué terminarán estas opiniones.

Por lo pronto, en el último Congreso Internacional de Botánica se votó por modificar el epíteto, considerado racialmente ofensivo, "*caffra*" y sustituirlo por "*affra*" en alrededor de 200 especies (Chala *et al.* 2024).

El CIN nuevo, en el art. 61.6 claramente estipula que "epítetos derivados de la raíz *caf[f][e]r-*, p. ej. *cafra, caffra, cafrorum* y *cafrum*, no se admiten en los nombres de organismos tratados en este Código. Cuando esos epítetos fueron usados en nombres válidamente publicados, se tratan como variantes ortográficas que se deben reemplazar por epítetos derivados de *af[e]r-*, p.ej., respectivamente, *afra, afrorum* y *afrum*". El hecho es que la estabilidad nomenclatural se ve comprometida. No así para propuestas futuras, pues en el CIN actual (Turland *et al.* 2025) en el art. 51.2 se establece: "un nombre legítimo de un taxón nuevo o un nombre de reemplazo publicado después del **1 de enero de 2026**, inclusive, **puede ser rechazado** (según el Art. 56.1) porque él mismo, o su epíteto, es despreciativo para un grupo de personas" (negritas nuestras) y la nueva rec. 51A.1, aconseja evitar publicar nombres de nuevos taxones o nombres de reemplazo que puedan considerarse inapropiados, desagradables, ofensivos o inaceptables (Greuter *et al.* 2025, p. xxv).

AGRADECIMIENTOS

A Alejandra Mireles por su apoyo en la obtención de nombres honrados por epónimos. El Index Nominum Algarum y AlgaeBase nos facilitaron la búsqueda de autores y referencias antiguas.

REFERENCIAS

Acosta Calderón, J.A., E.F. Rosas Alquicira, N. Quiroz González, M.J. Trejo Méndez, & V. Islas Villanueva. 2025. Molecular analyses reveal a misidentification of *Gracilaria parvispora* Abbott 1985 (Gracilariales, Rhodophyta) in the southern Mexican Pacific and the proposal of *Gracilaria huavensis* sp. nov. *Phycological Research* 73: 53–59. https://doi.org/10.1111/pre.12585

Andrade-Sorcia, G., R. Riosmena-Rodriguez, R. Muñiz-Salazar, J.M. López-Vivas, G.H. Boo, K.M. Lee, & S.M. Boo. 2014. Morphological reassessment and molecular assessment of *Sargassum* (Fucales: Phaeophyceae) species from the Gulf of California, Mexico. *Phytotaxa* 183: 201–223. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.183.4.1

Candolle, A.d. 1867. Lois de la nomenclature botanique. Geneve et Bale, Paris, Masson.

Candolle, A.d. 1883. *Nouvelles remarques sur la nomenclature botanique : Supplément au commentaire du même auteur qui accompagnait le texte des Lois*. H. Georg, Genève. https://doi.org/10.5962/bhl.title.127596

Ceríaco, L.M.P., E. Aescht, S.T. Ahyong, A. Ballerio, P. Bouchard, T. Bourgoin, D. Dmitriev, N. Evenhuis, M.J. Grygier, M.S. Harvey, M. Kottelat, N. Kluge, F.-T. Krell, J.-I. Kojima, S.O. Kullander, P. Lucinda, C.H.C. Lyal, R.L. Pyle, F.E. Rheindt, C. Luisa Scioscia, F. Welter-Schultes, D. Whitmore, D. Yanega, Z.-Q. Zhang, H.-Z. Zhou, & T. Pape. 2023. Renaming taxa on ethical grounds threatens nomenclatural stability and scientific communication: Communication from the International Commission on Zoological Nomenclature. *Zoological Journal of the Linnean Society* 197: 283–286. https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlac107

Chala, D., D. Endresen, S. Demissew, L.A. Slaughter, E.B. Johnsen, & N.C. Stenseth. 2024. Stop using racist, unethical, and inappropriate names in taxonomy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121: e2415490121. https://doi.org/10.1073/pnas.2415490121

Garcia, M.L., S. Bustos, L.A. Villacis, C. Laprida, C. Mayr, P.I. Moreno, N.I. Maidana, & E.A. Morales. 2021. New araphid species of the genus *Pseudostaurosira* (Bacillariophyceae) from southern Patagonia. *European Journal of Phycology* 56: 255–272. https://doi.org/10.1080/09670262.2020.1813810

Greuter, W., R.G. Rankin Rodríguez, J.C. Zamora Señoret & L.A. Parra Sánchez (traductores); N.J. Turland, J.H. Wiersema, F.R. Barrie, K.N. Gandhi, J. Gravendyck, W. Greuter, D.L. Hawksworth, P.S. Herendeen, R.R. Klopper, S. Knapp, W.-H. Kusber, D.-Z. Li, T.W. May, A.M. Monro, J. Prado, M.J. Price, G.F. Smith, & J.C. Zamora Señoret (autores). 2025. *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas.* VI edición en español (Código de Madrid). Occasional papers from the Herbarium Greuter 6: i-liv; 1-344. Stiftung Herbarium Greuter, Berlin. https://rjb.csic.es/wp-content/uploads/2025/08/codigo-de-madrid-internacional-nomenclatura-algas-hongos-plantas-2025.pdf

Guedes, P., F. Alves-Martins, J.M. Arribas, S. Chatterjee, A.M.C. Santos, A. Lewin, L. Bako, P.W. Webala, R.A. Correia, R. Rocha, & R.J. Ladle. 2023. Eponyms have no place in 21st-century biological nomenclature. *Nature Ecology & Evolution* 7: 1157–1160. https://doi.org/10.1038/s41559-023-02022-y

Jablonski, D., & D. Dufresnes. 2024. Nomenclatural censorship puts biodiversity conservation and taxonomic science at risk. *Alytes* 41: 1–4. https://doi.org/10.5281/zenodo.16896520

Jiménez-Mejías, P., S. Manzano V. Gowda, F.-T. Krell, M.-Y. Lin, S. Martín-Bravo, L. Martín-Torrijos, G. Nieto Feliner, S.L. Mosyakin, R.F.C. Naczi, C. Acedo, I. Álvarez, J.V. Crisci, M. Luceño Garcés, J. Manning, J.C. Moreno Saiz, A.M. Muasya, R. Riina, A.S. Meseguer, D. Sánchez-Mata, & 153 coauthors 2024. Protecting stable biological nomenclatural systems enables universal communication: A collective international appeal. *BioScience* 74: 467–472. https://doi.org/10.1093/biosci/biae043

Lindley, J. 1832. An introduction to botany. Longman, Rees, Orme, Brown, Green, & Longman, London.

Linnaeus, C. 1751. Philosophia botanica in qua explicantur fundamenta botanica cum definitionibus partium ….. Godofr. Kiesewetter, Stockholmo.

Macêdo, R.L., L.M.A. Elmoor-Loureiro, F.D.R. Sousa, A.C. Rietzler, G. Perbiche-Neves, & O. Rocha. 2023. From pioneers to modern-day taxonomists: the good, the bad, and the idiosyncrasies in choosing species epithets of rotifers and microcrustaceans. *Hydrobiologia* 850: 4271–4282. https://doi.org/10.1007/s10750-023-05302-7

Maiden, J.H. 1906. The international rules of botanical nomenclature. (Adopted by the International Botanical Congress, Vienna, 1905). *Journal and proceedings of the Royal Society of New South Wales* 40: 74–94.

Nicolson, D.H. 1974. Orthography of names and epithets: latinization of personal names. *TAXON* 23: 549–561. https://doi.org/10.2307/1218779

Nicolson, D.H. 1991. A History of botanical nomenclature. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 78: 33–56. https://doi.org/10.2307/2399589

Nicolson, D.H., & R.A. Brooks. 1974. Orthography of names and epithets: stems and compound words. *TAXON* 23: 163–177. https://doi.org/10.2307/1218097

Oren, A., G.M. Garrity, B. Schink, & S. Ventura. 2017. 'Localimania' revisited: guidelines for the formation of specific epithets for names of prokaryotes based on names of institutions or their acronyms. A proposal for emendation of Appendix 9 to the International Code of Nomenclature of Prokaryotes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 67: 1618–1619. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001816

Pavlinov, I.Y. 2025. An analytical review of contemporary debates over nomenclature in biological systematics. *Biology Bulletin* 52:34. https://doi.org/10.1134/S1062359024611856

Pedroche, F.F., & G.M. Guiry. 2024. El gran desafío de publicar especies nuevas en ficología. *Cymbella* 10: 32–36. https:doi.org/10.22201/fc.24488100e.2024.10.1-3.4

Pétillon, J., C. Noël, A. Brescovit, Y.M. Marusik, C.A.

Rheims, X. Xu, D. Fontaneto, & S. Mammola. 2025. The use of eponyms can also promote gender equity in modern taxonomy. *BioScience* 75: 691–694. https://doi.org/10.1093/biosci/biaf083

Sentíes, A., A.C. Mendoza-González, L.E. Mateo-Cid, J. Díaz-Larrea, G.A. Ceballos-Corona, & M.T. Fujii. 2014. *Osmundea purepecha*, n. sp. (Rhodophyta: Ceramiales), from the Pacific tropical coast of Mexico, based on morphological and molecular data. *Pacific Science* 68: 295–304. https://doi.org/10.2984/68.2.9

Short, E., & A. George. 2013. A primer of botanical Latin with vocabulary. Cambridge University Press, Cambridge. https://doi.org/10.1017/CBO9781139525268

Silva, P.C. 1997. The correct spelling of commemorative epithets. *The Jepson Globe* 8:1, 3.

Stafleu, F.A., V. Demoulin, W. Greuter, P. Hiepko, I.A. ILinczevski, R. McVaugh, R.D. Meikle, R.C. Rollins, R. Ross, J.M. Schopf, & E.G. Voss. (eds.). 1978. *International code of botanical nomenclature adopted by the Twelfth International Botanical Congress, Leningrad*, July 1975.

Stearn, W.T. 1992. *Botanical latin. History, grammar, syntax, terminology and vocabulary*, 4th ed. Timber Press, Portland.

Turland, N.J. 2019. *The Code decoded. A user's guide to the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*, 2a. ed. Pensoft Publishers, Sofia.

Turland, N.J., J.H. Wiersema, F.R. Barrie, K.N. Gandhi, J. Gravendyck, W. Greuter, D.L. Hawksworth, P.S. Herendeen, R.R. Klopper, S. Knapp, W.-H. Kusber, D.-Z. Li, T.W. May, A.M. Monro, J. Prado, M.J. Price, G.F. Smith, & J. C. Zamora Señoret. 2025. *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (Madrid Code). Regnum Vegetabile 162. University of Chicago Press, Chicago.

Sometido: 5 de septiembre de 2025
Revisado: 22 de septiembre de 2025
Corregido: 28 de septiembre de 2025
Aceptado: 29 de septiembre de 2025

CUADRO 1. Epónimos presentes en la ficoflora marina del Pacífico mexicano. Se han ordenado por la persona a la que conmemoran y su frecuencia.

Liagora abbottiae E. Y. Dawson	I. A. Abbott
Tsengia abbottiana (J. N. Norris & Bucher) J. N. Norris & Bucher	I. A. Abbott
Sargassum agardhianum Farlow	J. Agardh
Mastocarpus agardhii (Setchell & N. L. Gardner) S. C. Lindstrom & al.	J. Agardh
Laurencia aguilar-rosasiorum J. N. Norris	L. E. & R. Aguilar Rosas
Pyropia raulaguilarii Mateo-Cid & al.	R. Aguilar Rosas
Haplogloia andersonii (Farlow) Levring	C. L. Anderson
Cumagloia andersonii (Farlow) Setchell & N. L. Gardner	C. L. Anderson
Nienburgia andersoniana (J. Agardh) Kylin	C. L. Anderson
Hildenbrandia ardreae Pedroche	F. Ardré
Symphyocladiella baileyi (Harvey) D. E. Bustamante & al.	J. W. Bailey
Kallymenia baldwinii E. Y. Dawson	W. J. Baldwin
Dictyota bartayresiana J. V. Lamouroux	J. B. F. de Bartayres ?
Neosiphonia beaudettei (Hollenberg) M.-S. Kim & I. A. Abbott	P. Beaudette
Amphiroa beauvoisii J. V. Lamouroux	P. de Beauvois
Corallina berteroi Montagne ex Kützing	C. G. Bertero
Bornetia binderiana (Sonder) Zanardini	F. Binder
Pachydictyon binghamiae (J. Agardh) E. Y. Dawson	C. Bingham
Petalonia binghamiae (J. Agardh) Vinogradova	C. Bingham
Dasya binghamiae A. J. K. Millar	C. Bingham
Leptocladia binghamiae J. Agardh	C. Bingham
Kallymenia bleckii E. Y. Dawson	J. Bleck
Osmundea blinksii (Hollenberg & I. A. Abbott) K. W. Nam	L. R. Blinks
Gracilaria blodgettii Harvey	J. L. Blodgett
Codium brandegeei Setchell & N. L. Gardner	T. S. Brandegee
Nemacystus brandegeei (Setchell & N. L. Gardner) Kylin	T. S. Brandegee
Stolonophora brandegeei (Setchell & N. L. Gardner) Nizamuddin	T. S. Brandegee
Leptosiphonia brodiei (Dillwyn) Savoie & G. W. Saunders	J. Brodie
Hincksia bryantii (Setchell & N. L. Gardner) J. N. Norris	H. Bryant
Plocamium katinae J. N. Norris	K. E. Bucher
Carpopeltis bushiae (Farlow) Kylin	K. J. Bush
Hydrolithon boergesenii (Foslie) Foslie	F. Børgesen
Chondracanthus chamissoi (C. Agardh) Kützing	A. von Chamisso
Caulerpa chemnitzia (Esper) J. V. Lamouroux	J. H. Chemnitz
Irvinea chiajeana (Meneghini) Cormaci & al.	S. D. Chiaje
Grateloupia chiangii S. Kawaguchi & H. W. Wang	Y.-M. Chiang
Phyllophora clevelandii Farlow	D. Cleveland

Platysiphonia clevelandii (Farlow) Papenfuss	D. Cleveland
Rhodoglossum cobinae E. Y. Dawson	Cobina Wright
Streblonema collinsii E. Taskin, M.J. Wynne & M. Öztürk	F. S. Collins
Ceramothamnion coulteri (Harvey) M. J. Wynne & C. W. Schneider	T. Coulter
Gelidium coulteri Harvey	T. Coulter
Gracilaria textorii var. *cunninghamii* (J. Agardh) E. Y. Dawson	A. Cunningham
Amphiroa currae Ganesan	R. A. Curra
Bossiella orbigniana (Decaisne) P. C. Silva	A. d'Orbigny
Padina durvillei Bory	J. D. D'Urville
Dactylosiphon durvillei (Bory) Santiañez & al.	J. D. D'Urville
Gymnogongrus durvillei (Bory) M. S. Calderon & S. M. Boo	J. D. D'Urville
Colaconema daviesii (Dillwyn) H. Stegenga	H. Davies
Blidingia dawsonii (Hollenberg & I. A. Abbott) S. C. Lindstrom & al.	E. Y. Dawson
Codium dawsonii P. C. Silva & al.	E. Y. Dawson
Gayliella dawsonii (A. B. Joly) Barros-Barreto & F. P. Gomes	E. Y. Dawson
Gelidium dawsonii Quiroz-González & Acosta-Calderón	E. Y. Dawson
Murrayellopsis dawsonii E. Post	E. Y. Dawson
Rhodymenia dawsonii W. R. Taylor	E. Y. Dawson
Sebdenia dawsonii (I. A. Abbott) G. I. Hansen	E. Y. Dawson
Fredericqia decewii Maggs & al.	T. DeCew
Lithothamniom diguetii Hariot	L. Diguet
Scytosiphon dotyi M. J. Wynne	M. S. Doty
Cruoriella dubyi (P. Crouan & H. Crouan) Schmitz	J. É. Duby
Feldmannia duchassaingiana (Grunow) Aisha & M. Shameel	M. C. V. Duchassaing
Acrochaetium eastwoodiae (Setchell & N. L. Gardner) Papenfuss	A. Eastwood
Melanothamnus eastwoodiae (Setchell & N. L. Gardner) Díaz-Tapia & Maggs	A. Eastwood
Corallophila eatoniana (Farlow) T. O. Cho & al.	H. F. Eaton
Magnephycus engelhartii (Foslie) Athanasiadis & D. L. Ballantine	A. Engelhart
Hypnea musciformis var. *esperi* J. Agardh	E. J. C. Esper
Ceramium evermannii Setchell & N. L. Gardner	B. W. Evermann
Platoma fanii E. Y. Dawson	K. C. Fan
Acetabularia farlowii Solms-Laubach	W. G. Farlow
Zonaria farlowii Setchell & N. L. Gardner	W. G. Farlow
Laminaria farlowii Setchell	W. G. Farlow
Pterosiphonia farlowii Hollenberg	W. G. Farlow
Laurencia fenicalii J. N. Norris	W. Fenical
Binghamia forkii (E. Y. Dawson) P. C. Silva	D. Fork
Laurencia mutueae Sentíes & al.	M. T. Fujii
Colaconema garbaryi P. W. Gabrielson	D. J. Garbary
Polysiphonia nathanielii Hollenberg	N. L. Gardner

Campylaephora gardneri (Kylin) Barros-Barreto & Maggs	N. L. Gardner
Fryeella gardneri (Setchell) Kylin	N. L. Gardner
Gracilaria gardneri (Setchell) Gurgel & al.	N. L. Gardner
Halymenia gardneri (Kylin) P. G. Parkinson	N. L. Gardner
Heterojanczewskia gardneri (Setchell & Guernsey) K. W. Nam	N. L. Gardner
Hypnea valentiae var. *gardneri* Hollenberg	N. L. Gardner
Phycodrys gardneri (Setchell) J. M. Freese & C. E. Lane	N. L. Gardner
Polysiphonia hendryi var. *gardneri* (Kylin) Hollenberg	N. L. Gardner
Pyropia gardneri (G. M. Smith & Hollenberg) S. C. Lindstrom	N. L. Gardner
Centroceras gasparrinii (Meneghini) Kützing	G. Gasparrini
Sarcodiotheca gaudichaudii (Montagne) P. W. Gabrielson	C. Gaudichaud-Beaupré
Ceramium giacconei Cormaci & G. Furnari	G. Giaccone
Melobesia gibbsii Setchell & Foslie	R. E. Gibbs
Gelidium gonzalezii D. Rodríguez & al.	J. González-González
Antithamnionella graeffei (Grunow) Athanasiadis	E. H. Graeffe
Valoniopsis hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Ectocarpus hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Neoralfsia hancockii (E. Y. Dawson) D. León-Álvarez & M. L. Nuñez-Reséndiz	G. A. Hancock
Cutleria hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Ahnfeltiopsis hancockii (E. Y. Dawson) J. N. Norris & Fredericq	G. A. Hancock
Colaconema hancockii (E. Y. Dawson) J. N. Norris	G. A. Hancock
Amphiroa hancockii W. R. Taylor	G. A. Hancock
Gelidiella hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Grateloupia hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Irvinea hancockii (E. Y. Dawson) R. J. Wilkes & al.	G. A. Hancock
Laurencia hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Lithophyllum hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Mazzaella hancockii (E. Y. Dawson) Fredericq in Hommersand	G. A. Hancock
Melanothamnus hancockii (E. Y. Dawson) Díaz-Tapia y Maggs	G. A. Hancock
Peyssonnelia hancockii (E. Y. Dawson) Denizot	G. A. Hancock
Polyneurella hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Prionitis hancockii W. R. Taylor	G. A. Hancock
Rhodymenia hancockii E. Y. Dawson	G. A. Hancock
Chondracanthus harveyanus (Kützing) Guiry	W. H. Harvey
Vertebrata hendryi (N. L. Gardner) Savoie & G. W. Saunders	G. W. Hendry
Cladophora hesperia Setchell y N. L. Gardner	E. J. C. Hesper
Chlorodesmis hildebrandtii A. Gepp & E. Gepp	J. Hildebrandt
Derbesia hollenbergii W. R. Taylor	G. J. Hollenberg
Halymenia hollenbergii I. A. Abbott	G. J. Hollenberg
Herposiphonia hollenbergii E. Y. Dawson	G. J. Hollenberg

Laurencia gardneri Hollenberg	G. J. Hollenberg
Nitophyllum hollenbergii (Kylin) I. A. Abbott	G. J. Hollenberg
Polysiphonia hollenbergii J. N. Norris	G. J. Hollenberg
Pyropia hollenbergii (E. Y. Dawson) J. E. Sutherland & al.	G. J. Hollenberg
*Gaillona hookeri (*Dillwyn) Athanasiadis	W. J. Hooker
Gloiocladia hoshawii (E. Y. Dawson) J. N. Norris	R. W. Hoshaw
Lejolisia hoshawii E. Y. Dawson	R. W. Hoshaw
Grateloupia howeii Setchell & N. L. Gardner	M. A. Howe
Spatoglossum howellii Setchell & N. L. Gardner	J. T. Howell
Sargassum howellii Setchell	J. T. Howell
Ceramium howellii Setchell & N. L. Gardner	J. T. Howell
Weeksia howelli Setchell & N. L. Gardner	J. T. Howell
Codium hubbsii E. Y. Dawson	C. L. Hubbs
Antithamnion hubbsii E. Y. Dawson	C. L. Hubbs
Grateloupia huertana Mateo-Cid & al.	L. Huerta Muzquiz
Jania huertae Chávez	L. Huerta Muzquiz
Laurencia iriei J. N. Norris & Fenical	T. Irie
Myriactula johnstonii (Setchell & N. L. Gardner) Feldmann	I. M. Johnston
Sargassum johnstonii Setchell & N. L. Gardner	I. M. Johnston
Ceramium sinicola var. *johnstonii* (Setchell & N. L. Gardner) E. Y. Dawson	I. M. Johnston
Gelidium johnstonii Setchell & N. L. Gardner	I. M. Johnston
Gymnogongrus johnstonii (Setchell & N. L. Gardner) E. Y. Dawson	I. M. Johnston
Hypnea johnstonii Setchell & N. L. Gardner	I. M. Johnston
Laurencia johnstonii Setchell & N. L. Gardner	I. M. Johnston
Melanothamnus johnstonii (Setchell & N. L. Gardner) Díaz-Tapia y Maggs	I. M. Johnston
Scinaia johnstoniae Setchell	H. D. Johnston
Codium johnstonei P. C. Silva	G. R. Johnstone
Dictyopteris johnstonei N. L. Gardner	G. R. Johnstone
Corallophila kleiwegii Weber-van Bosse	J. P. Kleiweg De Zwaan
Antithamnion kylinii N. L. Gardner	H. Kylin
Chaetomorpha picquotiana Montagne ex Kützing	M. Lamare-Piquot
Cladophora lehmanniana (Lindenberg) Kützing	J. G. C. Lehmann
Taonia lennebackerae Farlow ex J. Agardh	H. Lennebacker
Phymatolithon lenormandi (Areschoug) W. H. Adey	S. R. Lenormand
Caloglossa leprieurii (Montagne) G. Martens	F. M. R. Leprieur
Cladophora liebetruthii Grunow	Dr. Liebetruth
Sargassum liebmannii J. Agardh	F. Liebmann
Ceramium luetzelburgii O. C. Schmidt	P. von Luetzelburg
Cladophora macdougalii M. Howe	D. T. MacDougal
Ulvella marchantiae (Setchell & N. L. Gardner) R. Nielsen & al.	N. Marchant

Myriactula marchantiae (Setchell & N. L. Gardner) Feldmann	N. Marchant
Sphacelaria masonii Setchell & N. L. Gardner	H. L. Mason
Dictyota masonii Setchell & N. L. Gardner	H. L. Mason
Gayliella masonii (E. Y. Dawson) Huisman	H. L. Mason
Laurencia masonii Setchel & N. L. Gardner	H. L. Mason
Melanothamnus masonii (Setchell & N. L. Gardner) Díaz-Tapia & Maggs	H. L. Mason
Predaea masonii (Setchell & N. L. Gardner) G. De Toni	H. L. Mason
Gayliella mazoyerae T. O. Cho & al.	G. F. Mazoyer
Antithamnion mcnabbii E. Y. Dawson	J. McNabb
Gelidium mcnabbianum (E. Y. Dawson) Santelices	J. McNabb
Egregia menziesii (Turner) J. E. Areschoug	A. Menzies
Giffordia mitchelliae (Harvey) Hamel	M. Mitchell
Bostrychia moritziana (Sonder ex Kützing) J. Agardh	K. Moritz Diesing
Lithothamnion muelleri Lenormand ex Rosanoff	J. F. T. Müller
Ceramium nakamurae E. Y. Dawson	Y. Nakamura
Sporochnus neushulii J. N. Norris	M. Neushul
Botryocladia neushulii E. Y. Dawson	M. Neushul
Pneophyllum nicholsii (Setchell & L. R. Mason) P. C. Silva & P. W. Gabrielson	M. B. Nichols
Kallymenia norrisii Hollenberg & I. A. Abbott	R. E. Norris
Batophora oerstedii J. Agardh	A. S. Ørsted
Ulva ohnoi M. Hiraoka & S. Shimada	M. Ohno
Basicladia okamurae (Ueda) Garbary	K. Okamura
Rugulopteryx okamurae (E. Y. Dawson) I. K. Hwang & al.	K. Okamura
Caulacanthus okamurae Yamada	K. Okamura
Gloiocladia sefferi (M. Howe) J. N. Norris	P. Olsson-Seffer
Microdictyon palmeri Setchell	E. Palmer
Codium latum subsp. *palmeri* (E. Y. Dawson) P. C. Silva	E. Palmer
Sargassum palmeri Grunow	E. Palmer
Gelidium papenfussii Loomis	G. F. Papenfuss
Gracilaria papenfussii I. A. Abbott	G. F. Papenfuss
Ostreobium quekettii Bornet y Flahault	T. Quekett
Padina ramonribae Avila-Ortiz & al.	R. Riba
Lithophyllum reesei E. Y. Dawson	E. S. Reese
Laurencia richardsii E. Y. Dawson	A. Richards
Digenea rafaelii G. H. Boo, G. Andrade-Sorcia & S. M. Boo	R. Riosmena Rodríguez
Ceramothamnion riosmenae (B. Y. Won & T. O. Cho) M. J. Wynne & C. W. Schneider	R. Riosmena Rodríguez
Cryptopleura ruprechtiana (J. Agardh) Kylin	F. J. Ruprecht
Calliblepharis saidana (Holmes) M. Y. Yang & M. S. Kim	Saida
Hincksia sandriana (Zanardini) P. C. Silva	G. B. Sandri
Hincksia saundersii (Setchell & N. L. Gardner) P. C. Silva	W. E. Saunders

Melanothamnus savatieri (Hariot) Díaz-Tapia & Maggs	P. A. L. Savatier
Acetabularia schenckii Möbius	J. H. R. Schenck
Codium schmiederi P. C. Silva & al.	R. W. Schmieder
Bossiella schmittii (Manza) H. W. Johansen	W. L-S. Schmitt
Spatoglossum schroederi (C. Agardh) Kützing	J. Schröder
Ochtodes searlesii Mendoza-González & al.	R. B. Searles
Ulvella setchellii P. J. L. Dangeard	W. A. Setchell
Codium setchellii N. L. Gardner	W. A. Setchell
Laminaria setchellii P. C. Silva	W. A. Setchell
Stephanocystis setchellii (N. L. Gardner) Draisma & al.	W. A. Setchell
Neogoniolithon setchellii (Foslie) W. H. Adey	W. A. Setchell
Norrissia setchellii (Kylin) M. S. Balakrishnan	W. A. Setchell
Phycodrys setchellii Skottsberg	W. A. Setchell
Ahnfeltiopsis smithii (W. R. Taylor) K. M. Dreckmann & Stout	G. M. Smith
Laurencia snyderae E. Y. Dawson	M. S. Snyder
Tiffaniella snyderae (Farlow) I. A. Abbott	M. S. Snyder
Janczewskia solmsii Setchell & Guernsey	H. M. C. L. F. zu Solms-Laubach
Zanardinula sternbergii (C. Agardh) G. De Toni	K. M. von Sternberg
Cladophora stimpsonii Harvey	W. Stimpson
Ahnfeltia svensonii W. R. Taylor	H. K. Svenson
Ulva tanneri H. S. Hayden y J. R. Waaland	C. E. Tanner
Amphiroa taylorii E. Y. Dawson	W. R. Taylor
Cryptonemia taylorii I. A. Abbott	W. R. Taylor
Gayliella taylorii (E. Y. Dawson) T. O. Cho & S. M. Boo	W. R. Taylor
Sarcodiotheca taylorii E. Y. Dawson	W. R. Taylor
Sargassum templetonii Setchell	C. Templeton
Weeksia templetonii Setchell & N. L. Gardner	C. Templeton
Gracilaria textorii (Suringar) Hariot	C. J. Textor
Callophyllis thompsonii Setchell	N. F. Thompson
Choreonema thuretii (Bornet) F. Schmitz	G. A. Thuret
Pyropia thuretii (Setchell & E. Y. Dawson) J. E. Sutherland & al.	G. A. Thuret
Sargassum ulixesii G. Andrade Sorcia & S. M. Boo	Ulixes (Ulises)
Hypnea valentiae (Turner) Montagne	G. Annesley (Viscount Valentia)
Caulerpa chemnitzia var. *vanbosseae* (Setchell & N. L. Gardner) Fernández-García & Riosmena-Rodríguez	A. Weber-van Bosse
Neomeris van-bosseae M. Howe	A. Webber-van Bosse
Amphiroa vanbosseae Me. Lemoine	A. Webber-van Bosse
Dictyosphaeria versluysii WeberBosse	J. Versluys
Caulerpa vickersiae Børgesen	A. Vickers
Chaetomorpha vieillardii (Kützing) M. J. Wynne	E. Vieillard

Dictyota vivesii M. Howe	G. J. Vives
Gracilaria vivesii M. Howe	G. J. Vives
Pterosiphoniella williamsii E. Y. Dawson	W. Williams
Halorhipis winstonii (C. L. Anderson) D. A. Saunders	H. B. Winston
Pterochondria woodii (Harvey) Hollenberg	J. Wood
Urospora wormskioldii (Mertens ex Hornemann) Rosenvinge	M. Wormskjold
Spongites yendoi (Foslie) Y. M. Chamberlain	K. Yendo
Pikea yoshizakii C. A. Maggs & B. A. Ward	M. Yoshizaki
Chondracanthus zertuchei J. N. Norris & Fredericq	J. A. Zertuche

Cuadro 2. Epónimos presentes en la ficoflora de aguas continentales. Se han ordenado por la persona a la que conmemoran y su frecuencia.

Synura adamsii G. M. Smith	C. Adams
Planktothrix agardhii (Gomont) Anagnostidis & Komárek	C. A. Agardh
Aulacoseira agassizii (Ostenfeld) Simonsen	A. Agassiz
Staurastrum archeri W. West	Wm. Archer
Nitzschia archibaldii Lange Bertalot	R. E. M. Archibald
Anabaenopsis arnoldii Aptekarj	V. M. Arnoldi
Anathece bachmannii (Komárek & Cronberg) Komárek & al.	J. Bachmann
Desmidium baileyi (Ralfs) Nordstedt	J. W. Bailey
Pinnularia bardii Lange-Bertalot & Metzeltin	A. Bardi
Trachelomonas beltranii Osorio Tafall	E. Beltrán
Ankistrodesmus bernardii Komárek	Ch. Bernard
Trachelomonas bernardii Wołoszyńska	Ch. Bernard
Pinnularia bertrandii Krammer	J. Bertrand
Xenococcus bicudoi Montejano & al.	C. E. M Bicudo
Nitella blankinshipii T. F. Allen	Mr. Blankinship
Cosmarium blyttii Wille	Blytti
Lyngbya borgertii Lemmermann	A. Borgert
Tychonema bornetii (Zukal) Anagnostidis & Komárek	E. Bornet
Stauroneis borrichii (Petersen) Lund	Borrich
Tychonema bourrellyi (Lund) Anagnostidis & Komárek	P. Bourrelly
Caloneis branderi (Hustedt) Krammer	G. Brander
Botryococcus braunii Kützing	A. Braun
Calothrix braunii (A. Braun) Bornet & Flahault	A. Braun
Chara braunii C. Gmelin	A. Braun
Chlorolobion braunii (Nägeli) Komárek	A. Braun
Mastogloia braunii Grunow	A. Braun

Chlorolobion braunii (Nägeli) Komárek	A. Braun
Brachysira brebissonii Ross	L. A. de Brébisson
Pinnularia brebissonii (Kützing) Rabenhorst	L. A. de Brébisson
Rhopalodia brebissonii Krammer	L. A. de Brébisson
Surirella brebissonii Krammer & Lange-Bertalot	L. A. de Brébisson
Blennothrix bremii (Nägeli) Anagnostidis & Komárek	Bremi
Ditylum brightwellii (T. West) Grunow	T. Brightwell
Adlafia brockmannii (Hustedt) Bruder & Hinz	C. Brockmann
Staurastrum bullardii G. M. Smith	C. Bullard
Pseudostaurosira caballeroae Salinas & al.	M. Caballero
Euglena caballeroi Pérez Reyes & Salas Gómez	E. Caballero
Xenococcus candelariae Tavera & Komárek	C. Candelaria
Anabaena carmichaelii Cronberg & Komárek	W. W. Carmichael
Pseudostaurosira carmonae Salinas & al.	J. Carmona
Navicula caroliniae Bahls	T. Carolin
Frustulia cassieae Lange-Bertalot & Beier	V. Cassie
Encyonopsis cesatii (Rabenhorst) Krammer	Cesati
Hydrococcus cesatii Rabenhorst	Cesati
Cymbopleura chacii Novelo & al.	Chac
Euglena chadefaudii Bourrelly	M. Chadefaud
Luticola charcotii (M. Peragallo) Metzeltin & Lange-Bertalot	J. Charcot
Ducellieria chodatii (Ducellier) Teiling	R. Chodat
Lagerheimia chodatii Bernard	R. Chodat
Quadrigula chodatii (Tanner-Füllemann) G. M. Smith	R. Chodat
Nitzschia clausii Hantzsch	Claus
Luticola cohnii (Hilse) D. G. Mann	F. Cohn
Temnogyra collinsii I. F. Lewis	F. S. Collins
Aphanothece comasii Komárková-Legnerová & Tavera	A. Comas
Calothrix contarenii Bornet & Flahault	Contareni
Chlorogloea cuauhtemocii Komárek & Montejano	Cuauhtemoc
Parvodinium cunningtonii (Lemmermann) Pandeirada & al.	W. A. Cunnington
Sellaphora damasii (Hustedt) Wetzel & al.	H. Damas
Eunotia curtagrunowii Nörpel-Chempp & Lange-Bertalot	A. Grunow
Astasia dangeardii Lemmermann	P. A. Dangeard
Carteria dangeardii Troitzkaya	P. A. Dangeard
Phacus dangeardii var. *oblonga* (Skvortzov) Huber-Pestalozzi	P. A. Dangeard
Trachelomonas dangeardiana Deflandre	P. A. Dangeard
Surirella davidsonii Schmidt	Davidson
Bulbochaete debaryana Wittrock & Lundell	De Bary
Phacus denisii Allorge & Lefèvre	M. Denis

Closterium dianae Ehrenberg ex Ralfs	Diana
*Kirchneriella diana*e (Bohlin) Comas	Diana
Phormidium diguetii (Gomont) Anagnostidis & Komárek	L. Diguet
Pinnularia johndonatoi Metzeltin & Lange-Bertalot	J. Donato
Pinnularia dornii Metzeltin	A. Dorn
Chara drouetii (R. D. Wood) R. D. Wood	F. Drouet
Mougeotiella drouetii (Transeau) Yamagishi	F. Drouet
Gloeocapsopsis dvorakii (Novácek) Komárek & Anagnostidis	R. Dvořák
Monoraphidium dybowskii (Wołoszyńska) Hindák & Komárková-Legnerová	B. I. Dybowski
Caloneis ectorii Metzeltin & Lange-Bertalot	L. Ector
Dictyosphaerium ehrenbergianum Nägeli	C. G. Ehrenberg
Chlamydomonas ehrenbergii Gorozchankin	C. G. Ehrenberg
Closterium ehrenbergii Meneghini ex Ralfs	C. G. Ehrenberg
Euglena ehrenbergii Klebs	C. G. Ehrenberg
Pleurotaenium ehrenbergii (Brébisson) De Bary	C. G. Ehrenberg
Anabaenopsis elenkinii V. Miller	A. A. Elenkin
Chaetoceros elmorei Boyer	C. J. Elmore
Parvodinium elpatiewskyi (Ostenfeld) Kretschmann & al.	W. Elpatiewsky
Graesiella emersonii (Shihara & Krauss) Nozaki & al.	R. Emerson
Chroococcus ercegovicii Komárek & Anagnostidis	A. Ercegovic
Seminavis eulensteinii (Grunow) Danielidis & al.	C. Eulenstein
Thalassiosira faurii (Gasse) Hasle	Faur
Thalassionema frauenfeldii (Grunow) Tempère & H. Peragallo	Frauenfeld
Nitzschia amphibia f. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot	Frauenfeld
Woronichinia fremyi (Komárek) Komárek & Hindák	P. Frémy
Symplocastrum friesii (Gomont) Kirchner	E. M. Fries
Calothrix fritschii f. *flexuosa* (Fritsch) De Toni	F. E. Fritsch
Chlorogloeopsis fritschii (Mitra) Mitra & Pandey	F. E. Fritsch
Dimorphococcopsis fritschii (Crow) Jao	F. E. Fritsch
Leptolyngbya fritschii Anagnostidis	F. E. Fritsch
Macrospermum fuellebornii (Schmidle) Komárek	F. Fülleborn
Craticula fumantii Lange-Bertalot & al.	B. Fumanti
Blennothrix ganeshii Watanabe & Komárek	Ganesh
Encyonema gaeumannii (Meister) Krammer	Gäumann
Naviculadicta geisslerae (Jahn) Jahn	U. Geissler
Navicula germainii J. H. Wallace	H. Germain
Mastigosphaera gobii Schewiakoff	Gobi
Chlorella godinezii Beraldi-Campesi & al.	J. L. Godínez
Chroococcus gomontii Nygaard	M. Gomont
Stauroneis gossmanniae Metzeltin & Lange-Bertalot	J. Gossmann

Ulnaria goulardii (Brébisson) Lange-Bertalot	Goulard
Steinedesmus graevenitzii (Bernard) Comas & Komarek	Grävenitz
Desmodesmus grahneisii (Heynig) E. Hegewald	Grahneis
Phacus gregussii Hortobágyi	P. Gregussii
Mastogloia danseyi f. *grevillei* (W. Smith) Edlund & Burge	Greville
Libellus grevillei (C. Agardh) Cleve	Greville
Monoraphidium griffithii (Berkeley) Komárková-Legnerová	J. W. Griffith
Cosmarium pseudoprotuberans var. *groenbladii* Croasdale	R. Grönblad
Navicula antonii Lange-Bertalot	A. Grunow
Pinnularia grunowii Krammer	A. Grunow
Anomoeoneis sphaerophora var. *guentheri* O. Müller	C. Günther
Peridinium gutwinskii Wołoszyńska	R. Gutwinski
Placoneis hambergii (Hustedt) Bruder	Hamberg
Phacus hamelii Allorge & Lefèvre	G. G. H. Hamel
Phormidium hamelii (Frémy) Anagnostisis & Komárek	G. G. H. Hamel
Rivularia hansgirgii Schmidle	A. Hansgirg
Actinastrum hantzschii Lagerheim	C. A. Hantzsch
Stephanodiscus hantzschii Grunow	C. A. Hantzsch
Aphanothece hardersii Schiller	Harders
Hemiaulus hauckii Grunow ex van Heurck	Hauck
Aphanothece hegewaldii Kovácik	E. Hegewald
Neidium hermannii Hustedt	Hermann
Limnoraphis hieronymusii (Lemmermann) Komárek & al.	G. Hieronymus
Trichodesmium hildebrandtii Gomont	J. M. Hildebrandt
Cosmocladium hitchcockii (Wolle) G. M. Smith	Hitchcock
Neidium hitchcockii (Ehrenberg) Cleve	Hitchcock
Brachysira hofmanniae Lange-Bertalot	G. Hofmann
Navicula hofmanniae Lange-Bertalot	G. Hofmann
Scytonema hoffmannii C. Agardh ex Bornet & Flahault	N. Hofman-Bang
Chara hornemannii Wallman	J. W. Hornemann
Scenedesmus hortobagyi Philipose	T. Hortobágyi
Cymbopleura hustedtii (Krasske) Novelo & al.	F. Hustedt
Sellaphora hustedtii (Krasske) Lange-Bertalot & Werum	F. Hustedt
Gephyrocapsa huxleyi (Lohmann) P. Reinhardt	T. H. Huxley
Rhipidodendron huxleyi Kent	T. H. Huxley
Goniochloris iyengarii (Ramanathan) Ettl	M. O. P. Iyengar
Achnanthidium minutissimum var. *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot	Jack
Eucapsis jacquesii Beraldi-Campesi & al.	C. Jacques Ayala
Juranyiella javorkae (Hortobágyi) Hortobágyi	Javorka
Staurastrum johnsonii W. West & G. S. West	N. L. Johnson

Ankyra judayi (G. M. Smith) Fott	C. Juday
Chroococcidiopsis kashaii Friedmann	E. L. Kashai
Trachelomonas kelloggii Skvortzov	Kellogg
Xenotholos kerneri (Hansgirg) Gold-Morgan & al.	R. v. Kerner
Desmodesmus kissii (Hortobágyi) Hegewald	I. Kiss
Astasia klebsii Lemmermann	G. A. Klebs
Carteria klebsii (Dangeard) Francé	G. A. Klebs
Hyalogonium klebsii Pascher	G. A. Klebs
Trachelomonas klebsii Deflandre	G. A. Klebs
Chaetoceros subtilis f. *knipowitschii* (Henckel) Proschkina-Lavrenko	Knipowitschi
Gomphonema kobayashiae Metzeltin & Lange-Bertalot	T. Kobayasi
Gomphonema kobayasii Kociolek & Kingston	H. Kobayasi
Blennothrix komarekii Branco & Montejano	J. Komárek
Lemmermannia komarekii (Hindák) C. Bock & L. Krienitz	J. Komárek
Monoraphidium komarkovae Nyagard	J. Komáková
Asterococcus korschikoffii Ettl	A. A. Korschikoff
Arnoldiella kosterae (C. Hoek) C. Boedeker	J. Th. Koster
Dorofeyukea kotschyi (Grunow) Kulikovskiy & al.	Kotschy
Navicula krammerae Lange-Bertalot	G. Krammer
Staurosirella krammeri Morales & al.	K. Krammer
Coelosphaerium kuetzingianum Nägeli	F. T. Kützing
Closterium kuetzingii Brébisson	F. T. Kützing
Denticula kuetzingii Grunow	F. T. Kützing
Gyrosigma kuetzingii (Grunow) Cleve	F. T. Kützing
Heteroleibleinia kuetzingii (Schmidle) Compère	F. T. Kützing
Pinnularia kuetzingii Krammer	F. T. Kützing
Planothidium lagerheimii (Cleve) Wetzel & Ector	G. v. Lagerheim
Leptolyngbya lagerheimii (Gomont) Anagnostidis & Komárek	G. v. Lagerheim
Luticola lagerheimii (Cleve) D. G. Mann	G. v. Lagerheim
Leptolyngbya lagerheimii (Gomont) Anagnostidis & Komárek	G. v. Lagerheim
Ophiocytium lagerheimii Lemmermann	G. v. Lagerheim
Tetradesmus lagerheimii M. J. Wynne & Guiry	G. v. Lagerheim
Tetrallantos lagerheimii Teiling	G. v. Lagerheim
Brasilonema roberti-lamii (Bourrelly) Sant'Anna & Komárek	R. Lami
Oedogonium landsboroughii Wittrock ex Hirn	D. Landsborough
Frankophila horstii Rumrich	H. Lange-Bertalot
Encyonema lange-bertalotii Krammer	H. Lange-Bertalot
Schizomeris leibleinii Kützing	Leiblein
Closterium leibleinii Kützing ex Ralfs	Leiblein
Caloneis lewisii Patrick	Lewis

Nitzschia liebetruthii Rabenhorst	Liebetruth
Matsuokaea loeblichii (E. R. Cox & H. J. Arnott) Li & al.	A. R. Loeblich III
Microspora loefgrenii (Nordstedt) Lagerheim	Löfgren
Chimonodinium lomnickii (Wołoszyńska) Craveiro & al.	Lomnicki
Navicula lundii Reichardt	J. W. G. Lund
Pinnularia lundii Hustedt	J. W. G. Lund
Stauroneis lundii Hustedt	J. W. G. Lund
Gomphonema maclaughlinii Reichardt	R. B. McLaughlin
Oedogonium magnusii Wittrock ex Hirn	Magnus
Surirella susanae Metzeltin & Lange-Bertalot	S. Maldonado G.
Staurastrum manfeldtii Delponte	Manfeldt
Cryptomonas marssonii Skuja	M. Marsson
Merismopedia marssonii Lemmermann	M. Marsson
Oocystis marssonii Lemmermann	M. Marsson
Staurosirella martyi (Héribaud) Morales & Manoylov	Marty
Amphidinium massartii Biecheler	J. Massart
Arthrospira massartii Kufferath	J. Massart
Cosmarium meneghinii Brébisson ex Ralfs	G. Meneghini
Euglena mesnilii Deflandre & Dusi	F. Mesnil
Envekadea metzeltinii Lee & al.	D. Metzeltin
Navicula moralesii Metzeltin & Lange-Bertalot	E. A. Morales
Chaetoceros muelleri Lemmermann	Müller
Encyonema muelleri (Hustedt) D.G. Mann	O. Müller
Oocystis naegelii A. Braun	C. Nägeli
Woronichinia naegeliana (Unger) Elenkin	C. Nägeli
Aphanothece naegelii Wartmann	C. Nägeli
Characiopsis naegelii (A. Braun) Lemmermann	C. Nägeli
Eunotia naegelii Migula	C. Nägeli
Scenedesmus naegelii var. *acaudatus* Hortobagyi	C. Nägeli
Netrium naegelii (Brébisson) W. West & G. S. West	C. Nägeli
Microcostatus naumannii (Hustedt) Lange-Bertalot	E. Naumann
*Wittrockiella netzahualpilli*i (Galicia & Novelo) Boedeker	Netzahualpilli
Heterocapsa niei (Loeblich III) Morrill & Loeblich III	D. Nie
Chroomonas nordstedtii Hansgirg	O. Nordsted
Monomorphina nordstedtii (Lemmermann) Popova	O. Nordsted
Spirulina nordstedtii Gomont	O. Nordsted
Actinocyclus normanii (Gregory ex Greville) Hustedt	G. Norman
Nitzschia normanii Grunow	Norman
Porphyrosiphon notarisii (Meneghini) Kützing ex Gomont	G. de Notaris
Chlorogloea novacekii Komárek & Montejano	F. Nováček

Microcystis novacekii (Komárek) Compère	F. Nováček
Spirulina noveloi Beraldi-Campesi & al.	E. Novelo
Shionodiscus oestrupii (Ostenfeld) Alverson & al.	E. Østrup
Chromulina pascheri Hofeneder	A. Pascher
Chlorogonium pertyi (Gorozhankin) Ettl	Perty
Tetrastrum peterfii Hortobágyi	L. S. Péterfi
Diploneis petersenii Hustedt	J. B. Petersen
Navicula petersenii Hustedt	J. B. Petersen
Synura petersenii Korschikov	J. B. Petersen
Synechocystis pevalekii Ercegovic	I. Pevalek
Volvox pocockiae Starr	M. A. Pocock
Navicula podzorskii Lange-Bertalot	A. Podzorski
Oestrupia powelii (Lewis) Heiden	S. Powel
Chroococcus prescottii Drouet & Daily	G. W. Prescott
Chaetosphaeridium pringsheimii Klebahn	E. G. Pringsheim
Pinnularia subrabenhorstii Krammer	L. Rabenhorst
Anabaenopsis raciborskii Wołoszyńska	M. Raciborski
Cosmarium raciborskii Lagerheim	M. Raciborski
Peridinium raciborskii Wołoszyńska	M. Raciborski
Phacus raciborskii Dreżepolski	M. Raciborski
Raphidiopsis raciborskii (Wołoszyńska) Aguilera & al.	M. Raciborski
Scenedesmus raciborskii Wołoszyńska	M. Raciborski
Trachelomonas raciborskii Wołoszyńska	M. Raciborski
Asterionella ralfsii var. *americana* Körner	J. Ralfs
Closterium ralfsii Brébisson ex Ralfs	J. Ralfs
Micrasterias ralfsii (Brébisson ex Ralfs) Škaloud & al.	J. Ralfs
Phormidium raoi (De Toni) P. A. C. Senna & Compére	C. B. Rao
Nitzschia rautenbachiae Cholnoky	E. Rautenbach
Cosmarium regnellii Wille	Regnell
Pinnularia reichardtii Krammer	E. Reichardt
Stauroneis reichardtii Lange-Bertalot & al.	E. Reichardt
Navicula reinhardtii (Grunow) Grunow	F. Reinhardt
Chlamydomonas reinhardtii Dangeard	M. Reinhardt
Phormidium retzii (C. Agardh) Kützing ex Gomont	Retzii
Schizothrix richardsii Drouet	D. Richards
Chara robbinsii Halsted	J. W. Robbins
Tetraedron roldanii Beraldi-Campesi & al.	J. Roldán
Nitzschia rosenstockii Lange-Bertalot	G. Rosenstock
Gomphonema utae Lange-Bertalot & Reichardt	Uta (¿Rumrich?)
Encyonema rumrichiae Krammer	U. Rumrich

Encyonopsis rumrichiae Krammer	U. Rumrich
Denticula kuetzingii var. *rumrichiae* Krammer	U. Rumrich
Sellaphora ruttneri (Hustedt) C. E. Wetzel	Ruttner
Gomphonema salae Lange-Bertalot & Reichardt	S. Sala
Pinnularia silviasalae Metzeltin & al.	S. Sala
Sellaphora saugerresii (Desmazières) C. E. Wetzel & D. G. Mann	M. Saugerres
Placoneis scharfii Lange-Bertalot & Rumrich	B. Scharf
Chondrocystis schauinslandii Lemmermann	H. Schauinsland
Strombomonas schauinslandii (Lemmermann) Deflandre	H. Schauinsland
Cymbella schimanskii Krammer	H. Schimanski
Pinnularia schimanskii Krammer	H. Schimanski
Stauroneis schmidiae Jahn & Abarca	A. M. Schmid
Scytonema schmidtii Gomont	Schmidt
Geissleria schoenfeldii (Hustedt) Lange-Bertalot & Melzeltin	Schöenfeld
Navicula schroeteri Meister	Schroeter
Gonyaulax scrippsiae Kofoid	E. B. Scripps
Eunotia kareniae Metzeltin & Lange-Bertalot	K. Serieyssol
*Nanofrustulum shilo*i (J. J. Lee & al.) Round & al.	M. Shilo
Cymbella simonsenii Krammer	R. Simonsen
Eunotia siolii Hustedt	H. Sioli
Cryptoglena skujae Marin & Melkonian	H. L. Skuja
Phacus skujae Skvortzov	H. L. Skuja
Crucigenia smithii (Bourrelly) Komárek	G. M. Smith
Microcystis smithii Komárek & Anagnostidis	G. M. Smith
Pandorina smithii Chodat	G. M. Smith
Rhabdogloea smithii (R. Chodat & F. Chodat) Komárek	G. M. Smith
Staurastrum smithii Teiling	G. M. Smith
Tetradesmus smithii Prescott	G. M. Smith
Diploneis smithii (Brébisson ex W. Smith) Cleve	W. Smith
Mastogloia smithii Thwaites	W. Smith
Stauroneis smithii Grunow	W. Smith
Chlamydomonas snowiae Printz	J. W. Snow
Eunotia soleirolli (Kützing) Rabenhorst	Soleiroll
Eucapsis starmachii Komárek & Hindák	K. Starmach
Microcoleus steenstrupii Boye Petersen	J. Steenstrup
Lepocinclis steinii Lemmermann	F. Stein
Trachelomonas rugulosa f. *steinii* Deflandre	F. Stein
Rhopalodia sterrenburgii Krammer	F. A. S. Sterrenburg
Pinnularia stidolphii Krammer	S. R. Stidolph
Schizothrix stricklandii Drouet	J. C. Strickland Jr.

Sellaphora stroemii (Hustedt) Kobayasi	Ström
Haslea stundlii (Hustedt) Blanco & al.	K. Stundl
Monactinus simplex var. *sturmii* (Reinsch) Pérez & al.	Sturm
Chamaecalyx swirenkoi (Sirsov) Komárek & Anagnostidis	D. O. Svirenko
Phacus pseudoswirenkoi Prescott	D. O. Svirenko
Phacus swirenkoi Skvortzov	D. O. Svirenko
Pinnularia tagliaventiae Lange-Bertalot & Metzeltin	N. Tagliaventi
Desmidium swartzii (C. Agardh) C. Agardh ex Ralfs	Swartz
Planktolyngbya tallingii Komárek & Kling	J. Talling
Coelastrum pulchrum f. *taverae* Comas	R. Tavera
Gloeocapsa taverae Beraldi-Campesi & al.	R. Tavera
Raphidiopsis taverae (Komárek & Komárková-Legnerová) Aguilera & al.	R. Tavera
Phormidium taylorii (Drouet & Strickland) Anagnostidis	W. R. Taylor
Schizothrix taylorii Drouet	W. R. Taylor
Trichodesmium thiebautii Gomont ex Gomont	Thiebaut
Encyonopsis thienemannii (Hustedt) Krammer	Thienemann
Peridiniopsis thompsonii Bourrelly	R. H. Thompson
Fischerella tissenrantii Frémy	Tisserant
Microcoleus tisserantii Frémy	Tisserant
Cyclotella tlalocii Avendaño & Caballero	Tlaloc
Luticola tomesii Moser & al.	D. Tomes
Cosmarium turpinii Brébisson	P. J. F. Turpin
Sellaphora utermoehlii (Hustedt) C. E. Wetzel & D. G. Mann	H. Utermöhl
Eunotia vanheurckii Patrick	H. van Heurck
Rhopalodia gibberula var. *vanheurckii* O. F. Müller	H. van Heurck
Caloneis vasileyevae Lange-Bertalot & al.	I. I. Vasilyeva-Kralina
Oestrupia powelii var. *vidovichii* (Grunow) Heiden	Vidovich
Navicula vilaplanii (Lange-Bertalot & Sabater) Lange-Bertalot & Sabater	Vilaplan
Willea vilhelmii (Fott) Komárek	Vilhelm
Peridinium volzii Lemmermann	W. Volz
Trachelomonas volzii Lemmermann	W. Volz
Pseudanabaena voronichinii Anagnostidis	N. N. Voronichin
Frustulia weinholdii Hustedt	Weinhold
Oscillatoria annae van Goor	A. Weber van Bose
Conticribra weissflogii (Grunow) Stachura-Suchoples & D. M. Williams	E. Weissflog
Neidiopsis weilandii Bahls	C. Weiland
Achnanthes wellsiae Reimer	E. Wells
Hapalosiphon welwitschii W. West & G. S. West	Welwitsch
Navicula wendlingii Lange-Bertalot & al.	K. Wendling
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek	C. Wesenberg-Lund

Epithemia turgida var. *westermannii* (Ehrenberg) Grunow	B. W. Westerman
Caloneis westii (W. Smith) Hendey	T. West
Characiopsis longipes var. *westii* Lemmermann	West
Pinnularia westii McCall	West
Phacus wettsteinii Dreżepolski	Wettstein
Navicula wildii Lange-Bertalot	F. Wild
Gloeochaete wittrockiana Lagerheim	V. B. Wittrock
Microspora wittrockii (Wille) Lagerheim	V. B. Wittrock
Microseira wollei (Farlow ex Gomont) McGregor & Sendall	F. Wolle
Gyrosigma wormleyi (Sullivant) Boyer	T. G. Wormley
Desmonema wrangelii (Agardh) Bornet & Flahault	Wrangel
Granulocystis helenae Hindák	H. Wudyová-Reháková
Nitzschia wuellerstorffii Lange-Bertalot	B. von Wüllerstorff
Acanthosphaera zachariasii Lemmermann	Zacharias

Key to forming epithets honouring people who have unlatinized personal names

1a. Epithet is an adjective:

2a. Personal name ends in a consonant:

3a. Gender of generic name is masculine: add *-ianus*

3b. Gender of generic name is feminine: add *-iana*

3c. Gender of generic name is neuter: add *-ianum*

2b. Personal name ends in a vowel:

4a. Personal name ends in *-a*:

5a. Gender of generic name is masculine: add *-nus*

5b. Gender of generic name is feminine: add *-na*

5c. Gender of generic name is neuter: add *-num*

4b. Personal name ends in *-e*, *-i*, *-o*, *-u*, or *-y*:

6a. Gender of generic name is masculine: add *-anus*

6b. Gender of generic name is feminine: add *-ana*

6c. Gender of generic name is neuter: add *-anum*

1b. Epithet is a noun in the genitive case:

7a. Personal name ends in a consonant (but not *-er*):

8a. One person is being honoured:

9a. Person is male: add *-ii*

9b. Person is female: add *-iae*

8b. Two or more people are being honoured:

10a. At least one person is male: add *-iorum*

104 THE CODE DECODED
A USER'S GUIDE TO THE INTERNATIONAL CODE OF NOMENCLATURE FOR ALGAE, FUNGI, AND PLANTS

10b. All people are female: add *-iarum*

7b. Personal name ends in a vowel or *-er*:

11a. Personal name ends in *-a*:

12a. One person is being honoured (male or female): add *-e*

12b. Two or more people are being honoured (male or female): add *-rum*

11b. Personal name ends in *-e*, *-er*, *-i*, *-o*, *-u*, or *-y*:

13a. One person is being honoured:

14a. Person is male: add *-i*

14b. Person is female: add *-ae*

13b. Two or more people are being honoured:

15a. At least one person is male: add *-orum*

15b. All people are female: add *-arum*

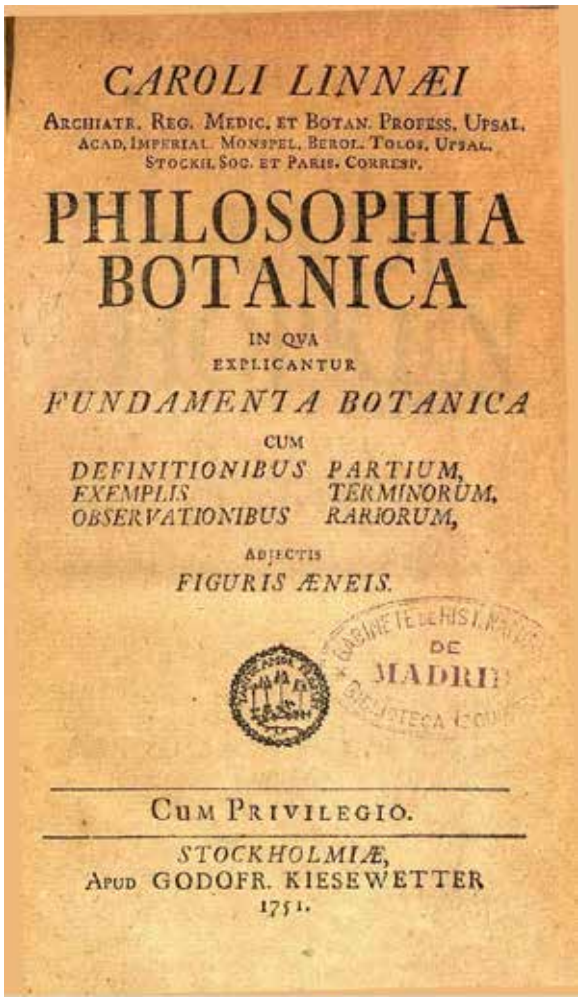
The epithet of *Quercus michauxii* is derived from the personal name, Michaux, as a genitive noun. The key above gives *michauxii* (1b, 7a, 8a, 9a). The termination *-ii* is in accordance with Art. 60.8 and is not therefore to be changed. Similarly, *Rhododendron "potaninii"* is derived from the personal name, Potanin. The key above would give *potaninii* (again, 1b, 7a, 8a, 9a). The termination *-i* is contrary to Art. 60.8 and is therefore treated as an error to be corrected.

Not all epithets derived from personal names are to be formed according to Art. 60.8, though. If a personal name is already in Greek or Latin, or if it possesses a well-established latinized form, Rec. 60C.1 applies and that name should be given its appropriate Latin genitive to form a substantival epithet. For example, the personal names Linnaeus and Theophrastus are already in Latin (nominative case), so Rec. 60C.1 applies to them. They are given their appropriate Latin genitive to form substantival epithets: *linnaei* and *theophrasti*. When considering whether an epithet such as *theophrasti* requires correction, remember that according to Art. 60.8 terminations of epithets formed in accordance with Rec. 60C.1 are not to be corrected.

Elisabeth and Martin are examples of personal names possessing a well-established latinized form, i.e. *Elisabetha* and *Martinus*, respectively. When their appropriate Latin

CHAPTER 10
HOW TO SPELL NAMES 105

Figura 1. Páginas 104 y 105 tomadas de Turland (2019).



CAROLI LINNÆI

ARCHIATR. REG. MEDIC. ET BOTAN. PROFESS. UPSAL.
ACAD. IMPERIAL. MONSPEL. BEROL. TOLOS. UPSAL.
STOCKH. SOC. ET PARIS. CORRESP.

PHILOSOPHIA BOTANICA

IN QVA
EXPLICANTUR
FUNDAMENTA BOTANICA
CUM
DEFINITIONIBUS PARTIUM,
EXEMPLIS TERMINORUM,
OBSERVATIONIBUS RARIORUM,
ADJECTIS
FIGURIS ÆNEIS.

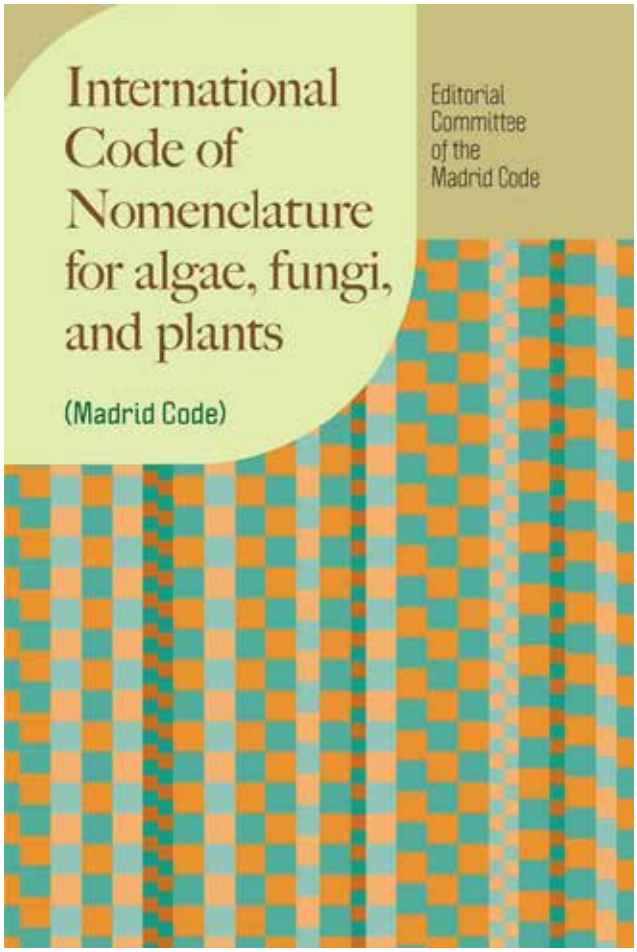
CUM PRIVILEGIO.

STOCKHOLMIÆ,
APUD GODOFR. KIESEWETTER
1751.

Figura 2. Portada de filosofía botánica de Linnaeus (1751)

NOTICIAS

Nos complace anunciar la aparición del nuevo código de nomenclatura "*El Código Madrid*", el cual se encuentra disponible para su compra, en la versión impresa, en https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/I/bo251991590.html. Versiones digitales pueden consultarse en la página de la IAPT (https://www.iaptglobal.org/madrid-code-online), incluyendo su traducción al español (https://rjb.csic.es/ciencia/codigo-internacional-de-nomenclatura-para-algas-hongos-y-plantas-madrid-2025/). Deseamos que sea un complemento cotidiano de su quehacer académico.



El *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas*, conocido como “el Código”, es el conjunto de reglas y recomendaciones acordadas internacionalmente que rigen la denominación de estos organismos. Los nombres científicos tienen profundas raíces históricas. De hecho, el sistema de nomenclatura de organismos es uno de los primeros estándares científicos verdaderamente globales. Esta referencia esencial se origina en *la Lois de la nomenclature botanique* de Alphonse de Candolle de 1867. Esta edición 2025 del *Código*, el *Código de Madrid*, refleja las decisiones tomadas en el Vigésimo Congreso Internacional de Botánica, que se reunió en Madrid, España, en julio de 2024. El congreso debatió 447 propuestas para enmendar el Código y aceptó nuevas reglas importantes, incluido un mecanismo para el registro voluntario de nombres de plantas y algas, aclaraciones para nombrar taxones fósiles, la opción de rechazar un nuevo nombre si es despectivo para un grupo de personas y el reemplazo de un epíteto que se consideró particularmente ofensivo (revisando a *afra*, *afrorum* y *afrum*).

Eric David Delgadillo Mendoza

Sargazo Fertilizante natural, alternativa sustentable

Tesis de Químico Farmacéutico Biólogo

Universidad Nacional Autónoma de México - Facultad de Química
Asesora: Dra. María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar
Email: ericdelgadillo@comunidad.unam.mx
2022

Durante el desarrollo de las prácticas agrícolas el uso de fertilizantes químicos es indispensable para acelerar la producción de cultivos y satisfacer así la demanda alimenticia de la población que lo requiera, ya que de forma natural esto no podría suceder. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes químicos provoca daños como son: Erosión, acidez, lixiviación, eutrofización, entre otros. Disminuyendo la capacidad productiva del suelo, con lo cual surge la necesidad de buscar una nueva alternativa para la fertilización, actualmente se ha demostrado que el empleo de algas como fertilizantes orgánicos mejora las condiciones del suelo, restaurando su capacidad productiva.
Particularmente las algas cafés del género "Sargassum" (conocido comúnmente como sargazo), debido a su alto contenido en materia orgánica como: Fitohormonas, vitaminas, ácidos grasos, reguladores del crecimiento, micro y macroelementos.
Este trabajo monográfico de actualización presenta los diferentes resultados de investigaciones bibliográficas sobre la aplicación de los fertilizantes derivados del sargazo para el mejoramiento de cultivos y regeneración del suelo; como base de futuras investigaciones para proveer evidenciade que el sargazo es viable para la mejora de cultivos como: Tomate, cilantro, arroz, frijol, rábano, maíz, entre otros.
La revisión documental demostró que las investigaciones se están enfocando en la forma de aplicación del sargazo ya sea en forma sólida o líquida. Además, de estudiar el contenido de materia orgánica y elementos metálicos presentes en el alga, los cuales permiten restaurar la capacidad productiva del suelo, dando así la posibilidad de aplicación a un mayor número de cultivos.
El presente trabajo manifiesta la necesidad de evaluar el uso de sargazo como fertilizante, estudiar los compuestos bioactivos que le dan ese potencial, analizar cultivos que se pueden beneficiar e identificar las áreas de oportunidad para implementar la aplicación de fertilizantes derivados del sargazo en México y reducir la acidificación de los suelos por la aplicación de fertilizantes químicos.
Palabras clave: Algas, alternativa, cultivos, fertilizante, regeneración, sargazo, sustentable.

Disponible en TESIUNAM: http://132.248.9.195/ptd2022/noviembre/0830452/Index.html

DIRECTORIO

SOCIEDAD MEXICANA DE FICOLOGÍA
https://somfico.org/

COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL 2023-2025

Ileana Ortegón-Aznar
Presidenta
Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Mérida, Yucatán
e-mail: oaznar@correo.uady.mx

Dr. José Antolín Aké Castillo
Vicepresidente
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana
e-mail: aake@uv.mx

Dr. Julio Adulfo Acosta Calderón
Secretario General
Universidad del Mar
e-mail: julioseaweed@gmail.com

Dra. Erika Fabiola Vázquez Delfín
Secretaria Académica
CINVESTAV Mérida
e-mail: erika.vazquez@cinvestav.mx

Dr. Armin Tuz Sulub
Secretario Administrativo
UADY
e-mail: tuz@correo.uady.mx

M. en C. Emmanuel Santos May
Secretario de Difusión y Extensión
UADY
e-mail: miva.uam@gmail.com

CRÉDITO DE FOTO DE LA PORTADA

Laberinto de *Planktothrix* sp.
Montaje semipermanente. Foto in vivo. Objetivo 10X
Kathie Monserrat Estrada Gutiérrez
Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (UNCIBNOR). Tepic, Nayarit.

Ganadora del Concurso SOMEFAN de fotografía microscópica para mujeres. VII Congreso de la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos, A.C., octubre de 2024.