CIANOBACTÉRIAS NO PARAGUAI: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Diego Jesús Bernal Chavez [1], Mario Daniel Rodriguez Maravilla [2]

[1] Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Alto Paraná, Paraguai. (E-mail: diegoberncha@gmail.com).
[2] Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Alto Paraná, Paraguai.

Resumo: As florações de cianobactérias constituem um problema ambiental e sanitário emergente em sistemas aquáticos continentais do Paraguai. Esta revisão estruturada da literatura publicada entre 1940 e 2025 analisou 15 documentos qualitativos (artigos científicos e relatórios técnicos). A evidência identificou pelo menos nove eventos de floração no país. O Lago Ypacaraí concentrou a maior quantidade de registros, com densidades máximas de 708.472 células/mL em 2012 e 210.105 células/mL em 2015. Os eventos mais intensos ocorreram em 2020 em Loma Plata e Limpio, superando um milhão de células/mL. Conclui-se que existe uma lacuna crítica no monitoramento de cianotoxinas e profundas deficiências na regulação nacional da qualidade da água.

Palavras-chave: cianobactérias; Lago Ypacaraí; microcistinas; eutrofização; saúde pública.

INTRODUÇÃO

As cianobactérias são microrganismos procariotas fotossintéticos oxigênicos estruturalmente complexos que habitam diversos ecossistemas aquáticos continentais. Sob condições ambientais favoráveis — caracterizadas fundamentalmente por temperaturas elevadas, estabilidade prolongada da coluna de água e enriquecimento artificial por nutrientes como fósforo e nitrogênio —, determinadas espécies possuem a capacidade de se proliferar de maneira geométrica. Essas proliferações massivas, denominadas genericamente como florações ou *blooms*, alteram drasticamente a dinâmica ecológica local, diminuem a transparência da água e causam episódios severos de hipoxia.

A relevância sanitária e o perigo imediato dessas florações fundamentam-se na capacidade de múltiplos táxons produzirem uma ampla variedade de metabólitos secundários perigosos conhecidos como cianotoxinas. Esses compostos biologicamente ativos incluem potentes hepatotoxinas (como as microcistinas) e neurotoxinas, cujas rotas de exposição abrangem a ingestão acidental, o contato dérmico em atividades recreativas ou o consumo de água contaminada, afetando gravemente a integridade da saúde pública, de animais domésticos e da fauna silvestre local.

No Paraguai, as proliferações cianobacterianas têm demonstrado um padrão limnológico consistente e recorrente associado à eutrofização antrópica, gerando sérios problemas ambientais em lagos rasos e praias urbanas estratégicas. Diante de tal cenário de vulnerabilidade hídrica, o objetivo da presente revisão sistemática foi sintetizar criticamente a evidência disponível na literatura sobre as florações de cianobactérias no território nacional e em corpos de água compartilhados, descrevendo sua magnitude quantitativa, os táxons dominantes predominantes, as variáveis físico-químicas condutoras e o significado sanitário regional.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se uma revisão bibliográfica estruturada com abordagem de síntese qualitativa e comparação quantitativa simples de tipos documentais, delimitada entre os anos de 1940 e 2025. A busca foi efetuada nas bases Scopus, SciELO, Google Scholar, ResearchGate e ScienceDirect. Utilizaram-se combinações de palavras-chave em inglês e espanhol, incluindo termos como *Paraguay*, *cyanobacteria*, *blooms*, *cyanotoxins*, *Ypacarai* e *Yacyreta*.

Os critérios de inclusão exigiram estudos em corpos de água paraguaios ou compartilhados que apresentassem dados quantitativos de contagem celular, biovolume, clorofila-a ou menção explícita de *blooms*. Para a síntese qualitativa principal, conservaram-se 15 documentos: 12 artigos científicos revisados por pares (80,0%), 1 capítulo de livro técnico (6,7%) e 2 relatórios técnicos oficiais (13,3%). Os resultados foram interpretados comparativamente utilizando os níveis guia da OMS para águas recreacionais e de bebida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A nível mundial, as cianobactérias converteram-se em um tema de estudo constante devido às suas profundas repercussões ecológicas e sanitárias, impulsionadas pelo aquecimento global e pela eutrofização. Como demonstrado na **Figura 1**, a tendência temporal de publicações científicas sobre cianobactérias evidencia um crescimento contínuo e expressivo na última década (passando de 3.120 publicações em 2015 para 7.290 em 2025). Esse cenário confirma a consolidação internacional da temática devido às suas amplas implicações adaptativas e ambientais.

No Paraguai, as proliferações têm demonstrado um padrão recorrente, afetando lagos rasos, praias recreativas e rios compartilhados.

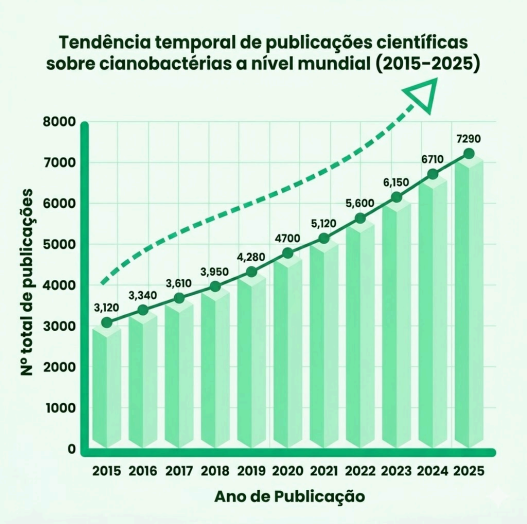


Figura 1. Tendência temporal de publicações científicas sobre cianobactérias a nível mundial (2015–2025). Indica o avanço constante das pesquisas devido às repercussões do tema.

Dinâmica das Florações Nacionais

A evidência recuperada mostra que o Paraguai enfrenta uma sequência recorrente de proliferações associadas a lagos someros, praias recreativas e embalses, totalizando pelo menos nove episódios ou séries de episódios documentados. No eixo transfronteiriço Paraná-Yacyretá, registraram-se os primeiros florescimentos de Microcystis aeruginosa entre 2004 e 2005 durante meses cálidos, com densidades de até 10.060 ind./mL, confirmando que o corredor fluvial compartilhado possui condições estáveis para episódios recorrentes. No embalse Tacuary, verificou-se a persistência estacional de Microcystis aeruginosa, M. flos-aquae e Pseudoanabaena, com médias máximas de 15.705 Org./mL no inverno.

O Lago Ypacaraí concentra a maior densidade de informações e episódios de alto risco. A primeira série quantitativa robusta (outubro de 2012–abril de 2014) revelou que Cylindrospermopsis raciborskii dominou inicialmente o ecossistema, sendo posteriormente substituída por Microcystis aeruginosa. O pico mais alto ocorreu na praia de Areguá em outubro de 2012, atingindo 708.472 células/mL, coincidindo com concentrações elevadas de fósforo total (0,51 mg/L) e temperaturas de até 31,4 ° C. Uma segunda série (2015–2016) confirmou a gravidade do cenário no lago, registrando um máximo de 210.105 células/mL de Microcystis spp. (com dominância de M. flos-aquae) na foz do arroio Pirayú em dezembro de 2015.

Os monitoramentos mais recentes nas praias do Lago Ypacaraí (2022–2024) confirmaram que as proliferações continuam recorrentes, embora com menor magnitude do que as observadas na década anterior. Registraram-se picos estivais de 29.393 células/mL em San Bernardino, 35.685 células/mL na praia Ypacaraí e 38.883 células/mL em Areguá. Os gêneros mais frequentes foram Dolichospermum, Microcystis e Pseudanabaena. De acordo com os critérios internacionais da OMS, esses valores enquadram-se em um cenário de risco moderado, exigindo vigilância contínua e sinalização das praias.

Fora dos lagos internos, os eventos quantitativamente mais extremos registrados no corpus documental ocorreram no ano de 2020 em águas salobres hipereutrofizadas. O primeiro afetou um tajamar natural em Loma Plata (Boquerón) usado para dessedentação de gado, atingindo 1.065.000 células/mL do gênero Cyanotetras sp.. O segundo ocorreu na Laguna Cerro de Limpio, onde descargas orgânicas desencadearam uma floração vermelha massiva de 5.504.000 células/mL de Cyanotetras sp., acompanhada de anoxia severa (0,61 mg/L de OD), odor fétido e mortandade de flora e fauna.

A dimensão toxicológica e analítica na literatura paraguaia é muito mais fraca que a evidência sobre abundância celular. Entre os estudos empíricos locais, apenas Sosa Benegas et al. (2024) reportaram toxinas medidas diretamente, quantificando uma mediana de 0,88 ± 0,34 \mug/L de microcistina-LR extracelular (via ELISA) no Lago Ypacaraí em um período sem condição de bloom visível (1.982 células/mL). Em contraste, na Argentina, Forastier et al. (2016) detectaram por HPLC-PDA três variantes de microcistinas (MC-LR, MC-RR e [D-Leu] MC-LR) a jusante de Yacyretá, com a variante [D-Leu] MC-LR atingindo 37,7 \mug/L. Adicionalmente, Kolman et al. (2024) confirmaram o potencial tóxico na bacia através do gene mcyE (PCR) e UPLC-MS/MS, com 250 \mug/L intracelulares em scum litoral no arroio Zaimán.



Figura 2. Infográfico de dados nacionais sobre cianobactérias no Paraguai (1940–2025). Sintetiza o esforço científico nacional (15 publicações) e os valores máximos registrados de blooms e cianotoxinas.

Análise Regulatória e Deficiências Normativas

A análise integrada da evidência demonstra a necessidade imperiosa de gerar melhores normativas para as águas de nível nacional no Paraguai, uma vez que a legislação atual é gravemente deficiente e incompleta. A regulação de potabilidade doméstica (Norma Paraguaia NP 24 001 80) foca em coliformes, E. coli e parâmetros físico-químicos clássicos, mas omite completamente limites para microcistinas, cilindrospermopsina ou saxitoxinas, carecendo de um programa de vigilância por densidade celular. Para águas superficiais, a Resolução 222/02 incorpora um valor de 1 \mug/L para microcistina-LR e o teto de 100.000 células/mL para acompanhamento rigoroso, mas não desenvolve níveis preventivos prévios.

Este cenário normativo paraguaio mostra-se frágil quando comparado aos valores de referência da OMS e a legislações regionais como a do Brasil. A OMS estabelece valores guia provisional de 1 \mug/L (exposição de por vida) e 12 \mu g/L (curto prazo) para microcistinas totais. No Brasil, a Resolução CONAMA 357/2005 adota um enfoque preventivo escalonado, impondo limites de 20.000 células/mL (Classe 1), 50.000 células/mL (Classe 2) e 100.000 células/mL (Classe 3).

Adicionalmente, a Portaria GM/MS 888/2021 estabelece um padrão rigoroso de vigilância sanitária para água de consumo no Brasil, exigindo monitoramento trimestral quando a densidade é ≤10.000 células/mL e semanal quando supera esse limiar, além de proibir terminantemente o uso de algicidas que provoquem a lise celular e liberação de toxinas na matriz hídrica. Devido a esses vazios técnicos, o Paraguai carece de mecanismos ágeis para certificar a segurança biológica de suas águas, subestimando o risco para a saúde pública e ecossistemas.

CONCLUSÃO

A revisão demonstra que as florações de cianobactérias no Paraguai são recorrentes e estão associadas à eutrofização de ecossistemas estratégicos, tendo o Lago Ypacaraí como o principal ponto crítico nacional. Os táxons dominantes (Cylindrospermopsis, Microcystis, Cyanotetras) geram impactos que variam de riscos moderados em praias até anoxia extrema com mortandade de fauna.

A principal dívida científica e de gestão no país é a escassa confirmação analítica de cianotoxinas e a obsolescência de suas ferramentas regulatórias. Conclui-se ser urgente a atualização da legislação nacional (NP 24 001 80) e a implementação de programas baseados em risco, articulados com os métodos analíticos modernos (ELISA, HPLC, PCR) e os níveis guia da OMS, focando no saneamento ambiental das bacias.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Bioq. M. Sc. Gabriela Sosa Benegas pela orientação acadêmica constante; à Ing. Quím. M. Sc. Lourdes Analía Imas Garay e ao Lic. M. Sc. Cecilio Luis Correa Pérez pelo apoio e ensinamentos durante este processo ; e aos nossos familiares e amigos.

REFERÊNCIAS

Aguilera, A., Haakonsson, S., Martín, M. V., Salerno, G. L., & Echenique, R. O. (2018). Bloom-forming cyanobacteria and cyanotoxins in Argentina: A growing health and environmental concern. *Limnologica*, 69, 103-114.

Aguilera, A., Almanza, V., Haakonsson, S., Palacio, H., Benitez Rodas, G. A., Barros, M. U. G., Capelo-Neto, J., Urrutia, R., Aubriot, L., & Bonilla, S. (2023). Cyanobacterial bloom monitoring and assessment in Latin America. *Harmful Algae*, 125, 102429.

Ávalos de Enciso, C. R., León Ávalos, F. N., Acosta Britez, R. R., Arrua, A. A., Jara Villasboa, Z., Brozón Benítez, G. R., Díaz Cubilla, F. M., & Benítez Rodas, G. A. (2024). Evaluación de la

concentración de cianobacterias en las playas de San Bernardino, Ypacaraí y Areguá del Lago Ypacaraí durante el periodo 2022-2024. *Reportes Científicos de la FACEN*, 15(2), 55-66.

Ávalos, C. R., Sosa, G., Brozón, G. R., Díaz-Cubilla, M., Arrúa, A. A., Ries, A., & Benítez Rodas, G. A. (2024). Impact of turbidity, temperature, and total nitrogen on cyanobacterial blooms in Lake Ypacaraí (Paraguay). *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 101027.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005: Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento*. Brasília.

Dos Santos, M., Morel, R., Ávalos, C., Méndez, M. S., & Benítez, G. A. (2021). Floraciones de *Cyanotetras sp.* en cuerpos de agua salobres eutrofizados del Paraguay durante el 2020. *Steviana*, 13(1), 13-24.

Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología. (2011). *Norma Paraguaya NP 24 001 80: Agua potable. Requisitos generales* (6.ª ed.). Asunción.

Kolman, M. A., Miño, M. L., Kunz, I. E., & Zapata, P. D. (2024). First report of harmful *Microcystis sp.* and microcystin in two tributaries of Paraná River in Misiones, Argentina. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 36, e26.

Ministério da Saúde. (2021). *Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021: Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Brasília.

Secretaría del Ambiente. (2002). *Resolución N° 222/02: Por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas en el territorio nacional*. Asunción.

Sosa Benegas, G., Benitez Rodas, G., Mereles Aranda, E., Correa Pérez, C., & Imas Garay, L. (2024). Relationships between extracellular microcystin LR and fecal bacterial indicators in a shallow urban lake: The Ypacarai Lake (Paraguay). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), 1-11.

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. World Health Organization.