

Bioprocesos de aguas contaminadas del Canal Bancalari, cuenca del Río Reconquista utilizando una cepa autóctona de *Chlorella vulgaris* inmovilizada en alginato dentro de estructuras 3D.



# COMITÉ EDITORIAL

## EDITOR EJECUTIVO:

**Dr. Eberto Novelo**

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

## EDITORES ADJUNTOS:

**Dr. Abel Sentfies**

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

**Dr. Juan Manuel Lopez-Bautista**

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

## ASISTENTE EDITORIAL:

**M. en C. Alejandra Mireles Vázquez**

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

## EDITORES ASOCIADOS (COMITÉ EDITORIAL TEMÁTICO)

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

**Dr. Erasmo Macaya**

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

**M. en C. Gloria Garduño Solórzano**

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

**Dr. Luis E. Aguilar Rosas**

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

**Dra. Visitación Conforti**

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

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

**Dra. Pilar Mateo Ortega**

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

[Algas tóxicas y FANs:](#)

**Dra. Marina Aboal Sanjurjo**

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

**Dr. Yuri Okolodkov**

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

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

**Dra. Ligia Collado Vides**

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

**Dra. Rosaluz Tavera**

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

[Ficología aplicada y biotecnología:](#)

**Dra. Eugenia J. Olguín Palacios**

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

**Dra. Marcia G. Morales Ibarra**

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

[Nomenclatura](#)

**Dr. Francisco F. Pedroche**


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

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

## CINTILLO LEGAL

*Cymbella* Revista de investigación y difusión sobre algas. -Vol. 7 Núm 1, enero – abril 2021, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México, a través del Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56225430, <http://cymbella.mx/>, enm@ciencias.unam.mx. Editor responsable: Dr. Eberto Novelo Maldonado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-112410454200. ISSN: 2448-8100. Responsable de la última actualización de este número, Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Dr. Eberto Novelo Maldonado, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de la última modificación, 20 de octubre de 2021.

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 primer número del volumen 7 de *Cymbella* ofrece dos textos florísticos que muestran, nuevamente, la necesidad de seguir estudiando las algas de nuestro país, ambos señalan novedades florísticas, 29 primeros registros de Coscinodiscophyceae en la Isla Guadalupe y el otro anota 238 taxones de los cuales 25 son registros nuevos para el Golfo de México y 27 para las otras costas mexicanas. Lo que hace un total de 267 registros de taxones en las costas de México. Estos registros son resultado de la insistencia de los colegas en conocer y difundir la flora mexicana. *Cymbella* es el medio de difusión para la florística y ese tipo de trabajos siempre serán bienvenidos. No podemos exigir que se conserven los ecosistemas si no somos capaces de mostrar lo que contienen. Si una de nuestras responsabilidades como ficólogos es la conservación de la diversidad algal, esa tarea empieza con el registro y documentación de la riqueza biológica nacional y regional. Y ese conocimiento y registro, a pesar de ser fundamentales son difícilmente aceptados en otras publicaciones. Y parte causal de la reticencia a publicar este tipo de trabajos es la confusión entre lo moderno y lo antiguo, o eufemísticamente lo tradicional. Esta falsa dicotomía es producto de una visión dividida de las necesidades: las personales o las nacionales. No se trata de criticar, ambas son necesarias, pero lo que es falso es que una sea mejor que la otra. Así como los colegas necesitan publicar en revistas con un factor de impacto alto, también es necesario conocer lo que no aceptan las revistas de ese tipo. Esta falsa dicotomía tiene muchas expresiones, desde la que opone la "taxonomía tradicional" contra la taxonomía moderna o contemporánea (es decir, con biología molecular), hasta las consideraciones de las etapas consecutivas del conocimiento taxonómico (taxonomías alfa, beta y gama) y finalmente las que consideran que existe una crisis en la taxonomía por el cambio de "paradigmas" en la forma como conocemos la biodiversidad. En los enfoques polifásicos, polifacéticos o de taxonomía integral existe la intención de recuperar parte de lo que es la taxonomía como disciplina integrativa, pero los estándares impuestos por las revistas implican siempre la utilización, como fase final e indiscutible, el análisis de secuencias y las relaciones filogenéticas moleculares como criterio de modernidad. Para tratar de explicar a un grupo de estudiantes la importancia de conocer la estructura, la biología



reproductiva, la ultraestructura y las filogenias moleculares como una unidad necesaria en la descripción de las especies, usé como método didáctico una analogía relacionada con la historia de la música. Reconocemos y disfrutamos de la música antigua, la barroca, la clásica, etc., así en el trabajo taxonómico, requerimos y reconocemos de los conocimientos de los autores de los siglos XVIII al actual. Y curiosamente, hay cierta correspondencia

con el avance entre los patrones en la composición usados por los grandes músicos y las fases por las que ha pasado el conocimiento de las algas. Como un mero ejercicio para el gozo en reconocer los aportes históricos podríamos hacer la siguiente comparación, en la columna izquierda los periodos musicales, en el centro las fechas aproximadas y en la derecha los principales grupos de caracteres de los sistemas taxonómicos usados en la ficología:

Periodo barroco	≈ 1750	Morfología del talo adulto
Periodo clásico	≈ 1800	Tipos de reproducción
Periodo romántico	≈ 1860	Ciclos de vida
Periodo postromántico	≈ 1900	Bioquímica estructural
Periodo impresionista	≈ 1950	Distribución y extensión de caracteres
Periodo moderno	≈ 1980	Ultraestructura y bioquímica metabólica
Periodo contemporáneo	≈ actual	Biología molecular

Disfrutamos de las grandes obras musicales, sin necesidad de un orden cronológico estricto, pues podemos pasar de Bach, a Ravel, a Stravinsky y a Pärt, así podemos hacer la taxonomía, de lo morfológico macro, a los ciclos de vida y a la biología molecular. Y así como ya no podemos llamar “música clásica” a toda la gama de músicas no “populares” que existen, tampoco podemos llamar taxonomía tradicional a todo lo que no es biología

molecular; todo elemento es valioso y necesario. Como podemos reconocer las grandes diferencias y los aportes de cada autor musical, así podremos reconocer y valorar cada elemento que constituye esas obras de arte que llamamos algas. Incluimos el mapa de visitas a la revista según Google Analytics de los últimos 12 meses. ¡La siguiente meta es aumentar el tono del azul en todo el mundo!





# Juan Gabriel Sánchez Novoa

## Bioprocesos de aguas contaminadas del Canal Bancalari, cuenca del Río Reconquista utilizando una cepa autóctona de *Chlorella vulgaris* inmovilizada en alginato dentro de estructuras 3D.

### Licenciatura en Ciencias Ambientales

Universidad del Salvador, Facultad de Historia, Geografía y Turismo, Buenos Aires, Argentina.

Correspondencia: juangabrielsancheznova@gmail.com

La mayoría de los ríos y arroyos de las principales cuencas que drenan el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) se encuentran muy modificados, con canalizaciones, rectificaciones, desviaciones, y entubamientos parciales o totales (Ambrosino *et al.* 2004; Atlas Ambiental de Buenos Aires, 2010) y un alto grado de contaminación industrial, cloacal, doméstico y rural (Magdaleno *et al.* 2001; Castañé *et al.* 2006; Fernández Cirelli & Ojeda 2008). En respuesta a estas alteraciones, los cuerpos de agua presentan una reducción en los niveles de oxígeno disuelto y un aumento en los niveles de nutrientes, particularmente nitrógeno, fósforo y metales pesados (Dhote 2007; Dhote & Dixit 2007; Magdaleno *et al.* 2014; Agencia de Protección Ambiental, 2019). La descarga de aguas residuales domésticas e industriales no tratadas en cuerpos acuáticos representa una seria amenaza de eutrofización, lo que lleva a una lenta degradación de los recursos hídricos (Olguin 2003) por la pérdida de especies y servicios ecosistémicos. Por lo tanto, se hace necesario reducir la carga de nutrientes de los efluentes antes que lleguen al cuerpo de agua receptor.

En los últimos años, se han desarrollado varios métodos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de aguas residuales; entre estos, la fitorremediación que puede ser definida como el uso de microalgas para la remoción o biotransformación de contaminantes, incluyendo nutrientes y xenobióticos de las aguas residuales y retención de CO<sub>2</sub> del aire (Olguin 2003). Las microalgas son de gran interés en el campo de la biotecnología, a expensas de la energía solar, convierten el CO<sub>2</sub> en metabolitos valiosos. Entre estos productos y subproductos se puede obtener biocombustibles

y sustancias nutritivas aptas para consumo como alimentos o suplementos dietarios, cosméticos y productos farmacéuticos. Además, dado que las microalgas son sensibles a diversos contaminantes, se han utilizado para diseñar biosensores para la evaluación de la calidad del medio ambiente acuático (Lode *et al.* 2015). El alga verde *Chlorella vulgaris* es una de las más usadas en el tratamiento de aguas contaminadas por su rápido crecimiento, tolerancia a xenobióticos y eficiente remoción de nutrientes (Salgueiro *et al.* 2016).

Para la mayoría de las aplicaciones en fitorremediación, las microalgas se cultivan en suspensión. Sin embargo, distintas formas de inmovilización han sido estudiadas en los últimos tiempos (Bashan *et al.*, 2002; Bashan L & Bashan 2008; Krujatz, *et al.*, 2015) el atrapamiento de células vivas en distintos tipos de soportes como el alginato, el agar, la celulosa entre otros. Por su parte, el alginato es una matriz de polisacáridos que ha sido de gran utilidad en el campo biotecnológico por su utilidad para la elaboración de cápsulas esféricas, comúnmente denominadas “perlas” que además de proporcionar protección a las células y mantener su capacidad de multiplicación, facilitan la manipulación y recuperación tras el período de biorremediación en el sitio contaminado (Trentini *et al.*, 2017). Sin embargo, las perlas de alginato con el alga pueden ser predadas por la fauna presente en estos cuerpos de agua a remediar (aves, peces, larvas de insectos, entre otros). Debido a ello, se plantea otro problema a solucionar en el desarrollo del proceso de biorremediación en espacios abiertos. En el presente trabajo se probará un dispositivo 3D impreso en ácido Poliláctico (PLA) que posee la capacidad

de ser un material sólido y biodegradable siendo amigable con el medio ambiente que proteja a las algas de la posible predación y permita el contacto entre las células inmersas en alginato y agua contaminada para llevar a cabo el proceso de biorremediación en geoceldas, definidas como sistemas de estanque abierto naturales o artificiales para el cultivo de microalgas (The National Academy of Science 2012). La presente investigación tuvo como objetivo profundizar el conocimiento de la eficiencia y dinámica de remoción de nutrientes por una cepa autóctona de *Chlorella vulgaris* inmovilizada en alginato dentro de estructuras 3D para determinar su efectividad y aplicabilidad en el manejo y rehabilitación de sistemas acuáticos contaminados. El área de estudio se ubicó en el Canal Bancalari (Cuenca del Río Reconquista) en la provincia de Buenos Aires - Argentina en la estación de bombeo N° 9 que posee la autoridad de la cuenca UNIREC (Unidad de Coordinación del Proyecto Río Reconquista). La investigación se realizó en 3 etapas, la primera etapa (Ensayo 1) consistió en el cultivo y aclimatación a las características fisicoquímicas del agua del canal, en condiciones controladas de laboratorio de *C. vulgaris* inmovilizada en "perlas" de alginato. La segunda etapa (Ensayo 2) se realizó el montaje "in-situ" en condiciones no controladas de geoceldas con *C. vulgaris* inmovilizada en alginato dentro de estructuras 3D. Se realizaron 3 tratamientos por triplicado: Tratamiento *Chlorella* (G-Chl): geoceldas conteniendo algas inmovilizadas en dispositivos 3D; Tratamiento alginato (G-Al): geoceldas conteniendo dispositivos 3D con solo alginato sin algas y Tratamiento control (G-Ctrl): geoceldas conteniendo solo agua del canal. La tercera etapa (Ensayo 3)

se evaluó el efecto biorremediador de las microalgas inmovilizadas en alginato dentro de estructuras 3D en condiciones controladas de laboratorio en un biorreactor tipo tanque agitado (Minifors, Infors HT®, Switzerland), con algas inmovilizadas en estructuras 3D en condiciones controladas a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ : Tratamiento *Chlorella* (B-Chl) Biorreactor conteniendo algas inmovilizadas en dispositivos 3D y Tratamiento control (B-Ctrl) Biorreactor conteniendo solo agua del canal. A los cinco días de tratamiento, se estimó la velocidad de crecimiento ( $\mu$ ), el tiempo de duplicación ( $dt$ ) por recuento en cámara de Neubauer y por densidad óptica ( $\text{DO}_{600\text{nm}}$ ). En el agua se determinaron las siguientes variables: pH, concentración de nitratos, nitrógeno amoniacal, Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) y fósforo reactivo soluble (PRS) antes y después de cada tratamiento. Los resultados obtenidos mostraron que el tiempo estimado de duplicación de biomasa inmovilizada en estructuras 3D alcanzó un máximo a los 2.18 días. El amonio (Ensayo 3) fue el que alcanzó mayor porcentaje de remoción, superior a 98%. Los porcentajes de remoción para el tratamiento por geoceldas fueron de amonio (96.9%), fosforo reactivo soluble (98.2%), nitratos (41.3%), nitrógeno Inorgánico Disuelto-NID (46.4%). La biorremediación con *C. vulgaris* inmovilizada en alginato dentro de estructuras 3D, resultó ser una alternativa efectiva para remover los nutrientes del agua del Canal Bancalari.

*Palabras Clave:* algas unicelulares, nutrientes, fitorremediación, inmovilización.

**Texto disponible a solicitud al autor.**

# DIRECTORIO

## COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL

Sociedad Mexicana de Ficología  
Mesa Directiva 2020-2022

### **Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza**

Presidente  
Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación  
Facultad de Ciencias (UMDI-FC-J-UNAM)  
Juriquilla, Querétaro  
sombico2022@gmail.com

### **Dra. Ileana Ortegón Aznar**

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

### **Dra. Miriam G. Bojorge García**

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

### **Dr. José Antolín Aké Castillo**

Secretario de Difusión y Extensión  
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías  
Universidad Veracruzana  
aake@uv.mx

## CRÉDITO DE FOTO DE LA PORTADA

*Pandorina smithii* Chodat  
Lagunas de Montebello, Chiapas  
Fotos: E. Novelo.