

Artículo de Investigación

Identificación y variación espacio-temporal del fitoplancton en el Embalse Tacuary, Carmen del Paraná, Itapúa, Paraguay

Victoria López Pereira ^{1*} y Estelvina Rodríguez Portillo ²

¹ Escuela de Postgrado, Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.

² Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.

*Autor correspondiente: Victoria López Pereira; vlop.aa@gmail.com

Recibido: 21/12/2020 **Aceptado:** 09/08/2021

Resumen

En el periodo anual de mayo de 2012 a julio del 2013, se realizaron muestreos estacionales de microalgas con el objetivo de realizar la identificación y la variación espacio temporal del fitoplancton y de esa manera obtener registros de la composición fitoplanctónica del arroyo Tacuary, en el periodo de su transformación a embalse. El análisis de biovolumen se realizó a través de dos métodos cuali-cuantitativos diferenciados: El método de la pipeta, con el cual se identificaron los tipos de microalgas, asociaciones fitoplanctónicas y recuento de Org/mL en 12 puntos de muestreo seleccionados, y el Índice de abundancia relativa (IAR) con el que se determinó la abundancia de cel/mL. Se realizaron mapeos de distribución espacial utilizando el programa ARC GIS e imágenes satelitales RESOURCESAT LIS3, donde se resalta que hubo un recuento ≥ 200 Org/mL en todo el periodo anual, con un promedio máximo de 10.051 Org/mL en la estación otoño y 15.705 Org/mL en la estación invierno. Se identificaron 26 especies, en las cuales las floraciones algales predominantes fueron de las especies *Microcystis aureginosa*, *Microcystis flosaquae*, *Pseudo anabaena* y *Chlorella vulgaris*.

Palabras clave: microalgas, calidad de agua, índice de abundancia relativa.

Abstract

From May 2012 to July 2013, seasonal microalgae samplings were carried out to achieve the identification and the spatial-temporal variation of the phytoplankton and thus obtain records of the phytoplanktonic composition of the Tacuary creek, during its transformation into a reservoir. The biovolume analysis was performed through two differentiated quali-quantitative methods: the pipette method, with which the types of microalgae as well as the phytoplanktonic associations and the Org / mL count in 12 selected sampling points were identified; and the Index of relative abundance (RAI) with which the abundance of cells / mL was determined.

Spatial distribution mappings were carried out using the ARC GIS program and RESOURCESAT LIS3 satellite images, from which it can be highlighted that there was a count ≥ 200 Org / mL throughout the annual period, with a maximum average of 10,051 Org / mL in autumn and 15,705 Org / mL in winter. In all, 26 species were identified being the predominant algal blooms *Microcystis aureginosa*, *Microcystis flosaquae*, *Pseudo anabaena* and *Chlorella vulgaris*.

Keywords: microalgae, water quality, relative abundance index.

1. Introducción

El desarrollo de fitoplancton en aguas dulces se encuentra estrechamente relacionado a la calidad de las aguas, por lo tanto es considerado como un indicador biológico.

Un alto índice de biomasa de determinadas especies del género Cianobacterias, en especial; y su distribución espacial en un cauce hídrico o cuenca, podría generar eutrofización que podría ocasionar riesgos a la salud de la población y del ecosistema debido a su comprobada toxicidad (1-2).

La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a su composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental (3).

La cuenca del arroyo Tacuary ha sido sometida a una serie de modificaciones físicas, químicas y biológicas por efecto del proceso del llenado del embalse de la Represa Yacyretá, se destaca que esta investigación fue realizada al momento del llenado del embalse a cota 83 en el año 2012. En los últimos años se han observado variaciones en cuanto a la composición biótica del ecosistema de aguas lénticas, con la presencia de floraciones de fitoplancton tanto en la zona litoral como limnetica. Por ello, han sido utilizados para el diagnóstico de la contaminación de cuerpos de agua superficiales a corto plazo (4). En estos procesos de sucesión secundaria, donde interfiere el hombre en el ecosistema, como en las regeneraciones en un suelo deforestado, y otras, las sucesiones son imprevisibles. Si bien no se conoce el tiempo transcurrido antes de llegar a su nuevo estado de equilibrio, se sabe que en las represas de zonas tropicales cerca de grandes poblaciones las sucesiones son más rápidas, y, por consiguiente, los impactos son observados inmediatamente (5). Se presume, mediante observaciones, que este nuevo ecosistema está formando un escenario de impactos negativos en la calidad del agua y que podría generar un proceso de contaminación a corto plazo.

Los estudios referidos al fitoplancton de grandes ríos de Sudamérica son escasos. A pesar de que existen valiosos aportes sobre el tema, la mayoría de los trabajos pueden considerarse puntuales, dada la reducida extensión geográfica en que han sido desarrollados (6). Por esta razón, el objetivo del presente trabajo de investigación fue identificar el fitoplancton y su variación espacio temporal en la cuenca del arroyo Tacuary.

2. Materiales y Métodos

2.1. Muestras

En el periodo anual de mayo del 2012 a julio del 2013, se realizaron muestreos estacionales de microalgas por arrastre con red de plancton de 125 μm , sub-superficialmente (0,30 m de profundidad) en 12 puntos de muestreo del arroyo Tacuary (Fig.1). Las microalgas fueron colectadas en botellas de 500 mL. Las muestras de fitoplancton frescas, sin aditivos químicos para no alterar su morfología y actividad, fueron transportadas en condiciones de temperatura promedio de 15 $^{\circ}\text{C}$, y conservadas a 4 $^{\circ}\text{C}$ en el laboratorio donde se utilizó el método de observación directa por goteo, antes de las 72 hs de su recolección (7-8). Se utilizó un microscopio óptico en campos de 20x, 40x y 100x, y para la identificación de microalgas se realizaron consultas bibliográficas, a páginas en línea y utilizando claves de identificación (9-10-11).

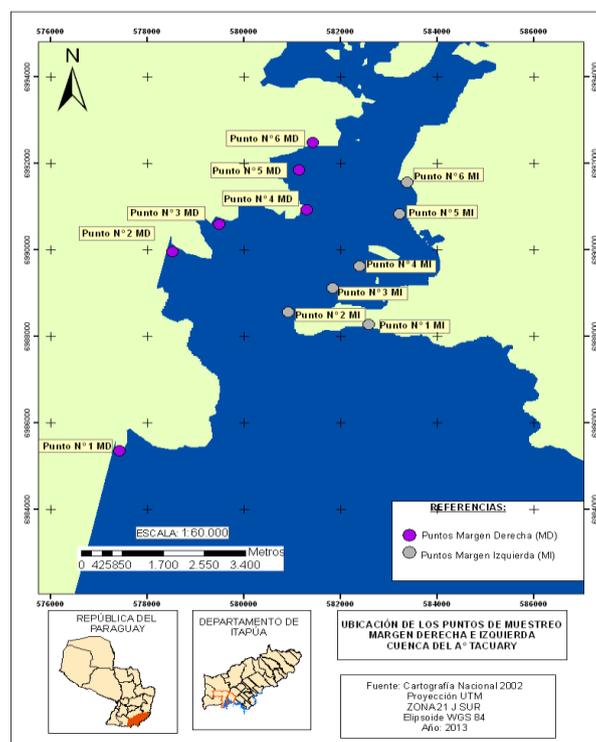


Figura 1. Situación geográfica de puntos de muestreo estacionales en el arroyo Tacuary

2.2. Métodos analíticos

Para la cuantificación de microalgas, determinación de asociaciones fitoplanctónicas y sucesiones, fueron aplicados dos métodos para la obtención del biovolumen algal: N°1. El método de la pipeta, para el cual se utilizó un recipiente cónico graduado, pipeta de 1 mL y caja de petri, a través de un cálculo simple (Ec. 1). Para la obtención del volumen diluido se procedió al recuento e identificación de organismos (cerca de 200 organismos) en una sub muestra de 1 mL, los resultados del recuento de organismos fueron expresados en número de Org/mL. Con estos resultados se confeccionaron los mapas de distribución espacial de microalgas con el Software Arc GIS 10.0 (7).

$$\frac{DV \times TN}{SV} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

DV = total de volumen diluido (ml)

SV = total de volumen de submuestra (ml)

TN = Núm. total de zooplancton en la muestra.

N°2. El método del índice de abundancia relativa (IAR) para el cual se extrajo de cada muestra una sub muestra analizando la alícuota (gota de agua), representando 18 gotas de muestra a un 1 mL, posteriormente para determinar el número de células por mL de muestra, se multiplicó por 0,06 mL conforme al método (Ec. 2).

Los resultados del recuento se expresaron en número de células por un mililitro (mL) y valorados conforme a la escala del Índice de abundancia relativa (Tabla 1). Se utilizó la escala de clasificación propuesta por Avaria (1975), modificada por Cassis (1999) adaptada de Villanueva Sanhueza (2005) (10).

Tabla 1. Escala de clasificación del Índice de abundancia relativa

Escala Numérica	Número de individuos	Denominación
0	0	Ausente
1	1	Raro
2	2-10	Escaso
3	11-50	Abundante
4	51-80	Muy abundante
5	80+	Floración

3. Resultados y Discusión

3.1. Tipos de microalgas del arroyo Tacuary

En las muestras tomadas en la cuenca del arroyo Tacuary, se identificaron 26 especies de 4 clases predominantes, de las cuales 8 especies son de la clase Cyanophycota, 7 de la clase Chlorophyceae, 10 de la clase Bacillariophyceae y 1 de la clase Xanthophyceae.

Se observó que la clase Cyanophyceae ha sido la más predominante y abundante en todos los puntos de muestreo durante las cuatro estaciones, siendo *Microcystis aureginosa*, *Microcystis flos aquae* y *Pseudo anabaena*, las especies que presentaron floraciones durante el periodo anual, conforme al índice de abundancia relativa (IAR) (Tabla 2). Al paso de las estaciones, se registraron variaciones en las comunidades fitoplanctónicas, llegando al final de la investigación con una reducida diversidad de especies y una predominancia de cianobacterias. Conforme a lo indicado por investigadores, la contaminación de un sistema acuático se refleja en la variación de las poblaciones, como por ejemplo la desaparición relativamente rápida y gradual de la totalidad o parte de la población inicial (12), este factor coincide con los resultados hallados en el arroyo Tacuary.

Si bien, algunas Cianobacterias tienden a dominar en condiciones eutróficas, debido a la producción de metabolitos secundarios muy tóxicos que las protege de la predación (13), las mismas pueden ejercer cambios sustanciales en los procesos del ecosistema. Así también, se destaca que *Microcystis aeruginosa* es la especie más común en floraciones algales de cianobacterias en cuerpos de agua eutrofizados y su presencia-abundancia está estrechamente ligada a la contaminación del agua como un bioindicador (14).

Tabla 2. Tipos de microalgas identificadas en el arroyo Tacuary

COMPOSICIÓN			
TIPOS DE MICROALGAS-CUENCA DEL ARROYO TACUARY			
CLASE	FAMILIA	TIPO DE ALGA	ESTACIÓN
CYANOPHYCEAE	Oscillatoriaceae	<i>Pseudo anabaena</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	primavera
	Microcystaceae	<i>Microcystis flos aquae</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Microcystaceae	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Scytonemataceae	<i>Phormidium</i>	verano
	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya sp.</i>	verano
	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	verano
	Oscillatoriaceae	<i>Microcoleus</i>	verano

CHLOROPHYCEAE	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Oocystaceae	<i>Chlorella vulgaris</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Dunaliellaceae	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Dunaliellaceae	<i>Dunaliella</i>	Otoño-invierno-primavera-verano
	Ulotrichaceae	<i>Ulotrix</i>	verano
	Ulotrichaceae	<i>Geminella</i>	verano
	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i>	verano
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculaceae	<i>Navicula reinhardtii</i>	verano
	Naviculaceae	<i>Navicula parsubtilisima</i>	verano
	Melosiraceae	<i>Melosira varians</i>	verano
	Fragilariaceae	<i>Sinedra</i>	verano
	Pinnulariaceae	<i>Oestrupia powellii</i>	verano
	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	verano
	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	verano
	Pleurosigmales	<i>Gyrosigma</i>	verano
	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	verano
Fragilariaceae	<i>Diatoma vulgare</i>	verano	
XANTHOPHYCEAE	Tribonemataceae	<i>Tribonema</i>	primavera

3.2. Distribución espacial del microalgas

Durante el periodo de estudio se destacó la predominancia, abundancia y amplia distribución (Org/mL) en los 12 puntos de muestreo, de los géneros Cyanobacteria y Chlorophyta. No obstante, durante los periodos cálidos de primavera-verano, se identificó mayor cantidad y diversidad de géneros, sobre todo, en los puntos de muestreo aguas abajo de la margen izquierda. Siendo el punto N°2 de la margen izquierda y N°6 de la margen derecha los de menor cantidad de organismos con un promedio mínimo de 1.582 Org/mL en la estación de verano (Figura 2). Esto representa, la abundancia de Cyanophyceae en relación a los demás grupos que integran el fitoplancton, para ambientes de las provincias de Corrientes y Chaco y los ríos Paraná y Paraguay conforme a lo indicado por otros investigadores (15). En la primera son más frecuentes en ambientes leníticos no vegetados o con escasa vegetación acuática donde producen floraciones, particularmente en primavera y verano. Estas mismas condiciones se presentan en el arroyo Tacuary, donde la vegetación acuática es escasa, no obstante, en la presente investigación se descubrió que las floraciones se dieron durante todo el año, incluso aumentando en las estaciones frías de otoño e invierno durante el periodo

investigado, donde se ha identificado, la particularidad que las estaciones de otoño e invierno fueron las de mayor biovolumen (Figura 2-3), con abundancia de especies como *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flosaquae*, *Pseudo anabaena sp.*, *Chlorella vulgaris* y *Dunaliella tertiolecta* (Tabla 2), principalmente, con un promedio máximo en los puntos de la margen derecha de 15.705 Org/mL en invierno y 10.051 Org/mL en otoño. (Figura 3). Resultando un menor biovolumen y distribución en las estaciones cálidas (Figura 4), y un mayor biovolumen de microalgas en estaciones frías (Figura 5). Tal como mencionan varios autores, las condiciones ambientales como luz, temperaturas altas, los nutrientes influyen en la aparición masiva de floraciones algales de cianobacterias. No obstante, los resultados de la investigación indicaron su adaptación rápida a las variaciones de temperatura, debido al aumento de Org/mL y floraciones en las estaciones frías. (16-17).

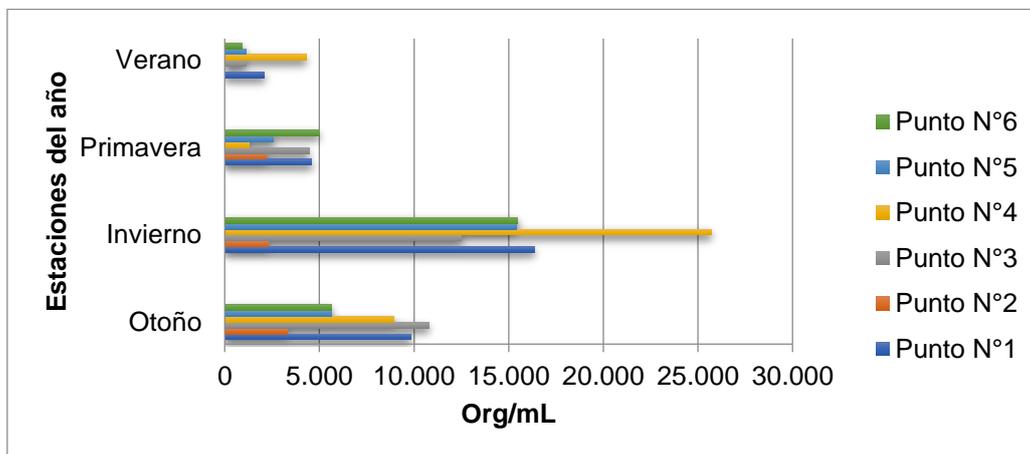


Figura 2. Variación estacional de microalgas en la margen izquierda del arroyo Tacuary

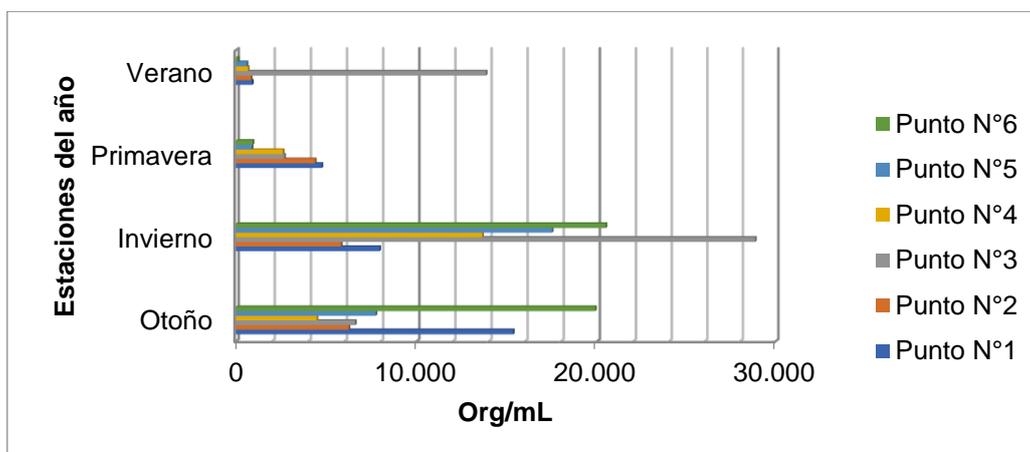


Figura 3. Variación estacional de microalgas en la margen derecha del arroyo Tacuary

Por otra parte, con el método del índice de abundancia relativa se identificó que en la margen derecha hubo floraciones algales durante las cuatro estaciones, distribuidos en la totalidad de los puntos de muestreo. En cambio, en la margen izquierda, el índice dio valores variables entre abundante, muy abundante y floraciones con una amplia distribución espacial de los mismos entre puntos de muestreo. En ambas márgenes los puntos de muestreo 1, 3, 4, 5 y 6, fueron los que registraron mayores valoraciones con un promedio máximo de 7.249 cel/mL en la margen derecha y 6.206 cel/mL en la margen izquierda, siendo superiores a los valores para el nivel 1 de alerta, establecidos por la OMS para aguas de consumo y de baño en relación a la biomasa de cianobacterias (18).

Con ambos métodos, se refleja que las estaciones de otoño e invierno fueron las de mayor biovolumen algal en todo el año de investigación. En contraposición a la literatura que indica que las floraciones o “blooms” prevalecen entre primavera y verano (19-20), o bien, normalmente, se relacionan positivamente con el clima más cálido y seco (21). Esto podría deberse a la degradación de la materia orgánica de las áreas de bosques y campos de cultivo, recientemente inundados por afectación de la represa de Yacryretá en el periodo de investigación, así como, a las actividades de la industria arrocera prevalecientes en la zona de estudio, que puedan contribuir a la aparición de las floraciones algales, sumado al proceso de transformación del arroyo en un ecosistema léntico, así como otras características referentes a la temperatura del agua en el periodo en estos puntos de muestreos.

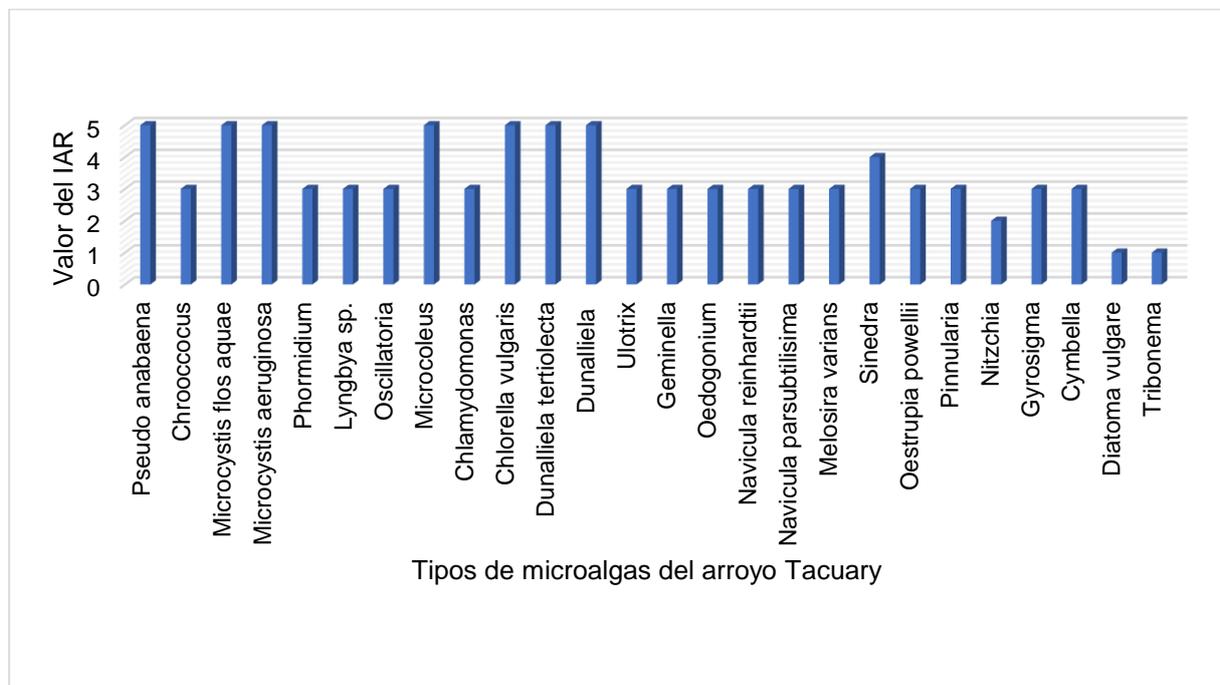


Figura 6. Índice de abundancia relativa por especies en el periodo anual

El índice de abundancia relativa determinó la floración y abundancia de microalgas de la clase Cyanophyceae, Bacillariophytas y Chlorophyceae, siendo *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flosaquae*, *Pseudo anabaena sp.*, *Chlorella vulgaris*, las especies predominantes del arroyo Tacuary (Figura 6). Estos resultados coinciden con la de autores que reportan la abundancia y predominancia de cianobacterias en embalses con características eutróficas.

No se hallaron antecedentes publicados de *Microcystis aeruginosa* en la cuenca del Tacuary, no obstante, estudios similares realizados en el embalse de Yacyretá y aguas debajo de la represa en la margen argentina, arrojaron resultados afines con aumento en la densidad de Cianobacterias a finales de la estación otoño (22), representando su presencia y su nivel de toxicidad, un riesgo para la salud del ecosistema (23).

4. Conclusiones

El arroyo investigado presenta especies predominantes bioindicadoras de eutrofización. Esto se atribuye a la baja diversidad de tipos de microalgas identificadas en el periodo anual, la desaparición de organismos con la predominancia de otros, y la floración prolongada de la clase Cianobacteria con la presencia predominante o mayor biovolumen de microalgas de la clase Cyanophytas y Chlorophytas, sobre todo, las formadas densamente por las especies claves como *Microcystis aureginosa*, *Pseudo anabaena* y *Chlorella vulgaris*.

Las estaciones de otoño e invierno fueron las de mayor biovolumen de estas especies, indicando su adaptabilidad a las condiciones ambientales de la zona. Si bien, los cambios en las floraciones dependen mucho de las dimensiones del arroyo, su hidromorfología y su dinámica, hecho que ha ayudado a una mejor dilución de la floración existente, la evidencia de la investigación indica que, de persistir las condiciones ambientales dadas, considerando que las especies predominantes son bioindicadores de eutrofización, se comprometería seriamente a la calidad del agua del arroyo Tacuary en el presente y futuro, y, por ende, a la calidad de vida de la población de la zona.

El conocimiento de la composición fitoplanctónica del arroyo y sus variaciones espacio temporales, así como sus posibles incidencias sobre la calidad del agua podrían servir como herramienta en la gestión ambiental de los recursos hídricos, así como referencia para futuras investigaciones.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés con respecto a la publicación de este artículo.

Agradecimientos: al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por su apoyo y seguimiento, en la realización de esta investigación sobre uno de los recursos de mayor importancia para el desarrollo de la vida, el agua.

Dedicado: A mi amado padre, Don Venancio López Aguirre, quien me inculcó el ansia eterna de hacer lo que amo.

Bibliografía

1. HAAKONSSON, Signe, et al. Temperature and precipitation shape the distribution of harmful cyanobacteria in subtropical lotic and lentic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 609, p. 1132-1139.
2. BONILLA, Sylvia, et al. Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *Innotec*, 2015, no 10 ene-dic, p. 9-22.
3. RAZ-GUZMÁN, A. Crustáceos y poliquetos. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores), 2000, p. 265-307.
4. VILA, I. R. M. A.; BARENDIS, I. L. S. E.; MONTECINO, VIVIAN. Abundancia y distribución temporal del fitoplancton en el Embalse Rapel, Chile Central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1987, vol. 60, no 1.
5. DE DOMITROVIC, Yolanda Zalocar. Effect of fluctuations in water level on phytoplankton development in three lakes of the Paraná river floodplain (Argentina). *Hydrobiologia*, 2003, vol. 510, no 1-3, p. 175-193.
6. VEGA, Luis María Fleitas; FLEITAS VEGA, Luis María. Contribución al estudio de plantas acuáticas en embalses hidroeléctricos. El caso Itaipú (margen derecha). *Biota*, 1997, vol. 7.
7. ROSSELL A., GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J, ABREU, J., GALVÁN, M. Manual de técnicas y muestreos y análisis de plancton y perifiton. (3ra. Ed) Instituto Nacional de Ecología. México. D.F. 1982.
8. AROCENA, Rafael, Conde Daniel. Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos de Limnología en Uruguay. Facultad de ciencias. Universidad de la República, Uruguay, 1999.
9. GUIRY, Michael D., et al. AlgaeBase. AlgaeBase, 2008.
10. VILLANUEVA SANHUEZA, F. A. Biogeografía y análisis retrospectivo de *Alexandrium catenella* (Dinoflagellata) en la zona austral de Chile. 2005. Tesis de Licenciatura.

11. STADTLÄNDER, Christian TK-H. EG Bellinger, DC Sigeo (2010). Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. *Journal of Applied Phycology*, 2013, vol. 25, no 4, p. 1265-1266.
12. MONTEJANO G.E., Cantoral, J. Carmona R. Gaviño, G.Rivas, A. Rojas, & F. Valadez. Comunidades acuáticas (algas, insectos y ácaros) indicadoras de la calidad del agua en los ríos permanentes de la región poniente del Distrito Federal (Magdalena Contreras, Alvaro Obregón y Cuajimalpa) México. Consejo de estudios para la restauración y valoración ambiental (CONSERVA) Secretaria del medio ambiente del Distrito Federal, México.1999.
13. ZHANG, T. T., et al. Allelopathic effects of submerged macrophyte Charo vulgaris on toxic Microcystis aeruginosa. *Allelopathy Journal*, 2009, vol. 23, no 2.
14. PINILLA, Gabriel Antonio Pinilla Agudelo. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica. U. Jorge Tadeo Lozano, 1998.
15. DE DOMITROVIC, Yolanda Zalocar. Structure and variation of the Paraguay River phytoplankton in two periods of its hydrological cycle. *Hydrobiologia*, 2002, vol. 472, no 1-3, p. 177-196.
16. SHAPIRO, Joseph. Current beliefs regarding dominance by blue-greens: the case for the importance of CO₂ and pH. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 1990, vol. 24, no 1, p. 38-54.
17. ROSSO, Lorena; GIANNUZZI, Leda. Factores ambientales y antropogénicos que afectan la formación de floraciones de cianobacterias y cianotoxinas. 2011.
18. FORJÁN LOZANO, Eduardo, et al. Cianoalerta: estrategia para predecir el desarrollo de cianobacterias tóxicas en embalses. *Ecosistemas*, Vol. 17, n. 1 (en.-abr. 2008); pp. 37-45, 2008.
19. PAERL, Hans W., et al. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria. *TheScientificWorldJournal*, 2001, vol. 1.
20. CHORUS, Ingrid; BARTRAM, Jamie (ed.). Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. CRC Press, 1999.
21. BRASIL, Jandeson, et al. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. *Hydrobiologia*, 2016, vol. 770, no 1, p. 145-164.
22. DE ZABURLÍN, Norma Meichtry, et al. Fitoplancton del embalse Yacyretá (Argentina-Paraguay) a una década de su llenado. *Revista mexicana de biodiversidad*, 2013, vol. 84, no 1, p. 225-239.



Impacto

Revista de Ciencia y Tecnología



23. FORASTIER, Marina Elizabet, et al. Occurrence and toxicity of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in the Paraná River, downstream of the Yacretá dam (Argentina). *Revista de biología tropical*, 2016, vol. 64, no 1, p. 203-211.