

Evaluación de la calidad del agua del río Paraguay en la zona de Pilar Ñeembucú mediante el Índice de Estado Trófico (IET)

Evaluation of the water quality of the Paraguay river in the Pilar Ñeembucú area using the Trophic State Index (TSI)

Diana Romero

Universidad Nacional de Pilar

Pilar – Paraguay

diaromero0688@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-2341-4558>

Artículo recibido: 09 de junio de 2025

Aceptado para publicación: 10 de febrero de 2026

Conflictos de interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El estudio evaluó la calidad del agua del río Paraguay en la zona de Pilar, departamento de Ñeembucú, mediante la aplicación del Índice de Estado Trófico (IET), con el propósito de determinar su nivel de eutrofización y aportar información para la gestión ambiental local. Se realizó una investigación de enfoque cuantitativo, diseño no experimental y alcance descriptivo, en la que se analizaron muestras de agua recolectadas en puntos estratégicos del río durante el periodo de estudio. Se midieron variables fisicoquímicas relevantes para el cálculo del IET, entre ellas concentración de clorofila-a, fósforo total y transparencia del agua, siguiendo procedimientos estandarizados para el análisis de calidad hídrica. Los resultados evidenciaron variaciones espaciales en los parámetros evaluados y permitieron clasificar el cuerpo de agua en categorías tróficas que reflejan distintos niveles de productividad biológica. El análisis mostró tendencias asociadas a posibles fuentes de aporte de nutrientes en la zona estudiada. Se concluye que el IET constituye una herramienta útil para sintetizar información limnológica y apoyar la toma de decisiones orientadas al monitoreo y control de la calidad del agua en el río Paraguay, con implicancias para la gestión sostenible de los recursos hídricos en el contexto local.

Palabras clave: calidad del agua, índice de estado trófico, eutrofización, río Paraguay, gestión ambiental

Abstract

This study evaluated the water quality of the Paraguay River in the Pilar area, Ñeembucú department, by applying the Trophic State Index (TSI) to determine its level of eutrophication and provide information for local environmental management. A quantitative approach with a non-experimental, descriptive design was implemented. Water samples were collected at strategic points along the river during the study period. Relevant physicochemical variables were measured for TSI calculation, including chlorophyll-a concentration, total phosphorus, and water transparency, following standardized procedures for water quality analysis. The results showed spatial variations in the evaluated parameters and allowed the classification of the water body into trophic categories reflecting different levels of biological productivity. The analysis identified trends associated with potential nutrient inputs in the study area. The study concludes that the TSI is a useful tool for synthesizing limnological information and supporting decision-making processes related to monitoring and controlling water quality in the Paraguay River, with implications for sustainable water resource management at the local level.

Keywords: water quality, eutrophication, total phosphorus, chlorophyll-a, Paraguay River

Todo el contenido de la **Revista Científica del Centro de Investigación y Desarrollo - RECIDE** publicado en este sitio está disponible bajo Licencia Creative Commons .

Cómo citar: Romero, D. (2026). Evaluación de la calidad del agua del río Paraguay en la zona de Pilar Ñeembucú mediante el índice de estado trófico (IET). *RECIDE*, 6 (1). 074 – 094.

<https://www.uticvirtual.edu.py/revista.recide/index.php/revistas/article/view/46>

Introducción

El deterioro progresivo de la calidad del agua en cuerpos superficiales constituye uno de los principales desafíos ambientales contemporáneos, especialmente en sistemas fluviales sometidos a presión antrópica. La eutrofización, entendida como el proceso mediante el cual los cuerpos de agua reciben una carga excesiva de nutrientes que altera el equilibrio ecológico y reduce el oxígeno disponible (Marín-Leal et al., 2023; Quispe Huaylla, 2026), representa un fenómeno de alto impacto para la biodiversidad y los usos humanos del recurso hídrico. En este contexto, la aplicación de indicadores sintéticos como el Índice de Estado Trófico (IET), propuesto por Carlson (1977), permite cuantificar el estado trófico a partir de variables como fósforo total, clorofila-a y transparencia, clasificando los sistemas acuáticos en categorías que van desde oligotrófico hasta hipertrófico (Benítez Rodas et al., 2017).

En el caso del río Paraguay, tramo correspondiente a la ciudad de Pilar, no se dispone de diagnósticos actualizados sobre su estado trófico, lo que limita la evaluación técnica y objetiva de su calidad ecológica. Esta ausencia de datos constituye una barrera para la gestión sustentable del recurso hídrico y dificulta la formulación de decisiones basadas en evidencia científica. La importancia del estudio radica en que el río Paraguay cumple funciones estratégicas para la región, tanto en términos ecológicos como sociales y productivos, por lo que resulta imprescindible contar con información confiable sobre su condición ambiental.

Diversos estudios desarrollados en América Latina han evidenciado la utilidad del IET para diagnosticar la salud ambiental de lagos y lagunas. En la laguna Busa (Ecuador), Aguilar Mora (2020) identificó un estado mesotrófico asociado al crecimiento urbano y actividades agropecuarias; en la laguna Medio Mundo (Perú), Quiroz-Santos y Mendoza-Caballero (2022) reportaron condiciones eutróficas crónicas; y en el lago Ypacaraí (Paraguay), Benítez Rodas et al. (2017) relacionaron el TSI con la biodiversidad zooplanctónica para una evaluación integral. Asimismo, en la laguna de Pacucha (Perú), Quispe Huaylla (2026) registró niveles elevados de fósforo y clorofila-a, clasificando el sistema entre

mesotrófico y eutrófico. Estos antecedentes demuestran la aplicabilidad del índice en distintos contextos y evidencian la necesidad de estudios locales en el río Paraguay.

A partir de este marco conceptual y empírico, la investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es el estado de la calidad del agua del río Paraguay en el tramo correspondiente a la ciudad de Pilar, según el valor del Índice de Estado Trófico (IET) determinado a partir del análisis de parámetros fisicoquímicos? De manera complementaria, se plantea identificar los valores de fósforo total y clorofila-a, calcular el IET mediante una planilla estandarizada y determinar la categoría trófica correspondiente.

Y por consiguiente el objetivo de esta investigación es; Determinar el Índice de Estado Trófico (IET) para evaluar el estado de la calidad del agua del río Paraguay en el tramo correspondiente a la ciudad de Pilar, departamento de Ñeembucú, mediante análisis cuantitativo aplicado a datos obtenidos con una planilla estandarizada. Y para el logro de dicho objetivo se tienen los siguientes objetivos específicos: Medir los parámetros fisicoquímicos relevantes (fósforo total, clorofila-a) del río Paraguay en el tramo correspondiente a la ciudad de Pilar, Calcular el Índice de Estado Trófico (IET) a partir de los datos obtenidos mediante una planilla estandarizada, Identificar la categoría del estado trófico del río Paraguay según los rangos establecidos en función del valor del IET y por ultimo Describir los niveles de calidad del agua del río Paraguay en la zona de estudio, con base en los resultados del IET.

Método

La investigación se llevó a cabo en el Río Paraguay, en la zona de Pilar Ñeembucú. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, descriptivo y de corte transversal. Se consideró no experimental porque no se manipuló deliberadamente ninguna variable independiente, sino que se observaron y midieron los parámetros fisicoquímicos en su contexto natural. El alcance fue descriptivo, ya que se buscó caracterizar el estado trófico del río Paraguay en la zona de Pilar mediante el cálculo del Índice de Estado Trófico (IET),

generando un diagnóstico puntual sobre la calidad del agua. El carácter transversal se definió por realizarse la recolección de datos en un único momento del tiempo.

Operacionalización de las variables

Tabla 1
Operacionalización

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica / Instrumento		Escala
Calidad del agua	Estado trófico	Índice de Estado Trófico (IET)	Planilla estandarizada	de	Cuantitativa continua
		Categoría trófica	Clasificación basada en IET		Categórica ordinal (Escala Carlson)

Población

En el contexto de esta investigación, la población está constituida por el río Paraguay en el tramo correspondiente a la ciudad de Pilar, capital del departamento de Ñeembucú, en la República del Paraguay Este cuerpo de agua representa la unidad ambiental sobre la cual se focaliza el estudio, dado su papel estratégico en la dinámica ecológica, económica y social de la región.

Metodológicamente, la población en un estudio de tipo ambiental e hidrológico no se refiere a individuos humanos, sino al universo físico o natural objeto de observación y medición. En este caso, se considera como población el tramo del río Paraguay que atraviesa o bordea el área urbana y periurbana de Pilar, abarcando zonas accesibles para la toma de muestras representativas del cuerpo de agua.

Muestra

Dado que se trata de una investigación ambiental, las unidades de estudio estuvieron constituidas por muestras de agua recolectadas directamente del río

Paraguay en el tramo correspondiente a la ciudad de Pilar, departamento de Ñeembucú.

Los puntos de muestreo fueron tres sitios estratégicamente seleccionados: Isla Las Hermanas, la toma de agua cruda de la ESSAP y la confluencia del río Paraguay con el río Bermejo. La selección respondió a criterios de relevancia ecológica, representatividad hidrológica y proximidad a posibles fuentes de presión antrópica.

Como criterios de inclusión se consideraron tramos accesibles del río dentro del área urbana o periurbana de Pilar, con potencial influencia de actividades humanas y relevancia para la captación o dinámica fluvial. No se contemplaron criterios de exclusión relacionados con características demográficas, dado que no se trabajó con población humana sino con muestras ambientales.

Los puntos de muestreo se describen a continuación:

Tabla 2

Punto de muestreo 1 – Isla Las Hermanas

Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM	Referencia	Altitud
Latitud: -26.7606265	Este: 373004.89 m	Isla Las Hermanas	50.78 m
Longitud: -58.2775200	Norte: 7039557.54 m		

Tabla 3

Detrás de la planta de tratamiento de la ESSAP “Toma de agua Cruda”

Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM	Referencia	Altitud
Latitud: -26.8442625	Este: 368430.46 m	Detrás de la planta de tratamiento ESSAP (Toma de agua cruda)	51.88 m
Longitud: -58.3173084	Norte: 7029981.12 m		

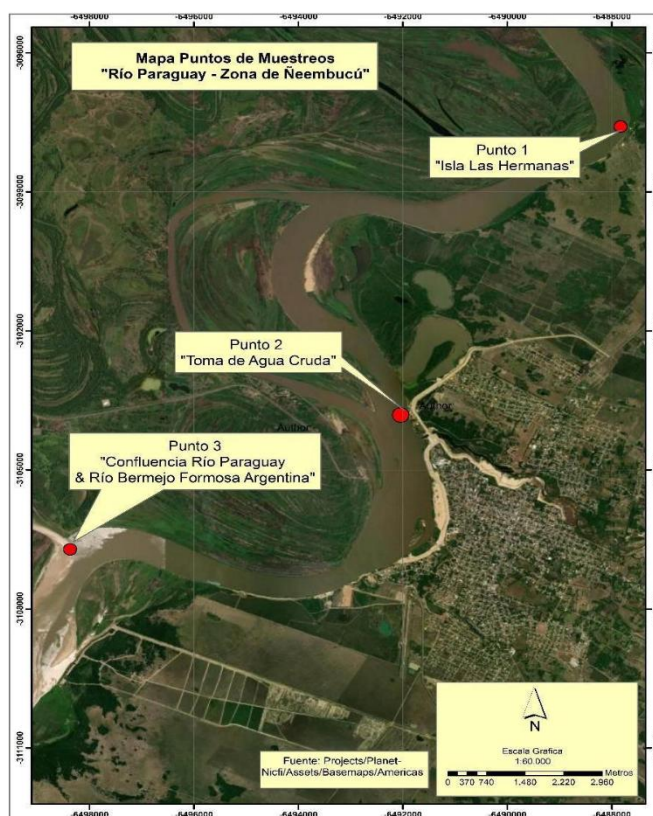
Tabla 4

Confluencia Río Paraguay & Río Bermejo Formosa Argentina

Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM	Referencia	Altitud
Latitud: -26.8648125	Este: 363295.63 m	Confluencia río Paraguay y río Bermejo (Formosa)	0.00 m
Longitud: -58.3763125	Norte: 7027582.44 m		

Figura 1

Vista general de los puntos de muestreo



El tipo de muestreo fue no probabilístico, de carácter intencional o por conveniencia. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), en el muestreo no probabilístico la selección de los elementos depende de criterios vinculados a las características del estudio o del investigador.

La población estuvo constituida por el tramo del río Paraguay que bordea la ciudad de Pilar. La muestra correspondió a tres puntos georreferenciados seleccionados deliberadamente por su importancia ambiental y operativa.

La recolección de datos se realizó directamente en el entorno natural, mediante trabajo de campo y posterior análisis en laboratorio. Las muestras obtenidas constituyeron fuentes primarias de información, ya que fueron recolectadas directamente del objeto de estudio para fines específicos de la investigación (Bernal, 2010).

La técnica principal fue el análisis fisicoquímico de muestras de agua. Se midieron los parámetros fósforo total y clorofila-a, considerados indicadores clave del enriquecimiento trófico.

La calidad del agua se definió conceptualmente como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su idoneidad para distintos usos. Operacionalmente, esta variable se midió a través del Índice de Estado Trófico (IET), calculado con base en los valores de fósforo total y clorofila-a mediante una planilla estandarizada de cálculo.

El IET permitió clasificar el sistema en categorías tróficas (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, etc.) siguiendo la escala propuesta por Carlson (1977). La utilización de una planilla estandarizada contribuyó a garantizar la consistencia del cálculo y la comparabilidad de los resultados entre los tres puntos de muestreo.

Asimismo, se emplearon fuentes secundarias, tales como artículos científicos, tesis e informes técnicos, para fundamentar teóricamente la aplicación del IET y contextualizar la problemática ambiental.

Para el desarrollo de esta investigación se emplearán dos tipos principales de instrumentos de recolección de datos, adecuados al enfoque cuantitativo y al objetivo de determinar el Índice de Estado Trófico (IET) del río Paraguay:

1. Ficha técnica de análisis de agua: Se utilizaron fichas técnicas para el registro sistemático de los datos fisicoquímicos obtenidos en laboratorio, a partir de muestras de agua recolectadas previamente en el río Paraguay.

2. Planilla estandarizada para el cálculo del IET: Como herramienta complementaria, se utilizará una planilla digital de cálculo automatizado, elaborada en Microsoft Excel bajo el nombre "Cálculo dos Índices_2018_A.xlsx", que contiene las fórmulas necesarias para procesar los valores de fósforo y clorofila-a conforme a la metodología del Índice de Estado Trófico (adaptación del modelo de Carlson). Esta planilla permite calcular automáticamente:

IET-Fósforo

IET-Clorofila

IET total (IET_lótico)

Clasificación del estado trófico (ultraoligotrófico, Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico, Supereutrófico, Hipereutrófico)

Este instrumento garantiza precisión, replicabilidad y trazabilidad en el tratamiento de los datos, y se adapta al modelo de ambientes lénticos, correspondiente a las condiciones hidrológicas del área de estudio.

Resultados

Los resultados derivados del análisis de las muestras de agua superficial del río Paraguay, recolectadas en tres puntos georreferenciados ubicados frente a la ciudad de Pilar, se exponen a continuación:

Figura 2

Resultado Muestra 1



Nota: Resultados generados a través de la planilla Cálculo dos índices

El punto de muestreo M1, correspondiente a Isla Las Hermanas, forma parte del tramo del río Paraguay evaluado en la ciudad de Pilar. En este sitio se registraron concentraciones de fósforo total dentro del rango general observado en el estudio (0,172), lo que indica presencia moderada de nutrientes en el sistema fluvial.

En cuanto a la clorofila-a, los valores se mantuvieron bajos dentro del intervalo general reportado (1,07 mg/m³), evidenciando escasa biomasa fitoplanctónica activa al momento del muestreo. Este comportamiento sugiere que, aunque existe disponibilidad de nutrientes, la dinámica hidrológica del río propia de un sistema lótico de gran escala limita la acumulación de biomasa algal.

El cálculo del Índice de Estado Trófico (IET) para el punto M1 arrojó un valor de 56. Según la escala propuesta por Carlson (1977), este valor corresponde a la categoría mesotrófica. La clasificación mesotrófica describe un sistema con enriquecimiento moderado de nutrientes y productividad biológica intermedia, manteniendo aún estabilidad ecológica relativa.

El valor de IET = 56 ubica a M1 en el límite superior del rango mesotrófico (40–50 según la categorización original y 51–60 como transición hacia condiciones más productivas, dependiendo del esquema de interpretación aplicado), lo que indica

una condición ambiental estable, pero con potencial de transición hacia eutrofización si se incrementan las cargas externas de nutrientes.

El punto M1 Isla Las Hermanas presenta un estado trófico mesotrófico homogéneo, caracterizado por disponibilidad moderada de fósforo, baja biomasa algal y ausencia de manifestaciones de eutrofización avanzada, aunque con evidencia de presión trófica moderada que requiere monitoreo continuo.

Figura 3

Resultado Muestra 2



Nota: Resultados generados a través de la planilla Cálculo dos índices

El punto de muestreo M2 corresponde a la zona ubicada detrás de la planta de tratamiento de la ESSAP, en el sector de captación de agua cruda para abastecimiento. Este sitio reviste especial relevancia ambiental y sanitaria debido a su función estratégica dentro del sistema de provisión de agua potable.

En este punto, las concentraciones de fósforo total se situaron dentro del rango general observado en el estudio (0,195 mg/L), reflejando presencia moderada de nutrientes en la columna de agua. En relación con la clorofila-a, los valores se mantuvieron bajos (0,801 mg/m³), lo que indica baja biomasa Fito planctónica activa durante el periodo de muestreo.

El Índice de Estado Trófico (IET) calculado para el punto M2 fue de 55. De acuerdo con la escala propuesta por Carlson (1977), este valor corresponde a la categoría mesotrófica. La clasificación mesotrófica caracteriza sistemas con enriquecimiento moderado de nutrientes y productividad biológica intermedia, sin evidencias de eutrofización avanzada.

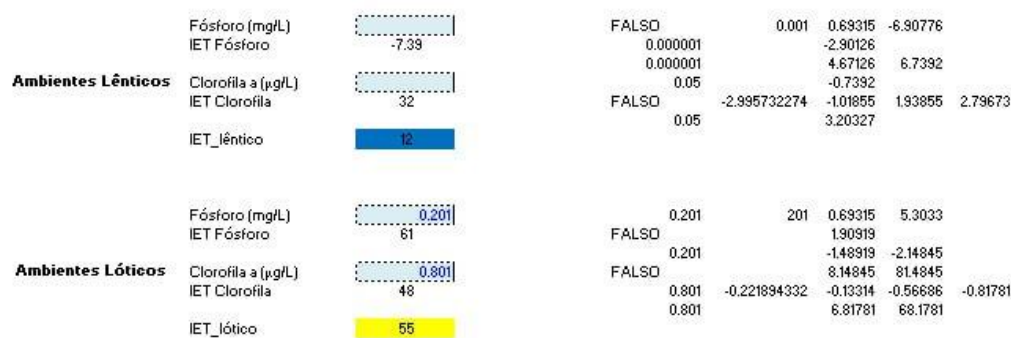
Comparativamente, el valor de IET en M2 es ligeramente inferior al registrado en M1 (56), aunque ambos permanecen dentro del mismo rango trófico. Esta homogeneidad indica ausencia de variaciones espaciales significativas en la clasificación general del tramo estudiado.

Desde el punto de vista ecológico y operativo, el punto M2 presenta una condición de calidad de agua intermedia, con estabilidad relativa del sistema y sin presencia de floraciones algales activas. No obstante, la presencia de nutrientes disponibles sugiere una situación de equilibrio susceptible a alteraciones ante incrementos en las cargas externas, especialmente considerando su localización en una zona de captación para consumo humano.

Figura 4

Resultado Muestra 3

IET - ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO



Categoría (Estado Trófico)	Ponderação
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59
Eutrófico	59 < IET ≤ 63
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67
Hipereutrófico	IET > 67

Nota: Resultados generados a través de la planilla Cálculo dos índices

El punto de muestreo M3 se localiza en la confluencia del río Paraguay con el río Bermejo, sector que representa una zona de interacción hidrológica relevante dentro del tramo estudiado. Este sitio se caracteriza por recibir aportes aguas arriba y posibles influencias externas asociadas a la dinámica fluvial y actividades antrópicas.

En cuanto a los parámetros físicoquímicos, las concentraciones de fósforo total se situaron dentro del rango general reportado para el estudio (0,201 mg/L), evidenciando un incremento longitudinal hacia este sector. Esta tendencia sugiere la posible incorporación de aportes externos a lo largo del tramo evaluado.

Las concentraciones de clorofila-a permanecieron bajas dentro del intervalo general observado (0,801 mg/m³), indicando escasa biomasa fitoplanctónica activa al momento del muestreo. Este comportamiento confirma que, pese a la disponibilidad de nutrientes, la dinámica de flujo y la capacidad de dilución del sistema limitan la proliferación algal.

El valor del Índice de Estado Trófico (IET) calculado para M3 fue de 55. Conforme a la escala de Carlson (1977), este valor corresponde a la categoría mesotrófica. Esta clasificación describe un sistema con enriquecimiento moderado de nutrientes, productividad biológica intermedia y estabilidad ecológica relativa.

Al igual que en los puntos M1 y M2, no se observaron variaciones espaciales significativas en la categoría trófica general. Sin embargo, la tendencia creciente del fósforo hacia la confluencia constituye un indicador temprano de presión antrópica, lo que refuerza la necesidad de monitoreo continuo en este sector estratégico.

En síntesis, el punto M3 presenta un estado mesotrófico homogéneo, sin evidencia de eutrofización activa, pero con condiciones que podrían evolucionar hacia mayores niveles de productividad si aumentan las cargas externas de nutrientes

Discusión

El análisis integral de los parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados en el tramo del río Paraguay correspondiente a la ciudad de Pilar evidencia un sistema con comportamiento relativamente homogéneo en términos espaciales, aunque con señales claras de presión nutricional moderada.

La temperatura del agua se mantuvo estable entre 24,2 °C y 24,9 °C en los tres puntos de muestreo, lo que indica uniformidad térmica y ausencia de alteraciones asociadas a descargas térmicas o procesos locales de calentamiento. Estas condiciones son típicas de sistemas fluviales subtropicales de llanura y favorecen la actividad metabólica y los procesos biogeoquímicos internos.

Los valores de pH oscilaron entre 6,7 y 6,98, manteniéndose próximos a la neutralidad. Este rango refleja estabilidad química y adecuada capacidad amortiguadora del sistema, sin evidencias de estrés ácido-base para las comunidades acuáticas. La ligera disminución en la zona de confluencia sugiere influencia hidroquímica del río Bermejo, aunque sin implicancias ecológicas significativas.

La conductividad eléctrica presentó valores entre 132,8 y 139,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondientes a aguas dulces de mineralización baja a moderada. El leve incremento en la confluencia confirma el aporte iónico del tributario, pero no indica contaminación puntual ni alteraciones abruptas en la composición química del sistema.

Las concentraciones de oxígeno disuelto se mantuvieron en torno a 5,57 – 5,66 mg/L, evidenciando condiciones aceptables de oxigenación. Si bien estos valores se encuentran ligeramente por debajo del nivel considerado óptimo (>6 mg/L), no indican hipoxia ni procesos avanzados de degradación orgánica. La estabilidad observada sugiere un equilibrio entre producción y respiración biológica, propio de sistemas con actividad metabólica moderada.

El fósforo total mostró una tendencia creciente aguas abajo, con valores de 0,172 mg/L en M1, 0,195 mg/L en M2 y 0,201 mg/L en M3. Estas concentraciones son

elevadas desde la perspectiva limnológica y reflejan disponibilidad significativa de nutrientes en el sistema. El patrón longitudinal sugiere aportes adicionales en la zona de captación y confluencia, posiblemente vinculados a escorrentía difusa, dinámica sedimentaria o contribuciones del río Bermejo.

Sin embargo, la clorofila-a presentó valores bajos ($0,801 - 1,07 \text{ mg/m}^3$) en los tres puntos evaluados. Este resultado evidencia una baja biomasa fitoplanctónica activa y demuestra un desacople entre disponibilidad de nutrientes y respuesta algal. Este comportamiento es característico de grandes ríos de llanura con alta dinámica hidrológica, donde la corriente, la turbulencia y el corto tiempo de residencia limitan la acumulación de fitoplancton aun cuando los nutrientes estén disponibles.

La integración de estos parámetros mediante el Índice de Estado Trófico (IET) arrojó valores entre 55 y 56, clasificando el tramo como mesotrófico. Esta categoría describe un sistema con enriquecimiento moderado de nutrientes, productividad biológica intermedia y estabilidad ecológica relativa, pero con potencial de transición hacia eutrofización bajo condiciones favorables.

En conjunto, los resultados indican que el río Paraguay en la zona de Pilar no presenta eutrofización activa, pero sí evidencia presión trófica moderada asociada principalmente al fósforo total, constituyendo un sistema funcionalmente estable pero ambientalmente vulnerable.

Conclusiones y recomendaciones

Respecto al objetivo específico uno, Medir los parámetros fisicoquímicos relevantes (fósforo total, clorofila-a), Las concentraciones de fósforo total oscilaron entre $0,17$ y $0,201 \text{ mg/L}$, evidenciando niveles moderadamente elevados para un sistema lótico natural y mostrando un incremento longitudinal aguas abajo. Las concentraciones de clorofila-a se mantuvieron bajas ($0,801 - 1,07 \text{ mg/m}^3$), indicando escasa biomasa fitoplanctónica activa en el momento del muestreo. Esto demuestra un desacople entre disponibilidad de nutrientes y producción algal, atribuible principalmente a la dinámica hidrológica del río.

Respecto al objetivo específico 2 Calcular el Índice de Estado Trófico (IET), El IET calculado mediante planilla estandarizada arrojó valores consistentes en los tres puntos de muestreo, confirmando la aplicabilidad del método como herramienta de evaluación limnológica en grandes ríos de llanura. El índice permitió integrar información biológica y química en un indicador único de fácil interpretación ambiental.

Respecto al objetivo 3 Determinar la categoría del estado trófico, Según los rangos establecidos: M1 = IET 56 Mesotrófico, M2 = IET 55 Mesotrófico y M3 = IET 55 Mesotrófico; Por lo tanto, todo el tramo estudiado pertenece a la categoría mesotrófica, sin variaciones espaciales significativas en la clasificación general.

Respecto al objetivo específico 4, Describir los niveles de calidad del agua en función del IET. El río Paraguay en la zona de Pilar presenta:

Productividad biológica moderada, Presencia de nutrientes disponibles, Ausencia de floraciones algales activas, Condición ecológica estable pero vulnerable. La tendencia creciente del fósforo hacia la confluencia sugiere aportes externos y constituye un indicador temprano de presión antrópica.

Respecto al objetivo general, Determinar el Índice de Estado Trófico (IET) para evaluar el estado de la calidad del agua del río Paraguay en el tramo correspondiente a la ciudad de Pilar. Se determinó que el tramo del río Paraguay comprendido entre Isla Las Hermanas, la toma de agua de la ESSAP y la confluencia con el río Bermejo presenta un estado trófico mesotrófico homogéneo, con valores de IET comprendidos entre 55 y 56.

Este resultado evidencia una condición de calidad de agua intermedia, caracterizada por enriquecimiento moderado de nutrientes y estabilidad ecológica relativa, sin manifestaciones actuales de eutrofización avanzada.

El sistema fluvial conserva capacidad de autodepuración, aunque se encuentra en una situación de equilibrio susceptible a alteraciones por incremento de cargas externas, la calidad del agua puede considerarse adecuada en el presente, pero

con riesgo potencial de deterioro si aumentan las cargas de nutrientes o disminuye el caudal.

Recomendaciones

Monitoreo ambiental

Implementar un programa de monitoreo permanente del Índice de Estado Trófico con periodicidad estacional (mínimo 4 campañas anuales).

Incorporar medición de nitrógeno total, transparencia (disco Secchi) y sólidos suspendidos para fortalecer la interpretación ecológica.

Evaluar el IET en periodos de estiaje, donde aumenta el riesgo de eutrofización.

Gestión de la calidad del agua

Identificar y controlar fuentes difusas de aporte de fósforo (escorrentía urbana, efluentes domésticos y actividad ganadera).

Priorizar la vigilancia en la zona de captación de agua potable debido a su mayor presión nutricional.

Incorporar el IET como indicador complementario en la gestión municipal y sanitaria del recurso hídrico.

Investigación futura

Realizar estudios interanuales para determinar tendencias temporales del estado trófico.

Analizar la relación entre caudal hidrológico y productividad biológica del río.

Evaluar eventos de floraciones algales en condiciones extremas de sequía.

Planificación ambiental

Utilizar los resultados como línea base para futuras evaluaciones de impacto ambiental en el área de Pilar.

Integrar los datos al sistema de gestión de recursos hídricos del departamento de Ñeembucú.

Promover educación ambiental orientada a la reducción del aporte de nutrientes al río.

Referencias

- Aguilar Mora, G. M. (2020). Determinación del estado trófico actual de la laguna Busa cantón San Fernando mediante cuantificación de la clorofila "a". Universidad Politécnica Salesiana.
- Benítez Rodas, G. A., Villalba Duré, G. A., & Ávalos de Enciso, C. (2017). Evaluación del índice de estado trófico (TSI) y su relación con la biodiversidad zooplanctónica en el lago Ypacaraí durante el 2016. *Investigaciones y Estudios - UNA*, 10(1), 23–33
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369.
- Espinoza Gómez, C. A., et al. (2020). Variación de los parámetros in-situ y el estado trófico de la presa de La Purísima. *Jóvenes en la Ciencia*, 16. Universidad de Guanajuato.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- ITAIPU Binacional. (2018). Memoria Anual 2018. <https://www.itaipu.gov.br>
- ITAIPU Binacional. (2021). Memoria Anual 2021. <https://www.itaipu.gov.br>
- Limones Carranza, M. G. A. (2024). Estudio de la problemática ambiental en la presa San José, San Luis Potosí. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- López Arias, T. R., et al. (2021). Calidad de agua del Arroyo Guazú evaluada mediante indicadores biológicos, fisicoquímicos y ecotoxicológicos. *Revista de Investigación y Estudios - UNA*, 12(1), 4–18.
- Mamani, D. A. (2022). Índice de estado trófico del río Ichu, tramo urbano Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Marín-Leal, J. C., et al. (2023). Estado trófico y nutriente limitante de la producción biológica en una laguna tropical somera. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(2), e502.

- Méndez-Farías, A., et al. (2023). Estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático de Carlson en un ecosistema altoandino. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Osorio, C., Quispe, A., & Torres, F. (2020). Evaluación del estado trófico de la laguna de Paca usando el modelo de Carlson. Universidad Continental.
- Quiroz-Santos, R. L., & Mendoza-Caballero, W. (2022). Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del área de conservación regional Albufera de Medio Mundo, Huaura-Lima, Perú. *Biotempo*, 19(2), 149–164.
- Quispe Huaylla, A. J. (2016). Evaluación del estado trófico de la laguna de Pacucha, Apurímac, mediante el Índice de Carlson. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Rodríguez-Nava, M. L., Bautista-Capetillo, C. F., & Guzmán-Flores, M. (2023). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua en un humedal urbano de clima semiárido. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 14(1), 1–24.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2023-01-01>
- Torres, D. C. (2023). Evaluación del estado trófico en el tramo urbano del río Ichu en el distrito de Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica.