

¿PUEDEN LAS TOXINAS DE MICROALGAS AFECTAR LA SALUD DE LOS DEPORTISTAS QUE ENTRENAN EN LA PISTA OLÍMPICA DE CUEMANCO, CDMX?

CAN THE PRESENCE OF MICROALGAL TOXINS AFFECT ATHLETES' HEALTH TRAINING AT THE CUEMANCO OLYMPIC COURSE, MEXICO CITY?

Gutiérrez Pacheco J.¹, Ramírez Romero P.^{1*}, Alva Martínez A.F.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Leyes de Reforma 1ra Secc, Iztapalapa, 09340 Ciudad de México, CDMX, Tel: 55 5804 4600

*Autor de correspondencia: pattdf@gmail.com

Recibido: 22/septiembre/2025

Aceptado: 05/diciembre/2025

RESUMEN

En la Ciudad de México se han incrementado los florecimientos de *Microcystis*, una microalga potencialmente productora de microcistinas, toxinas hepatotóxicas. Existen registros de la recurrencia de florecimientos de estos organismos en la Pista Olímpica de Remo y Canotaje (PORyC) en Cuemanco, Ciudad de México, lugar a donde acuden gran cantidad de personas diariamente a realizar actividades deportivas. Con el objetivo de evaluar el riesgo que representa la presencia de estas microalgas productoras de microcistinas para los deportistas, se realizaron bioensayos de toxicidad con semillas de lechuga (*L. sativa*); asimismo, se aplicaron encuestas a deportistas de la PORyC para caracterizar su exposición a estas toxinas. Los bioensayos demostraron que las microcistinas tienen efecto negativo en la germinación de semillas de lechuga; más aún, las encuestas sugieren que la exposición de los deportistas a estas toxinas es de tipo crónico, ya que acuden de manera cotidiana y por períodos prolongados, lo cual puede representar un riesgo, no solo para quienes realizan deporte dentro del embalse, sino también para quienes se ejercitan en los alrededores, debido a los aerosoles; una ruta que está poco estudiada. Adicionalmente, las concentraciones detectadas en el agua superan los valores recomendados por

la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para cuerpos de agua recreativos. Por tanto, se sugiere que la presencia de especies productoras de microcistinas en la PORyC puede representar un riesgo para la salud de los deportistas y la población en general.

Palabras clave: Cianotoxinas, Salud pública, Deportistas, Cuemanco, Ciudad de México.

ABSTRACT

In Mexico City, blooms of *Microcystis*, a microalga that can potentially produce hepatotoxic microcystins, have increased in recent years. Recurrent blooms have been documented at the Olympic Rowing and Canoeing Course (PORyC) in Cuemanco, Mexico City, a site visited daily by many people for sports activities. To evaluate the risk posed by the presence of these microalgae to athletes, toxicity bioassays were conducted using lettuce (*Lactuca sativa*) seeds, and surveys were conducted with PORyC users to characterize their exposure. The toxicity bioassays showed that microcystins have a negative effect on the germination of lettuce seeds. In addition, the surveys suggest that athletes are chronically exposed to these toxins, since they attend the site daily and for prolonged periods. This may represent a risk not only for individuals engaging in aquatic sports but also for those exercising in the surrounding areas through aerosol exposure, a poorly studied route. Furthermore, the concentrations detected in water samples exceeded the values recommended by the United States Environmental Protection Agency for recreational waters. Therefore, the presence of microcystin-producing species in the PORyC may represent a potential health risk for athletes and the general population.

Keywords: Cyanotoxins, Public health, Athletes, Cuemanco, Mexico City.

INTRODUCCIÓN

Los Florecimientos Algales Nocivos (FAN), representan una problemática de salud pública y ambiental de gran interés en todos los cuerpos de agua, debido a que pueden producir toxinas de diferentes tipos y mecanismos de acción (Schürmann *et al.*, 2024).

Las cianobacterias o algas verde-azules son un grupo de organismos fotosintéticos formadores de FAN en todos los ecosistemas acuáticos del planeta (Martínez-Alesón *et al.*, 2019). Gran parte del

éxito de estas microalgas se debe a su capacidad de producir cianotoxinas, que causan enfermedades y muerte a seres humanos y animales (Sivonen y Jones, 1999). Dentro de este grupo, el género más abundante en agua dulce es *Microcystis*, el cual es productor de microcistinas (MC), toxinas hepatotóxicas para los seres humanos (Pineda-Mendoza *et al.*, 2020). De igual forma, existe un gran interés en los efectos crónicos de estas toxinas a exposiciones prolongadas, ya que se sospecha que puedan ser promotoras de tumores (Falconer 1991; Melaram *et al.*, 2024; Moots *et al.*, 2025) y otros efectos.

Los humanos estamos expuestos a estas toxinas a través de la vía oral, en el agua para beber, alimentos contaminados, o por ingestión accidental en actividades recreativas como la natación y otros deportes acuáticos. Asimismo, la exposición dérmica y la inhalación de partículas que contienen cianotoxinas (bioaerosoles) son también posibles vías de exposición (Martínez Alesón *et al.*, 2019, Morris *et al.*, 2025). Sin embargo, la muy limitada información existente sugiere que la inhalación de dichos bioaerosoles (posible durante ciertas actividades deportivas y laborales), puede ser una vía de exposición igualmente importante (Facciponte *et al.*, 2018; Lewandowska *et al.*, 2017; Grogan *et al.*, 2023).

En los últimos años, se ha detectado en la Ciudad de México una creciente incidencia de proliferaciones de organismos productores de MC en lagos urbanos que están destinados a actividades deportivas y recreativas (Pineda-Mendoza *et al.*, 2020; Aquino-Cruz *et al.*, 2021), tal es el caso de la pista olímpica de remo y canotaje (PORyC) "Virgilio Uribe". La PORyC está ubicada en la Delegación Xochimilco de la Ciudad de México, donde desde hace muchos años ocurren florecimientos de cianobacterias con predominio de *Microcystis* (Pineda-Mendoza *et al.*, 2020), lo cual representa un factor de riesgo para las personas de diversas edades que ahí realizan diferentes actividades deportivas, tales como remo, canotaje, ciclismo, caminata etc., Sin embargo, los estudios de cianotoxinas en esta zona no son rutinarios; se han realizado con lapsos de varios años entre ellos y, hasta la fecha, no se han realizado estudios que asocien directamente la presencia de estas toxinas a daños en los deportistas que están expuestos a ellas durante sus entrenamientos. Es por ello que el objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de cianobacterias productoras de microcistinas en la PORyC "Virgilio Uribe" y su posible efecto tóxico en deportistas y población en general que acuden con frecuencia al sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de muestras e Identificación Taxonómica

Se realizó un muestreo manual en el mes de Abril de 2021 a la orilla de la PORyC, del cual se obtuvieron dos muestras de agua superficial, ambas con un volumen de 1L. Las muestras se analizaron con un microscopio óptico de la marca Olympus (BX40F-3) a un aumento de 40 \times , para verificar la presencia de posibles colonias de *Microcystis* a nivel de género, según el catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas (Cirés-Gómez y Quesada-de Corral, 2011). Debido a que las actividades de investigación en ese año estuvieron restringidas por las medidas sanitarias de la pandemia de COVID-19, no fue posible realizar muestreos adicionales.

Prueba de toxicidad con semillas de lechuga (Lactuca sativa)

Dada la presencia de colonias del género *Microcystis* en la PORyC, se realizaron bioensayos con semillas de lechuga con la finalidad de evaluar los efectos tóxicos de las MC en el proceso de germinación de las semillas.

De las muestras colectadas en la PORyC, se separó una fracción de 500mL de la muestra, que se mantuvo únicamente bajo condiciones de refrigeración (Muestra Viva); mientras que a la otra fracción de la muestra se realizó la extracción de toxinas mediante 3 ciclos de shock térmico de 24 h cada uno (12h x 12h de congelamiento-descongelamiento), ya que de manera natural las MC no se excretan al medio (o en muy pequeña tasa).

Posteriormente se realizaron diferentes diluciones de esta última fracción con agua corriente, para evaluar los efectos a diferentes concentraciones (75%, 50% y 25%).

Desarrollo de la prueba

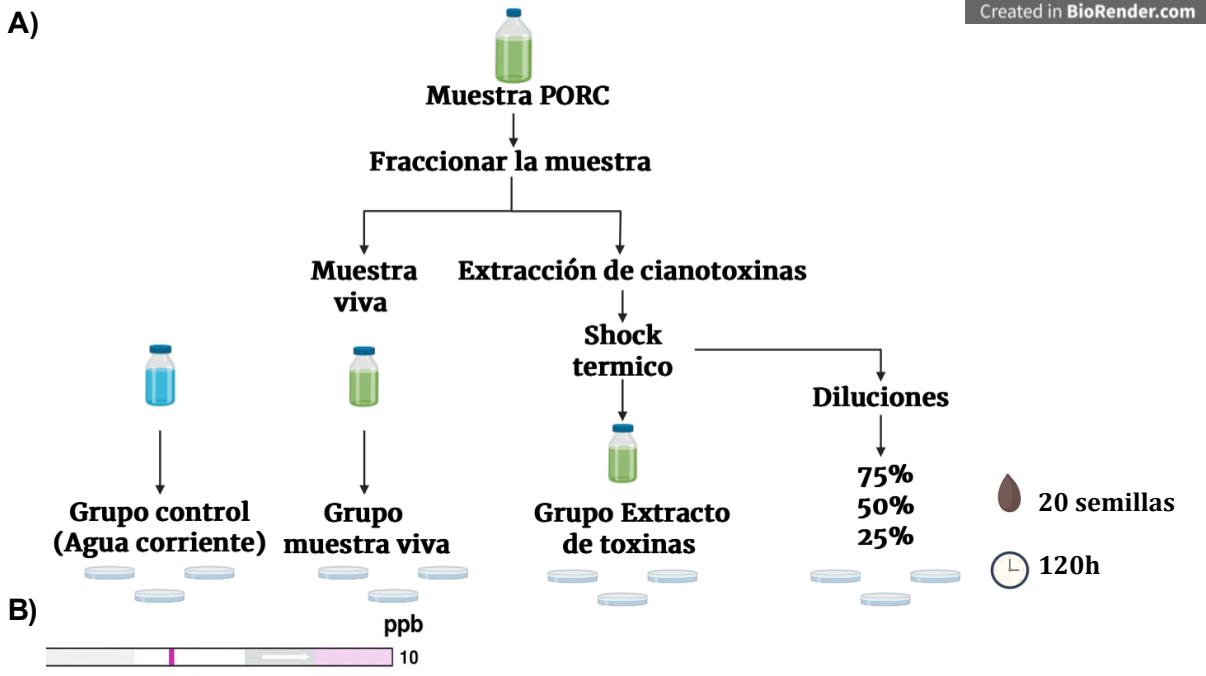
Siguiendo el protocolo planteado por Huerta-Muñoz *et. al.* (2015), se evaluó el desarrollo de las semillas bajo tres tratamientos: un control negativo, regado con agua corriente; al segundo grupo se le adicionó el extracto de cianotoxinas y finalmente, un grupo regado con el concentrado de muestra viva (cada grupo con 20 semillas). Adicionalmente, se evaluaron los efectos del extracto de toxinas proveniente del agua de la PORyC a diferentes diluciones (75%, 50% y 25%). Cada uno de los grupos se manejó por triplicado. Pasadas 120 h del inicio del experimento, se midieron y

registraron la germinación, y el crecimiento de tallo y raíz (Fig. 1A). Finalmente, la concentración de toxinas se evaluó semicuantitativamente con ayuda de un kit de tiras reactivas de flujo lateral Microcystins, 0-10(20) ppb, Recreational Water with QuikLyse® Feature, Dipstick, (EPA ETV) de la marca OMG Abraxis International (Fig. 1B).

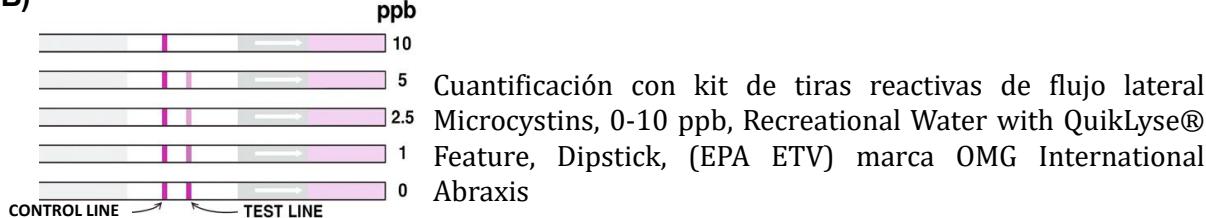
Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo de la prueba de toxicidad en semillas de lechuga.

A)

Created in BioRender.com



B)



Fuente: elaboración propia; creado con Biorender.com

Obtención de datos de exposición para deportistas

Con la finalidad de caracterizar el nivel de exposición al que se encuentran sujetos los deportistas que acuden a este lago urbano, se aplicaron encuestas vía remota a deportistas acerca de sus hábitos de entrenamiento. La encuesta consistió en 15 preguntas cualitativas y cuantitativas acerca de la frecuencia y duración de sus entrenamientos en la zona, así como de sintomatologías presentadas después de estar en contacto con el agua.

Análisis de resultados

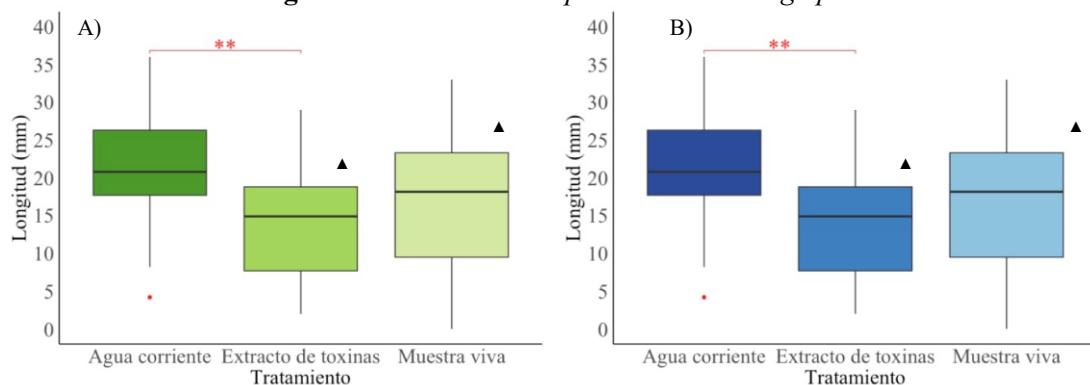
Una vez obtenidos los datos de germinación y de elongación de raíz (Fig. 2A) y tallo (Fig. 2B) para cada tratamiento, se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. Dado que la distribución de los datos fue de tipo no normal, se analizaron las diferencias entre grupos mediante las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis complementadas con la prueba post hoc de Dunn para determinar si existieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en comparación con el grupo control; los análisis estadísticos se realizaron mediante el software estadístico Rstudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bioensayos de toxicidad

A partir de las pruebas de toxicidad con semillas *L. sativa*, se encontraron disminuciones significativas en: (i) los porcentajes de germinación, (ii) las medias de crecimiento, tanto de tallo como de raíz, entre el grupo control (agua corriente) y el grupo regado con el extracto de MC. Por otra parte, el grupo regado con la muestra viva presentó disminuciones en su crecimiento que no fueron estadísticamente diferentes al control ($p > 0.5$) (Fig. 2). Lo anterior se puede atribuir a que las MC se localizan en un 90% en el interior de las células de las cianobacterias y se liberan únicamente tras la muerte de las células que las contienen (Peleato-Sánchez *et al.*, 2012).

Figura 2. Crecimiento de plántulas de lechuga por tratamiento.



Nota: A) Longitud de raíz. B) Longitud de tallo. **Diferencias significativas ($P < 0.05$) entre grupos tratados con agua corriente y extracto de toxina, usando la prueba de Kruskal-Wallis + Dunn; programa Rstudio. ▲Concentraciones de MC por encima de los 10 $\mu\text{g/L}$.

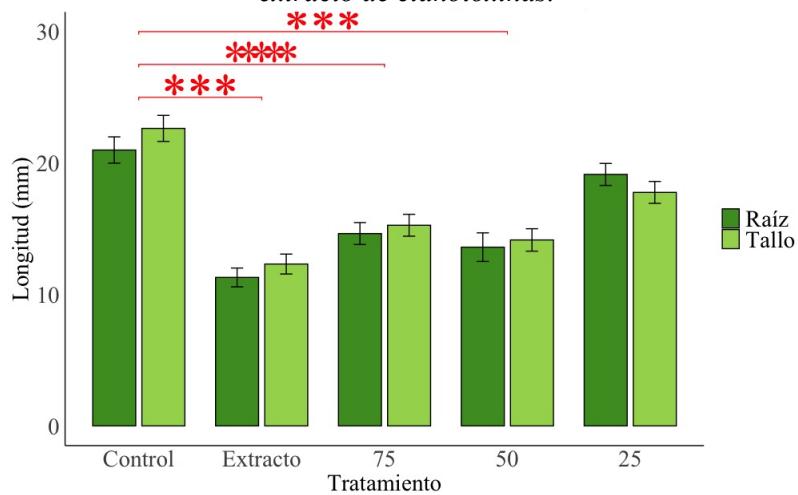
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, pese a que Aquino-Cruz *et al.* (2021) menciona la permanencia de *Microcystis* en la PORyC, estas microalgas se encuentran en constante renovación a largo del año. Debido a las condiciones ambientales y de nutrientes, pueden encontrarse en el agua tanto células vivas, como células muertas, las cuales van a liberar MC en este embalce. Además, se estima que la vida media de MC-LR en un sistema natural es de 90 a 120 días dependiendo de la profundidad del agua (Welker y Steinberg, 2000, citado en EPA 2019), por lo que la presencia de microalgas productoras de MC representan un riesgo en la zona.

De igual forma, se encontraron disminuciones significativas en las medias de crecimiento de plántulas entre las diluciones del 75 y 50% con respecto al grupo control (agua corriente). Una vez que este extracto es diluido a una concentración del 25%, se pueden observar disminuciones en el desarrollo de la plántula; sin embargo, estas no son estadísticamente significativas con respecto al control (Fig. 3). La dilución al 25% presentó concentraciones de MC en el rango entre los 5-10 $\mu\text{g/L}$; el resto de las muestras presentaron concentraciones por encima de los 10 $\mu\text{g/L}$, límite superior del kit con el que se cuantificaron las toxinas.

Así, Los valores del desarrollo de las plántulas en el presente trabajo demostraron los efectos negativos de las MC extraídas del agua de la PORyC.

Figura 3. Crecimiento de raíz y tallo en plántulas de lechuga expuestas a diferentes diluciones de extracto de cianotoxinas.

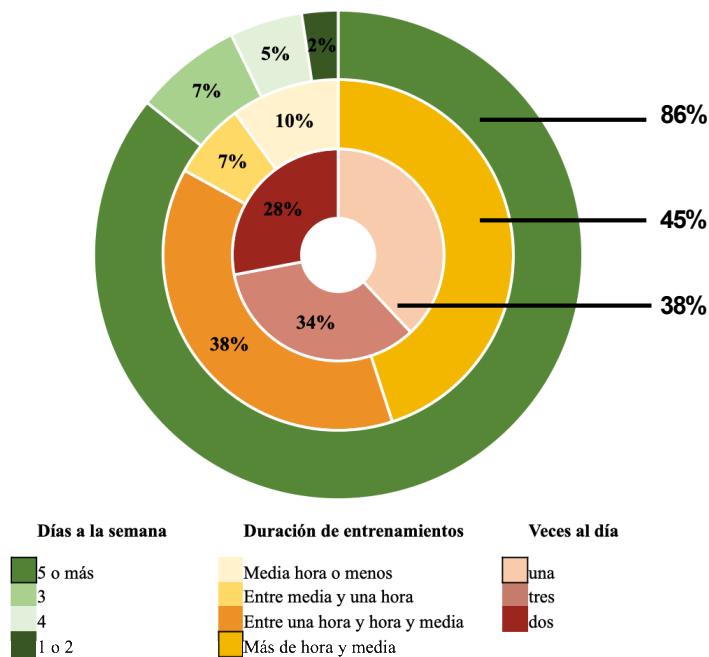


Nota: ***Diferencias significativas ($P < 0.050$) entre grupos tratados con diluciones de extracto de toxina Vs grupo control (agua corriente), usando la prueba de Tukey. ▲Concentraciones de MC por encima de los 10 $\mu\text{g/L}$. Fuente: Elaboración propia.

Exposición de los deportistas

Con base en los datos recopilados de las encuestas, se determinó que la exposición a las cianotoxinas de los deportistas que acuden a esta zona es de alrededor de 7:30h a la semana, esto considerando únicamente los datos más frecuentes de 5 veces o más por semana, una vez al día, y en un intervalo entre 60 y 90 min (Fig. 4). Suponiendo que estos deportistas, al ser de alto rendimiento, mencionan entrenar durante todo el año, esto representa una exposición anual de 390 h, ya que se ha reportado la persistencia y permanencia de *Microcystis* desde hace décadas (Aquino-Cruz *et al.*, 2021).

Figura 4. Hábitos de entrenamiento de los deportistas en la PORyC.



Fuente: elaboración propia.

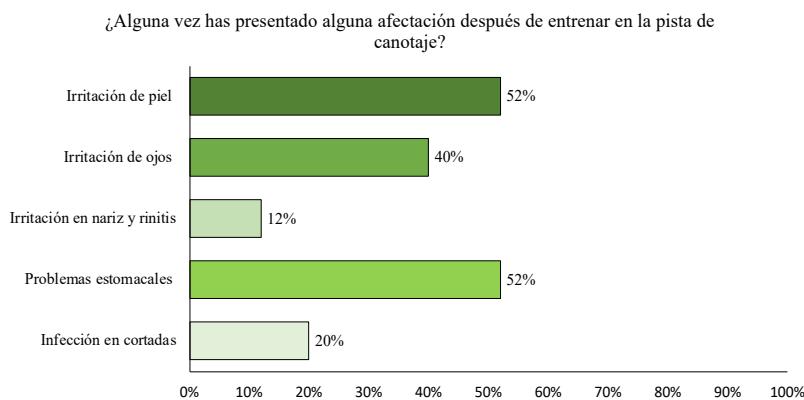
Es importante tomar en cuenta, que muchos de estos deportistas han entrenado en la zona durante muchos meses e incluso años, algunos encuestados aseveran tener hasta 15 años entrenando en este cuerpo de agua. Así, los florecimientos de cianobacterias en la PORyC pueden representar un factor de riesgo para la salud de los deportistas que ahí entran, debido principalmente a que estos acuden de manera cotidiana y por periodos prolongados. En este sentido, se ha reportado que los tiempos de exposición superiores a 1 hora están relacionados con la aparición de síntomas por exposición

a las MC, tales como rinitis, irritación en piel y ojos, así como problemas gastrointestinales (Drobac *et al.* 2013). Además, la exposición crónica a las MC puede generar daño hepático, y ser promotoras de tumores (Melaram *et al.*, 2024).

Cabe mencionar que los deportistas son susceptibles al contacto con esta agua debido a que quedan empapados con el agua de las salpicaduras que se generan al llevar a cabo el remo y canotaje. Estas salpicaduras representan una fuente de exposición directa tanto por la vía dérmica, como por la vía oral, ya que, durante las actividades deportivas o recreativas, se produce la ingesta accidental de agua con cianobacterias (Martínez Alesón *et al.*, 2019; EPA, 2019) y las toxinas disueltas en esta. Aún más, también hay exposición por vía respiratoria mediante la inhalación de aerosoles; la información disponible sugiere que esta puede ser una vía de exposición igualmente importante (Facciponte *et al.*, 2018).

Es posible que el contacto con el agua con MC sea la causa de la alta incidencia de afectaciones a la salud declaradas por los deportistas (Fig. 5), que coinciden con las reportadas por la literatura como: 1) alergias, y rinitis (Drobac *et al.*, 2013; Lewandowska *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2017; Melaram *et al.*, 2024); 2) síntomas descritos en la revisión de Juanena *et al.*, (2020) como *Flu-like* (seudogripales) producidos por estas toxinas, 3) alteraciones dérmicas y gastrointestinales (Moots *et al.*, 2025). Estas últimas son las más recurrentes entre los encuestados. Adicionalmente, el 20% de los deportistas reportó presentar infecciones en las heridas que llegaban a tener después de entrenar si no eran atendidas con rapidez después de salir del agua.

Figura 5. Resultado de las encuestas respecto a la frecuencia de sintomatologías presentadas por los deportistas en la PORyC.



Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, en las muestras obtenidas en la PORyC, se encontraron concentraciones de MC por encima de los 10 $\mu\text{g/L}$. Este valor representa el límite máximo permisible para aguas recreacionales según lo establecido por la normativa de países como Canadá (Health Canada, 2022) y Alemania (Chorus y Welker, 2021); sin embargo, según los estándares de calidad del agua propuestos en 2019 por la Agencia Norteamericana de Protección ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos, se recomienda que en agua recreacional las concentraciones de MC se encuentren por debajo de los 8 $\mu\text{g/L}$. A partir de estos valores guía podemos calcular un cociente de riesgo (CR), utilizando la metodología planteada por la EPA (2017):

$$\text{CR} = \frac{8 \mu\text{g/L} (\text{Valor guía})}{10 \mu\text{g/L} (\text{Concentración ambiental})} = 1.25$$

Donde:

$\text{CR} < 1.0$ = Riesgo bajo o despreciable

$0.1 \leq \text{CR} < 1.0$ = Riesgo moderado o potencial

$\text{CR} \geq 1.0$ = Riesgo alto o significativo

Este valor resultado nos indica que las condiciones del agua en la PORyC representan un riesgo para la salud de los deportistas. Cabe destacar que México no cuenta con la normativa pertinente que establezca valores guía para la concentración de toxinas de microalgas en agua recreacional. El estudio de las microalgas en lagos urbanos representa un tema de investigación poco atendido; la literatura disponible al respecto se limita a unos pocos estudios realizados hace varios años. Aunque estos cuerpos de agua, en su mayoría artificiales, no representan un interés para la fisiología, sí representan un nicho de investigación relevante en cuanto a la ecotoxicología y la salud pública, ya que en estas zonas se da la recurrencia de organismos productores de toxinas, que pueden tener consecuencias negativas para la población. Hasta la fecha, persisten importantes vacíos de conocimiento en torno a la producción y diseminación de estas toxinas, su persistencia en el ambiente y sus efectos sobre los organismos. Además, continuamente se identifican nuevas especies productoras y se descubren nuevos tipos de toxinas. Las condiciones actuales de nutrientes

en la PORyC no son las adecuadas para reducir la recurrencia de florecimientos de cianobacterias productoras de microcistinas en la zona; pese a que se ha reportado que en esta zona existe una problemática ambiental debido a la persistencia de *Microcystis* desde hace muchos años (Pineda-Mendoza *et al.*, 2020; Aquino-Cruz *et al.*, 2021). Por tanto, es necesario un mejor tratamiento de estas aguas, siguiendo el enfoque de Paerl y Barnard (2020), en el cual se prioriza reducir el aporte de los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo mediante diferentes estrategias de mitigación, con la finalidad de reducir las concentraciones de estos organismos y sus toxinas. En cuanto a la exposición de los deportistas a las MC, Juanena *et al.*, (2019) recomiendan a la población cambiar la ropa, lavarla, y lavarse el cuerpo con agua, evitando refregar después de haber estado en contacto cutáneo-mucoso con cianobacterias, así como lavar los implementos deportivos que entran en contacto con la piel (tablas, salvavidas, remos, etc.) con la finalidad de minimizar el riesgo de presentar los síntomas antes mencionados.

A pesar de que las personas que realizan remo y canotaje son quienes están más expuestos a los efectos tóxicos de las MC en el agua, la inhalación de aerosoles, puede representar una vía de exposición igual de importante no solo para aquellos que practican dentro de la PORyC, sino también para quienes realizan actividad física en los alrededores de este cuerpo de agua urbano, tales como corredores, ciclistas y personas que acuden a realizar caminata o pasear a sus mascotas. Lo anterior deido a que las toxinas se diseminan a la atmósfera y pueden transportarse al menos a unos pocos kilómetros desde su origen. (Caller *et al.*, 2013; Torbick *et al.*, 2018). Inclusive, se debe tomar en consideración a los trabajadores de la zona, que, si bien no pertenecen al grupo de los deportistas, también acuden a este cuerpo de agua todos los días por períodos prolongados, y se encuentran expuestos de manera crónica a las microcistinas mediante la vía aérea.

En trabajos futuros se requiere utilizar métodos más precisos para la cuantificación de cianotoxinas, para poder evaluar de manera exacta las concentraciones de microcistinas presentes en el agua. Además, se propone la implementación de nuevas metodologías que permitan cuantificar la presencia de estas moléculas en aerosoles, así como las distancias a las que se pueden propagar hacia los alrededores, con la finalidad de obtener una caracterización completa de la posible exposición a estas toxinas. Finalmente, es necesario realizar estudios que consideren la vía respiratoria como una vía alterna de exposición a estas toxinas mediante aerosoles, para complementar la información disponible acerca de estas vías de exposición.

CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos de toxicidad demostraron que las microcistinas (MC) afectan negativamente el desarrollo de plántulas de lechuga. Dada la recurrencia de estos florecimientos algales a lo largo del año, la presencia de cianobacterias productoras de MC en la PORyC podría representar un riesgo potencial para la salud de la población, especialmente para deportistas y trabajadores que frecuentan esta zona de manera regular y prolongada. Además, aunque la información sobre las rutas de exposición es limitada, la vía respiratoria, a pesar de estar poco estudiada, podría ser igual de relevante en la evaluación del riesgo, no solo para quienes se encuentran dentro del cuerpo de agua, sino también para quienes realizan actividad física en sus alrededores.

REFERENCIAS

- Aquino-Cruz, A., Torres-Calderón, D. A., Barrios-García, E. A., & Bulit, C. (2021). Evaluación del crecimiento y toxigenicidad de *Microcystis* en aguas enriquecidas con nutrientes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 155–165. <https://doi.org/10.20937/RICA.53782>
- Callen, T. A., Chipman, J. W., Field, N. C., & Stommel, E. W. (2013). Spatial analysis of amyotrophic lateral sclerosis in northern New England, USA, 1997–2009. *Muscle & Nerve*, 48, 235–241.
- Chorus, I., & Welker, M. (Eds.). (2021). *Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003081449>
- Cirés-Gómez, S., & Quesada-de Corral, A. (2011). Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Drobac, D., Tokodi, N., Simeunović, J., Baltić, V., Stanić, D., & Svirčev, Z. (2013). Human exposure to cyanotoxins and their effects on health. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 64(2), 305–315.
- Facciponte, D.N., Bough, M.W., Seidler, D., Carroll, J.L., Ashare, A., Andrew, A.S., Tsongalis, G.J., Vaickus, L.J., Henegan, P.L., Butt, T.H., Stommel, E.W., (2018) Identifying aerosolized cyanobacteria in the human respiratory tract: A proposed mechanism for cyanotoxin-associated

diseases. *Sci Total Environ.* Dec 15;645:1003-1013. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.226. Epub 2018 Jul 20. PMID: 30248825; PMCID: PMC6159226.

Falconer, I. R. (1991). Tumor promotion and liver injury caused by oral consumption of cyanobacteria. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 6, 177–184. <https://doi.org/10.1002/tox.2530060207>

Grogan, A. E., Alves-de-Souza, C., Cahoon, L. B., & Mallin, M. A. (2023). Harmful Algal Blooms: A Prolific Issue in Urban Stormwater Ponds. *Water*, 15(13), 2436. <https://doi.org/10.3390/w15132436>

Health Canada (2022) Guidelines for Canadian Recreational Water Quality Guideline Technical Document Cyanobacteria and Their Toxins. Health Canada; Ottawa, ON, Canada.

Huerta Muñoz, Elena, Cruz Hernández, Javier, Aguirre Álvarez, Luciano, Caballero Mata, Raymundo, & Pérez Hidalgo, Luis Felipe. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 179-185.

Juanena, C., Negrin, A., & Laborde, A. (2020). Cianobacterias en las playas: riesgos toxicológicos y vulnerabilidad infantil. *Revista Médica del Uruguay*, 36(3), 157-182. doi.org/10.29193/rmu.36.3.7

Lewandowska, A., Śliwińska-Wilczewska, S., & Woźniczka, D. (2017). Identification of cyanobacteria and microalgae in aerosols of various sizes in the air over the Southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1), 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.064>

Martínez-Alesón-García, P., Martínez-Esteban, R., Díaz-Alejo Guerrero, H., García-Balboa, C., López-Rodas, V., & Costas, E. (2019). ¿Son las cianotoxinas un peligro emergente en las aguas de baño y de abastecimiento? *Revista Madrileña de Salud Pública*, 2(19), 1–9.

Melaram, R., Newton, A. R., Lee, A., Herber, S., El-Khouri, A., Chafin, J., et al. (2024). A review of microcystin and nodularin toxins derived from freshwater cyanobacterial harmful algal blooms and their impact on human health. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 16, 233–241. <https://doi.org/10.1007/s13530-024-00220-0>

Moots, G. B., Moorhead, D. L., Suffet, C. E., Kinzel, K. M., Dwyer, D. F., & Sigler, V. (2025). Microcystin persistence in Lake Erie foreshore sands: Implications for recreational exposure. *Journal of Great Lakes Research*, 51, 102601.

- Morris, Z. J., Stommel, E. W., & Metcalf, J. - S. (2025). Toxinas cianobacterianas aerotransportadas y sus vínculos con enfermedades neurodegenerativas. *Moléculas*, 30 (11), 2320. <https://doi.org/10.3390/molecules30112320>
- Paerl, H. & Barnard, M. (2020). Mitigating the global expansion of harmful cyanobacterial blooms: Moving targets in a human- and climatically-altered world. *Harmful Algae*, 96, 101845. [10.1016/j.hal.2020.101845](https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101845).
- Peleato-Sánchez, M. L., Sevilla, E., & López, S. (2012). Nuevos riesgos para el agua potable: Microcistina. En Mejora de la calidad del agua de consumo por eliminación de toxinas (Informe científico-técnico). OX-CTA S.L.
- Pineda-Mendoza, R. M., Briones-Roblero, C. I., González-Escobedo, R., Rivera-Orduña, F. N., Martínez-Jerónimo, F., & Zúñiga, G. (2020). Seasonal changes in the bacterial community structure of three eutrophicated urban lakes in Mexico City, with emphasis on *Microcystis* spp. *Toxicon*, 179, 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.02.019>
- Schürmann, Q. J. F., Visser, P. M., Sollie, S., Kardinaal, W. E. A., Faassen, E. J., Lokmani, R., van der Oost, R., & Van de Waal, D. B. (2024). Risk assessment of toxic cyanobacterial blooms in recreational waters: A comparative study of monitoring methods. *Harmful Algae*, 138, 102683. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102683>
- Singh, R., Parihar, P., Singh, M., Bajguz, A., & Kumar, S. (2017). Uncovering potential applications of cyanobacteria and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: Current status and future prospects. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1–37.
- Sivonen, K., & Jones, G. (1999). Cyanobacterial toxins. En Chorus, I., & Bartram, J. (Eds.), *Toxic cyanobacteria in water* (pp. 41–111). E & FN Spon.
- Torbick, N., Ziniti, B., Stommel, E., Linder, E., Andrew, A., & Caller, T. (2018). Assessing cyanobacterial harmful algal blooms as risk factors for amyotrophic lateral sclerosis. *Neurotoxicology Research*, 33, 199–212.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2017). *Technical overview of ecological risk assessment: Risk characterization*.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2019). Recommended human health recreational ambient water quality criteria or swimming advisories for microcystins and cylindrospermopsin. Health and Ecological Criteria Division.