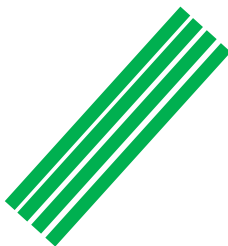




SERVICIO DE
EXTENSION AGRICOLA
COLEGIO DE CIENCIAS AGRICOLAS



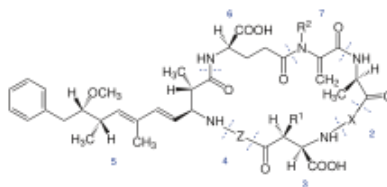
CARTA CIRCULAR

Gloriselle Negrón Ríos, MS, JD
Catedrática en Extensión en Salud Ambiental

Programa de Agricultura, Mercadeo y Recursos Naturales
Departamento de Educación Agrícola, CCA

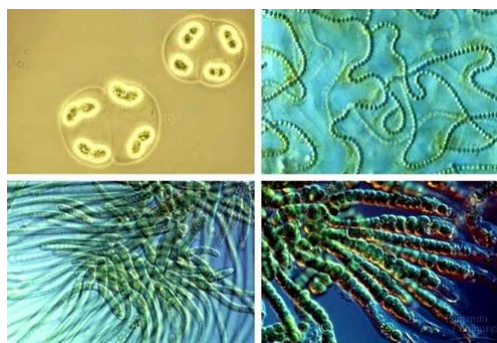
Diciembre, 2016

Las microcistinas



Las cianobacterias son organismos procariotas que contienen organelos con clorofila, por lo que fijan carbono mediante el proceso de fotosíntesis (Figura 1); igualmente contienen otros pigmentos como carotenos, xantofilas y ficobiliproteínas, que pueden darle un color azul verdoso, rojo o violeta. Estos organismos crecen de forma independiente o formando colonias, presentan diversas formas, y viven en ambientes acuáticos (dulce, salobre y salado) y terrestres. En el agua, los factores ambientales que influyen en su crecimiento son: luz, temperatura, nutrientes, salinidad, pH y la presencia de metales como el hierro, cobre y zinc.

Figura 1. *Variedad de cianobacterias*



Las cianobacterias son organismos importantes porque liberan oxígeno al ambiente y fijan nitrógeno, de forma que pueden mejorar la calidad del suelo. Además, se han evaluado para determinar si pueden ser utilizadas para producir biofertilizantes (Loreto *et al.*, 2003), antibióticos (Torres Ariño, 2004) y biocombustibles (Sacristán-de Alva *et al.*, 2014).

En Puerto Rico, un estudio realizado por Ludeña-Hinojosa (2007) encontró los siguientes géneros de cianobacterias en las aguas (saladas) de la Bahía de Mayagüez: *Trichodesmium*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Cyanosarcina*, *Chroococcus*, y *Merismopedia*.

En condiciones normales, las cianobacterias no son visibles ni representan riesgo a la salud. Sin embargo, cuando su ambiente sufre alteraciones que promueven un aumento en su crecimiento (por ejemplo, porque el agua recibe una mayor cantidad de fósforo), pueden entonces, observarse a simple vista las aglomeraciones que forman; a esto se le llama “afloramiento”, “floración” o “*harmful algal blooms* (“HAB”); Figura 2). Al respecto, indica Lago *et al.* (2015) que “*la eutrofización, especialmente por fósforo, conduce a cambios significativos en la composición de las especies del fitoplancton, pueden derivar en una clara dominancia de las cianobacterias y, como consecuencia, dar lugar a la aparición de afloramientos...*” (pág. 195).

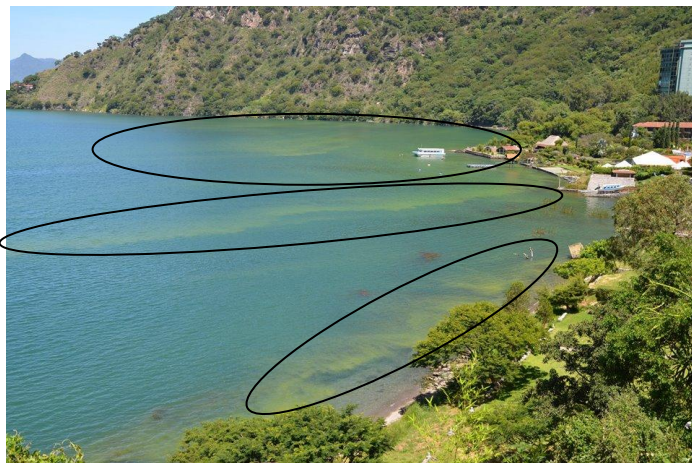


Figura 2. Afloramiento de cianobacterias en el Lago Atitlán, Guatemala

(identificados con óvalos de color negro)

Uno de los efectos de estos afloramientos es que interrumpen el proceso de intercambio de oxígeno entre la atmósfera y la superficie del agua, por lo que se reduce la disponibilidad de este gas para los organismos acuáticos. Esto se ha observado en Puerto Rico, en eventos de mortandad de peces en el Estuario de la Bahía de San Juan (Bauzá, 2013).

Igualmente, en aguas naturales, como lagos y zonas costeras, algunas cianobacterias presentes en los afloramientos, producen compuestos químicos que resultan ser tóxicos y, en ocasiones, mortales, si son consumidos de forma directa o indirecta*, representando esto un problema de salud pública y un

* Es directo el consumo cuando el agua accede el cuerpo humano a través de la boca o nariz, mientras se llevan a cabo actividades como natación o pesca. El consumo es indirecto, si la persona se alimenta de peces u otros organismos acuáticos que provienen de ese cuerpo de agua (puesto que las toxinas se acumulan en sus tejidos) o mediante alimentos que fueron lavados con tal agua. Además, se ha informado sobre la muerte de animales terrestres como vacas y perros, luego que han tomado agua durante la ocurrencia de un afloramiento.

riesgo a la integridad de los organismos vivos, ya que también afecta a las aves, peces y otros organismos acuáticos y terrestres que consuman el agua (Hilborn *et al.*, 2015).

Vela *et al.* (2007) indican que estas toxinas pueden tener varios propósitos: una forma de defensa contra otros organismos, remover metales de su interior (tales como zinc, hierro y cobre) o control de su densidad poblacional. Pineda-Mendoza (2012) añade que, pueden ser necesarias para el proceso de fotosíntesis o para la regulación de la expresión genética.

Las toxinas producidas por las cianobacterias (cianotoxinas) se dividen en grupos, según su efecto; éstos son:

1. Dermatoxinas y citotoxinas
2. Endotoxinas
3. Neurotoxinas
4. Hepatoxinas (o hepatotoxinas)

Las microcistinas son un tipo de cianotoxina (Figura 3). Éstas, son péptidos cíclicos sumamente estables, capaces de permanecer varias semanas en el ambiente, clasificados como metabolitos secundarios, pertenecen al grupo de hepatoxinas, es decir, sustancias tóxicas que causan daño principalmente al hígado. Al momento, existen más de 90 variantes químicas de microcistinas*, siendo la más común la microcistina-LR (MC-LR).

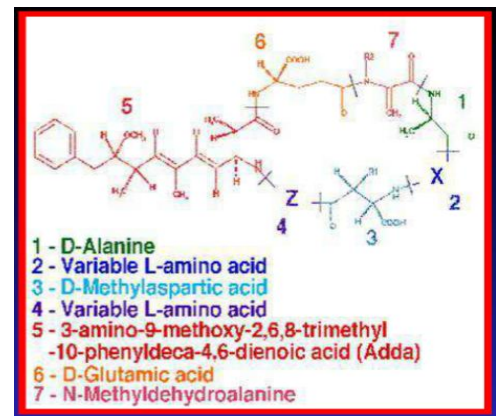


Figura 3. Estructura general de una microcistina

Indican Pineda-Mendoza *et al.* (2012) que unos 14 géneros de cianobacterias producen microcistinas, entre las que se encuentran *Microcystis*, *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Planktothrix*, *Nostoc*, *Nodularia*, *Radiocystis*, *Sinechocystis* y *Oscillatoria*. En el 2003, Martínez Ruiz realizó un estudio en el

* Puede acceder una tabla preparada por la Organización Mundial de la Salud, que describe 60 tipos de microcistinas, en http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxycyanchap3.pdf

Embalse Carraízo (agua dulce), de diciembre de 2008 a enero de 2010, donde encontró 52 especies de cianobacterias, de las cuales doce (12), producían microcistinas.

Entre el conjunto de cianobacterias que las produce, se ha encontrado que las del género *Microcystis* (Figura 4), son las más distribuidas, a nivel mundial, siendo las causantes más comunes de los afloramientos en los cuerpos de agua, que luego se relacionan a problemas de salud humana (Ramírez García *et al.*, 2007; Lago *et al.*, 2015).

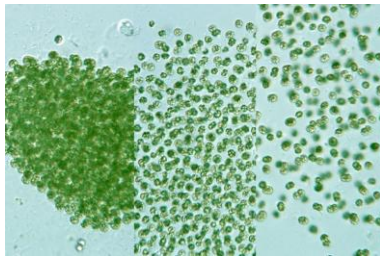


Figura 4. *Cianobacteria - Microcystis sp.*

Los efectos a la salud de las microcistinas, incluyen:

1. Irritación de piel y ojos
2. Fatiga y mareos
3. Problemas gastrointestinales agudos
4. Deformación del hígado
5. Hemorragias

Igualmente se relaciona esta hepatoxina con los siguientes problemas crónicos de salud:

1. Necrosis
2. Fibrosis progresiva
3. Tumores
4. Muerte

Informaron Hilbron *et al.* (2014) que entre el 2009-2010 se notificaron al Centro de Control de Enfermedades de EE.UU., once (11) brotes asociados al agua, en los que se afectaron 61 personas, luego de tener contacto con agua dulce, durante afloramientos de cianobacterias, en los estados de Nueva York, Ohio y Washington. En todos los casos, se detectó la presencia de microcistinas, entre otras cianotoxinas. Los síntomas que presentaron estas personas fueron: erupciones en la piel, irritación de los ojos, fiebre, dolor de cabeza, problemas respiratorios, y problemas gastrointestinales, entre otros.

Además de los problemas a la salud humana y a la de los organismos vivos, los afloramientos de cianobacterias causan problemas estéticos que pueden afectar la industria del turismo, ya que las aguas no pueden ser utilizadas para actividades recreativas. Además, representan un problema para las plantas de filtración de agua, ya que pueden obstruir los filtros.

En EE.UU. las cianobacterias y las microcistinas, son clasificados por la Agencia de Protección Ambiental federal (*EPA*, por sus siglas en inglés) como: “contaminantes no regulados” que representan un riesgo a la salud pública. Por lo que, al momento, no existe un estándar para cianobacterias o microcistinas, aplicable al agua potable.[♦] Igualmente, no existe un estándar aplicable a las aguas superficiales utilizadas para recreación[♥].

A tenor con esto, y según cada país así lo determine, se puede promulgar legislación que utilice como guía los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, Tabla 1), a saber:

- Agua potable:
 - 1.0 µg microcistina-LR/L (1µg/L contiene 5,000 células de *Microcystis*/mL)
- Aguas recreacionales o recreativas:
 - Baja probabilidad de efecto adverso a la salud:
 - 20,000 células de cianobacterias/mL o 10 µg de clorofila-a por litro, dominando las cianobacterias
 - Probabilidad moderada de efecto adverso a la salud:
 - 100,000 células de cianobacterias/mL o 50 µg de clorofila-a por litro, dominando las cianobacterias
 - Alto riesgo de efecto adverso a la salud:
 - Afloramiento visible en lugares donde existe la probabilidad de contacto con el agua.

[♦] Ni las cianobacterias ni sus toxinas se encuentran en la lista de contaminantes primarios, regulados por la Agencia de Protección Ambiental federal (*EPA*, por sus siglas en inglés) para el agua potable; esta lista la encuentra en <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/table-regulated-drinking-water-contaminants>. Tampoco están clasificados como contaminantes secundarios por *EPA*; esta lista se encuentra en <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals#table-of-secondary>.

Sí son clasificados como un contaminante emergente que puede afectar los abastos de agua potable y la salud pública; encuentra más información en https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/cyanobacteria_factsheet.pdf

[♥] En el Informe Integrado 305(b)/303(d) de 2014 de la Junta de Calidad Ambiental, no incluyen análisis de calidad de agua específico para cianobacterias o sus toxinas. Sin embargo, para los estuarios, lagunas, lagos y costas sí se analiza el parámetro de oxígeno disuelto, y en los embalses se miden los parámetros de fósforo y clorofila-a (que puede ser un indicador de crecimiento de algas). Este informe lo encuentra en <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/table-regulated-drinking-water-contaminants>

Publicado para la promoción del trabajo de Extensión según lo dispuesto por las leyes del Congreso del 8 de mayo y del 30 de junio de 1914, en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.

Tabla 1. *Guías de la OMS para aguas recreacionales* (OMS, 2008)

TABLE 8.3. GUIDELINES FOR SAFE PRACTICE IN MANAGING RECREATIONAL WATERS^a

Guidance level or situation	How guidance level derived	Health risks	Typical actions ^b
Relatively low probability of adverse health effects			
20 000 cyanobacterial cells/ml or 10 µg chlorophyll-a/litre with dominance of cyanobacteria	<ul style="list-style-type: none"> From human bathing epidemiological study 	<ul style="list-style-type: none"> Short-term adverse health outcomes, e.g., skin irritations, gastrointestinal illness 	<ul style="list-style-type: none"> Post on-site risk advisory signs Inform relevant authorities
Moderate probability of adverse health effects			
100 000 cyanobacterial cells/ml or 50 µg chlorophyll-a/litre with dominance of cyanobacteria	<ul style="list-style-type: none"> From provisional drinking-water guideline value for microcystin-LR^c and data concerning other cyanotoxins 	<ul style="list-style-type: none"> Potential for long-term illness with some cyanobacterial species Short-term adverse health outcomes, e.g., skin irritations, gastrointestinal illness 	<ul style="list-style-type: none"> Watch for scums or conditions conducive to scums Discourage swimming and further investigate hazard Post on-site risk advisory signs Inform relevant authorities
High probability of adverse health effects			
Cyanobacterial scum formation in areas where whole-body contact and/or risk of ingestion/aspiration occur	<ul style="list-style-type: none"> Inference from oral animal lethal poisonings Actual human illness case histories 	<ul style="list-style-type: none"> Potential for acute poisoning Potential for long-term illness with some cyanobacterial species Short-term adverse health outcomes, e.g., skin irritations, gastrointestinal illness 	<ul style="list-style-type: none"> Immediate action to control contact with scums; possible prohibition of swimming and other water contact activities Public health follow-up investigation Inform public and relevant authorities

^a Derived from Chorus & Bartram, 1999.

^b Actual action taken should be determined in light of extent of use and public health assessment of hazard.

^c The provisional drinking-water guideline value for microcystin-LR is 1 µg/litre (WHO, 1998).

Detectar de forma oportuna la presencia de microcistinas en el agua, contribuye a reducir su efecto. Esto puede llevarse a cabo de varias formas, entre las que se encuentran:

1. Sistema de visualización y monitoreo SERVIR

- a. La Administración Espacial y Atmosférica Nacional de EE.UU. (*NASA*, por sus siglas en inglés) utiliza los centros (*hubs*) SEVIR para vigilar a diario la temperatura, nivel de clorofila-a y fluorescencia de las aguas en algunas zonas del planeta, incluyendo el Caribe (Mesoamérica). Mediante éste, pueden determinar dónde ocurren afloramientos de cianobacterias que podrían contener toxinas, que a su vez, podrían causar daño a la salud humana y a los organismos (Figura 5).

Figura 5. Localización de los centros SERVIR de la NASA

https://www.nasa.gov/sites/default/files/4hubsmap_earthpic1.jpg



2. Análisis del agua en un laboratorio

a. La EPA (2016) indica que una vez se observa el afloramiento de cianobacterias o eventos de muerte de peces, personal especializado puede tomar muestras de agua para confirmar la presencia de cianobacterias o cianotoxinas, utilizando algún método de laboratorio. Entre estos métodos se encuentran:

- ELISA - *Enzyme-linked immunosorbent assays*
- PPIA - *Protein phosphatase inhibition assay*
- LC/MS - *Liquid chromatography/mass spectrometry*

3. Equipos de análisis rápido de calidad de agua

a. Por ejemplo, “MicroCystest”[♦], que permite conocer el resultado en 30 minutos.

Existen diversas formas de remover o eliminar del agua, las cianobacterias y las microcistinas.

1. Ramírez-García (2007) indicó que el cloro y el hipoclorito de calcio, en una concentración de 1mg/L-1, eliminó cerca del 95% de microcistinas, en 30 minutos, no así el hipoclorito de sodio, que, en igual concentración, eliminó cerca del 40% de las toxinas. La remoción de la

[♦] Más información en <http://www.zeulab.com/es/productos/toxinas/24-microcystest-kit.html>. Recuerde, mencionar este producto no significa que es endosado por el Servicio de Extensión Agrícola, el Colegio de Ciencias Agrícolas, el Recinto Universitario de Mayagüez o la Universidad de Puerto Rico.

toxina fue de un 70-80% cuando la concentración de hipoclorito de sodio es de 5mg/L-1 o más.

2. Estudios realizados por científicos de EPA (2016) demostraron que los tratamientos de coagulación, sedimentación y filtración de las plantas potabilizadoras, son efectivos removiendo las cianobacterias. Igualmente, demostraron que la filtración utilizando membranas, el uso de permanganato de potasio, el ozono, la radiación ultravioleta y el carbón activado pueden remover las cianotoxinas.

Se han llevado a cabo otros estudios que han demostrado que las cianobacterias o sus toxinas pueden ser eliminadas utilizando microorganismos; esto se llama “biodegradación”. Al respecto, Wang, *et al.* (2010) encontraron que el hongo *Lopharia spadicea*, puede efectivamente reducir el contenido de clorifila-a de *Microcystis aeruginosa*, lo que no permite su crecimiento y desarrollo, por lo que tampoco puede producir microcistinas. En cuanto a biodegradación utilizando bacterias, Nybom (2013) indicó que *Pseudomonas aeruginosa*, *Paucibacter toxinivorans*, y *Sphingosinicella microcystinivorans* degradan las microcistinas, y Schmidt *et al.* (2014) encontraron en pruebas de laboratorio, que la microcistina-LR (MC-LR) puede ser degradada por bacterias de los géneros *Sphingopyxis* sp. y *Sphingomonas* sp.

También, se ha encontrado que la luz puede degradar las microcistinas presentes en el agua; conocido esto como “fotodegradación”. Estudios de Wörmer *et al.* (2010) en lagos de España demostraron que tanto la luz visible como la luz ultravioleta, son capaces de eliminar las microcistinas de forma eficiente, en aguas poco profundas. Igualmente, Schmidt *et al.* (2014) mencionan que en aguas recreativas, la luz solar degrada hasta un 90% de la toxina en 2 a 6 semanas, dependiendo de su concentración y del pH del agua.

Asimismo, las microcistinas puede ser adsorbidas[□] por el sedimento de cuerpos de agua dulce, principalmente los que tienen alto contenido de materia orgánica o arcilla; Herrera *et al.* (2014), Schmidt *et al.* (2014).

The greatest threat to our planet is the belief that someone else will save it.

- Robert Swan

[□] Adsorber = atraer a un cuerpo, iones o moléculas de otro cuerpo y retenerlos en su superficie. Tomado de <http://www.wordreference.com/definicion/adsorber>, <http://dle.rae.es/?id=0qLnPqO>



Referencias

- Aguayo S, R.J. & M.J. Muñoz. (2001). Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Rev. Toxicol.* **18**: 65-71. Recuperado de <http://www.accede.org/papers/cianobacterias.pdf>
- Bláha, L., P. Babica & B. Maršálek. (2009). Toxins produced in cyanobacteria water blooms – Toxicity and risks. *Interdiscip. Toxicol.* **2**(2): 36-41. DOI: 10.2478/v10102-009-0006-2. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2984099/>
- Canto de Sá, L.L., J.M. dos Santos Vieira, R. de Alcântara Mendes, S.C. Campelo Pinheiro, E. Rodriguez Vale, F. Arimatéia dos Santos Alves, I. Maura de Jesus, E. C. de Oliveira Santos & V. Bandeira da Costa. Floración de cianobacterias tóxicas en la orilla derecha del Río Tapajós, en el municipio de Santarém (Pará, Brasil). *Rev Pan-Amazaude* v.1 n.1 Ananindeua mar. 2010. Recuperado de http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?pid=S2176-62232010000100022&script=sci_arttext&tlng=es
- Chorus, I., I.R. Falconer, H.J. Salas & J. Bartram. (s.f.). Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales. Recuperado el 7 de diciembre, de <https://www.researchgate.net>, número 004635279
- De Hoyos, C. (s.f.) Cianobacterias en aguas dulces: identificación, cuantificación y toxicidad. Centro de Estudios Hidrográficos. Ministerio del Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Ministerio de Fomento, Gobierno de España. Recuperado el 6 de diciembre, de http://www.mapama.gob.es/es/agua/formacion/05_Ponencia_Caridad_de_Hoyos_web_tcm7-156240.pdf
- Environmental Protection Agency (2014). Cyanobacteria and cyanotoxins: Information for drinking water systems. Office of Water. EPA-810F11001. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/cyanobacteria_factsheet.pdf
- Environmental Protection Agency. (2016). Cyanotoxins in drinking water. Groundwater and drinking water. Recuperado de <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/cyanotoxins-drinking-water>
- Environmental Protection Agency (2016). CyanoHABs. Recuperado de <https://www.epa.gov/nutrient-policy-data/cyanoHABs>
- Environmental Protection Agency. (2016). Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL) and regulatory determination. Recuperado de <https://www.epa.gov/nutrient-policy-data/detection>
- Environmental Protection Agency. (2016). Cyanobacteria/Cyanotoxins. Recuperado de <https://www.epa.gov/ccl>

- García, Susana I. (s.f.). Cianobacterias y cianotoxinas. Impactos sobre la salud humana. Traducción, resumen y actualización del libro de Ingrid Chorus y Jaima Bartram “Toxix cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management” publicado por la OMS en el 1999. Recuperado el 7 de diciembre, de http://www.msal.gov.ar/images/stories/ministerio/intoxicaciones/cianobacterias/cianobacterias_y_cianotoxinas.pdf
- Herrera, N.A., M.T. Flores & L.F. Echeverri. (2014). Evaluación preliminar de la reducción de microcistina-LR en muestras de florecimientos a través de sistemas sedimentarios. *Rev. Int. Contam. Ambie.* **31**(4): 405-414, 2015. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n4/v31n4a8.pdf>
- Hilborn, E.D. & V.R. Beasley. One Health and cyanobacteria in freshwater systems: Animal illness and deaths are sentinel events for human health risks. *Toxins* 2015, **7**(4), 1374-1395; doi:10.3390/toxins7041374. Recuperado de <http://www.mdpi.com/2072-6651/7/4/1374/htm>
- Hilborn, E.D., V.A. Roberts, L. Backer, E. DeConno, J.S. Egan, J.B. Hyde, D.C. Nicholas, E.J. Wiegert, L.M. Billing, M. DiOrío, M.C. Mohr, F.J. Hardy, T.J. Wade, J.S. Yoder, & M.C. Hlavsa. Algal Bloom–Associated Disease Outbreaks Among Users of Freshwater Lakes — United States, 2009–2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report.* **63**(01): 11-15 (2014). Recuperado de <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6301a3.htm>
- Lago, M., S. Barca, R. Vieira-Lanero & F. Cobo. Características ambientales, composición del fitoplancton y variación temporal de microcistina-LR disuelta en el embalse de As Forcadas (Galicia, NW España). *Limnética* **34** (1); 187-204 (2015). Recuperado de http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne34/L34a187_Fitoplancton_microcistinas_embalse_Forcadas.pdf
- Lin, C.J., T.J. Wade, E.A. Sams, A.P. Dufour, A.D. Chapman & E.D. Hilborn. (2009). A prospective study of marine phytoplankton and reported illness among recreational beachgoers in Puerto Rico. *Environ Health Perspec* **124** (4), 2016. DOI: 10.1289. Recuperado de <http://ehp.niehs.nih.gov/1409558/>
- Loreto, C., N. Rosales, J. Bermúdez & E. Morales. (2003). Producción de pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena* PCC 7120 en relación a la concentración de nitrógeno e irradiancia. *Gayana Bot.* **60**(2). Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432003000200001
- Ludeña-Hinojosa, Y. (2007). Cianobacterias en la Bahía de Mayagüez: Abundancia, distribución y su relación con las propiedades bio-ópticas. (Tesis de maestría). Recinto Universitario de Mayagüez. Recuperado de http://gers.uprm.edu/pdfs/thesis_yvette.pdf

- Martínez Ruiz, J.E. (2013) Environmental distribution of cyanobacteria and their toxins in the Carraízo reservoir, Puerto Rico (Tesis doctoral). Univesidad del Turabo. Resumen recuperado de <http://gradworks.umi.com/36/06/3606985.html>
- Ministerio de Salud, Argentina. (2015). Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud. Cartilla para el personal de Salud. Preguntas más frecuentes y sus respuestas. Recuperado de <http://www.reporteepidemiologico.com/wp-content/uploads/2015/04/Cianobacterias-Preguntas-y-respuestas.pdf>
- Moreno Navarro, I.M. (2002). Microcistinas: Presencia, determinación y estudios toxicológicos (Tesis doctoral). Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, España. Recuperado de <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/2513/microcistinas-presencia-determinacion-y-estudios-toxicologicos/#description>
- National Atmospheric and Space Administration. (2016) SERVIR. Recuperado de https://www.nasa.gov/mission_pages/servir/index.html
- Nybom, S. (2013). Chapter 7. Biodegradation of cyanobacterial toxins. Environmental Biotechnology – New approaches and prospective applications. InTech. ISBN: 978-953-51-0972-3. 310pp. DOI: 10.5772/56068. Recuperado de <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/42611.pdf> y <http://www.intechopen.com/books/environmental-biotechnology-new-approaches-and-prospective-applications>
- Organización Mundial de la Salud. (2008). Guía para la calidad del agua potable, 3^{ra} Ed. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/
- Periódico Primera Hora. (2013, 30 de octubre). Falta de oxígeno provoca muerte de peces en el estuario de San Juan. Recuperado de <http://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/nota/faltadeoxigenoprovocamuertedepecesenelestuariodesanjuan-966087/>
- Pineda-Mendoza, R.M., R. Olvera-Ramírez & F. Martínez-Jerónimo. (2012). Microcystines produced by filamentous cyanobacteria in urban lakes. A case study in Mexico City. Hidrobiológica 22(3). ISSN 0188-8897. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972012000300010
- Quesada, A., D. Carrasco & S. Cirés. (s.f.). Cianobacterias en aguas de consumo y de recreo: un problema de todos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Ministerio de Fomento, Gobierno de España. Recuperado del 6 de diciembre, de <http://ceh-flumen64.cedex.es/Ecosistemas/Jornadas%20Cianos/A.Quesada.pdf>

- Ramírez García, P., E. Martínez Romero, Ma. D. Martínez Salgado & C.A. Eslava Campos. (2007). Cianobacterias, microorganismos del fitoplancton, y su relación con la salud humana. Instituto Nacional de Ecología, España. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/440/cap4.html>; o <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/440.pdf>
- Sacristán-de Alva, M., V.M. Luna-Pabello, E. Cadena-Martínez & A.F. Alva-Martínez. Producción de biodiesel a partir de algas y una cianobacteria cultivadas en diferentes calidades de agua. *Agrociencia* 48(3): 271-284 (2014). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n3/v48n3a3.pdf>
- Schmidt, J.R., S.W. Wilhelm & G.L. Boyer. (2014) The fate of microcystins in the environment and challenges for monitoring. *Toxins* 6(12); 3354-3387. DOI: 10.3390. Recuperado de <http://www.mdpi.com/2072-6651/6/12/3354/htm>
- Sivonen, K. & G. Jones. (1999). Chapter 3. Cyanobacterial toxins. World Health Organization. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxycyanchap3.pdf
- Torres Ariño, A. (2004). Uso de cianobacterias en la producción de antibióticos. *Ciencia y Mar, Artículos y ensayos*. Universidad Autónoma de México. Recuperado de <http://www.umar.mx/revistas/23/cianobacterias.pdf>
- Universidad Abierta y a Distancia de Colombia. Diversidad microbiana – Tipos de microorganismos: cianobacterias. Recuperado el 5 de diciembre, de <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201504/micro/cianobacterias.htm>
- Universidad Complutense de Madrid. Cyanophyta. Biodiversidad y taxonomía de plantas criptógamas. Recuperado el 5 de diciembre, de http://escalera.bio.ucm.es/usuarios/criptogamas/plantas_criptogamas/materiales/algas/cyanophyta.html#
- U.S. Climate Resilience Toolkit. (2016). Keeping toxins from harmful algal blooms out of the food supply. Recuperado de <https://toolkit.climate.gov/case-studies/keeping-toxins-harmful-algal-blooms-out-food-supply>
- U.S. Geological Survey. (2016). New study in Cyanotoxins in lakes and reservoirs provides insights into assessing health risks. *Environmental Health – Toxic substances hydrology program*. Recuperado de http://toxics.usgs.gov/highlights/2016-05-31-cyanotoxins_in_lakes.html
- Vergara, Y., A. Moya, M.L. Peleato Sánchez, E. Sevilla & S. López. (s.f.). Informe científico-técnico – Nuevos riesgos para el agua potable: Microcistina. Recuperado del 9 de diciembre, de http://bibliotecavirtual.aragon.es/bva/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=3712962

- Wang, Q., M. Su, W. Zhu, X. Li, Y. Jia, P. Guo, Z. Chen, W. Jiang & X. Tian. (2010). Growth inhibition of *Microcystis aeruginosa* by white-rot fungus *Lopharia spadicea*.(Abstract). *Water Science and Technology*, **62**(2): 317-323. DOI: 10.2166/wst2010.214. Recuperado de <http://wst.iwaponline.com/content/62/2/317>
- World Health Organization. Chapter 8. Algae and cyanobacteria in fresh water. Guidelines for safe recreational water environments. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe1-chap8.pdf
- Wörmer, L., M. Huerta-Fontela, S. Cirés, D. Carrasco & A. Quesada. (2010). Natural photodegradation of the cyanobacterial toxins microcystin and cylindrospermopsin. *Environ. Sci. Technol.* **44**(8): 3002-3007. DOI: 10.1021/es9036012. Recuperado de <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es9036012?prevSearch=antonio%2Bquesada&searchHistoryKe, y>
<http://www.agenciasinc.es/Noticias/La-radiacion-solar-puede-reducir-las-toxinas-de-cianobacterias-en-embalses-espanoles>
- Vela, L., E. Sevilla, B. Martín, S. Pellicer, M.A. Bes, M.F. Fillat & M.L. Peleato. Las microcistinas. *Rev. Real Academia de Ciencias. Zaragoza.* **62**: 135-146, 2007. Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. Recuperado de <http://www.unizar.es/acz/05Publicaciones/Revistas/Revista62/p135.pdf>



Fotos-Dibujos-Diagramas

- [Estructura química general de una microcistina]. Recuperada de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/98/Microcystins_general_structure.svg/220px-Microcystins_general_structure.svg.png
- [Variedad de Cianobacterias]. Recuperado de <http://3.bp.blogspot.com/-M548wAdW6Xo/VKHPYAliOOI/AAAAAAAAAEpA/DUhvsgjnVm8/s1600/Cianobacterias.jpg>
- [Afloramiento cianobacterias en Lago Atitlán, Guatemala]. Recuperado de https://d5pa5brvrabv4.cloudfront.net/sites/default/files/11846761_881048261950972_2191010517745932229_n.jpg
- [Estructura general de una microcistina]. Recuperado de <http://slideshowes.com/doc/569988/algas-y-cyanobacterias--10-parte-5>
- [Microcystis sp.]. Recuperada de http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Prokaryotes/Chroococcaceae/Microcystis/sp_03.jpg