



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

*Cymbella* Revista de investigación y difusión sobre algas

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



# 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

## 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  
e-mail:fpedroche@correo.ler.uam.mx

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

## CINTILLO LEGAL

*Cymbella* Revista de investigación y difusión sobre algas. Vol. 4, Núm. 2-3, mayo - agosto y septiembre - diciembre de 2018, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México, a través del Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56225430, <http://cymbella.mx/>, enm@ciencias.unam.mx. Editor responsable: Dr. Eberto Novelo Maldonado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-112410454200. ISSN: 2448-8100. Responsable de la última actualización de este número, Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Dr. Eberto Novelo Maldonado, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de la última modificación, 19 de febrero de 2019.

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

Melina Celeste Crettaz-Minaglia  
**Estudio del crecimiento de *Microcystis aeruginosa* y de la producción de microcistina en cultivo de laboratorio**

Tesis de doctorado.

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

Correspondencia: mcrettaz@exactas.unlp.edu.ar

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

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

y el modelo modificado de Ratwosky para determinar las temperaturas óptima, máxima y mínima de crecimiento. La producción de clo-a se modeló utilizando un modelo lineal que permitió calcular el tiempo de duplicación medio ( $t_m$ ). La producción de D-Leu<sup>1</sup> [MC-LR] se modeló utilizando un modelo dinámico que incluye el modelo de Gompertz y el modelo lineal de Long para evaluar la relación entre la producción de cianotoxina respecto a la velocidad de crecimiento. Además, para evaluar el efecto de todos los factores sobre los parámetros se utilizó un modelo de superficie de respuesta.

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

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

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

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

Este es el primer trabajo en donde, además de modelar la curva completa de crecimiento de *M. aeruginosa* de una cepa nativa argentina de ambientes templados, se modeló la producción de sus metabolitos (clo-a y D-Leu<sup>1</sup> [MC-LR]) evaluando los efectos de los principales factores que determinan la formación de floraciones cianobacterianas de esta especie en el ambiente natural. Si bien el desarrollo experimental de la presente Tesis Doctoral fue en condiciones de laboratorio, este es el primer acercamiento global al comportamiento de una cepa nativa frente al conjunto de factores ambientales (temperatura, irradiación y relación N:P). Esto permitió determinar que la producción de toxina es un proceso acoplado a la velocidad de crecimiento y que la velocidad de crecimiento de la cepa es más susceptible a los cambios térmicos a bajas temperaturas y, de modo contrario, que la recíproca de la duración de la fase de latencia es más susceptible a los cambios térmicos a altas temperaturas. Asimismo, debido a la generación de gran cantidad de datos dentro del diseño experimental propuesto, se pudieron utilizar diversas herramientas matemáticas como los modelos primarios y secundarios que, finalmente, permitirían el desarrollo de un Software como herramienta de alerta temprana que puede ser utilizada en la toma de decisiones frente a la problemática ambiental de las floraciones cianobacterianas.

*Palabras clave:* Cianobacterias. Cianotoxina. Modelado matemático.

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

# DIRECTORIO

## COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL

Sociedad Mexicana de Ficología  
Mesa Directiva 2017-2019

### **Dra. Elisa Serviere Zaragoza**

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

### **Dra. Alejandra Piñon Gimete**

Secretaria General  
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICI-  
MAR-IPN)  
La Paz, BCS  
ale\_pinion@hotmail.com

### **Dr. José Zertuche González**

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

### **Dra. Lourdes Morquecho Escamilla**

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

### **Dr. Daniel Robledo Ramírez**

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

## Delegados Regionales:

### NORTE

#### **Dr. Juan Manuel López Vivas**

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

### CENTRO

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

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

### SUR

#### **Dra. Ileana Ortégón Aznar**

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

### OCCIDENTE

#### **Dr. Edgar Francisco Rosas Alquicira**

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

### ORIENTE

#### **Dra. Eugenia J. Olguín Palacios**

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

## CRÉDITO DE FOTO DE LA PORTADA

La vida en rosa

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

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

Foto de Tonatiuh Chávez Sánchez

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