

Floraciones de *Cyanotetras sp.* en cuerpos de agua salobres eutrofizados del Paraguay durante el 2020

Dos Santos, M.¹; Morel, R.²; Ávalos, C.³; Méndez, M. S.⁴; Benítez, G. A.^{3*}

¹Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Hidrobiología, San Lorenzo, Paraguay

²Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección General de Gestión Ambiental, Asunción, Paraguay

³Universidad Nacional de Asunción, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, Laboratorio de Hidrobiología, San Lorenzo, Paraguay

⁴Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE -Unidad de Cuencas, Seguridad Hídrica y Suelos, Turrialba, Costa Rica

* Email del autor: gilberto.benitez@cemit.una.py

Floraciones de *Cyanotetras sp.* en cuerpos de agua salobres eutrofizados del Paraguay durante el 2020. Las floraciones de cianobacterias se producen en ambientes acuáticos eutrofizados debido, principalmente, a la falta de gestión adecuada de los recursos hídricos y sus contaminantes. En el caso de Paraguay, se han reportado dos floraciones rojas, una en la Región Occidental (P1) y otra en la Región Oriental (P2). Por lo tanto, se estableció como objetivo identificar al microorganismo causante y las condiciones fisicoquímicas en que se desarrollaron. En ambos casos, se identificó al género *Cyanotetras* (Cyanobacteria) como el más abundante con una densidad de 1.065.000 cél/mL (P1) y 5.504.000 cél/mL (P2). En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se reportó elevada concentración de nutrientes y sales, característicos de ecosistemas acuáticos eutrofizados y salobres. En conclusión, se puede indicar que en P1 la floración se produjo en forma natural, mientras que en P2 fue debido al aporte de contaminantes provenientes de las actividades antrópicas aledañas al cuerpo de agua.

Palabras clave: *Cyanotetras*, eutrofización, agua salobre, floraciones

***Cyanotetras sp.* in eutrophicated brackish water bodies of Paraguay during 2020.** Cyanobacterial blooms occur in eutrophic aquatic environments mainly due to the lack of proper management of water resources and their pollutants. In the case of Paraguay, two red blooms have been reported, one in the Western Region (P1) and the other in the Eastern Region (P2). Therefore, the objective was to identify the causative microorganism and the physicochemical conditions in which they developed. In both cases, the genus *Cyanotetras* (Cyanobacteria) was identified as the most abundant with a density of 1,065,000 cells/mL (P1) and 5,504,000 cells/mL (P2). Regarding the physicochemical parameters, they reported a high concentration of nutrients and salts was reported, characteristic of eutrophied and brackish aquatic ecosystems. In conclusion, we can indicate that in P1 the flowering occurred naturally, while in P2 it was due to the contribution of pollutants from anthropic activities near the body of water.

Keywords: *Cyanotetras*, eutrophication, brackish-water, blooms

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias, antiguamente denominadas algas verdeazuladas, pertenecen al dominio procariota. Fueron las primeras en aparecer como organismos fotosintéticos en ambientes acuáticos y pueden adaptarse a una amplia variedad

neces al dominio procariota. Fueron las primeras en aparecer como organismos fotosintéticos en ambientes acuáticos y pueden adaptarse a una amplia variedad

de condiciones ambientales. Cuando estas condiciones se vuelven extremas, como cuando se produce un aumento de la concentración de nutrientes (N y P) y de la temperatura, dan lugar a un proceso conocido como floración o Bloom (Zhao *et al.*, 2021; Zou *et al.*, 2020).

El aumento de los nutrientes puede ocurrir en forma natural o como consecuencia de las actividades antrópicas, en este último caso, debido a la falta de un tratamiento adecuado de los desechos generados, sobre todo de los efluentes domésticos o industriales que terminan en los ecosistemas acuáticos alterando su equilibrio natural. Este proceso se conoce como eutrofización, y genera condiciones favorables para el crecimiento desmesurado de algas microscópicas, así como también de las cianobacterias (Zou *et al.*, 2020).

En la actualidad, los reportes acerca de floraciones de cianobacterias ya no son una novedad en nuestra región ni en el mundo, debido a los problemas que existen respecto a la gestión integral de los recursos hídricos y sus contaminantes. Sin embargo, lo más preocupante de esta situación es que estas bacterias tienen la capacidad de sintetizar compuestos bioactivos que pueden ser tóxicos para el ser humano, así como para otros organismos que tengan contacto directo con los mismos o a través de la cadena alimentaria por ser bioacumulativos. Por lo tanto, el impacto negativo puede ser a nivel ambiental, sanitario y económico (Paerl *et al.*, 2020).

Los sistemas de agua generan condiciones de supervivencia básica y de ahí la importancia y relevancia de entender la causa de las floraciones de

cianobacterias, para poder plantear acciones a corto, medio y largo plazo para esta problemática ambiental. Las floraciones son conocidas como Floraciones Algas Nocivas (FANs), y países como Argentina, Brasil, Bolivia, Perú, Brasil y Chile han reportado floraciones algales o blooms en diferentes tipos de sistemas de agua, ya sean naturales o artificiales (Conti *et al.*, 2005; De Domitrovic *et al.*, 2005; Juanena *et al.*, 2020). Estos blooms pueden estar asociados a cambios de la coloración del agua y esto dependerá de los pigmentos que presentan en mayor cantidad, como la clorofila a con color verde, la ficocianina con color azul, la ficoeritrina con color rojo, así como la degradación parcial de este último que puede dar un color rosado (Harada *et al.*, 2009; Tomita *et al.*, 2016).

Entre 1980 y 2005 Uruguay ha reportado unas 27 floraciones algales en diferentes puntos del país. Los principales organismos fotosintéticos identificados en estas floraciones fueron *Gonyaulax* sp., *Gymnodinium* sp., *Gymnodinium catenatum*, *Alexandrium tamarense*, *Dynophysis acuminata*, *Dynophysis caudata*, *Microcystis aeruginosa*, *Pseudo-nitzschia multiseriis* (Méndez y Ferrari, 2002). Algunos de estos son causantes de las “mareas rojas” ampliamente conocidas por las características que adquieren las zonas de las costas (Cabrera Di Piramo, 2015).

En el caso de Paraguay se han reportado floraciones de cianobacterias, siendo la más conocida desde el 2012 la ocurrida en el Lago Ypacaraí, originada inicialmente por *Cylindrospermopsis raciborskii* y luego por *Microcystis aeruginosa*, en ambos casos causando

un color verde-azulado de la superficie del agua. Desde entonces y hasta la actualidad se siguen produciendo floraciones, pero en forma puntual; esto pudo deberse a la disminución de la concentración de nutrientes y al aumento de la turbidez del agua (Benítez Rodas *et al.*, 2017; López Moreira M. *et al.*, 2018). Sin embargo, a mediados de 2020 se reportó una llamativa floración de color rojo en un tajarar natural del Chaco paraguayo (Región Occidental) y luego otra con características ecológicas diferentes en una laguna del Departamento Central (Región Oriental) originadas por cianobacterias.

Por lo tanto, se planteó como objetivo de este trabajo de investigación identificar al microorganismo causante de dichos fenómenos y caracterizar las condiciones fisicoquímicas en las cuales ocurrieron dichas proliferaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) y el Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT) dependiente de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), realizaron tomas de muestras de agua superficial de un tajarar ubicado en Loma Plata y de la Laguna Cerro en el Municipio de Limpio (Figura 1), debido a denuncias realizadas acerca del cambio de coloración que se observó en ambos cuerpos de agua. Los inusuales fenómenos causaron preocupación en pobladores y autoridades, quienes solicitaron la intervención de especialistas en la materia.

1. Descripción de los puntos de muestreo

El Paraguay se divide en dos regiones, la Occidental o Chaco que constituye la mayor extensión territorial, pero con menor población, con un clima caluroso y seco, suelo arcilloso y en varias zonas con agua salobre; mientras que la Región Oriental cuenta con mayor población, clima caluroso, más húmedo, mayor cantidad de recursos hídricos y agua dulce (López-González, 2004).

2. Detalles del muestreo

Región Occidental o Chaco: Primer muestreo realizado el 17 de junio de 2020, asignado como P1 (Tabla 1). Este muestreo se realizó como consecuencia del reporte de pobladores del Chaco por el cambio de la coloración de un tajarar natural utilizado para abastecimiento de agua para ganado vacuno. Este punto se encuentra ubicado en el distrito de Loma Plata, Departamento de Boquerón a 450 km de Asunción, capital de Paraguay.

Región Oriental: Segundo muestreo realizado el 17 de agosto de 2020, denominado P2 (Tabla 2). Este muestreo también se realizó como consecuencia de la denuncia ciudadana del cambio de la coloración del agua de la Laguna “Cerro” similar a la registrada en el Chaco. Este punto de muestreo se encuentra localizado en el municipio de Limpio, Departamento Central a 25 km de Asunción.

Tabla 1. Coordenadas y puntos de muestreos en las regiones Occidental y Oriental.

Puntos	Coordenadas - UTM	Región
P1	21K 204742 7512642	Occidental
P2	21J 449797 7223222	Oriental

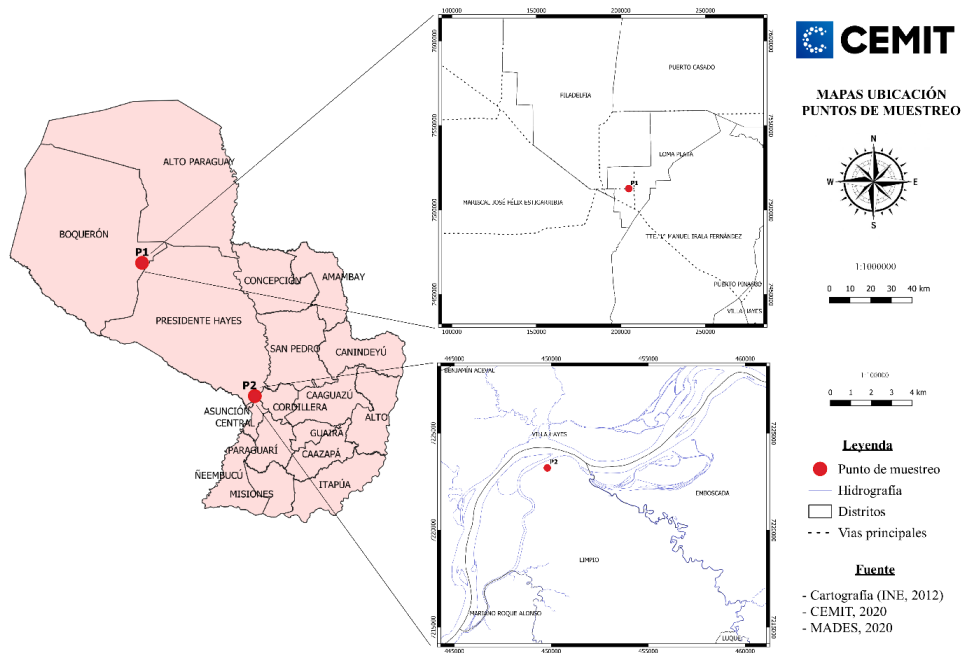


Figura 1. Mapa con los puntos de muestreo en la Región Occidental (P1) y Oriental (P2)

3. Variables del estudio

Para poder determinar las condiciones fisicoquímicas que favorecieron las floraciones en ambos sitios, se tuvieron en cuenta las siguientes 12 variables: transparencia, temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, conductividad, nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), DBO5, DQO, dureza total, sulfatos y sales; estos constituyen los principales factores que pueden afectar directamente a las poblaciones de cianobacterias (Haider *et al.*, 2003; Henry, 1990; Lu *et al.*, 2013). Para los análisis, se tomaron muestras de agua superficial, las que fueron luego almacenadas para su transporte según lo establecido en el Standard Methods (APHA, 2012).

4. Cuantificación de cianobacterias y determinaciones de parámetros fisicoquímicos

Para los análisis se tomaron muestras de agua superficial preservadas con Lugol y otra a 4°C para su transporte (APHA, 2012). Para la identificación y clasificación de las cianobacterias se tuvieron en cuenta las características morfológicas y se utilizaron diversas claves taxonómicas (Hindák, 1988; Komárek y Anagnostidis, 2000; Komárek y Fott, 1983). Una vez realizada la identificación, se procedió con la cuantificación mediante el método de Utermöhl (Edler y Elbrächter, 2010). En relación a la medición de los parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente, se utilizaron los métodos normalizados para el

análisis de agua (APHA, 2012).

5. Análisis de datos

Para el procesamiento de los datos como la densidad de las cianobacterias y la comparación de las variables físico-

químicas consideradas más importantes durante el proceso de la floración de cianobacterias se utilizó el programa Sigma Plot 11.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1- Descripción general del área de estudio de cada punto de muestreo



Figura 2. Imágenes de los lugares donde se realizaron los muestreos: a-Tajamar natural ubicado en Loma Plata (P1), Departamento Boquerón; b- Laguna Cerro, localizada en el municipio de Limpio (P2), Departamento Central

Las actividades industriales desarrolladas en Loma Plata (Chaco Paraguayo) son la refinería, aceite de maní, fabricación de tanino, esencia de palo santo entre otras. Sin embargo, la principal actividad constituye la industria láctea, que es una de las más productivas del país y la mayor consumidora de agua local. Gran parte del Chaco tiene un clima semiárido a húmedo dependiendo de la estación de año, y las aguas subterráneas presentan elevados contenidos de sales debido a la presencia de evaporíticas y carbonatos en los sedimentos, que al ser muy solubles pasan a la fase acuosa dando lugar a aguas salobres y saladas, dependiendo de la profundidad. Por esta razón, los productores suelen realizar la construcción de reservorios de agua o aprovechar los lugares donde se alma-

na agua en periodos de lluvias; estos reservorios son conocidos como tajamares, y sirven para el abastecimiento de agua dulce, principalmente para el ganado (Larroza y Centurión, 1995). En el caso del punto de muestreo P1, se trata de un tajamar de formación natural utilizado como fuente de agua para el ganado vacuno. Sin embargo, a finales del mes de mayo de 2020 se reportó el cambio de la coloración del agua a un color rojizo, obligando al propietario a trasladar los animales de dicha zona (Figura 2a).

El punto de muestreo P2, ubicado en la Ciudad de Limpio a más de 400 km de distancia del punto anterior, se caracteriza por un suelo de color rojo negruzco, de origen basáltico y con un buen drenaje. En los alrededores de la laguna se

encuentran industrias que están relacionadas con el procesamiento de cuero de origen animal. Es una zona húmeda, con periodos de lluvias importantes y presencia de gran cantidad de agua dulce (Franco y Saldívar, 2015). Alberga una gran diversidad de organismos, siendo la más reconocida, por su tamaño e im-

pacto visual, la planta acuática conocida con el nombre de Yacaré irupé (*Victoria cruziana*). Sin embargo, a partir de julio de 2020 se registró un cambio en la coloración del agua a un rojo intenso, además de un olor fétido y la mortandad de plantas y animales acuáticos (Figura 2b).

2- Caracterización morfológica y densidad (cél/mL) de *Cyanotetras* sp.

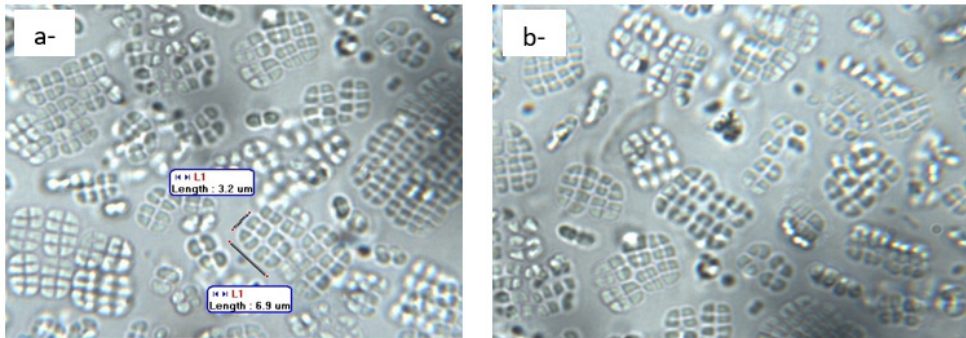


Figura 3. Imágenes microscópicas de *Cyanotetras* sp. con un aumento de 100x capturadas mediante un microscopio invertido. a) Corresponde al punto de muestreo del Tajamar natural de Loma Plata (P1), b) Pertenece a la muestra de la Laguna Cerro (P2) del municipio de Limpio

Las muestras fueron analizadas mediante microscopía convencional e invertida para determinar las características morfológicas. Se pudo constatar la mayor densidad de un solo género de cianobacteria, observándose colonias microscópicas, libres, planas, con mucílago envolvente homogéneo. Presentaron células ovales, dispuestas en colonias de 2, 4, 16 y 32 células, pero sin un espacio cuadrangular central, y unidas mediante masa gelatinosa característica del género *Crucigenia*. En cuanto a las dimensiones, las células ovales fueron de 1,5 - 2,5 µm x 1,2 - 1,8 µm; otra característica fue el color pálido azul verdoso brillante, sin vesículas de gas, cloroplastos y pirenoides (Figura 3). Por lo tanto, con base en las características

morfológicas registradas, las colonias fueron identificadas como pertenecientes al género *Cyanotetras*, de la familia Merismopediaceae (Hindák, 1988; Komárek y Anagnostidis, 2000; Komárek y Fott, 1983).

Con relación a la densidad, en la primera muestra (P1) la concentración total de *Cyanotetras* fue 1.065.000 células/mL, mientras que en la segunda muestra (P2) fue 5.504.000 células/mL. En ambos casos, la mayor abundancia fue para este género, al cual pueden atribuirse las floraciones originadas por el exceso de nutrientes como veremos en el siguiente apartado. Además de la capacidad de realizar fotosíntesis, las cianobacterias también pueden sintetizar toxinas o cianotoxinas que, dependiendo de su

concentración y tiempo de exposición, pueden llegar a ser letales para humanos y animales. Por lo tanto, teniendo en cuenta lo establecido por la OMS (Organización Mundial de la Salud), en función a la concentración de cianobacterias (>100.000 cél/mL) nivel de aler-

ta 2, se recomendó evitar todo tipo de contacto directo con el agua, ya sea para recreación o para el consumo humano y de animales, debido al alto riesgo de exposición a las cianotoxinas (Chorus, 2005; Falconer *et al.*, 1999; Sivonen y Jones, 1999).

3- Parámetros fisicoquímicos condicionantes de la floración de *Cyanotetras sp.*

Tabla 2. Listado de parámetros fisicoquímicos determinados en los dos puntos de muestreo. Ref.: NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl); DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Parámetros	Unidad de medida	Resultados		Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Límites Res. 222/02*
		P1	P2				
Temperatura de agua	°C	25	20	22,5	3,54	31,8	Sin límite
Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹	1,33	0,61	0,97	0,509	4,57	< 5
pH	Unidad de pH	7,67	7,79	7,73	0,0849	0,762	6 a 9
Conductividad	µS.cm ⁻¹	9.890	11.240	10.565	955	8.577	Sin límite
Fósforo total	mg.L ⁻¹	5,29	1,97	3,63	2,35	21,1	0,05
NTK	mg.L ⁻¹	21,8	119	70,4	68,7	617,5	0,6
Nitrógeno de Nitratos	mg.L ⁻¹	3,11	14,65	8,88	8,16	73,3	10
Nitrógeno Amoniacal	mg.L ⁻¹	0,41	90,8	45,605	63,9	574,3	0,02
DBO5	mg.L ⁻¹	57	65	61	5,66	50,8	0,1
DQO	mg.L ⁻¹	448	1.098	773	459,6	4.129,5	5,0
Sulfatos	mg.L ⁻¹	2.453	94,3	1.274	1.668	14.985	1

En relación a los parámetros fisicoquímicos, los resultados laboratoriales obtenidos indicaron que, en ambos casos, corresponden a ecosistemas eutrofizados

debido a la elevada concentración de nutrientes tanto en P1 (NT=21,8 mg.L⁻¹ y PT=5,29 mg.L⁻¹) como en P2 (NT=119 mg.L⁻¹ y PT=1,97 mg.L⁻¹). Además, es-

tos valores superaron los límites establecidos para aguas superficiales del país, según las normativas vigentes del MADES. También presentaron valores fuera del límite establecido el Oxígeno Disuelto (OD), Nitrógeno amoniacal, DBO₅, DQO y sulfatos (Resolución-Nº-255/06, 2006; Resolución-Nº-222/02, 2002). Por otro lado, la baja concentración del OD pudo ocasionar la mortandad de peces y de macroinvertebrados, mientras que la elevada concentración de sales la mortandad de las plantas acuáticas, observadas en la Laguna Cerro del distrito de Limpio.

El primer punto de muestreo (P1) corresponde a un ecosistema acuático que, por lo general, tiene agua dulce. Sin embargo, luego de un extenso periodo de sequía el agua se fue evaporando y debido a las características del suelo, la concentración de sales fue aumentando (Paerl *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2021). Teniendo en cuenta que el agua se destinaba al consumo del ganado, era de esperarse que la concentración de material orgánico también se concentre a medida que aumentaba la evaporación (Tabla 2), lo cual podría haber generado las características de un cuerpo de agua eutrofizado (Zou *et al.*, 2020).

En cuanto al segundo punto (P2), las características del agua fueron cambiando probablemente como consecuencia de la falta de tratamiento adecuado de los efluentes generados por las actividades antropogénicas desarrolladas en zonas cercanas a la laguna. Al parecer, el causante del proceso de eutrofización fue el aporte de material orgánico proveniente del desecho de las curtiembres circundantes al cuerpo de agua (Tabla

2). En relación a la salinidad, pudo deberse al aporte de sales empleadas para curtir el cuero, que fueron aumentando gradualmente su concentración. Todas estas alteraciones crearon condiciones similares a las de la laguna de Loma Plata (Paerl *et al.*, 2020).

Por lo tanto, en ambos casos se generaron condiciones similares a ecosistemas acuáticos salobres eutrofizados, los cuales habrían favorecido el desarrollo de las *Cyanotetras*, ya reportadas en ambientes lénticos (Komárek y Anagnostidis, 2000; Komárek y Komárková-Legnerová, 2002). También, la mayor concentración de nutrientes pudo estar relacionada con la mayor densidad de *Cyanotetras* sp. reportada en el punto P2 (Tabla 2). Además, las especies de este género podrían sintetizar dos tipos de toxinas anatoxinas (neurotoxina) y microcistina (hepatotoxina) (Christensen y Khan, 2020; Gomez *et al.*, 2012; Juanena *et al.*, 2020). Por esta razón, se puede considerar que dicho género, y su presencia en procesos de floración, constituye un riesgo a nivel ambiental y de salud pública (Paerl *et al.*, 2020).

En cuanto al cambio de la coloración del agua, una de las hipótesis estaría relacionada con un compuesto orgánico volátil sintetizado por las cianobacterias, conocido como β -ciclocitral. Este compuesto tiene una actividad lítica y se ha reportado que está relacionado con la degradación de los pigmentos presentes en estas bacterias. También se demostró que en algunos casos produce la oxidación completa de la clorofila a y de los Betacarotenos, mientras que las ficocianinas permanecen estables dando un color azul. En otros géneros pueden darse

diferentes grados de oxidación de la ficoeritrina, con diferentes tipos de color rojo y rosado. El primer caso se ha reportado en aguas con un pH de 5,5 a 6,5, mientras que en este estudio, el pH permaneció neutro, lo cual podría explicar que pudo ocurrir el segundo caso, con la consecuente aparición de diferentes tonos de color rojo (Harada *et al.*, 2009; Tomita *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Ambos cuerpos de agua que presentaron cambios en su coloración se encuentran ubicados en diferentes regiones del país con características ecológicas distintas. Sin embargo, al realizar las determinaciones fisicoquímicas y biológicas, se logró determinar que presentaron condiciones de un ecosistema salobre eutrofizado, lo cual ocasionó la floración por el género *Cyanotetras* sp. perteneciente a las cianobacterias. Una consideración importante a destacar, en cuanto al primer punto de muestreo (P1) ubicado en la Región Occidental es que, la floración se produjo en forma natural, mientras que en el segundo (P2) de la Región Oriental fue debida al aporte de contaminantes provenientes de las actividades industriales aledañas al cuerpo de agua, no tratados de manera adecuada. En relación a la coloración, pudo deberse a la degradación parcial del pigmento ficoeritrina ocasionado por un compuesto orgánico (β -ciclocitral) que sintetizan las cianobacterias, con actividad lítica. Para confirmar esta hipótesis, se requerirá realizar más estudios, así como la cuantificación de las posibles cianotoxinas presentes que son de inte-

res ambiental y de salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, A., WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (22 ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- Benítez Rodas, G. A., Villalba Duré, G., Ávalos de Enciso, C. A., Araujo Florentín, C. M., Acosta Brítez, R. R., Escobar, Astigarraga, O., Peralta López, I., & Cardozo Román, C. (2017). Influencia de factores fisicoquímicos sobre la biodiversidad de cianobacterias en el Lago Ypacaraí durante el periodo 2012-2014. *Steviana*, 9(2), 15-25.
- Cabrera Di Piramo, C. (2015). Optimización de usos del suelo para prevenir floraciones nocivas de fitoplancton en la Laguna de Rocha, Uruguay. Maestría Tesis de Maestría en Geociencias, Universidad de la República, Uruguay, Uruguay.
- Conti, A., Rodríguez, M., & Angelaccio, C. (2005). Ocurrencia de Cyanobacterias y sus Toxinas (Microcistinas) en Aguas del Río de la Plata: Evaluación Rápida usando el ensayo ELISA. XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. 9 al 14 de Mayo 2005. Mendoza, Argentina.
- Chorus, I. (2005). Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Berlin, Germany: Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt).
- Christensen, V. G., & Khan, E. (2020).

- Freshwater neurotoxins and concerns for human, animal, and ecosystem health: A review of anatoxin-a and saxitoxin. *Science of The Total Environment*, 139515
- De Domitrovic, Z., Forastier, Y., & Marina, E. (2005). Cyanophyceae (Cyanobacteria) del nordeste argentino: distribución y diversidad. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005. Corrientes, Argentina.
- Edler, L., & Elbrächter, M. (2010). The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. In C. C. a. E. B. Bengt Karlson (Ed.), *Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis* (pp. 114). España: UNESCO - Intergovernmental Oceanographic Commission.
- Falconer, I. R., Bartram, J., Chorus, I., Kuiper-Goodman, T., Utkilen, H., Burch, M., & Codd, G. A. (1999). Chapter 5. SAFE LEVELS AND SAFE PRACTICES In I. Chorus & J. Bartram (Eds.), *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management* WHO. London - Great Britain: E & FN Spon.
- Franco, L. C., & Saldívar, S. (2015). Construcción y puesta en funcionamiento de las sede central, administrativa, taller y depósito—H. Petersen. Asunción: Secretaria del Ambiente (SEAM) Retrieved from. http://mades.gov.py/sites/default/files/users/control/petersen_samuel.j.pdf
- Gomez, L., Álvarez, I., & Rodríguez, J. C. (2012). CUBA: Toxic cyanobacteria risk assessment, research and management. In D. I. Chorus (Ed.), *Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries* (pp. 40). Dessau-Roßlau, Germany: Federal Environment Agency, Germany.
- Haider, S., Naithani, V., Viswanathan, P. N., & Kakkar, P. (2003). Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern. *Pergamon*, 52, 1-21.
- Harada, K.-I., Ozaki, K., Tsuzuki, S., Kato, H., Hasegawa, M., Kuroda, E. K., Arii, S., & Tsuji, K. (2009). Blue Color Formation of Cyanobacteria with β -Cyclocitral. *Journal of Chemical Ecology*, 35(11), 1295-1301. doi: 10.1007/s10886-009-9706-5
- Henry, R. (1990). Amônia ou fosfato como agente estimulador do crescimento do fitoplâncton na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). *Rev. Brasil. Biol.*, 50(4), 883-892.
- Hindák, F. (1988). Contribution to the taxonomy of some cyanophyte genera. *Preslia*, 60, 289-308.
- Juanena, C., Negrin, A., & Laborde, A. (2020). Cianobacterias en las playas: riesgos toxicológicos y vulnerabilidad infantil. *Revista Médica Uruguay*, 36(3), 157-18.
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2000). Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales Süßwasserflora Von Mitteleuropa Band 19/1, Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales: Spectrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin,
- Komárek, J., & Fott, B. (1983). *Das Phytoplankton des Süßwassers*. Alemania: E. Schweizerbart'sche Ver-

- lagsbuchandlung.
- Komarek, J., & Komárková-Legnerová, J. (2002). Contribution to the knowledge of planktic cyanoprokaryotes from central Mexico. *PRESLIA-PRAHA*, 74, 207-234.
- Larroza, F. A., & Centurión, C. (1995). Estudio hidrogeológico e hidroquímico del agua freática en el área urbana de Loma Plata, Chaco Paraguayo. . *Águas Subterráneas* 17.
- López-González, C. (2004). Ecological zoogeography of the bats of Paraguay. *Journal of Biogeography*, 31(1),33-45. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.00940.x>
- López Moreira M., G. A., Hinegk, L., Salvadore, A., Zolezzi, G., Hölker, F., Monte Domecq S., R. A., Toffolon, M. (2018). Eutrophication, Research and Management History of the Shallow Ypacaraí Lake (Paraguay). *Sustainability*, 10(7), 2426.
- Lu, X., Tian, C., Pei, H., Hu, W., & Xie, J. (2013). Environmental factors influencing cyanobacteria community structure in Dongping Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 11, 2196-2206.
- Méndez, S., & Ferrari, G. (2002). Floraciones algales nocivas en Uruguay: Antecedentes, proyectos en curso y revisión de resultados. Floraciones algales nocivas en el Cono Sur Americano. In E. A. Sar, M.E. Ferrario & B. Reguera (Ed.), (pp. 271-288): Instituto Español de Oceanografía.
- Paerl, H. W., Havens, K. E., Xu, H., Zhu, G., McCarthy, M. J., Newell, S. E., Scott, J. T., Hall, N. S., Otten, T. G., & Qin, B. (2020). Mitigating eutrophication and toxic cyanobacterial blooms in large lakes: The evolution of a dual nutrient (N and P) reduction paradigm. *Hydrobiologia*, 847(21), 4359-4375. doi: 10.1007/s10750-019-04087-y
- Secretaría del Ambiente. (2006). Resolución-Nº-255/06. "Por la cual se establece la clasificación de las aguas superficiales de la República del Paraguay".
- Secretaría del Ambiente. (2002). Resolución-Nº-222/02. Por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas en el Territorio Nacional.
- Sivonen, K., & Jones, G. (1999). Chapter 3. CYANOBACTERIAL TOXINS. In I. C. a. J. Bartram (Ed.), *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management* WHO. London - Great Britain: E & FN Spon.
- Tomita, K., Hasegawa, M., Arii, S., Tsuji, K., Bober, B., & Harada, K.-i. (2016). Characteristic oxidation behavior of β -cyclocitral from the cyanobacterium *Microcystis*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(12), 11998-12006. doi: 10.1007/s11356-016-6369-y
- Zhao, F., Zhan, X., Xu, H., Zhu, G., Zou, W., Zhu, M., Kang, L., Guo, Y., Zhao, X., Wang, Z., Tang, W. (2021). New insights into eutrophication management: Importance of temperature and water residence time. *Journal of Environmental Sciences*, 111, 229-239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.02.033>
- Zou, W., Zhu, G., Cai, Y., Xu, H., Zhu, M., Gong, Z., Zhang, Y., & Qin, B. (2020). Quantifying the dependence

of cyanobacterial growth to nutrient for the eutrophication management of temperate-subtropical shallow lakes. *Water Research*, 177, 115806. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115806>