

Diatomeas epilíticas asociadas al índice trófico de calidad del agua del río Yanayacu, Cotopaxi, Ecuador**Epilithic diatoms associated with the trophic index of water quality of the Yanayacu river, Cotopaxi, Ecuador****AUTOR:** Patricio Clavijo Cevallos ¹**Dirección para correspondencia:** manuel.clavijo@utc.edu.ec**Fecha de recepción:** octubre 22, 2024**Fecha de aceptación:** enero 15, 2025**DOI:** <https://doi.org/10.61154/mrcm.v11i1.2954>**RESUMEN**

El presente estudio planteó identificar las diatomeas epilíticas asociadas al índice trófico de calidad del agua del río Yanayacu, en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, y analizar su relación con los niveles de contaminación ambiental en este ecosistema acuático. Dicho objetivo, se llevó a cabo mediante un muestreo sistemático en tres puntos estratégicos del río durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2022. Se evaluaron nueve parámetros físicos-químicos y microbiológicos mediante el programa IQADData, para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en cada punto. Posteriormente, se calcularon los Índices Tróficos de Calidad del Agua (ITCA) con base en la abundancia relativa y los valores tróficos asignados a las especies de diatomeas epilíticas identificadas. Estos valores fueron comparados con rangos de referencia propuestos en estudios previos, permitiendo establecer los niveles de contaminación y evolución a lo largo del río Yanayacu. El punto uno fue categorizado como menos afectado, presentó seis especies de diatomeas, tales como *Gomphonema sp.* y *Navicula cryptotenella*. En el punto dos se registraron ocho especies, destacando *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia amphibia*. Finalmente, en el punto tres, las especies predominantes incluyeron *Navicula nota* y *Nitzschia palea*. Según el (ICA), la calidad se clasificó como "mala" en el punto uno y "muy mala" en los puntos dos y tres. En conclusión, este deterioro se refleja en el ITCA, que indicó contaminación moderada (β -

¹ Licenciado en Biología y Química, Magister en Gestión Ambiental, Doctor en Sostenibilidad, docente investigador titular de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Mail: manuel.clavijo@utc.edu.ec, CÓDIGO ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2829-8406>

mesotrófico) en el punto uno y contaminación severa (α -mesotrófico) en los puntos dos y tres, evidenciando un impacto ambiental progresivo en el ecosistema fluvial.

PALABRAS CLAVE: Bioindicadores; Cuerpos lóticos; Diatomeas epilíticas; Eutrofización, índice de calidad de agua (ICA); índice trófico de calidad de agua (ITCA); calidad del agua; plantas acuáticas. (Tesauro de la UNESCO)

ABSTRACT

The present study aimed to identify the epilithic diatoms associated with the trophic index of water quality in the Yanayacu River, located in Latacunga canton, Cotopaxi province, and to analyze their relationship with environmental contamination levels in this aquatic ecosystem. This objective was achieved through systematic sampling at three strategic points along the river during September, October, and November 2022. Nine physicochemical and microbiological parameters were evaluated using the IQADData program to determine the Water Quality Index (WQI) at each point. Subsequently, Trophic Water Quality Indices (TWQI) were calculated based on the relative abundance and trophic values assigned to the identified epilithic diatom species. These values were compared with reference ranges proposed in previous studies, enabling the assessment of contamination levels and their progression along the Yanayacu River. Point One, categorized as the least affected, exhibited seven diatom species, including *Gomphonema sp.* and *Navicula cryptotenella*. At Point Two, eight species were recorded, with *Gomphonema parvulum* and *Nitzschia amphibia* being prominent. Finally, at Point Three, the predominant species included *Navicula nota* and *Nitzschia palea*. According to the WQI, water quality was classified as "poor" at Point One and "very poor" at Points Two and Three. In conclusion, this deterioration is reflected in the TWQI, which indicated moderate contamination (β -mesotrophic) at Point One and severe contamination (α -mesotrophic) at Points Two and Three, highlighting a progressive environmental impact on the river ecosystem.

KEYWORDS: Bioindicators; Lotic bodies; Epilithic diatoms; Eutrophication; water quality index (ICA); trophic water quality index (ITCA); Water quality; Aquatic plants. (UNESCO Thesauri)

INTRODUCCIÓN

El monitoreo de la calidad del agua es crucial a nivel global, especialmente en regiones con recursos hídricos fundamentales tanto para la biodiversidad como para las actividades humanas. En Ecuador, los ríos de la región andina, como el Yanayacu en Cotopaxi, han experimentado un incremento en la contaminación debido a la agricultura no regulada, el vertido de aguas residuales y el crecimiento poblacional. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2023), gestionar sosteniblemente estos recursos es esencial para asegurar el acceso a agua potable y proteger los ecosistemas acuáticos. Esta situación es urgente, ya que la escasez de agua dulce afecta al 40% de la población mundial, y se espera que la cifra aumente debido al cambio climático, el crecimiento demográfico y la contaminación de fuentes hídricas.

Estudios previos realizados en Cotopaxi han revelado importantes variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada para riego. Por ejemplo, el pH de las muestras de agua se situó entre 7,66 y 8,05, lo que indica una ligera alcalinidad, mientras que la conductividad eléctrica varió entre 0,55 y 1,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sugiriendo salinidad moderada. Además, se detectaron niveles elevados de sodio, alcanzando hasta 67,86 mg/L, lo que podría tener implicaciones para el riego agrícola. La dureza del agua también mostró un rango entre 175,2 y 307,9 mg/L, clasificándola como moderadamente dura. Estos resultados, presentados por Rodríguez et al. (2022), indican que algunas áreas son aptas para el riego, aunque otras, como Guaytacama y Saquisilí, presentan niveles de sodio preocupantes.

En relación con el río Yanayacu, varios estudios han analizado su calidad. Cisneros (2015) y Pullotasig & Millingalle (2014) concluyeron que, aunque el agua no es adecuada para consumo humano, cumple con los parámetros para el riego agrícola. Por otro lado, Quispe (2022), calculó el Índice de Calidad de Agua (ICA), obteniendo valores de 48,99 en la época húmeda y 52,8 en la seca. Estos valores ubican la calidad del agua en el rango de "dudosa", es decir, contaminada, pero aún apta para cultivos agrícolas resistentes.

Una de las herramientas más efectivas para evaluar la calidad del agua son los bioindicadores, entre los que se encuentran las diatomeas epilíticas. Estas microalgas se adhieren a superficies duras en ambientes acuáticos, reflejando cambios en las condiciones del agua, como la eutrofización y la

presencia de contaminantes. Su análisis permite calcular el Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA), un indicador que clasifica los niveles de contaminación según la abundancia y tolerancia de las especies presentes (Castillejo et al., 2022). Las diatomeas epilíticas, del grupo Bacillariophyta, son particularmente valiosas debido a su estructura silícea, que las convierte en un indicador confiable de la calidad del agua (Pilco & Santander, 2022). Estas microalgas se dividen en dos clases principales, Centricas y Pennales, cuyas características morfológicas permiten evaluar el estado ecológico de los cuerpos de agua (Alvarado, 2024).

Investigaciones previas en el río Malacatos han demostrado que la biodiversidad y el biovolumen de las comunidades de diatomeas dependen directamente de la conservación de la vegetación ribereña y de las actividades humanas circundantes. En zonas con vegetación ribereña nativa y semiconservada, se observó una mayor diversidad de diatomeas, lo que refleja una mejor calidad del agua. Por el contrario, en tramos urbanos predominaban géneros como *Navicula* y *Nitzschia*, indicando una baja calidad del agua. Estos hallazgos subrayan la importancia de la vegetación ribereña en la protección de los ecosistemas fluviales, al contribuir a la retención de contaminantes y sedimentos (Yaguana & Cartuche, 2022). Asimismo, investigaciones realizadas en ríos de la Reserva Ecológica Antisana han confirmado la efectividad de las diatomeas como bioindicadores en diversos ecosistemas acuáticos del país (Gutiérrez, 2018).

Este estudio tiene como objetivo identificar las diatomeas epilíticas asociadas al índice trófico de calidad del agua (ITCA) del río Yanayacu. Para ello, se plantean dos objetivos específicos:

1. Caracterizar la calidad del agua del río mediante la evaluación de nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
2. Determinar el ITCA basado en la identificación de diatomeas epilíticas.

Los resultados contribuirán al monitoreo y gestión sostenible de los recursos hídricos en Cotopaxi, proporcionando herramientas prácticas para el desarrollo de estrategias de conservación y manejo de cuencas en ecosistemas similares. Se espera observar una degradación progresiva de la calidad del agua a lo largo del río, asociada al impacto de las actividades humanas y la acumulación de contaminantes.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La calidad del agua de los cuerpos acuáticos está estrechamente relacionada con la biodiversidad de organismos microscópicos que habitan en ellos, especialmente las diatomeas epilíticas, cuya presencia y abundancia pueden servir como indicadores de las condiciones ecológicas del agua (Castillejo et al., 2022). Estas microalgas, al ser sensibles a cambios en los parámetros fisicoquímicos, se utilizan ampliamente en la evaluación de la calidad del agua mediante el índice trófico de calidad del agua (ITCA), el cual permite clasificar el grado de eutrofización del ecosistema acuático (Lobo et al., 2019).

Diatomeas Epilíticas y su Aplicación en la Evaluación Ecológica

La calidad del agua de los cuerpos acuáticos está estrechamente relacionada con la biodiversidad de organismos microscópicos, especialmente las diatomeas epilíticas. Estas microalgas, al ser sensibles a cambios fisicoquímicos, reflejan las condiciones ecológicas del agua y son ampliamente utilizadas para la evaluación de la calidad del agua mediante el Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) (Almache & Maldonado, 2021; Castillejo et al., 2022)

Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA)

En estudios de calidad ambiental basados en comunidades de diatomeas epilíticas, las guías taxonómicas son herramientas fundamentales para la identificación precisa de las especies. Estas guías recopilan información detallada sobre las características morfológicas de las diatomeas, como la forma, simetría, disposición de las estrías y estructuras específicas del frústulo. Este nivel de precisión es esencial, ya que muchas especies tienen tolerancias específicas a parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad y los niveles de nutrientes, lo que permite su uso como bioindicadores (Round et al., 1990; Lobo et al., 2019).

El Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) clasifica las aguas según la tolerancia de las diatomeas a la eutrofización, desde condiciones oligotróficas (baja contaminación) hasta hipereutróficas (alta contaminación) (Lobo et al., 2019). Este índice, al igual que las guías taxonómicas, se basa en la sensibilidad de las especies a los cambios en las condiciones ambientales, lo que lo convierte en una herramienta esencial para evaluar la calidad del agua.

Combinado con el Índice de Calidad del Agua (ICA), el ITCA integra parámetros fisicoquímicos y biológicos, proporcionando una evaluación más completa de los ecosistemas lóticos (Almache & Maldonado, 2021).

Los valores del ITCA permiten clasificar el nivel de contaminación en categorías tróficas, que van desde contaminación moderada (β -mesotrófico), correspondiente a un rango de 1.5 - 2.5, hasta contaminación fuerte (α -mesotrófico), asociado a un rango de 2.5 - 3.5 (Lobo et al., 2019). Según Castillejo et al. (2022), las especies de diatomeas pueden clasificarse según su tolerancia a la contaminación, y su presencia o ausencia es un indicador eficaz del grado de contaminación de un cuerpo de agua.

El uso de diatomeas como bioindicadores ha sido validado ampliamente. Estas microalgas responden de manera sensible a parámetros fisicoquímicos como la turbidez, la temperatura y el oxígeno disuelto, reflejando la presencia de contaminantes y la capacidad del ecosistema para mantener su equilibrio (J. Rodríguez, 2024). Además, estudios recientes confirman que la abundancia y diversidad de estas especies son herramientas efectivas para monitorear cuerpos de agua afectados por eutrofización y contaminación por nutrientes (Clavijo et al., 2022).

Métodos de Muestreo y Análisis de la Calidad del Agua

Uno de los métodos más ampliamente utilizados para evaluar la calidad del agua es el Índice de Calidad de Agua (ICA). Este índice agrupa y clasifica diversos parámetros fisicoquímicos como el pH, la turbidez, los sólidos disueltos totales, el oxígeno disuelto, los nitratos, los fosfatos y otros componentes esenciales para la vida acuática. Según la ISO 5667-6 (2014) y la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2176:2013, 2013), el ICA proporciona una medición integral de la calidad del agua, donde cada parámetro es ponderado de acuerdo con su relevancia en la salud de los ecosistemas acuáticos (Almache & Maldonado, 2021).

Asimismo, Encalada & Mogroviejo (2024), manifiestan que el muestreo sistemático es especialmente efectivo en sistemas fluviales, ya que permite identificar gradientes espaciales y patrones de contaminación a lo largo del cuerpo de agua. En este contexto, Gilberto et al. (2024), destacan que se trata de una metodología ampliamente reconocida en los estudios ambientales, cuyo objetivo es garantizar la representatividad de los datos obtenidos. Este enfoque se basa en la

selección de puntos de muestreo distribuidos de manera regular o estratégica a lo largo de un ecosistema, proporcionando un marco organizado para la evaluación de las variables ambientales.

DESARROLLO

MÉTODOS

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, basado en la recopilación y análisis de datos numéricos relacionados con parámetros fisicoquímicos, químicos, biológicos y microbiológicos del agua del río Yanayacu. Se clasifica como un estudio descriptivo, ya que su objetivo principal es caracterizar la calidad del agua en los puntos estratégicos de muestreo previamente definidos. El alcance es de tipo transversal, dado que los datos fueron recolectados durante un período específico de tres meses (junio, julio y agosto de 2022), coincidiendo con la época seca, lo que permite un análisis representativo de las condiciones del río en ese intervalo temporal.

Parámetros analizados

El análisis se realizó considerando nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos: temperatura, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS), turbidez y coliformes fecales.

Además, se incluyó un análisis biológico basado en la abundancia relativa y diversidad de diatomeas epilíticas para determinar el Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA). Los valores teóricos obtenidos se compararon con los rangos propuestos por Lobo et al. (2019), que clasifican el nivel de contaminación en categorías tróficas: contaminación moderada (*β -mesotrófico*), con un rango de 1.5 - 2.5, y contaminación fuerte (*α -mesotrófico*), dentro de un rango de 2.5 - 3.5. Esta comparación permitió determinar el nivel de eutrofización y la calidad del agua en cada sitio

Área de trabajo

El área de estudio está ubicada en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, donde se identificaron tres puntos estratégicos en el río Yanayacu: alto (P1), medio (P2) y bajo (P3). Estos puntos fueron seleccionados considerando factores geomorfológicos y de accesibilidad (**Tabla 1**).

DISEÑO DEL MUESTREO

El muestreo es sistemático ya que se caracteriza por la selección de puntos de muestreo estratégicamente ubicados a intervalos regulares a lo largo del cuerpo de agua. En este estudio, se

definieron tres puntos de muestreo P1(alto), P2 (medio) y P3 (bajo) a lo largo del río Yanayacu, considerando factores clave como accesibilidad, representatividad de las características del río y variabilidad de las actividades humanas en las cercanías, tal como lo sugiere la ISO 5667-6.El y la NTE INEN 2176:2013, las cuales se detallan en las **Tablas 2 y 3** respectivamente.

Tabla 1.

Ubicación de los puntos de monitoreo en la microcuenca del río “Yanayacu”

Código	Río	Ubicación	Puntos	Coordenadas
P1	Yanayacu	Barrio San José	Origen	768116.5; 9898604.4
P2	Yanayacu	Barrio San Martín	Medio	767136.8; 9898147.9
P3	Yanayacu	Casa de la Cultura	Bajo	764999.2; 9896598.1

Tabla 2.

Directrices de la Norma ISO 5667-6

Directrices	Descripción
Selección de los puntos de muestreo	Tres puntos estratégicos a lo largo del río Yanayacu: alto (P1), medio (P2) y bajo (P3). Selección basada en accesibilidad, representatividad y actividades humanas.
Frecuencia de muestreo	Muestreos mensuales en junio, julio y agosto de 2022, coincidiendo con la época seca o de estiaje, donde los caudales son mínimos y los contaminantes menos diluidos.
Toma de muestras individuales	Uso de botellas esterilizadas y enjuagadas con agua del punto de muestreo para evitar contaminación cruzada y garantizar la representatividad.
Conservación in situ	Muestras colocadas en un cooler con refrigerantes para mantener 4 °C, minimizando alteraciones químicas y biológicas antes del análisis en laboratorio.

Tabla 3.

Procedimientos según la NTE INEN 2176:2013

Procedimientos	Descripción
Recolección de agua	Volumen de 500 ml por botella, recolectando cuatro botellas por punto (12 botellas por muestreo). Las botellas se llenaron directamente desde el cuerpo de agua, evitando burbujas para prevenir la oxidación.
Preservación de las muestras	Muestras selladas y almacenadas en condiciones controladas de temperatura, respetando el tiempo máximo de conservación (12 horas) antes del análisis de laboratorio.

Parámetros físicos, químicos, microbiológicos	Físicos: Temperatura, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica. Químicos: pH, oxígeno disuelto, fosfatos, nitratos. Microbiológicos: Coliformes fecales.
--	---

Mientras las normas mencionadas establecen procedimientos detallados para la recolección y conservación de muestras de agua, se incluyó además la toma de diatomeas epilíticas siguiendo el método de Clavijo et al. (2022). Este enfoque complementario permite evaluar tanto las condiciones químicas instantáneas del agua como los impactos acumulativos reflejados en los bioindicadores.

Tabla 4.

Toma de muestras de las diatomeas en la fase de campo

Toma de muestras	Descripción
Selección del sustrato	Se seleccionaron de 3 a 5 piedras por punto de muestreo, representativas de la zona y ubicadas en áreas con flujo constante.
Cepillado y enjuague	La superficie superior de las piedras fue cepillada cuidadosamente para recolectar la biopelícula adherida. El material se enjuagó con agua destilada para transferir las diatomeas sin contaminantes externos.

Procesamiento de muestras de diatomeas en la fase de laboratorio

Para garantizar la precisión y confiabilidad en el análisis de las muestras de diatomeas, se implementaron procedimientos específicos en la fase de laboratorio.

- **Análisis de Parámetros Físicos**

Los parámetros físicos, como la temperatura, los sólidos totales disueltos (TDS) y la conductividad eléctrica, fueron medidos utilizando un medidor multiparamétrico portátil de la marca HANNA Instruments, modelo HI98194. Este equipo está diseñado para proporcionar lecturas precisas en campo y laboratorio, asegurando resultados consistentes gracias a su calibración automatizada y compensación de temperatura.

- **Análisis de Parámetros Químicos**

Los parámetros químicos, como el pH, el oxígeno disuelto (OD), los fosfatos y los nitratos, fueron analizados mediante técnicas de espectrofotometría utilizando un espectrofotómetro de la marca Hach, modelo DR3900.

- **Análisis de Parámetros Microbiológicos**

Los parámetros microbiológicos (coliformes fecales) fueron determinados utilizando la técnica del Número Más Probable (NMP), que permite estimar la concentración de microorganismos en muestras de agua (Baird et al., 2017). Se utilizaron tubos de fermentación múltiple con caldo lauril sulfato triptosa, incubados a 35 °C durante 24-48 horas, siguiendo los protocolos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2176:2013). Este método asegura la precisión en la detección de contaminación fecal, proporcionando un indicador crítico para evaluar riesgos de salud pública y calidad del agua.

- **Análisis Biológico**

Las muestras de diatomeas epilíticas recolectadas en campo fueron procesadas en laboratorio para su identificación y análisis. Primero, las biopelículas extraídas de las superficies rocosas se trataron con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30 % para eliminar materia orgánica no deseada, siguiendo el protocolo descrito por Clavijo et al. (2022). Posteriormente, las muestras purificadas se montaron en portaobjetos con resina de montaje de alta transparencia. Las especies fueron identificadas mediante microscopía óptica de alta resolución, utilizando guías taxonómicas especializadas y referencias por Lobo et al. (2019). Este análisis permitió calcular la abundancia relativa de las especies y asignarles valores tróficos para el cálculo del Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA).

Cálculos de Índices ICA e ITCA

- **Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Los datos recolectados de los nueve parámetros medidos se introdujeron en el software **IQADData v2.0**. Este programa utiliza una ecuación ponderada, donde cada parámetro tiene un peso específico basado en su relevancia para la calidad del agua (**Ecuación 1**).

La ecuación 1 es:

$$ICA = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot W_i)$$

Donde:

- **Q_i**: Calidad relativa del parámetro **i**, normalizada en una escala de 0 a 100.
- **W_i**: Peso asignado al parámetro **i**, determinado según su importancia relativa

Los valores del ICA obtenidos varían de 0 a 100, siendo 0 la peor calidad y 100 la mejor. Estos resultados permitieron clasificar la calidad del agua en categorías: excelente, buena, regular, mala y muy mala, siguiendo los estándares del software.

- **Cálculo del índice trófico de calidad del agua (ITCA)**

El cálculo del ITCA se realizó asignando valores indicativos a las especies de diatomeas identificadas, basados en su tolerancia a la eutrofización según la metodología descrita por Almache y Maldonado (2022). La ecuación utilizada para el cálculo del índice adoptada de (Lobo et al., 2019) (**Ecuación 2**):

$$ITCA = \frac{\sum(vt \cdot h)}{\sum h}$$

Donde:

- **vt**: Valor trófico de las especies.
- **h**: Porcentaje de ocurrencia (abundancia).

El valor de SI varía de 1 a 4 en los ambientes acuáticos, conforme muestra la tabla 5.

Tabla 5.

Relación entre el Índice de la Calidad Trófica del Agua (ITCA) y la calidad del agua

ITCA	Niveles de Contaminación
1.0 - 1.5	Oligotrófico (contaminación despreciable)
1.5 - 2.5	β-mesotrófico (contaminación moderada)
2.5 - 3.5	α-mesotrófico (contaminación fuerte)
3.5 - 4.0	Eutrófico (contaminación excesiva)

Fuente: Obtenido de Lobo et al. (2019).

RESULTADOS

Se realizó el análisis de los parámetros físico-químicos y biológicos en los puntos de muestreo identificados como Punto 1 (San José), Punto 2 (San Martín) y Punto 3 (Casa de la Cultura). Los resultados obtenidos se presentan en las **Tablas 6, 7 y 8**, respectivamente.

En el **Punto 1**, todos los parámetros analizados cumplen con los límites permisibles establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, destacándose un valor de oxígeno disuelto (OD) de 2.40

mg/L frente al mínimo requerido de 3 mg/L. Este valor indica que, si bien el punto se encuentra dentro de los límites, el oxígeno disuelto está cerca del límite inferior permisible (**Tabla 6**).

En el **Punto 2**, se observó que los valores de coliformes fecales (2'400,000 NMP/100 ml) y oxígeno disuelto (3.66 mg/L) exceden los límites permisibles. Este resultado refleja un nivel alto de contaminación, particularmente debido a descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado (**Tabla 7**).

En el **Punto 3**, el Índice de Calidad del Agua (ICA) calculado indica una clasificación de "Muy Malo", con un valor de 18.87. Esto se correlaciona con los niveles de coliformes fecales (16'000,000 NMP/100 ml), los cuales superan considerablemente el límite de 2000 establecido en el marco normativo (**Tabla 8**).

Tabla 6.

Valores de la muestra de agua del punto 1.

Punto 1: Origen Río Yanayacu			
Ubicación	San José		
Parámetros	Unidades	Valor	TULSMA
Temperatura	°C	12.1	24
Nitratos	mg/L	2.04	>30
Sólidos Totales disueltos	mg/L	452.0	1600
Turbidez	NTU	0.22	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	1.07	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	0	200
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.40	3
Fosfatos	mg/L	1.90	10
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	6.8	2000
Conductividad Eléctrica	Millimhos/cm	0.103	> 3.0
pH	-	6.98	6-9

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

El Índice de Calidad de Agua (ICA) adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación de agua en estudio.

Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo general se clasifica la calidad del agua con el resultado y presentados en la **Tabla 9** que fue obtenido por el software IQAdata.

Tabla 7.

Valores de la muestra de agua del punto 2.

Punto 2: Camal Río Yanayacu			
Ubicación	San Martín		
Parámetros	Unidades	Valor	TULSMA
Temperatura	°C	14.3	24
Nitratos	mg/L	1.28	>30
Sólidos Totales disueltos	mg/L	670.0	1600
Turbidez	NTU	10.80	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	36.36	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	46	200
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.66	3
Fosfatos	mg/L	2.757	10
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2'400,000	2000
Conductividad Eléctrica	Millimhos/cm	0.1613	> 3.0
pH	-	7.45	6-9

Tabla 8.

Valores de la muestra de agua del punto 3.

Punto 3: Casa de la Cultura Río Yanayacu			
Ubicación	Casa de la Cultura		
Parámetros	Unidades	Valor	TULSMA
Temperatura	°C	19.1	24
Nitratos	mg/L	0.80	>30
Sólidos Totales disueltos	mg/L	682.0	1600
Turbidez	NTU	9.97	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	18.59	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	27	200
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.18	3

Fosfatos	mg/L	2.686	10
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	16'000.000	2000
Conductividad Eléctrica	Millimhos/cm	0.1892	> 3.0
pH	-	8.40	6-9

Tabla 9.

Resultados obtenidos según el IQA-DATA en los puntos de muestreo ubicados en el río Yanayacu.

Puntos	Valor de ICA	Calificación
P1. San José	42,74	Malo
P2. San Martín	13,76	Muy Malo
P3. Casa de la Cultura	18,87	Muy Malo

Los resultados para el punto 1 tienen una calificación de ICA Malo, dado que posee un valor equivalente a 42,74, siendo el valor más alto y el cual requiere purificación menor, el punto medio en San Martín obtuvo calificación de ICA de Muy Malo con promedio de 13,76, considerándose como agua de dudosa procedencia, ya que tiene índices de contaminación, y el punto bajo en La Casa de la Cultura presentó el ICA bajo con un valor promedio de 18,87, es decir el río Yanayacu está contaminado de acuerdo a dichos valores, debido a las descarga de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento sobre el cauce del río.

ÍNDICE TRÓFICO DE CALIDAD DEL AGUA

Para la determinación del ITCA se asignaron valores tróficos a las especies abundantes que se encontraron en cada punto de muestreo y representado de la siguiente manera.

El valor trófico calculado para el porcentaje de abundancia relativa fue de 139.855, mientras que la abundancia relativa total alcanzó un valor de 86.62. Al dividir estos valores, se obtuvo un Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) de 1.61, lo que clasifica la calidad del agua como moderadamente contaminada (β -mesotrófico) en el Punto 1, correspondiente al origen del río Yanayacu (**Tabla 10**).

En el segundo punto (San Martín), el Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) fue calculado como 2.78, lo que clasifica la calidad del agua como de contaminación fuerte (α -mesotrófico), de acuerdo con los valores obtenidos y representados en la **Tabla 11**.

En el Punto 3 (Casa de la Cultura), el Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) fue calculado como 3.20, clasificando la calidad del agua como de contaminación fuerte (α -mesotrófico), conforme a los datos presentados en la **Tabla 12**.

Tabla 10.

Determinación del índice trófico de calidad de agua para el punto uno.

Nombre	Especies abundantes	Valor trófico	Abundancia relativa	Vt * %
<i>Gomphonema sp.</i>	207	1	12.89	12.89
<i>Gomphonema lagenula</i>	213	2.5	13.27	33.175
<i>Mayamaea permitis</i>	133	4	8.28	33.12
<i>Nitzschia acidoclinata</i>	107	1	6.66	6.66
<i>Navicula cryptotenella</i>	91	2.5	5.66	14.15
<i>Planothidium lanceolatum</i>	350	1	21.8	21.8
<i>Planothidium frequentissimum.</i>	290	1	18.06	18.06
		Suma	86.62	139.855
ITCA	1.61		β -mesotrófico	
			(Contaminación moderada)	

Tabla 11.

Determinación del índice trófico de calidad de agua para el punto dos.

Nombre	Especies abundantes	Valor trófico	Abundancia relativa	Vt * %
<i>Gomphonema parvulum</i>	86	2.5	5.35	13.375
<i>Gomphonema pumilum var. Rigidum</i>	232	2.5	14.45	36.125
<i>Mayamaea permitis</i>	173	4	10.77	43.08
<i>Navicula cryptotenella.</i>	127	2.5	7.91	19.775
<i>Navicula lanceolata</i>	210	4	13.08	52.32
<i>Navicula gregaria</i>	155	4	9.65	38.6
<i>Nitzschia inconspicua</i>	272	1	16.94	16.94
<i>Nitzschia amphibia</i>	176	2.5	10.96	27.4
ITCA	2.78	Suma	89.11	247.615

α -mesotrófico
(contaminación Fuerte)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) evidenció que el nivel de contaminación en el Punto 2 (San Martín) es superior al registrado en el Punto 3. Esta diferencia podría atribuirse a un proceso de aireación natural generado por una cascada ubicada a 10 metros del área de muestreo en el Punto 3. No obstante, este último punto mantiene una clasificación de "Muy Malo" según los resultados del ICA, lo que confirma un elevado nivel de contaminación en el río Yanayacu.

Tabla 12.

Determinación del índice trófico de calidad de agua para el punto tres.

Nombre	Especies abundantes	Valor trófico	Abundancia relativa	Vt * %
<i>Navicula nota</i>	277	2.5	17.25	43.125
<i>Navicula gregaria</i>	249	4	15.51	62.04
<i>Navicula lanceolata</i>	269	4	16.76	67.04
<i>Navicula cryptotenella.</i>	139	2.5	8.66	21.65
<i>Nitzchia palea</i>	207	4	12.89	51.56
<i>Nitzschia inconspicua</i>	132	1	8.22	8.22
<i>Pinnularia sp.</i>	143	3.2	8.9	28.48
		Suma	88.19	282.115
ITCA	3.20	α -mesotrófico (Contaminación fuerte)		

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron con el ICA, la relación de los niveles de contaminación obtenidos con el ITCA de las especies de diatomeas epilíticas, en el punto dos y en el punto tres es muy evidente, mientras que en el punto uno no existe una relación significativa, teniendo así que los dos índices arrojaron tres clasificaciones del estado del agua. En el ICA con calificaciones de malo, muy malo y muy malo, y en el ITCA con niveles de contaminación de β -mesotrófico (contaminación moderada), α -mesotrófico (contaminación fuerte) y α -mesotrófico (contaminación fuerte), estos resultados guardan relación con el estudio realizado por Castillejo et al. (2022), que presenta tres clasificaciones del estado del agua, para el ICA con calificaciones de bueno, regular y malo, y para el ITCA con niveles de contaminación de Oligotrófico, β -mesotrófico y α -mesotrófico. Además, el estudio realizado por (Rodríguez, 2024), el cual fue establecer un índice biótico de calidad del agua, señala que existen variaciones espaciales y temporales de

especies de diatomeas epilíticas que se relacionan con los parámetros fisicoquímicos y ambientales como son la presencia de materia orgánica, oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno y temperatura, ello es acorde con lo que en este estudio se encuentra.

DISCUSIÓN

La evaluación de la calidad del agua del río Yanayacu, basada en el análisis de diatomeas epilíticas y el Índice Tráfico de Calidad del Agua (ITCA), reveló resultados alarmantes en los tres puntos de muestreo. En el Punto 1 (San José), el agua fue clasificada como de calidad "mala" con un Índice de Calidad del Agua (ICA) de 42.74, lo que indica un nivel significativo de contaminación (Almache & Maldonado, 2022). Aunque este es el punto más alto de la microcuenca, su calidad ya refleja el impacto de actividades humanas como la agricultura y la urbanización, coincidencia reportada también por Pilco & Santander (2022), en cuerpos de agua similares de la región andina.

El Punto 2 (San Martín) mostró resultados aún más críticos, con un ICA que evidencia una contaminación severa. Parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y los coliformes fecales excedieron ampliamente los límites establecidos por el acuerdo ministerial 097, alcanzando valores preocupantes de 2,400,000 NMP/100 ml para coliformes fecales. Este nivel de contaminación fecal no solo representa un riesgo para la biodiversidad acuática, sino también para la salud pública (Quispe, 2022). La proximidad de este punto a zonas urbanas podría explicar las descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado, como ha sido observado en otros estudios similares en ríos impactados por actividades antrópicas (Gutierrez, 2018).

En el Punto 3 (Casa de la Cultura), aunque se registró un proceso de aireación natural debido a una cascada cercana, el ITCA clasificó el agua como de contaminación fuerte. Esto resalta que, aunque los procesos naturales pueden contribuir a mejorar la calidad del agua en ciertos puntos, no son suficientes para contrarrestar los efectos de la contaminación acumulativa derivada de la actividad humana (Yaguana & Cartuche, 2022). Además, este punto mantiene una clasificación de "muy malo" según el ICA, lo que subraya la urgencia de implementar estrategias de manejo y control de vertidos.

La comparación de los resultados con los límites establecidos por el acuerdo ministerial 097 confirma que el agua del río Yanayacu no es apta para usos como el riego en la mayoría de los puntos. Aunque parámetros como el pH y la turbidez estuvieron dentro de los valores permisibles, la DBO5 y los coliformes fecales superaron ampliamente los estándares, lo que indica una carga orgánica y microbiológica preocupante (Alvarado, 2024). Este hallazgo concuerda con estudios realizados en otros ríos de la región andina, donde el aumento de nutrientes y la contaminación orgánica afectan severamente los ecosistemas fluviales (Almache & Maldonado, 2021).

Finalmente, la relación entre los índices de calidad del agua y la presencia de diatomeas epilíticas resulta evidente. Las especies identificadas, como *Navicula nota* y *Nitzschia palea*, son indicadoras de ambientes con altos niveles de eutrofización y contaminación severa (Clavijo et al., 2022). Esto refuerza el uso de las diatomeas como bioindicadores efectivos para monitorear el estado de los ecosistemas acuáticos y subraya la necesidad de medidas urgentes para mitigar los impactos ambientales en el río Yanayacu.

CONCLUSIONES

- Este estudio logró identificar las diatomeas epilíticas asociadas al Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) del río Yanayacu, cumpliendo con los objetivos planteados. Los resultados evidenciaron una distribución desigual de las especies entre los tres puntos de muestreo, reflejando diferencias significativas en la calidad del agua. En el Punto 1 (San José), se registraron 24 especies, asociadas a un ITCA de 1.61, que indica contaminación moderada (β -mesotrófico). Este punto presentó una calidad de agua clasificada como "mala", lo que sugiere que incluso las áreas menos impactadas por actividades humanas ya muestran signos de deterioro.
- En el Punto 2 (San Martín), la calidad del agua se deterioró aún más, con 25 especies identificadas y un ITCA de 2.78, que indica contaminación fuerte (α -mesotrófico). Este punto presentó valores elevados de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), reflejando el impacto directo de descargas residuales urbanas no tratadas. Por otro lado, en el Punto 3 (Casa de la Cultura), aunque se observó un proceso de aireación natural

debido a una cascada cercana, el ITCA alcanzó un valor de 3.20, confirmando contaminación fuerte. Con 31 especies identificadas, este punto se clasificó como de calidad "muy mala", evidenciando una acumulación progresiva de contaminantes a lo largo del río.

- La integración de los índices ITCA e ICA permitió obtener una evaluación integral de la calidad del agua, corroborando la hipótesis inicial sobre el impacto acumulativo de las actividades humanas. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados mostraron una correlación directa con los valores del ITCA, reflejando el deterioro progresivo de la calidad del agua río abajo. Las especies de diatomeas identificadas, como *Navicula nota* y *Nitzschia palea*, destacan como bioindicadores clave de ambientes eutrofizados y de alta contaminación orgánica, reafirmando la utilidad de estas microalgas en el monitoreo de la salud de los ecosistemas acuáticos.
- Definitivamente, los resultados obtenidos confirman que el agua del río Yanayacu no es apta para el consumo humano ni para el riego en la mayoría de los puntos evaluados, lo que representa un desafío significativo para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región. Este estudio refuerza la necesidad de implementar estrategias integrales que incluyan el tratamiento de aguas residuales, la conservación de la vegetación ribereña y un monitoreo continuo para mitigar los impactos de la contaminación y promover la recuperación del ecosistema fluvial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almache, L., & Maldonado, R. (2021). *Identificación de Diatomeas Epilíticas asociadas a la calidad de agua del río Cunuyacu, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, periodo 2020-2021* [Repositorio UTC]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e1fc7530-eeee-4d8b-b6eb-454b8cb86411/content>
- Alvarado, A. (2024). *Evaluación del estado ecológico utilizando índices de Diatomeas en el río Metceras ubicado en el cantón Palora* [Repositorio ESPOCH]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/22827/1/236T0983.pdf>
- Baird, Rodger., Eaton, A. D. ., Rice, E. W. ., & Bridgewater, Laura. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
- Castillejo, P., Ballesteros, I., Ríos-Touma, B., Ortiz, S., Heinrich, C., & Lobo, E. (2022). *Diatomeas Epilíticas de los Andes Ecuatorianos*. Universidad de Las Américas. <https://www.udlaediciones.com.ec/wp-content/uploads/2022/08/Diatomeas.pdf>

- Cisneros, W. (2015). *Determinación de la Calidad de Agua del Río Yanayacu en los Sectores Bellavista y Yanayacu del Cantón salcedo Periodo 2014* [Repositorio UTC]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/110c011c-b8f5-4fc4-a9a0-90ce121c75ef/content>
- Clavijo, P., Gallegos, D., & Vilela, C. (2022). Diatomeas epilíticas asociadas a la calidad de agua del río Illuchi, Latacunga, Ecuador MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, 2022. <https://doi.org/10.46380/rias.v5.e158>
- Encalada, J., & Mogroviejo, J. (2024). *Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana en la parroquia Cumbe* [Repositorio UC]. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0966f113-9d3b-469b-b975-f64fe46a051b/content>
- Gilberto, R., Alfredo, R., & Javier, W. (2024). Análisis estadístico de parámetros de calidad del agua del Estero El Macho en la ciudad de Machala-Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales (RCS)*, XXX, 489–513.
- Guía Para El Muestreo de Ríos y Cursos de Agua (ISO 5667-6:2014), Pub. L. No. 5667–6, UNE (2014). https://www.normadoc.com/media/preview_pdf/ESN0057995.pdf
- Gutierrez, P. (2018). *Evaluación de la calidad de Agua en ríos de alta montaña de la Reserva Ecológica Antisana utilizando Diatomeas Epilíticas como Bioindicadores* [Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3159/1/PAULINA%20Nicold%20Gutierrez.pdf>
- Lobo, E. A., Freitas, N. W., & Salinas, V. H. (2019). Diatoms as bioindicators: Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America. In *Mexican Journal of Biotechnology* (Vol. 4, Issue 1, pp. 1–24). Universidad Autonoma de Tlaxcala. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2019.4.1.1>
- NTE INEN 2176:2013, Pub. L. No. 2176, Instituto Nacional de Normalización (2013). <https://n9.cl/c1ocq>
- Pilco, V., & Santander, L. (2022). *Influencia de nutrientes sobre la diversidad de Diatomeas Epilíticas en cuatro tramos de los ríos chagrasacha y Quillopaccha del Sistema Lacustre Pisayambo* [Repositorio ESPOCH]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17624/1/236T0623.pdf>
- Pullotasig, B., & Millingalle, J. (2014). *Caracterización de los contaminantes físicos y químicos presentes en el río Yanayacu del cantón Salcedo, 2013* [Trabajo de Investigación de Ingeniería en Medio Ambiente]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/37d11c4a-45e9-4be8-a05d-2ec0b96e2c87/content>
- Quispe, S. (2022). *Evaluación de calidad del río Yanayacu ubicado en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi periodo 2021-2022* [Repositorio UTC].

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/53a92a56-f9f8-48c8-99ed-4207d9f72189/content>

Rodríguez, J. (2024). *Influencia de los factores físicos en la diversidad y abundancia de Diatomeas Epilíticas en el río de Loma Alta provincia de Santa Elena* [Repositorio UPSE].

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/11674/1/UPSE-TBI-2024-0051.pdf>

Rodríguez, S., Jaramillo, S., Zurita, D., Valdiviezo, A., & Choloquina, C. (2022). Evaluation of the Quality of Irrigation Water from the Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Acequia Through the Sodium Absorption Ratio (SAR). *Revista Politecnica*, 49(2), 55–64.

<https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>

UNESCO. (2023). *Alianzas y cooperación por el agua Resumen ejecutivo*.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657_spa

Yaguana, R., & Cartuche, V. (2022). Variación de diatomeas (Bacillariophyta) en un gradiente del estado de conservación de ribera del río Malacatos, Loja- Ecuador. *CEDAMAZ*, 12(2).

<https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1626>

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).