

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

Bioquímica

Calidad fisicoquímica del río Tebicuary en un sector del departamento de Misiones, Paraguay

Leila Gisela Falcón Mascareño¹, Shamir Agustín Garay Cheda¹

¹Carrera de Bioquímica, Facultad de la Universidad del Norte en Encarnación, Paraguay.

Enviado: 15 de diciembre de 2023

Aceptado: 26 de junio de 2024

Publicado: 14 de marzo de 2026

DOI: [10.5281/zenodo.21745235](https://doi.org/10.5281/zenodo.21745235)



Licencia Creative Commons Atribución 4.0
Internacional (CC-BY)

RESUMEN

Introducción: La calidad del agua superficial condiciona su uso doméstico, recreativo, agrícola y ecológico. Los ríos expuestos a actividades urbanas, agrícolas y ganaderas pueden presentar alteraciones fisicoquímicas que afectan tanto al ecosistema como a las poblaciones que dependen de ellos. **Objetivo:** Describir la calidad fisicoquímica de muestras obtenidas del cauce medio del río Tebicuary, en la jurisdicción de San Juan Bautista, departamento de Misiones, Paraguay, y compararlas con los valores de referencia de la Resolución MADES N° 222/02 para aguas de clase 2. **Materiales y métodos:** Estudio descriptivo, cuantitativo y de corte transversal. Se realizó una recolección *in situ* de 6 000 mL de agua durante el periodo de agosto a noviembre de 2023, distribuidos en 3 000 mL provenientes de la costa y 3 000 mL de la profundidad del cauce medio. Se analizaron 15 parámetros fisicoquímicos mediante métodos electrométricos, conductimétricos, nefelométricos, espectrofotométricos, macro Kjeldahl, test de cinco días, modificación de azida y gravimetría. **Resultados:** De los 15 parámetros evaluados, 11 se ubicaron dentro de los valores de referencia y 4 presentaron incumplimiento en al menos una de las dos zonas muestreadas. Los parámetros que excedieron o no cumplieron el valor de referencia fueron color verdadero, pH, fósforo total y nitrógeno total. El color verdadero alcanzó 145 mg Pt/L en la costa y 148 mg Pt/L en la profundidad, por encima del valor máximo de 75 mg Pt/L. El pH fue de 5,89

Autor correspondiente: Mgtr. Shamir Agustín Garay Cheda, Facultad de la Universidad del Norte en Encarnación, Paraguay

Correo electrónico: shamir.garay.727@docentes.uninorte.edu.py

Financiación: Este artículo fue presentado para la Convocatoria 2023 del Programa de Iniciación Científica e Incentivo a la Investigación (PRICILA) de la Universidad del Norte (ARTI-23-057-ENC-MED). Los fondos para PRICILA fueron provistos por el Banco SUDAMERIS y el Rectorado de la Universidad del Norte.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés financieros, personales, profesionales, institucionales ni de otra índole relacionados con este trabajo.

y 5,82, por debajo del rango aceptable de 6-9. El fósforo total fue de 0,056 mg P/L en la costa y 0,045 mg P/L en la profundidad, con excedencia en la primera zona respecto del límite de 0,05 mg P/L. El nitrógeno total alcanzó 1,19 mg N/L y 1,12 mg N/L, por encima del valor de referencia de 0,6 mg N/L. **Conclusiones:** La caracterización puntual realizada mostró que la mayor parte de los parámetros fisicoquímicos se encontró dentro de los valores de referencia, pero no todos cumplieron con la normativa aplicable, por lo que las muestras del sector estudiado del río Tebicuary no pueden interpretarse como de cumplimiento fisicoquímico integral.

Palabras clave: calidad del agua, río Tebicuary, parámetros fisicoquímicos, aguas superficiales, Paraguay

INTRODUCCIÓN

El agua superficial es un recurso esencial para la salud humana, la producción agropecuaria, la recreación y el equilibrio ecológico. La calidad del agua de los ríos depende de la interacción entre factores naturales y presiones antrópicas, por lo que su monitoreo resulta clave cuando estas fuentes son utilizadas de manera cotidiana por poblaciones ribereñas o actividades productivas (1,2).

Los sistemas fluviales pueden experimentar cambios fisicoquímicos por escorrentía agrícola, aportes urbanos, descargas ganaderas, erosión del suelo y procesos naturales de transporte de materia orgánica y sedimentos. Entre los parámetros más utilizados para describir esa calidad se encuentran color, turbidez, conductividad, sólidos disueltos, pH, nutrientes nitrogenados y fosforados, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, todos ellos con relevancia para el uso del agua y para la integridad del ecosistema (1-4).

La literatura ha mostrado que los usos del suelo influyen de manera importante sobre la calidad del agua superficial. Las áreas agrícolas y urbanas suelen asociarse con mayores cargas de nitrógeno, fósforo, materia suspendida y otros contaminantes, mientras que la vigilancia sistemática permite detectar tempranamente deterioros y orientar medidas de control y gestión (1,3,4). En contextos latinoamericanos, distintos estudios han reportado alteraciones fisicoquímicas vinculadas con actividad humana en ríos expuestos a presión urbana o rural (4,5).

En Paraguay, el monitoreo de la calidad del agua es especialmente relevante por la centralidad de los ríos en la vida económica y social. El río Tebicuary constituye un recurso hídrico de importancia regional, y en el sector

de San Juan Bautista es utilizado por poblaciones vinculadas con actividades cotidianas, recreativas y productivas. En ese marco, la comparación de sus características fisicoquímicas con los valores establecidos por la Resolución MADES N° 222/02 resulta pertinente para una lectura inicial de su aptitud de uso (5,6).

El objetivo de esta investigación fue describir la calidad fisicoquímica de muestras obtenidas del cauce medio del río Tebicuary, en la jurisdicción de San Juan Bautista, departamento de Misiones, Paraguay, y compararlas con los valores de referencia de la Resolución MADES N° 222/02 para aguas de clase 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo, de enfoque cuantitativo y corte transversal. El universo estuvo conformado por aguas del cauce medio del río Tebicuary en el sector correspondiente a la ciudad de San Juan Bautista, departamento de Misiones, durante el periodo de agosto a noviembre de 2023.

La recolección fue efectuada *in situ*. Se obtuvieron 6 000 mL de agua distribuidos en dos zonas del cauce: 3 000 mL de la costa y 3 000 mL de la profundidad. Las muestras se depositaron en envases plásticos limpios y sellados herméticamente para su posterior traslado al laboratorio.

Se analizaron 15 parámetros fisicoquímicos: color verdadero, temperatura, turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, potencial de hidrógeno, nitrato, nitrito, fósforo total, nitrógeno total, amonio, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. Se utilizaron procedimientos basados en *Standard Methods for the Examina-*

tion of Water and Wastewater, incluyendo técnicas electrométricas, conductimétricas, nefelométricas, espectrofotométricas, macro Kjeldahl, test de cinco días, modificación de azida y métodos gravimétricos (7).

La interpretación de los resultados se realizó mediante comparación con los valores de referencia consignados en la Resolución MADES N° 222/02 para aguas de clase 2, categoría atribuida al río Tebicuary en el sector estudiado (6). Los hallazgos se presentan de forma descriptiva y comparativa entre la zona de costa y la zona de profundidad.

En cuanto a las consideraciones éticas, se preservó el anonimato de las personas que colaboraron en la toma y

el análisis de las muestras, y se comunicó que los resultados serían utilizados con fines académicos. Dado que el objeto principal de estudio fueron muestras ambientales y no datos clínicos personales, el componente ético se vinculó sobre todo con el manejo responsable de la información generada.

RESULTADOS

La Tabla 1 resume los valores obtenidos para los 15 parámetros fisicoquímicos evaluados en las muestras de costa y profundidad del cauce medio del río Tebicuary, junto con los valores máximos admisibles o rangos de referencia utilizados para la comparación.

Tabla 1. Valores obtenidos del análisis fisicoquímico de los parámetros evaluados

Parámetro	Costa	Profundidad	VMA / referencia	Unidad
Color verdadero	145	148	75	mg Pt/L
Temperatura	22,1	22,1	SR	°C
Turbidez	25,2	24,4	100	UNT
Conductividad	54,3	38,8	SR	µS/cm
Sólidos totales disueltos	28,9	19,6	500	mg/L
Sólidos totales suspendidos	2	5	SR	mg/L
Potencial de hidrógeno (pH)	5,89	5,82	6-9	No aplica
Nitrato	0,1	0,1	10	mg/L
Nitrito	0,002	0,002	1	mg/L
Fósforo total	0,056	0,045	0,05	mg P/L
Nitrógeno total	1,19	1,12	0,6	mg N/L
Amonio	0,3	0,2	5	mg NH ₃ /L
Demanda bioquímica de oxígeno	1,3	2,1	5	mg/L
Oxígeno disuelto	6	6,3	>5	mg/L
Saturación de oxígeno	67	71	SR	%

En la costa, los parámetros que no cumplieron el valor de referencia fueron color verdadero, pH, fósforo total y nitrógeno total. En la profundidad, los parámetros fuera de referencia fueron color verdadero, pH y nitrógeno total. Los restantes parámetros medidos se ubicaron dentro de los valores de comparación reportados por la norma utilizada.

El color verdadero fue uno de los hallazgos más notorios, con valores de 145 mg Pt/L en la costa y 148 mg Pt/L en la profundidad, ambos por encima del valor máximo de 75 mg Pt/L. El pH también mostró incumplimiento en

ambas zonas, con registros de 5,89 y 5,82, inferiores al rango esperado de 6-9.

Entre los nutrientes, el nitrógeno total superó el valor de referencia en ambas zonas, con 1,19 mg N/L en la costa y 1,12 mg N/L en la profundidad, frente a un valor comparativo de 0,6 mg N/L. El fósforo total presentó una situación limítrofe y heterogénea: en la costa alcanzó 0,056 mg P/L, superando el límite de 0,05 mg P/L, mientras que en la profundidad fue de 0,045 mg P/L, dentro del valor de referencia.

En términos globales, 11 de los 15 parámetros evaluados, equivalentes a 73,3 %, se encontraron dentro de los valores de referencia reportados, mientras que 4 parámetros, equivalentes a 26,7 %, presentaron incumplimiento en al menos una de las dos zonas de muestreo.

DISCUSIÓN

El principal hallazgo del estudio es que la caracterización puntual del sector analizado del río Tebicuary mostró un predominio de parámetros dentro de los valores de referencia, pero no un cumplimiento integral de la norma. En particular, color verdadero, pH, fósforo total y nitrógeno total merecen atención por su comportamiento fuera de rango en al menos una de las zonas evaluadas.

Los resultados de nitrógeno total y fósforo total son especialmente relevantes porque ambos nutrientes suelen responder a la presión del uso del suelo y a aportes de origen agrícola, ganadero o urbano. La literatura ha descrito que actividades antrópicas y escorrentía pueden incrementar las cargas de nitrógeno y fósforo en ríos, con impacto sobre su calidad y su equilibrio ecológico (1,3,4). En ese sentido, la superación del valor de referencia para nitrógeno total en ambas zonas y para fósforo total en la costa es compatible con una lectura de presión ambiental local, aunque el estudio no permite identificar fuentes específicas.

El color verdadero también excedió ampliamente el valor máximo admitido en ambas zonas. Este parámetro puede asociarse a materia orgánica disuelta, arrastre de sedimentos finos, residuos domésticos o industriales y procesos de degradación natural en la cuenca (4,5). El hecho de que tanto la costa como la profundidad presentaran valores similares sugiere que no se trata de una anomalía aislada de un solo punto dentro del sitio muestreado, aunque la ausencia de replicación limita una interpretación más firme.

Otro aspecto relevante es el pH, cuyos valores fueron inferiores al rango de referencia en ambas zonas. Este hallazgo indica que la calidad fisicoquímica observada no fue completamente concordante con los criterios normativos de comparación. En cambio, parámetros como nitrato, nitrito, amonio, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno se mantuvieron dentro de los valores reportados, lo que sugiere una condición mixta y no un deterioro uniforme en todos los componentes evaluados.

La comparación con otros contextos apoya una interpretación prudente. Estudios en ríos expuestos a influencia antrópica han mostrado que la calidad del agua no suele deteriorarse de manera homogénea, sino por perfiles específicos de parámetros, muchas veces influenciados por uso del suelo, estacionalidad, descargas difusas y dinámica hidrológica (1,3,4,8). Esto ayuda a entender por qué en el presente trabajo algunos indicadores permanecieron dentro de los rangos esperados mientras otros no.

Desde el punto de vista aplicado, estos resultados son útiles como aproximación inicial para la vigilancia local. Sin embargo, la utilidad del estudio es principalmente descriptiva y exploratoria. El diseño se basó en una caracterización puntual de dos zonas del cauce y no en un programa de monitoreo espacial y temporal amplio. Por tanto, el manuscrito no permite afirmar la calidad global del río Tebicuary ni establecer tendencias estacionales o causales.

La principal limitación metodológica es precisamente la escala del muestreo. El volumen de agua recolectado no sustituye la necesidad de replicación temporal o de múltiples estaciones para caracterizar un sistema fluvial complejo. Como fortaleza, el trabajo aporta datos primarios concretos y comparables con la norma ambiental de uso local.

En conclusión, la evaluación puntual del sector estudiado del río Tebicuary mostró que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados se mantuvo dentro de los valores de referencia, pero no todos cumplieron la normativa aplicable, ya que color verdadero, pH, fósforo total y nitrógeno total presentaron incumplimientos en al menos una de las zonas muestreadas; por ello, los resultados deben interpretarse como una caracterización descriptiva local que justifica ampliar el monitoreo con mayor cobertura espacial y temporal antes de asumir una condición fisicoquímica integralmente adecuada del río.

REFERENCIAS

1. Cheng C, Shi J, Kung HT, Wang J, Sun J, Li C, *et al.* What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022;29(38):56887-907. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21348-x>
2. Gholizadeh MH, Melesse AM, Reddi LN. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*

- (Basel). 2016;16(8):1298.
<https://doi.org/10.3390/s16081298>
3. Sharma R, Kumar A, Singh N. Impact of seasonal variation on water quality of Hindon River: physicochemical and biological analysis. SN Appl Sci. 2021;3(1):77. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03986-3>
 4. Díaz Martínez JA, Granada Torres CA. Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia. Inf Tecnol. 2018;29(4):219-28.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400047>
 5. Cañete C. La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del río Paraguay para el desarrollo de la defensa nacional. Rep Cient FACEN. 2019;10(1):18-23. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.201918.18>
 6. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución N° 222/02 por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas en el territorio nacional. Asunción: MADES; 2002.
 7. Baird RB, Eaton AD, Rice EW, editors. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association; 2017.
 8. Shafii NZ, Mohd Saudi AS, Chyang PJ, Ling TY, Lau WH, Juahir H, *et al.* Application of chemometrics techniques to solve environmental issues in Malaysia. Heliyon. 2019;5(10):e02534.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02534>
 9. Pauta G, Velasco M, Gutiérrez D, Vázquez G, Rivera S, Morales O, *et al.* Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Maskana. 2019;10(2):1-11.
 10. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Informe de resultado de análisis de calidad del agua del río Pilcomayo. Asunción: MADES; 2022.