

Cianobacterias planctónicas en la zona de ingreso del río Nare al embalse El Peñol-Guatapé

Planktonic cyanobacteria in the river Nare inlet of the El Peñol-Guatapé reservoir

Sara Cadavid González  ^a, Célia Leite Sant'Anna ^b, John Jairo Ramírez ^a

^a Grupo de Investigación en Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina, Universidad de Antioquia
^b Núcleo de Pesquisa em Ficologia, Instituto de Botânica

Recibido: 8 de noviembre, 2022

Aceptado: 29 de mayo, 2023

Publicado en línea: 9 de enero, 2024

<https://doi.org/10.21068/2539200X.1118>



Resumen

Dada la gran importancia ecológica y sanitaria de las cianobacterias y la escasez de información sobre estos organismos en los cuerpos de agua dulce colombianos, se realizó esta investigación con el fin de conocer la composición florística de las cianobacterias planctónicas en la descarga del río Nare en el embalse El Peñol-Guatapé e identificar las especies potencialmente formadoras de floraciones y potencialmente tóxicas. La cuenca del embalse El Peñol-Guatapé (Antioquia) presenta un alto nivel de intervención antrópica que ha ocasionado la eutrofización del sistema. Este fenómeno se ha intensificado en los últimos años, durante los cuales se ha incrementado la frecuencia y la densidad de las floraciones de cianobacterias. Durante la investigación, se realizaron 14 campañas de muestreo entre agosto de 2014 y marzo de 2015. Las muestras fueron colectadas con red de plancton (de 25 μm de tamaño de poro) y preservadas con solución de Transeau. En el proceso, fueron identificados 14 taxones, principalmente de los géneros *Microcystis* (Lemmermann) y *Pseudanabaena* (Lauterborn), conocidos por su potencial tóxico. Las características limnológicas del sistema revelan aguas verdosas de baja transparencia y bajas concentraciones de fósforo y nitrógeno inorgánico disuelto.

Palabras clave: blooms, eutrofización, composición florística, potencial tóxico.

Abstract

This research aims to identify the floristic composition of planktonic cyanobacteria in the river Nare inlet in the El Peñol-Guatapé reservoir and the species that are potentially toxic and formers of blooms, given the ecological and sanitary importance of the cyanobacteria and lack of information about these organisms in Colombian aquatic ecosystems. The basin of the reservoir El Peñol-Guatapé (Antioquia) has a high level of anthropogenic intervention, which has caused its eutrophication. This has been intensified in the last years during which the frequency and density of blooms of cyanobacteria have increased. Fourteen sampling tests were made between August 2014 and March 2015. The samples were collected with a plankton net (25 µm mesh) and fixed with Transeau. Fourteen taxa were identified, mainly *Microcystis* (Lemmermann) and *Pseudanabaena* (Lauterborn), known for their toxic potential. The limnological characteristics of the system reveal greenish waters with low transparency and low dissolved inorganic nitrogen and phosphorus concentrations.

Keywords: blooms, eutrophication, floristic composition, toxic potential.

Introducción

Las cianobacterias constituyen el grupo de microorganismos fotosintetizadores aeróbicos más antiguos del planeta. Se estima que su aparición fue hace unos 3500 millones de años (Bisby et al., 1995). Comparten algunas características estructurales con las bacterias (no poseen núcleo ni organelas y tienen pared celular tipo Gram negativa) y otras funcionales con las algas eucariotas (entre ellas, realizan fotosíntesis con liberación de oxígeno y tienen clorofila *a*). Esto las hace únicas en cuanto a su fisiología, tolerancia a condiciones extremas y flexibilidad adaptativa (Whitton & Potts, 2002).

Estos microorganismos han colonizado exitosamente todos los ecosistemas acuáticos del mundo y se encuentran dispersos en forma unicelular o pluricelular en ríos, lagos, represas y en ambientes marinos (Sant'Anna et al., 2006). También están presentes en todos los biotopos de los ecosistemas acuáticos, como la interfaz agua-aire, la columna de agua, el sedimento y sobre las macrófitas, siendo importantes miembros de las comunidades fitoplanctónicas y perifíticas (Oliver & Ganf, 2002). Muchas especies ocurren en condiciones extremas, en sistemas hipersalinos, aguas termales e incluso en regiones polares (Whitton & Potts, 2002; Meichtry et al., 2009). Su amplia distribución se debe a su metabolismo versátil y a una serie de adaptaciones

estructurales y enzimáticas, como la presencia de ficobiliproteínas que auxilian la captación de luz para la fotosíntesis; la fijación de nitrógeno atmosférico a través de heterocitos; la producción de acinetos, células diferenciadas que funcionan como esporas de resistencia, y de vacuolas de gas o aerótopos, que permiten la migración vertical en la columna de agua; además, almacenan fósforo en forma de granos de polifosfato en su citoplasma y pueden ser tóxicas (Sant'Anna et al., 2006).

Su desarrollo está comúnmente relacionado con el enriquecimiento de nutrientes o la eutrofización de los ecosistemas acuáticos (Moss et al., 1990), condición bajo la cual las cianobacterias pueden desarrollarse rápidamente, aumentando su biomasa hasta alcanzar niveles muy altos. A esto se le conoce como floraciones o *blooms* algales (Dillon & Rigler, 1974; Wetzel, 2001). Estas aglomeraciones pueden ser evidentes a simple vista por los cambios que causan en las características organolépticas del agua, la coloración y la turbidez que le confieren, o por las acumulaciones o franjas densas superficiales (Roldán y Ramírez, 2008). La presencia de florecimientos de cianobacterias se puede asociar también a la mortandad de organismos acuáticos debido al agotamiento del oxígeno disuelto (principalmente en las proximidades de la zona bentónica), a cambios en el pH, a altos niveles de amonio o a la liberación de cianotoxinas (Codd et al., 1999).

La presencia de floraciones de cianobacterias es motivo de preocupación debido a que muchos de estos organismos pueden producir sustancias con alta capacidad tóxica (Smayda, 1997; Bartram et al., 1999; Gonseth & Martínez, 2005), conocidas como cianotoxinas (Bonilla & Aubriot, 2009), las cuales pueden ocasionar intoxicaciones a animales y personas, no solo por consumo directo, sino por su inhalación o por el consumo de organismos acuáticos que bioacumulan estas sustancias, lo que constituye un riesgo sanitario (Carmichael, 1992; Falconer, 1994).

A pesar de que hay una gran diversidad de ecosistemas acuáticos, en Colombia hay pocos trabajos sobre este grupo de organismos y no existe un registro sistemático de floraciones, como tampoco normas estatales que permitan reportar los casos. Al respecto se conocen los trabajos de Quirós y Flórez (1987), Ramírez (1996), Palacio et al. (2015a), y de carácter taxonómico, solo se tiene conocimiento del trabajo de Palacio et al. (2015b). Por lo tanto, la información disponible sobre la riqueza específica de las cianobacterias es muy escasa. La mayoría de los estudios son trabajos de grado ecológicos, entre ellos, los de Escobar y Manjarres (1985), Bula (1985), Vásquez et al. (2006), Correa-Ochoa (2008), Herrera et al. (2014) y Ferrão-Filho et al. (2014).

Este estudio se llevó a cabo en la zona de ingreso del río Nare al embalse El Peñol-Guatapé. El área de influencia de las cuencas de los tributarios del embalse, en especial de la cuenca del río Nare, principal tributario, presenta un alto grado de intervención antrópica que condiciona la calidad sanitaria del agua y ha llevado a un avanzado grado de eutrofización del sistema. Este fenómeno se ha intensificado en los últimos años, durante los cuales se ha incrementado la frecuencia y densidad de las floraciones de cianobacterias en las zonas ribereñas o "colas", principalmente del río Nare. Si bien el embalse lleva en operación más de cuarenta años, hasta el momento se desconocen cuáles son las cianobacterias causantes de las floraciones, su potencial tóxico o su ecología ([https://www.cornare.gov.co/planes-de-ordenacion-](https://www.cornare.gov.co/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomcas/)

[y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomcas/](https://www.cornare.gov.co/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomcas/)). Dado que, además de la generación de energía el embalse cumple fines turísticos y de producción pesquera, y en él se practican deportes náuticos y pesca deportiva, conocer las cianobacterias presentes es de gran importancia para su gestión ambiental. Por tanto, el objetivo de este trabajo es establecer la composición florística de las cianobacterias planctónicas en la zona de ingreso del río Nare en el embalse El Peñol-Guatapé e identificar las especies potencialmente formadoras de floraciones y potencialmente tóxicas, así como algunos de sus aspectos ecológicos y sanitarios.

Materiales y métodos

El embalse El Peñol-Guatapé, concluido en 1978, se localiza en el oriente antioqueño (6°13'20"N-75°10'11"O), en una zona batolítica, a 50 km de la ciudad de Medellín y a una altitud de 1887,5 m s. n. El embalse tiene una capacidad, en su cota máxima, de 1240 millones de m³ y una profundidad máxima de 43 m. En total, cubre un área de 6240 ha y el tiempo de retención hidráulico es de 285 días. Se construyó represando el río Nare, que es su principal afluente. La primera etapa fue puesta en servicio entre 1971 y 1972, y la segunda, en 1979 (EPM-ESP, 1993). Este sistema es operado por Empresas Públicas de Medellín (EPM-ESP) y es el de mayor regulación del país, con una capacidad total de almacenamiento de 1071,7 millones de m³ (EPM-ESP, 1993). El embalse está destinado a la generación hidroeléctrica, pero también al turismo, los deportes náuticos y la producción pesquera.

El estudio se desarrolló en la zona lítica o riberina del embalse (donde ingresa el río Nare); un sector de reducida profundidad (6 m en promedio) y altamente influenciado por el río Nare, caracterizado por presentar mezcla total de la columna de agua (Bedoya, 2017). Se realizaron catorce campañas de muestreo quincenales, entre agosto de 2014 y febrero de 2015, durante las cuales se midió la transparencia (Dsd) mediante un disco Secchi y, a partir de estos resultados, se definieron las profundidades para la recolección de las muestras de

agua. Mediante una botella muestreadora tipo Schindler de 5 L de capacidad se colectó una muestra integrando la zona fótica (subs superficie (0,1 m), 10%I0 (Dsd x 1,35) y 1%I0 (Dsd x 2,75)), con el fin de realizar una muestra compuesta. Mediante una sonda multiparamétrica CTD se midieron *in situ* las variables pH y conductividad eléctrica. Luego, la muestra fue envasada y enviada al laboratorio de control calidad de EPM-ESP para la determinación de la concentración de las formas de nitrógeno inorgánico disuelto (nitratos, nitritos y amonio) y fosfato, mediante cromatografía iónica. Se registraron valores mínimo y máximo de las variables mencionadas. El muestreo de las cianobacterias se realizó mediante arrastre vertical en la zona fótica con una red de plancton (malla de 25 µm). Las muestras fueron fijadas con solución Transeau (formaldehído, alcohol, agua 1:3:6 y 5 % de glicerina líquida) en proporción 1:1 para su análisis en el laboratorio. Se midieron *in situ* algunas variables limnológicas de interés (pH y conductividad eléctrica) y se tomaron muestras para evaluar la concentración de las formas de nitrógeno orgánico disuelto (nitrito, nitrato y amonio) y fosfato.

Las características morfológicas de los organismos se observaron con la ayuda de un microscopio óptico binocular OLYMPUS CH30 a una magnificación de 1000x, equipado con una cámara digital Nikon D5300, y las características morfométricas, con el software Irfan-View 32-bit (Skiljan, 1996). En el Instituto de Botânica de São Paulo (Brasil) y bajo la dirección de la investigadora Célia Sant'Anna, se confirmaron las identificaciones realizadas inicialmente (usando un microscopio óptico binocular Zeiss modelo Axioplan-2 equipado con cámara digital Zeiss AxioCam MRc y software para medidas CarlZeiss AxioVision versión 4.6). Se observaron las características morfológicas y morfométricas de los taxones. Se realizaron mediciones de interés taxonómico en 30 individuos de cada taxón, con el fin de establecer la variabilidad morfométrica de la población. Estas medidas estuvieron representadas por los límites morfométricos, máximos y mínimos, de los organismos identificados. También se llevaron a cabo tinciones con tinta china, para evidenciar mucílago

en las formas coloniales y vainas en las formas filamentosas. Se emplearon claves, descripciones e ilustraciones de trabajos especializados (Gleiter, 1925; Anagnostidis & Komárek, 1985, 1988; Komárek & Anagnostidis, 1999; Sant'Anna et al., 2006; Sant'Anna et al., 2007). El sistema de clasificación adoptado en esta trabajo fue el propuesto por Hoffmann et al. (2005). Finalmente, las muestras se depositaron en la Colección Limnológica de la Universidad de Antioquia (CLUA).

Resultados y discusión

Se registraron 14 taxones infragenéricos de cianobacterias planctónicas, representados en dos órdenes (Chroococcales y Oscillatoriales), seis familias (Synechococcaceae, Merismopediaceae, Microcystaceae, Chroococcaceae, Oscillatoriales, Pseudanabaenaceae y Oscillatoriaceae), 10 géneros y 14 especies. Los géneros son: *Radiocystis* (Skuja) (una spp.), *Synechocystis* (Sauvageau) (una spp.), *Merismopedia* (Meyen) (una spp.), *Woronichinia* (Elenkin) (una spp.), *Sphaerocavum* (Azevedo & Sant'Anna) (una spp.), *Microcystis* (Lemmermann) (tres spp.), *Chroococcus* (Nägeli) (una spp.), *Planktolyngbya* (Anagnostidis & Komárek) (una spp.), *Pseudanabaena* (Lauterborn) (tres spp.) y *Oscillatoria* (Gomont) (una spp.).

A continuación, se presentan tres claves dicotómicas taxonómicas, una para la identificación de los diferentes géneros presentes (A). En los casos en que se observó una única especie, la pauta en la clave se refiere a la especie determinada; otra para la determinación de las especies de *Microcystis* (B); y una más para la determinación de las especies de *Pseudanabaena* (C).

A. Clave para identificar los géneros de cianobacterias

- 1a. Individuos unicelulares o coloniales.....2
- 1b. Individuos filamentosos.....8
- 2a. División celular en un plano. Colonias redondeadas, mucílago amplio y hialino, células dispuestas radialmente

- en la periferia de la colonia, esféricas, con aerótopos.....*Radiocystis*
- 2b. División celular en dos o más planos.....3
- 3a. División celular en dos planos.....4
- 3b. División celular en tres o más planos.....7
- 4a. Individuos solitarios o formando pequeños agregados, células esféricas u ovaladas.....*Synechocystis*
- 4b. Individuos coloniales.....5
- 5a. Colonias cuadráticas, tabulares, células esféricas u ovaladas, dispuestas en filas paralelas.....*Merismopedia*
- 5b. Colonias huecas, redondeadas o irregulares, células no dispuestas en filas.....6
- 6a. Células esféricas u ovaladas, unidas desde el centro por un pedicelo mucilaginoso fino y dispuestas radialmente hacia la periferia de la colonia.....*Woronichinia*
- 6b. Células esféricas, dispuestas en la periferia de la colonia..... *Sphaerocavum*
- 7a. División celular siempre en tres planos. Colonias redondeadas o irregulares, multicelulares, mucílago hialino, difluente, células esféricas distribuidas irregularmente dentro del mucílago.....*Microcystis*
- 7b. División celular en tres o más planos. Colonias redondeadas o irregulares, formadas por 2 a 16 células, mucílago hialino, firme, delimitante, células esféricas o semiesféricas, permaneciendo juntas.....*Chroococcus*
- 8a. Tricomas con células discoídes, más anchas que largas.....*Oscillatoria*
- 8b. Tricomas con células cilíndricas más largas que anchas.....9
- 9a. Tricomas con vaina mucilaginosa inconspicua, constrictos o no, solitarios.....*Planktolyngbya*
- 9b. Tricomas sin vaina mucilaginosa, constrictos, con o sin aerótopos localizados en las extremidades de las células.....*Pseudanabaena*

B. Clave para la identificación de las especies de *Microcystis*

- 1a. Colonias esféricas o irregulares, mucílago hialino, conspicuo, firme, delimitante, con contorno visible.....*Microcystis wesenbergii*
- 1b. Colonias esféricas o irregulares, mucílago hialino, difluente.....2

- 2a. Colonias clatradas o no, mucílago amplio. Células concentradas en el centro de las colonias.....*Microcystis aeruginosa*
- 2b. Colonias no clatradas, mucílago fino, con borde irregular y marcadas hendiduras. Células dispersas irregularmente dentro del mucílago, con mucílago individual.....*Microcystis protocystis*

C. Clave para la identificación de las especies de *Pseudanabaena*

- 1a. Tricomas viviendo libremente en la columna de agua, células con dos aerótopos polares.....*Pseudanabaena galeata*
- 1b. Tricomas viviendo en el interior del mucílago de otras cianobacterias o de otras microalgas, células sin aerótopos2
- 2a. Tricomas constrictos.....*Pseudanabaena mucicola*
- 2b. Tricomas no constrictos o levemente constrictos.....*Pseudanabaena voronichinii*

Las cianobacterias identificadas en el material colectado son descritas a continuación dentro de sus respectivas categorías taxonómicas.

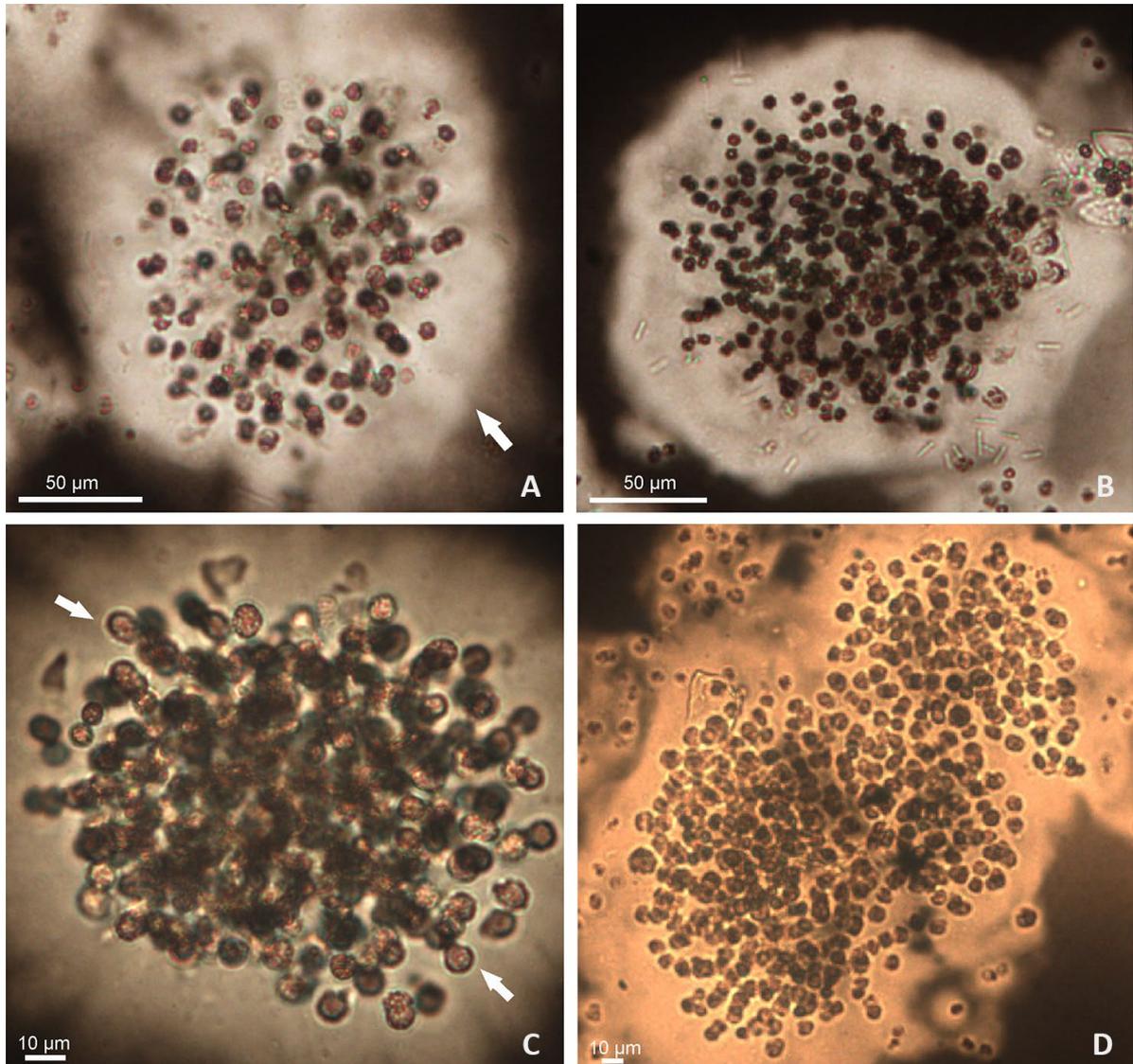
Orden Chroococcales

Familia Synechococcaceae

Radiocystis fernandoi Komárek & Komárková-Legnerová 1993

Colonias esféricas o irregulares. Mucílago hialino, homogéneo, difluente, de margen amplia. Células esféricas, dispuestas radialmente en la periferia de la colonia, de 4,0 a 9,6 μm de diámetro, con aerótopos.

Comentarios taxonómicos. Esta especie puede ser confundida con *M. aeruginosa*. Además del plano de división celular de la colonia, una de las principales diferencias es la distribución de las células dentro de la colonia. En *R. fernandoi* las células se disponen radialmente del centro hacia la periferia, mientras que *M. aeruginosa* es una colonia maciza donde las células están situadas en todo el espesor de esta.

Figura 1. *Radiocystis fernandoi*.

Notas. (A-B) Aspecto general de las colonias. Se puede observar el mucílago amplio (flechas). (C-D) Forma y disposición de las células. Las flechas indican la disposición radial de las células.

Ecología. Esta especie ha sido registrada en sistemas límnicos eutrofizados tropicales y subtropicales (Sant'Anna et al., 2008). En este estudio se registró bajo estas condiciones: pH: 8,8 – 9,4, conductividad eléctrica: 0,05 - 0,06 mS.cm⁻¹, nitrato: 0,05 – 0,56 mgNO₃.L⁻¹, nitrito: 0,004 – 0,05 mgNO₂.L⁻¹, amonio <0,01 – 0,07 mgNH₄.L⁻¹ y fosfato: <0,01 – 0,11 mgPO₄³⁻.L⁻¹, junto a *M. aeruginosa*, *M. protocystis* y *M. wesenbergii*.

Se menciona como formadora de floraciones (Vieira et al., 2001; Vieira et al., 2003; Sant'Anna et al., 2008)

y productora de microcistinas (Vieira et al., 2003; Lombardo et al., 2006; Sant'Anna et al., 2008).

Familia Merismopediaceae

Synechocystis sp. Sauvageau 1892

Células solitarias o en agrupaciones, con mucílago hialino y difluente, esféricas u ovaladas, de 0,7 a 1 µm de diámetro.

Comentarios taxonómicos. No fue posible su determinación a nivel específico, ya que solo se encontró un organismo.

Figura 2. *Synechocystis* sp. Aspecto general de la colonia.

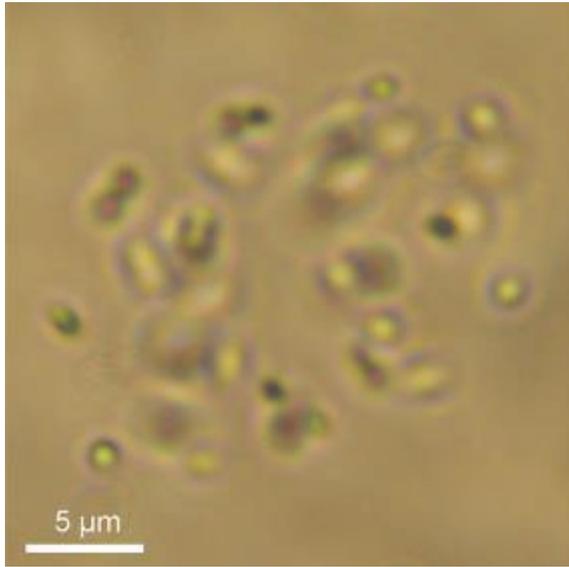
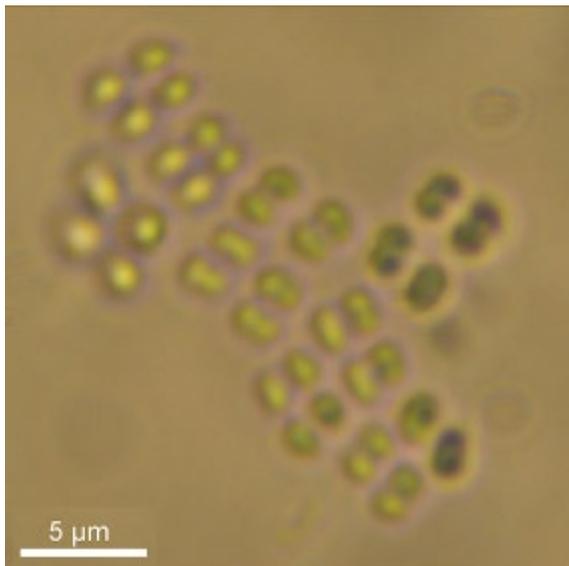


Figura 3. *Merismopedia tenuissima*. Vista general de la colonia.



Ecología. Las floraciones de *Synechocystis* se han encontrado asociadas con altos valores de pH y una baja proporción de NT:PT (Odebrecht et al., 2002; González et al., 2004). En este estudio el género fue poco frecuente, y se registró bajo las siguientes condiciones: pH: 8,7, conductividad eléctrica: 0,05 mS.cm⁻¹, nitrato: 0,2 mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,005 mgNO₂⁻.L⁻¹, amonio: 0,05 mgNH₄.L⁻¹ y fosfato: 0,02 mgPO₄⁻³.L⁻¹.

Se menciona como productor de floraciones (González et al., 2004; Cavati et al., 2009) y de microcystinas (Odebrecht et al., 2002).

***Merismopedia tenuissima* Lemmermann 1898**

Colonias planas, rectangulares. Mucílago hialino, difluente. Células distribuidas en hileras en el plano de la colonia, esféricas u ovaladas, de 0,9 a 1,7 μm de diámetro, de color verde o verde azul, sin aerótopos.

Ecología. *M. tenuissima* ocurre comúnmente en sistemas mesotróficos y eutróficos, y en cuerpos de agua alcalinos (Joosten, 2006). Se han registrado floraciones en lagos hipertróficos con concentraciones de fosfato elevadas (962 μgPO₄.L⁻¹ (Vidal et al., 2009). En este estudio fue registrada ocurriendo bajo un amplio rango de condiciones: pH: 7,7 - 9,3, conductividad eléctrica: 0,05 - 0,06 mS.cm⁻¹, nitrato: 0,05 - 0,23 mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,004 - 0,018 mgNO₂⁻.L⁻¹, amonio: <0,01 - 0,02 mgNH₄.L⁻¹, fosfato: 0,01 - 0,03 mgPO₄⁻³.L⁻¹.

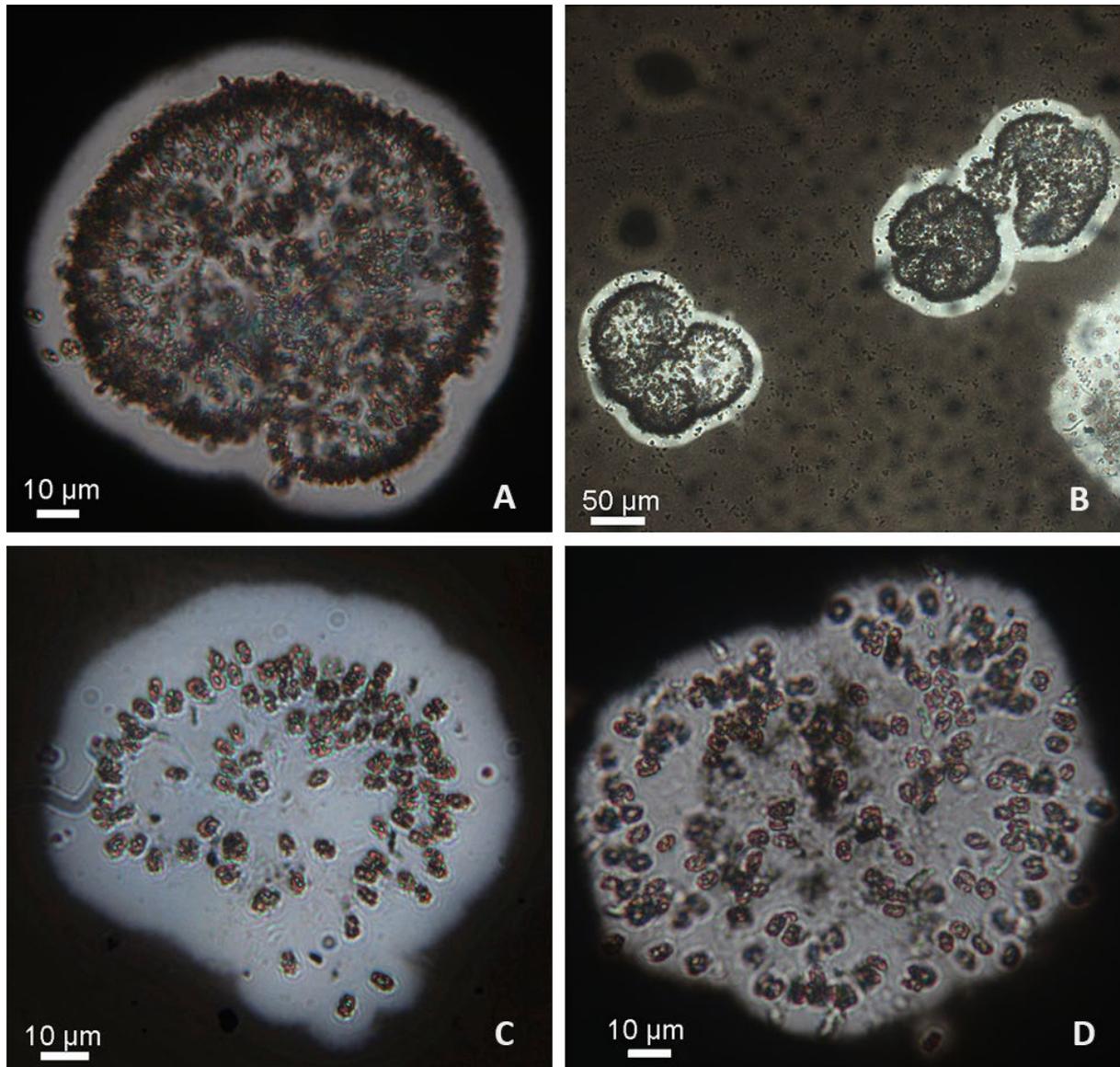
Se han observado floraciones en aguas estuarinas (Livingston, 2007). Se le menciona como productora de microcystinas y lipopolisacáridos (Vidal et al., 2009).

***Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin 1933**

Colonias huecas, esféricas o elipsoides. Mucílago hialino, amplio. Células dispuestas radialmente desde el centro a la periferia de la colonia, ovaladas, de 1,8 a 6,1 μm de diámetro, con aerótopos.

Comentarios taxonómicos. Frecuentemente se observaron colonias desagrupándose y liberando células para la formación de nuevas colonias.

Ecología. Esta especie es muy común en zonas templadas (Cronberg & Annadotter, 2006). Se ha encontrado ocurriendo en ambientes eutróficos, junto algunas especies de *Microcystis* (Joosten, 2006). En sistemas eutróficos de São Paulo ha sido registrada bajo las siguientes condiciones: pH: 7,0-7,9; nitrógeno total: 0,90 - 14,50 mg.L⁻¹ (Sant'anna et al., 2006). En este ciclo de estudio se encontró bajo un amplio rango de condiciones (pH: 7,7 - 9,4, conductividad eléctrica: 0,05 - 0,06 mS.cm⁻¹, nitrato: 0,05 - 0,56 mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,004 - 0,05 mgNO₂⁻.L⁻¹, amonio: <0,01 - 0,07 mgNH₄.L⁻¹, fosfato: <0,01 - 0,11 mgPO₄⁻³.L⁻¹), ocurriendo junto a *M. aeruginosa*, *M. protocystis* y *M. wesenbergii*.

Figura 4. *Woronichinia naegeliana*.

Notas. (A-B) Aspectos generales de las colonias adultas. (C-D) Colonias en desagregación, liberando células para la formación de nuevas colonias.

Se menciona como formadora de floraciones (Willame et al., 2005; Rajaniemi-Wacklin et al., 2006) y como productora de microcistinas y anatoxinas (Carvalho et al., 2013).

***Sphaerocavum* sp. Azevedo & Sant'Anna, 2003**

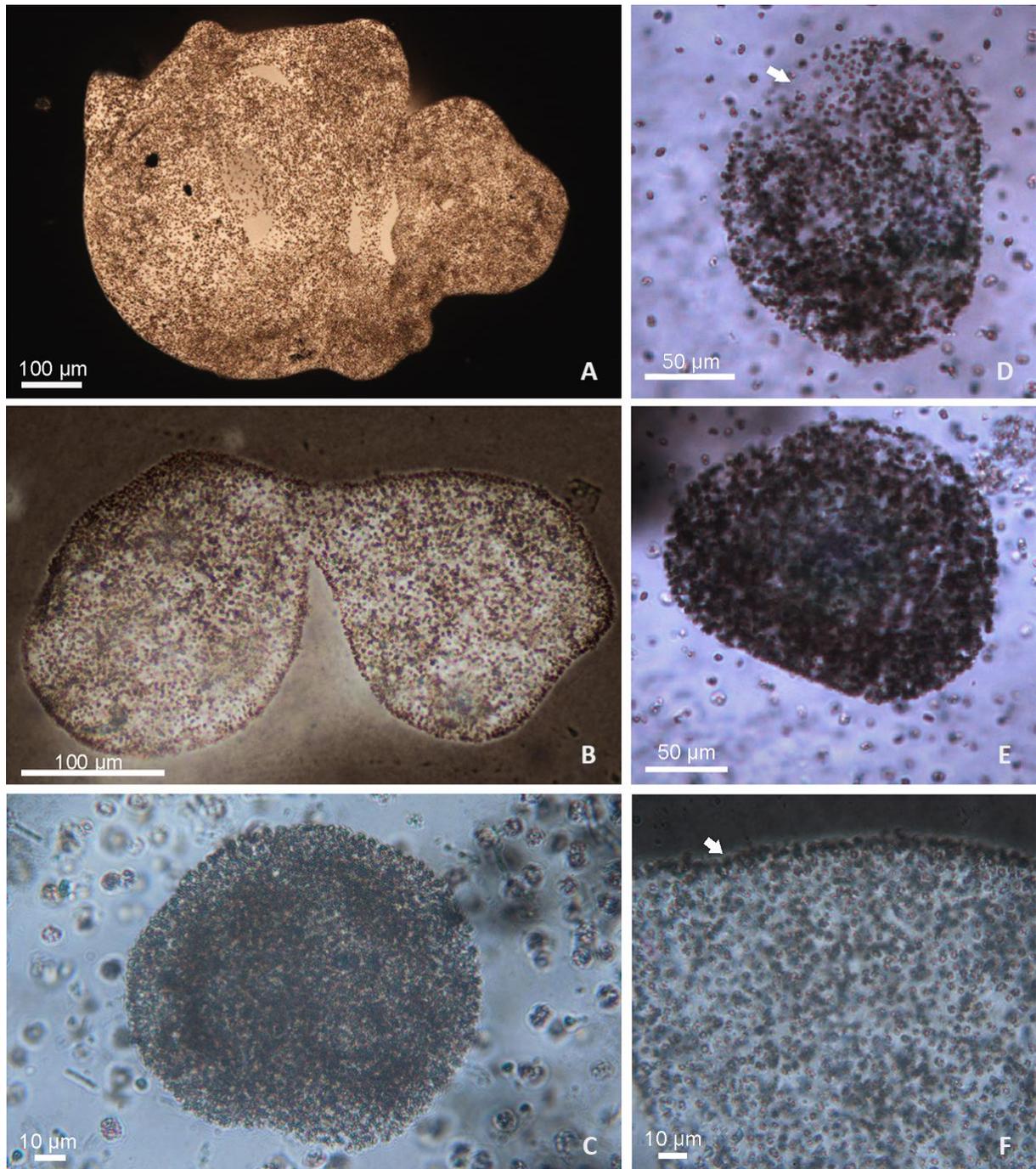
Colonias huecas, irregulares (esféricas cuando jóvenes). Mucílago hialino, homogéneo, difluente, adyacente a las células. Células esféricas, de (1,6) 2,8 (4,1) µm diámetro, con aerótopos, dispuestas en la superficie de la colonia.

Comentarios taxonómicos. *Sphaerocavum* sp. puede confundirse con algunas especies del género *Microcystis*. Sin embargo, *Sphaerocavum* se caracteriza por presentar colonias huecas producto de división celular en dos planos, mientras que *Microcystis* presenta colonias compactas, con células organizadas tanto en la periferia como en el interior, y la división celular es en tres planos.

Ecología. Ocurre en cuerpos de agua mesotróficos y eutróficos de zonas tropicales y subtropicales (Mendoza, 2016). En el ciclo de este estudio fue registrado bajo las siguientes condiciones

ambientales: pH: 7,67 – 9,26, conductividad eléctrica: 0,05 - 0,06 mS.cm⁻¹ nitrato: 0,05 – 0,56 mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,004 – 0,023 mgNO₂⁻.L⁻¹, amonio: <0,01 – 0,07 mgNH₄.L⁻¹, fosfato: <0,01 – 0,03 mgPO₄⁻³.L⁻¹.

Figura 5. *Sphaerocavum* sp.



Notas. (A-C) Variabilidad morfológica de las colonias. (D-E) Detalle de las colonias liberando células para la formación de nuevas colonias (las flechas indican el aspecto hueco de las colonias) (F) Detalle de las células distribuidas en la periferia de la colonia (flechas).

No se ha mencionado que forma floraciones (Carvalho, 2007) y hasta el momento no se han reportado toxinas para el género (Azevedo & Sant'Anna 2003).

Familia Microcystaceae

Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing 1846

Colonias globosas, irregulares o esféricas, clatradas o no, mucilago hialino, difluente y muy poco desarrollado alrededor de los grupos de células. Células distribuidas en todos los niveles de la colonia, concentradas en el centro de las colonias, esféricas, de (3) 6,7 (11,7) μm de diámetro, con numerosos aerótopos.

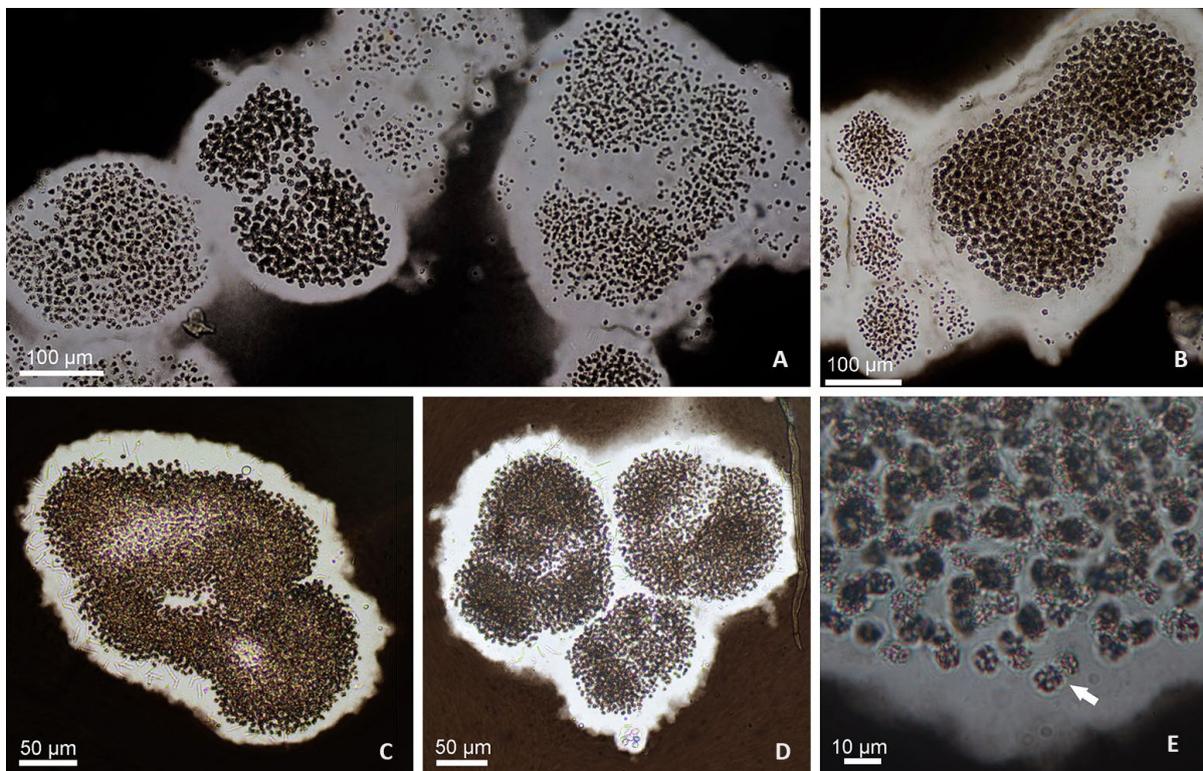
Comentarios taxonómicos. Debido a su gran variabilidad morfológica, esta especie puede ser confundida con otros dos géneros, *Radiocystis* y *Sphaerocavum*. Sin embargo, la disposición de las células, siempre concentradas en el centro del mucilago y la división celular en tres planos distinguen

a *M. aeruginosa* de las demás especies de estos dos géneros.

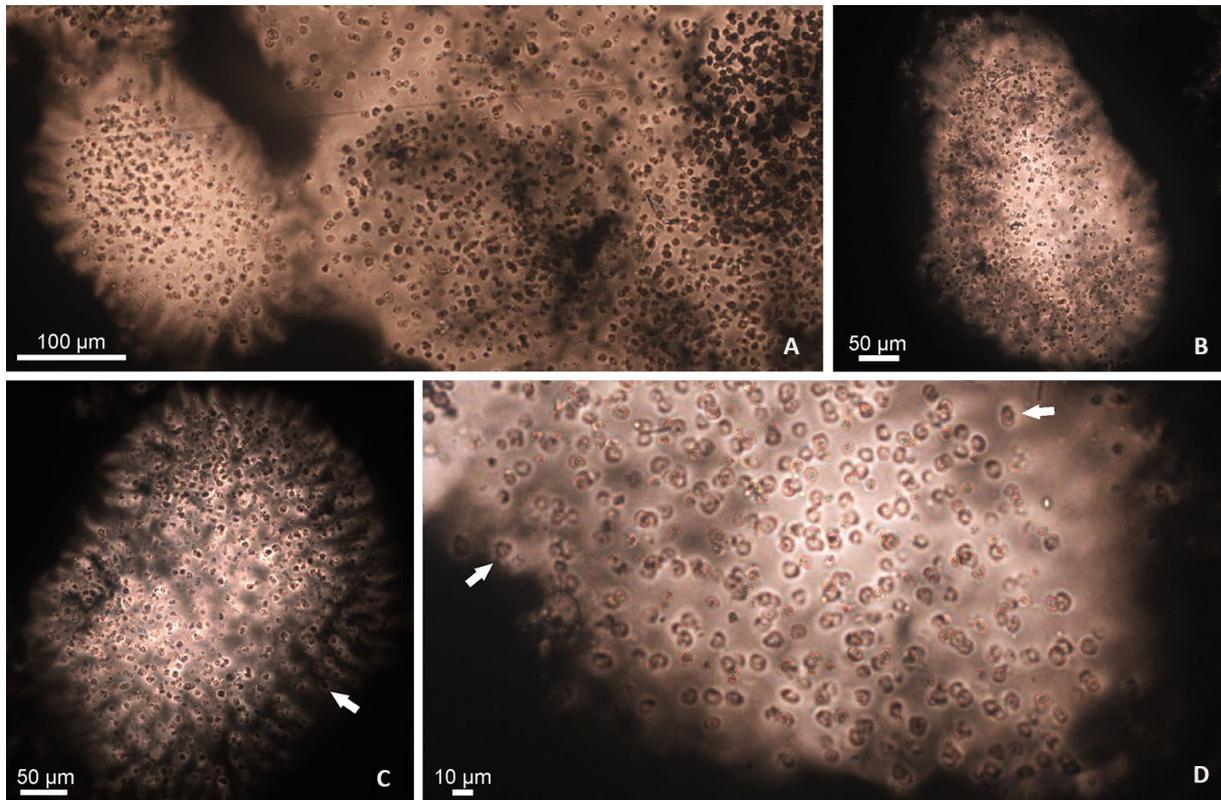
Ecología. Ocurre en cuerpos de agua eutróficos (Komárek & Anagnostidis, 1999). Ha sido registrada bajo un amplio rango de condiciones (transparencia: 0,15 – 2,50 m, nitrógeno total: 0,90 – 2,89 mgL^{-1} , fosfato: 0,01 – 1,43 mgL^{-1}), en diversos sistemas límnicos y en los remansos de los ríos (Sant'anna et al., 2006; Vidal et al., 2009). Se registró en el ciclo de estudio formando densos conglomerados, bajo las siguientes condiciones: pH: 8,5 – 9,8, conductividad eléctrica: 0,05 – 0,06 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, nitrato: 0,03 – 0,56 $\text{mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, nitrito: 0,05 – 0,004 $\text{mgNO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, amonio: <0,01 – 0,07 $\text{mgNH}_4\cdot\text{L}^{-1}$, fosfato: <0,01 – 0,11 $\text{mgPO}_4\cdot\text{L}^{-1}$.

Es la especie productora de floraciones más estudiada del mundo (Falconer, 1983; Sant'Anna et al., 2008; Bonilla, 2009). Se menciona como productora de microcistinas, cyanoginosinas y compuestos sulfurados volátiles (Sant'Anna et al., 2008; Vidal et al., 2009; Carvalho et al., 2013).

Figura 6. *Microcystis aeruginosa*.



Notas. (A-D) Variabilidad morfológica de colonias con amplio mucilago y células concentradas en el centro. (E) Células con aerótopos.

Figura 7. *Microcystis protocystis*.

Notas. (A-B). Aspecto general de las colonias. (C-D) Las flechas señalan el mucílago individual de las células.

***Microcystis protocystis* Crow 1923**

Colonias irregulares con límites difusos, no clatradas. Mucílago fino, hialino, difluente, con borde irregular y marcadas hendiduras. Células dispersas irregularmente dentro del mucílago, con mucílago individual, esféricas, de (3,5) 6,25 (9,1) μm de diámetro, con aerótopos.

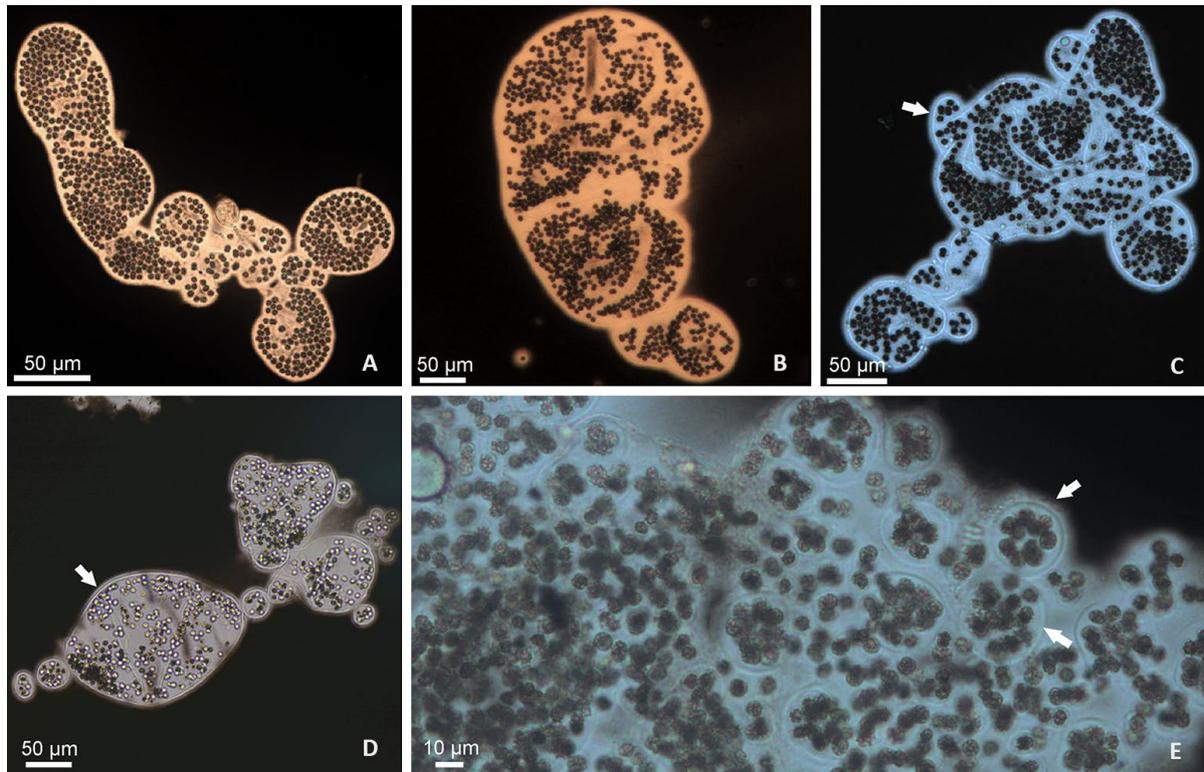
Comentarios taxonómicos. Sus caracteres morfológicos bien definidos facilitaron la determinación. Fue encontrado ocurriendo junto con *M. aeruginosa*.

Ecología. Komárek & Anagnostidis (1999) y Komárek & Komárková (2002) indicaron que es una especie tropical, que ocurre en cuerpos de agua leníticos eutróficos. Ha sido registrada en embalses y en lagos urbanos bajo un amplio rango de condiciones (transparencia: 0,15 – 2,50 m, nitrógeno total: 0,90 – 2,89 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, ortofosfato: 0,01 – 1,43 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (Sant'anna et al., 2006; Vidal et al., 2009). En este

estudio ocurrió bajo las siguientes condiciones: pH: 9,11 – 9,37, conductividad eléctrica: 0,05 – 0,06 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, nitrato: 0,05 – 0,21 $\text{mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, nitrito: 0,05 – 0,004 $\text{mgNO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, amonio: <0,01 – 0,05 $\text{mgNH}_4\cdot\text{L}^{-1}$, fosfato: <0,01 – 0,11 $\text{mgPO}_4\cdot\text{L}^{-1}$. Se ha reportado como productora de floraciones (Costa et al., 2006; Sant'Anna et al., 2008; Bonilla, 2009), y como productora de microcistinas (Anjos et al., 2008; Sant'Anna et al., 2008; Vidal et al., 2009).

***Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek in. Kondrateva 1968**

Colonias esféricas, cuando jóvenes. En la fase adulta, alargadas o irregulares, con o sin clatros, algunas veces compuestas por subcolonias. Mucílago hialino, firme, conspicuo, delimitante, con contorno muy visible. Células dispuestas desordenadamente dentro del mucílago, incluso cerca al límite de la colonia, esféricas, de (3,4) 5,33 (7,3) μm de diámetro, con aerótopos.

Figura 8. *Microcystis wesenbergii*.

Notas. (A-B) Variabilidad morfológica de las colonias. (C-D) Mucilago firme delimitando la colonia (flechas). (E) Formación de las colonias (flechas).

Comentarios taxonómicos. El mucílago firme, delimitante y visible diferencia claramente a *M. wesenbergii* de otras especies de este género.

Ecología. Esta especie es común en cuerpos de agua eutróficos. Se ha encontrado ocurriendo junto a otras especies del género *Microcystis* (Komárek & Anagnostidis, 1999; Komárek & Komárková, 2002), bajo un amplio rango de condiciones (transparencia: 0,15 – 2,50 m, nitrógeno total: 0,90 – 2,89 mg.L⁻¹, ortofosfato: 0,01 – 1,43 mg.L⁻¹) (Sant'anna et al., 2006; Vidal et al., 2009). En este estudio ocurrió bajo las siguientes condiciones: pH: 7,67 – 9,37, conductividad eléctrica: 0,05 – 0,06 mS.cm⁻¹, nitrato: 0,05 – 0,43 mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,004 – 0,018 mgNO₂⁻.L⁻¹, amonio: <0,01 – 0,05 mgNH₄.L⁻¹, fosfato: <0,01 – 0,03 mgPO₄⁻³.L⁻¹.

Suele formar floraciones monoespecíficas (Kondrateva, 1968) y ha sido reportada como productora de microcistinas (Sant'Anna et al., 2008; Vidal et al., 2009).

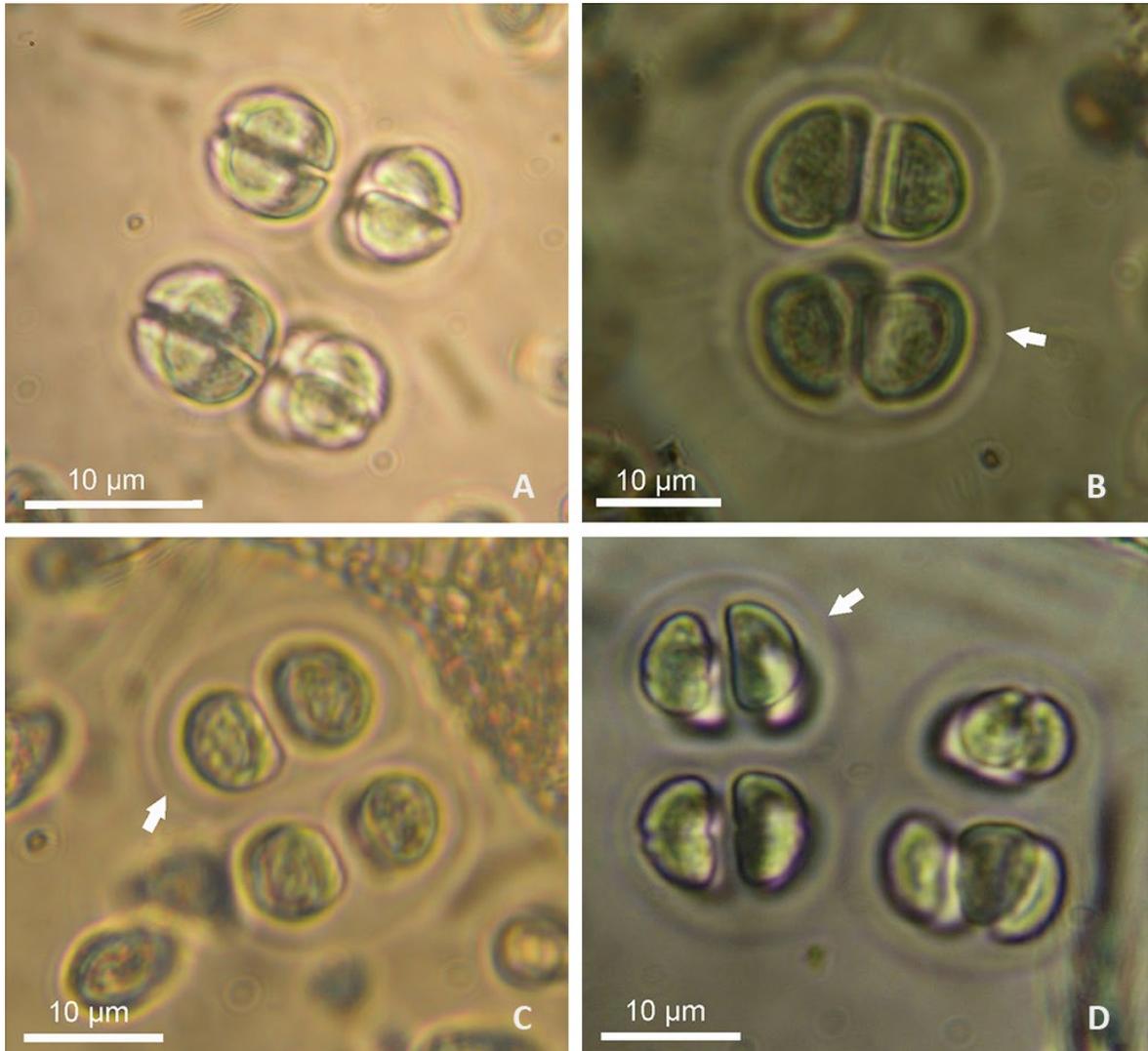
Familia Chroococcaceae

Chroococcus minutus (Kützing) Nägeli 1849

Colonias esféricas u elípticas, mucílago amplio difluente o no, homogéneo, firme y delimitante. Células esféricas o semiesféricas después de la división, de (2,3) 6,7 (10,2) µm de diámetro, de color verde azul o verde.

Comentarios taxonómicos. Sus caracteres morfológicos bien definidos facilitaron la determinación.

Ecología. Ocurre en cuerpos de agua oligo a eutróficos (Komárek & Anagnostidis, 1999), en el plancton o en el metafiton. También puede encontrarse como epífita epipélica y edáfica, en ambientes mixtos (temperatura del agua: 21 – 29 °C, pH: 6 – 8,6 (Novelo, 1993). *C. minutus* fue encontrada bajo diferentes condiciones entre ellas: pH: 7,67 – 9,79, conductividad eléctrica: 0,05 – 0,06 mS.cm⁻¹, nitrato: 0,03 – 0,43 mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,004 – 0,05

Figura 9. *Chroococcus minutus*.

Notas. (A-D) Variabilidad morfológica de células y colonias. Las flechas señalan el mucílago delimitando la colonia.

$\text{mgNO}_2^- \cdot \text{L}^{-1}$, amonio: $<0,01 - 0,06 \text{ mgNH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$, fosfato: $<0,01 - 0,11 \text{ mgPO}_4^{3-} \cdot \text{L}^{-1}$.

Se menciona como productora de floraciones (Berman et al., 1998). Para esta especie no se tiene registro de toxinas.

Orden Oscillatoriales

Familia Pseudanabaenaceae

Planktolyngbya sp. Anagnostidis & Komárek 1988

Filamentos solitarios, con vaina hialina, cilíndricos, isopolares, uniseriados, constrictos o no, no atenuados en los extremos. Células cilíndricas, de 2 a

5 μm diámetro, más largas que anchas, raramente isodiamétricas, sin aerótopos o con un aerótopo polar. Célula apical redondeada, no capitada.

Comentarios taxonómicos. No fue posible llegar a un nivel taxonómico más íntimo, por escasez del material.

Ecología. Este género ha sido registrado en cuerpos de agua oligo a eutróficos (Komárek & Anagnostidis, 2005). En este estudio fue poco frecuente, ocurriendo bajo las siguientes condiciones: pH: 7,67, conductividad eléctrica: $0,05 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, nitrato: 0,23

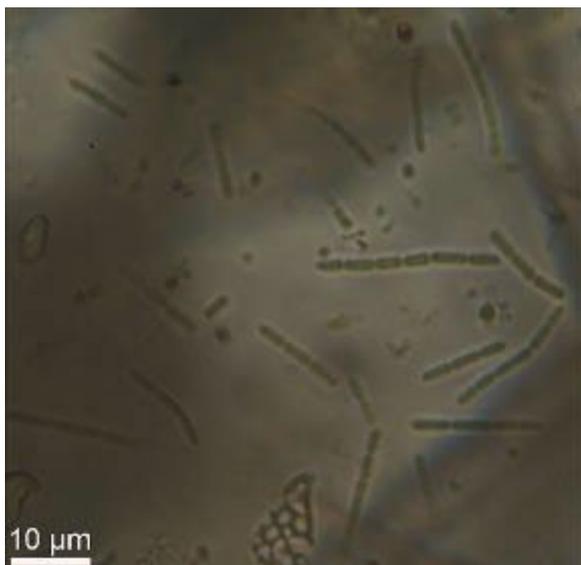
$\text{mgNO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$, nitrito: $0,18 \text{ mgNO}_2^- \cdot \text{L}^{-1}$, amonio: $<0,01 \text{ mgNH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$ y fosfato: $0,03 \text{ mgPO}_4^{3-} \cdot \text{L}^{-1}$.

Se ha reportado que algunas especies del género son productoras de floraciones (Mihaljević & Stević, 2011; Jakubowska, 2013). El género *Planktolyngbya* produce saxitoxina, microcistinas, lyngbyatoxina-a y lipopolisacáridos (Vidal et al., 2009).

Figura 10. *Planktolyngbya* sp. Vista general del tricoma.



Figura 11. *Pseudanabaena mucicola*. Aspectos generales.



***Pseudanabaena mucicola* (Naumann & Hubber-Pestalozzi) Schwabe 1964**

Tricomas solitarios o en pequeños agregados cortos (máximo 3 a 6 células), rectos o curvados, cilíndricos, septos constrictos, ápices no atenuados. Mucílago hialino y difluente. Células cortas, cilíndricas, más largas que anchas, entre $1,0$ y $2,0 \mu\text{m}$ de diámetro y $2,6$ y $7 \mu\text{m}$ de largo, sin aerótopos. Célula apical redondeada o cónica-redondeada y sin caliptra.

Comentarios taxonómicos. *P. mucicola* fue encontrada habitando dentro del mucílago de *M. aeruginosa*, *M. protocystis* y *R. fernandoi*.

Ecología. Ha sido registrada en el mucílago de *M. aeruginosa* bajo un amplio rango de condiciones (transparencia: $0,15 - 2,50 \text{ m}$, nitrógeno total: $0,90 - 2,89 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ortofosfato: $0,01 - 1,43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), en diversos sistemas límnicos y en los remansos de los ríos (Vidal et al., 2009; Szeląg-Wasilewska et al., 2009). En este estudio ocurrió bajo las siguientes condiciones: pH: $7,7 - 9,8$, conductividad eléctrica: $0,05 - 0,06 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, nitrato: $0,03 - 0,56 \text{ mgNO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$, nitrito: $0,004 - 0,04 \text{ mgNO}_2^- \cdot \text{L}^{-1}$, amonio: $<0,01 - 0,07 \text{ mgNH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$, fosfato: $<0,01 - 0,11 \text{ mgPO}_4^{3-} \cdot \text{L}^{-1}$.

Se menciona como productora de floraciones y de microcistinas (Vidal et al., 2009).

***Pseudanabaena voronichinii* (Voronichin)**

Anagnostidis 2001

Talos solitarios, cortos (2 a 8 células), rectos o ligeramente curvados, cilíndricos, septos levemente constrictos o no, no atenuados o levemente atenuados en los extremos. Células cilíndricas, más largas que anchas, de $0,7$ a $1,6 \mu\text{m}$ de diámetro y $2,2$ a $5,7 \mu\text{m}$ de largo, algunas veces con uno, dos o más gránulos refractivos, sin aerótopos. Célula apical redondeada o cónica-redondeada.

Comentarios taxonómicos. En el material colectado fue observada ocasionalmente en la periferia de algunas colonias de *M. protocystis* y de *M. aeruginosa*.

Ecología. Esta especie ha sido registrada en el mucílago de *M. protocystis* (Komárek & Komárková-Legnerová, 2007; Tavera et al., 2013). No fue muy frecuente durante el ciclo de este estudio, donde fue registrada bajo las siguientes condiciones: pH: $9,17 - 9,26$, conductividad eléctrica: $0,05 - 0,06 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, nitrato: $0,06 - 0,08 \text{ mgNO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$, nitrito: $0,004 - 0,05 \text{ mgNO}_2^- \cdot \text{L}^{-1}$, amonio: $0,04 - 0,05 \text{ mgNH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$ y fosfato: $<0,01 - 0,11 \text{ mgPO}_4^{3-} \cdot \text{L}^{-1}$.

Suele desarrollarse en el mucílago de *M. protocystis* y de *M. aeruginosa* (Komárek & Komárková-Legnerová, 2007). No presenta registros de producción de toxinas.

Figura 12. *Pseudanabaena voronichinii*. Aspectos generales.



Figura 13. *Pseudanabaena galeata*. Vista general del tricoma.



***Pseudanabaena galeata* Böcher 1949**

Tricomas solitarios o formando pequeños aglomerados delgados, rectos o levemente curvos, constrictos. Ápices no atenuados. Células cilíndricas, más largas que anchas, de 1,4 a 1,6 μm diámetro y 2,4 a 9,0 μm de largo, con dos aerótopos polares. Célula apical cilíndrica con ápice arredondeado y sin espesamiento.

Ecología. Ha sido registrada en cuerpos de agua oligo a eutróficos (Komárek & Anagnostidis, 2005). Fue poco frecuente durante el período de estudio, se

registró bajo las siguientes condiciones: pH: 9,11, conductividad: 0,05 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, nitrato: 0,05 $\text{mgNO}_3^-\cdot\text{L}^{-1}$, nitrito: 0,004 $\text{mgNO}_2^-\cdot\text{L}^{-1}$, amonio: 0,02 $\text{mgNH}_4\cdot\text{L}^{-1}$ y fosfato: $<0,01 \text{ mgPO}_4^{3-}\cdot\text{L}^{-1}$.

Se menciona como productora de floraciones (Rangel et al., 2014) y como productora de toxinas no identificadas (Rangel et al., 2014).

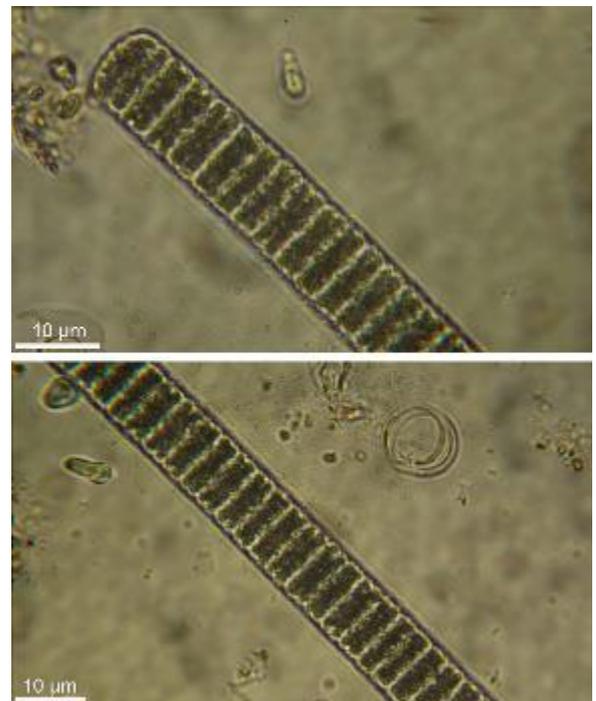
Familia Oscillatoriaceae

***Oscillatoria limosa* Agardh ex Gomont 1892**

Talos solitarios, extensos, rectos o raramente curvados, septos no constrictos, ápices un poco atenuados o no. Células más anchas que largas, de 14,3 a 16,0 μm diámetro y 3,3 a 4,6 μm de largo; con contenido granuloso, sin aerótopos. Célula apical cilíndrica o redondeada, sin caliptra.

Comentarios taxonómicos. Organismo con muy baja presencia durante el estudio. Solo se registró un individuo.

Figura 14. *Oscillatoria limosa*. Vista general del tricoma.



Ecología. Ha sido registrada en ecosistemas eutróficos (Komárek & Anagnostidis, 2005). En este estudio ocurrió bajo las siguientes condiciones: pH: 8,54, conductividad: 0,05 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, nitrato: 0,11

mgNO₃⁻.L⁻¹, nitrito: 0,004 mgNO₂⁻.L⁻¹, amonio: 0,01 mgNH₄.L⁻¹ fosfato: <0,01 mgPO₄⁻³.L⁻¹.

Se menciona como productora de floraciones y como productora de microcistina (Chaturvedi, 2015).

Conclusiones

El género *Sphaerocavum* y las especies *P. galeata* y *P. voronichinii* halladas en este estudio se citan por primera vez para Colombia. En el ciclo de estudio, *Microcystis* y *Radiocystis* fueron los géneros más frecuentes y ocurrieron en todas las campañas de muestro. Por ese motivo, sugerimos que tal vez dichos organismos corresponden con las manchas verdes de algas observadas en el embalse. Estas especies han sido reconocidas por su potencial tóxico y han sido reportadas como productoras de cianotoxinas.

Las cianobacterias lograron desarrollarse bajo condiciones de pH neutro y bajas concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto y de fosfato, a causa de las características climatológicas de la región. El embalse se encuentra expuesto constantemente a altas incidencias lumínicas y a moderadas temperaturas, lo cual, sumado al enriquecimiento artificial con nutrientes, hace propicio el desarrollo de las cianobacterias en la zona de estudio. Esto es revelado por las características limnológicas, que muestran aguas verdosas poco transparentes, pero de pH neutro y bajas concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto y de fosfato. Estas características se dan posiblemente por la rápida asimilación por parte del fitoplancton eucariótico y de las cianobacterias.

Agradecimientos

Queremos agradecer a la Universidad Católica de Oriente sede Rionegro y al grupo de investigación de Limnología y Recursos Hídricos; a la Universidad de Antioquia y a el grupo de Investigación en Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina; y a Empresas Públicas de Medellín, por sus recursos para el desarrollo de este trabajo. Así mismo, expresamos nuestro agradecimiento a Isabel Cristina

Guarín por su apoyo y acompañamiento. Finalmente, agradecemos al personal del Núcleo de Pesquisa em Ficologia, Instituto de Botânica São Paulo, Brasil por su recepción y enseñanza.

Referencias

- Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1-Introduction. *Archiv für Hydrobiologie. Supplementband, Algological studies, 71*, 291-302.
- Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3-Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie. Supplementband, Algological studies, 80*, 327-472.
- Anjos, F. M., do Carmo Bittencourt-Oliveira, M., Zajac, M. P., Hiller, S., Christian, B., Erler, K., & Pinto, E. (2006). Detection of harmful cyanobacteria and their toxins by both PCR amplification and LC-MS during a bloom event. *Toxicon, 48*(3), 239–245.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2006.05.006>
- Azevedo, M. T. D. P., & Sant'Anna, C. L. (2003). *Sphaerocavum*, a new genus of planktic Cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Archiv für Hydrobiologie. Supplementband, Algological studies, 109*(1), 79-92.
<https://doi.org/10.1127/1864-1318/2003/0109-0079>
- Bartram, J., Burch, M., Falconer, I. R., Jones, G., & Kuiper-Goodman, T. (1999). Situation assessment, planning and management. En I. Chorus, & J. Bartram (Eds.). *Toxic cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring, and management* (pp. 183-210). World Health Organization.
<https://doi.org/10.1201/9781482295061>
- Bedoya, C. (2017). *Dinámica espacial y temporal de la estructura térmica del embalse Peñol-Guatapé* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].

- Berman, T., Pollinger, U., & Zohary, T. (1998). A short history of stability and change in phytoplankton populations in Lake Kinneret. *Israel Journal Plant Sciences*, 46(2), 73-80. <https://doi.org/10.1080/07929978.1998.10676712>
- Bisby, F. A., Coddington, J., Thorpe, J. P., Smartt, J., Hengeveld, R., Edwards, P. J., & Duffield, S. J. (1995). Characterization of biodiversity. En V. H. Heywood, & R. T. Watson (Eds.), *Global biodiversity assessment* (pp. 25-104). Cambridge University Press.
- Bonilla, S. E., & Aubriot, L. (2009). Biología, floraciones y distribución de las cianobacterias. En S. Bonilla (Ed.), *Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión (No. 582.232 UNE)* (pp. 5-11). UNESCO, Administración de las Obras Sanitarias del Estado, Universidad de la República.
- Bula, G. (1985). Florecimientos nocivos de algas verdes-azules en dos lagunas del Departamento del Magdalena. *Ingeniería Pesquera*, 5(1-2), 89-99.
- Carvalho, L. R. D., Sant'Anna, C. L., Gemelgo, M. C., & Azevedo, M. T. D. P. (2007). Cyanobacterial occurrence and detection of microcystin by planar chromatography in surface water of Billings and Guarapiranga Reservoirs, SP, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 30(1), 141-148. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000100014>
- Carvalho, M. D. C., Agujaro, L. F., Pires, D. A., & Picoli, C. (2013). *Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais*. Governo do Estado do São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, CETESB.
- Carmichael, W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology*, 72(6), 445-459.
- Cavati, B., de Souza, B. D. Â., Machado, R. G., & Costa, A. G. (2009). MÃE-BÁ Lagoon in Espírito Santo state, Brazil: an ecosystem with potential for a cyanobacterial bloom? *Oecologia Australis*, 13(2), 366-381. <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1302.10>
- Chaturvedi, P., Agrawal, M. K., & Bagchi, S. N. (2015). Microcystin-producing and non-producing cyanobacterial blooms collected from the Central India harbor potentially pathogenic *Vibrio cholerae*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.001>
- Correa-Ochoa, I. C. (2008). Toxicidad de blooms de cianobacterias en el embalse Riogrande II [Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia].
- Costa, I. D., Azevedo, S. M. F., Senna, P. A. C., Bernardo, R. R., Costa, S. M., & Chellappa, N. T. (2006). Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semiarid reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, 66, 211-219. <https://doi.org/10.1590/S1519-6984200600020000>
- Codd, G. A., Metcalf, J. S., & Beattie, K. A. (1999). Retention of Microcystis aeruginosa and microcystin by salad lettuce (*Lactuca sativa*) after spray irrigation with water containing cyanobacteria. *Toxicon*, 37(8), 1181-1185. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(98\)00244](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(98)00244)
- Cronberg, G., & Annadotter, H. (2006). *Manual on aquatic cyanobacteria: A photo guide and a synopsis of their toxicology*. Intergovernmental. UNESCO.
- Dillon, P. J., & Rigler, F. H. (1974). The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes 1, 2. *Limnology and Oceanography*, 19(5), 767-773. <https://doi.org/10.4319/lo.1974.19.5.0767>
- Empresas Públicas de Medellín-ESP (1993). *Registros climáticos años 1992 y 1993*. EPM-ESP.
- Escobar, A., & Manjarres, G. (1985). Estudio de un florecimiento de algas tóxicas en la Ciénaga San Rafael de Buena Vista Magdalena Colombia. *Ingeniería Pesquera*, 5, 17-37.
- Falconer, I. R., Runnegar, M. T., & Beresford, A. M. (1983). Evidence of liver damage by toxin from a bloom of the blue-green alga,

- Microcystis aeruginosa*. *Medical Journal of Australia*, 1(11), 511-514.
<https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1983.tb136192>
- Falconer, I. R. (1994). Health problems from exposure to cyanobacteria and proposed safety guidelines for drinking and recreational water. En G. A. Codd, T. M. Jefferies, C. W. Keevil, & E. Potter (Eds.), *Detection methods of cyanobacterial toxins. The proceedings of the first international symposium on detection methods for cyanobacterial (blue-green algal) toxins* (pp 1-20). Royal Society of Chemistry.
<https://doi.org/10.1533/9781845698164.1.3>
- Ferrão-Filho, A. S., Herrera, N. A., & Echeverri, L. F. (2014). Microcystin accumulation in cladocerans: First evidence of MC uptake from aqueous extracts of a natural bloom sample. *Toxicon*, 87, 26-31.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.05.015>
- Geitler, L. (1925). Synoptische Darstellung der Cyanophyceen in morphologischer und systematischer Hinsicht. *Beihefte zum botanischen Centralblatt*, 41, 163-294
- Gonseth García, J., & Martínez Juárez, G. (2005). Propuesta de actuaciones ante la presencia de altas concentraciones de cianobacterias en aguas de baño. *Revista de Salud Ambiental*, 5(1), 98.
<https://doi.org/10.24275/uami.m900nt48n>
- González, E. J., Ortaz, M., Peñaherrera, C., & Matos, M. L. (2004). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): abundancia, biomasa y producción primaria. *Interciencia*, 29(10), 548-555.
- Herrera, N., Palacio, J., Echeverri, F., & Ferrão-Filho, A. (2014). Effects of a cyanobacterial bloom sample containing microcystin-LR on the ecophysiology of *Daphnia similis*. *Toxicology Reports*, 1, 909-914.
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2014.10.017>
- Hoffmann, L., Komárek, J., & Kaštovský, J. (2005). System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) state in 2004. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie*, 95-115.
<https://doi.org/10.1127/1864-1318/2005/0117-0095>
- Jakubowska, N., Zagajewski, P., & Goldyn, R. (2013). Water Blooms and Cyanobacterial Toxins in Lakes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1077-1082.
- Joosten, A. M. (2006). *Flora of the Bluegreen Algae of the Netherlands: The Non-Filamentous Species of Inland Waters*. KNNV Publishing.
<https://doi.org/10.1163/9789004277984>
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. (1999). *Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1*. Fisher.
<https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2737-3>
- Komárek, J., & Komárková, J. (2002). Review of the European *Microcystis* morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature. *Fottea*, 2(1), 1-24.
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2005). *Cyanoprokaryota, 2 Teil/2nd Part: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Fisher.
https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2737-3_6
- Komárek, J., & Komárková-Legnerová, J. (2007). Several rare freshwater planktic Cyanobacteria (Cyanoprokaryotes) from reservoirs in South America. *Hoehnea*, 34, 49-58.
<https://doi.org/10.1590/S2236-89062007000100002>
- Kondratéva, N. V. (1968). Syn'o-zeleni vodorosti—Cyanophyta. Chastyna 2. Klas Hormohonievi—Hormogoniophyceae. *Vizn. Prsnovodnich Vodor. Ukr. RSR*, 1(2), 1-524.
- Livingston, R. J. (2007). Phytoplankton bloom effects on a gulf estuary: water quality changes and biological response. *Ecological Applications*, 17(sp5), S110-S128.
<https://doi.org/10.1890/05-0769.1>
- Lombardo, M., Pinto, F. C. R., Vieira, J. M. S., Honda, R. Y., Pimenta, A. M., Bemquerer, M. P...., & Kiyota, S. (2006). Isolation and structural

- characterization of microcystin-LR and three minor oligopeptides simultaneously produced by *Radiocystis feernandoi* (Chroococcales, Cyanobacteria): A Brazilian toxic cyanobacterium. *Toxicon*, 47(5), 560-566.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2006.01.024>
- Meichtry Zaburlín, N., Irmgard Martens, S., & Llano, V. (2009). Cianobacteria planctónica: su impacto en ambientes acuáticos continentales. Descripción de los géneros más frecuentes. En L. Giannuzzi (Ed.), *Cianobacterias y cianotoxinas: identificación, toxicología, monitoreo y evaluación de riesgo* (pp. 17-36). Corrientes: Moglia Impresiones.
- Mendoza-Carbajal, L. H. (2016). El género *Sphaerocavum* y dominancia de *S. brasiliense* y *Microcystis wesenbergii* (Microcystaceae, Cyanophyceae) en la floración algal de la laguna Huacachina, *Revista Peruana de Biología*, 23(1):53-60.
<https://doi.org/10.15381/rpb.v23i1.11835>
- Mihaljević, M., & Stević, F. (2011). Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. *Aquatic Ecology*, 45(3), 335-349.
<https://doi.org/10.1007/s10452-011-9357-9>
- Moss, B., Stansfield, J., & Irvine, K. (1990). Problems in the restoration of a hypertrophic lake by diversion of a nutrient-rich inflow. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 24(1), 568-572.
<https://doi.org/10.1080/03680770.1989.11898801>
- Novelo, E. (1993). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán: Cyanoprokaryota J. Komarek*. Universidad Nacional Autónoma de México.
<https://doi.org/10.22201/ib.9786073009072e.2018>
- Odebrecht, C., Azevedo, S. M. F. O., Garcia, V. M. T., Huszar, V. L., Magalhães, V. F., Menezes, M., & Yunes, J. S. (2002). Floraciones de microalgas nocivas en Brasil: estado del arte y proyectos en curso. En E. A., Sar, M. E. Ferrario, & B. Reguera, (Eds.), *Floraciones algales nocivas en el Cono Sur Americano* (pp. 217-233). Instituto Español de Oceanografía.
- Oliver, R. L., & Ganf, G. G. (2002). Freshwater blooms. En B. A. Whitton, & M. Potts (Eds.), *The ecology of cyanobacteria. Their diversity in time and space* (pp. 149-194). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7_6
- Palacio, H. M., Palacio, J. A., Echenique, R. O., Sant'Anna, C. L., & Ramírez, J. J. (2015a). *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria): A temperate species in a neotropical, eutrophic reservoir. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 50(3), 309-321.
<https://doi.org/10.31055/1851.2372.v50.n3.12521>
- Palacio, H. M., Ramírez, J. J., Echenique, R. O., Palacio, J. A. & Sant'Anna, C. L. (2015b). Floristic composition of cyanobacteria in a neotropical, eutrophic reservoir. *Brazilian Journal of Botany*, 38(4), 865-876.
<https://doi.org/10.1007/s40415-015-0185-3>
- Quirós, H., & Flórez, A. (1987). Cuatro nuevas especies de Cyanophyta litofíticas de agua dulce. Cerromatoso S. A. Colombia. *Revista Institucional Universidad de Córdoba*, 3, 6-15.
- Rajaniemi-Wacklin, P., Rantala, A., Mugnai, M. A., Turicchia, S., Ventura, S., Komárková, J., & Sivonen, K. (2006). Correspondence between phylogeny and morphology of *Snowella* spp. and *Woronichinia naegeliana*, cyanobacterial commonly occurring in lakes. *Journal of Phycology*, 42(1), 226-232.
<https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2006.00179>
- Ramírez, J. J. (1996). Autecology *Cyanocatena bicudo* sp. nova, a new Cyanophyceae from Parque Norte lagoon, Colombia. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie*, 21-34.
https://doi.org/10.1127/algol_stud/80/1996/21
- Rangel, M., Martins, J. C., Garcia, A. N., Conserva, G. A., Costa-Neves, A., Sant'Anna, C. L., & De Carvalho, L. R. (2014). Analysis of the toxicity and

- histopathology induced by the oral administration of *Pseudanabaena galeata* and *Geitlerinema splendidum* (Cyanobacteria) extracts to mice. *Marine Drugs*, 12(1), 508-524. <https://doi.org/10.3390/md12010508>
- Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2ª ed.) Universidad de Antioquia.
- Sant'Anna, C. L., Azevedo, M. T. P., Agujaro, L. F., Carvalho, M. C., Carvalho, L. R., & Souza, R. C. R. (2006). *Manual ilustrado para Identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras*. Interciência, Sociedade Brasileira de Ficologia.
- Sant'Anna, C. L., Melcher, S. S., Carvalho, M. D. C., Gelmego, M. P., & Azevedo, M. T. D. P. (2007). Planktic Cyanobacteria from upper Tietê basin reservoirs, SP, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 30, 1-17. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000100002>
- Sant'Anna, C. L., Azevedo, M. D. P., Werner, V. R., Dogo, C. R., Rios, F. R., & Carvalho, L. D. (2008). Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. *Algological Studies*, 126(1), 251-265. <https://doi.org/10.1127/1864-1318/2008/0126-0251>
- Skiljan, I. (1996). *IrfanView, software visor y editor de imágenes*.
- Smayda, T. J. (1997). What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography*, 42, 1132-1136. https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1132
- Szeląg-Wasilewska, E., Zagajewski, P., & Stachnik, W. (2009). Cyanobacterial community of the lowland Warta River (Poland). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 38, 1-7. <https://doi.org/10.2478/v10009-010-0013-9>
- Tavera, R., Novelo, E., & López, S. (2013). Cyanoprokaryota (Cyanobacteria) in karst environments in Yucatán, Mexico. *Botanical Sciences*, 91(1), 27-52. <https://doi.org/10.17129/botsci.401>
- Vásquez, C., Ariza, A. & Pinilla, G. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*, 11(2), 61-75.
- Vidal, L., Fabre, A., Gabito, L., Kruk, C., Gravier, A., Britos, A., Pérez, M. C., Aubriot, L. & Bonilla, S. (2009). Fichas de identificación de las especies Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. En S. Bonilla (Ed.), *Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de monitoreo* (pp. 63-76). UNESCO.
- Vieira, J. M. S., Azevedo, M. T. P., Honda, R. Y., Azevedo, S. M. F. O., & Correa, B. (2001). Produção de microcistinas por *Radiocystis fernandoi* (Cyanobacteria/Chroococcales) isolada da represa de abastecimento da cidade de Belém-PA. *8º Congresso Brasileiro de Limnologia*. João Pessoa.
- Vieira, J. M. S., de P, A. M., de Oliveira Azevedo, S. M., Honda, R. Y., & Corrêa, B. (2003). Microcystin production by *Radiocystis fernandoi* (Chroococcales, Cyanobacteria) isolated from a drinking water reservoir in the city of Belém, PA, Brazilian Amazonia region. *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxinology*, 42(7), 709-713. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2003.08.004>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and river ecosystems* (3ª ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02112-6>
- Whitton, B., & Potts, M. (2002). Introduction to the Cyanobacteria. En B. A. Whitton, & M. Potts (Eds.), *The ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space* (pp. 1-13). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3_1
- Willame, R., Jurczak, T., Iffly, J. F., Kull, T., Meriluoto, J., & Hoffmann, L. (2005). *Distribution of hepatotoxic cyanobacterial blooms in Belgium and Luxembourg*. *Hydrobiologia*, 551(1), 99-117.