

COMPARATIVA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN TRES RÍOS CON DISTINTO GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA: APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) Y ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO

Cutipa Mamani Cristian Bladimir^{a1}, Zenteno Incahuanaco Brayan David^{a2}, Carbajal Cajavilca Romel Kliver^{a3}

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

RESUMEN

El artículo, realizado por estudiantes de la Universidad Peruana Unión, analiza la calidad del agua en los ríos Ramis, Coata y Macari, afectados por diferentes niveles de intervención humana (urbana, agrícola, minera). Se midieron parámetros como pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez y hierro, comparándolos con las Normas de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 1 (uso poblacional y recreacional). Los resultados muestran que el río Macari tiene la mejor calidad, con turbidez baja (5.54 NTU) y hierro moderado (0.33 mg/L), pero no cumple con los límites de oxígeno disuelto (4.29 mg/L) ni turbidez (≤ 5 NTU). El río Coata tiene contaminación intermedia, con turbidez de 20 NTU y hierro de 0.48 mg/L, mientras que el río Ramis es el más contaminado, con turbidez extrema (250 NTU) y hierro alto (1.58 mg/L), probablemente por minería y descargas urbanas. Ningún río es apto para consumo humano sin tratamiento, destacando la necesidad de regulaciones, tratamiento y monitoreo continuo.

Palabras clave: Calidad del agua, intervención humana, normas ambientales, ríos andinos.

ABSTRACT

This study compares the surface water quality of three rivers—Río Macari, Río Ramis, and Río Coata—in Puno, Peru, to assess the impact of varying levels of anthropogenic intervention. Utilizing the Environmental Quality Standards (ECA) for water, parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, dissolved oxygen, turbidity, and iron were analyzed using standardized methods. Results indicate that Río Macari exhibits the highest water quality, suitable for potable use with minor treatment, while Río Coata shows moderate contamination from urban and mining activities, and Río Ramis is severely polluted due to mining and agricultural discharges. None of the rivers fully meet ECA Category 1 standards for human consumption, highlighting the urgent need for pollution control, water treatment, continuous monitoring, community education, and ecological restoration to ensure sustainable water resource management in the region.

Keywords: Wastewater, physicochemical analysis, water quality, contamination, LMP.

1. INTRODUCCIÓN

El agua superficial es uno de los recursos naturales más susceptibles a las intervenciones humanas, sobre todo en áreas donde se combinan usos urbanos, agrícolas e industriales. La disminución de la calidad del agua en ríos ha sido ampliamente registrada debido al vertido de aguas residuales, la escorrentía agrícola y la liberación de contaminantes industriales, lo que modifica no solo las características fisicoquímicas del agua, sino también el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (UNEP, 2016; Tundisi & Tundisi, 2012).

En los países andinos, como Perú, la presión sobre los recursos hídricos ha aumentado considerablemente por el crecimiento poblacional descontrolado y la expansión de actividades extractivas, sin un tratamiento adecuado de aguas residuales (MINAM, 2021). Ante esta circunstancia, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, fijados en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, constituyen un instrumento normativo esencial para evaluar el grado de cumplimiento ambiental y dirigir acciones de gestión y remediación.

El estudio comparativo de la calidad del agua en varios ríos, afectados por diferentes niveles de intervención humana, facilita la identificación de patrones de cambio y la priorización de áreas críticas. En este marco, es importante realizar evaluaciones fundamentadas en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, comparándolos con los valores fijados en los ECA, lo que posibilita categorizar los cuerpos hídricos según su idoneidad para usos particulares (potable, recreativo, agrícola, entre otros) (CONAGUA, 2018).

Varios estudios han evidenciado que los ríos localizados en áreas urbanas suelen tener altas concentraciones de materia orgánica y bacterias coliformes, en tanto que los cuerpos de agua en regiones agrícolas muestran una mayor presencia de nutrientes como nitratos y fosfatos, relacionados con procesos de eutrofización (Jarvie et al., 2006; Jaramillo & Restrepo, 2017). Los ríos que han sido impactados por la minería a menudo exceden los niveles permitidos de metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, lo que constituye un riesgo directo para la salud de las personas y la biodiversidad acuática (INDECI, 2020; Fernández-Rubio, 2004).

Este estudio busca llevar a cabo una comparación de la calidad del agua superficial en tres ríos con diferentes niveles de intervención humana, a través del análisis de parámetros fundamentales y su comparación con los ECA actuales. De igual manera, se pretende proporcionar evidencia científica que ayude en la toma de decisiones para la administración sostenible del recurso hídrico dentro del cumplimiento de la normativa ambiental.

El agua es un recurso esencial para el progreso de cada nación y la existencia de los seres vivos (Chedadi, y otros, 2023). Los ríos afectan la relevancia de los recursos de agua dulce, generando efectos positivos para los humanos, quien la necesita para diversos usos (Lemessa et al., 2023).

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio:

El presente estudio se llevó a cabo en tres ríos ubicados en la región, altiplánica del sur del Perú Puno, seleccionado para representa distintos niveles de intervención antrópica en sus respectivas cuencas hidrográficas. Los ríos evaluados fueron:

Tabla 1:

Puntos de Monitoreo

punto	COORDENADAS UTM		
	ZONA	ESTE	NORTE
Rio Macari	19 L	300293.80	8367054.30
Rio Ramis	19 L	395009.54	8308765.87
Rio Coata	19 L	381427.10	8290095.27

FUENTE: Propia

Figura 1: Rio Macarí



Figura 2: Rio Ramis

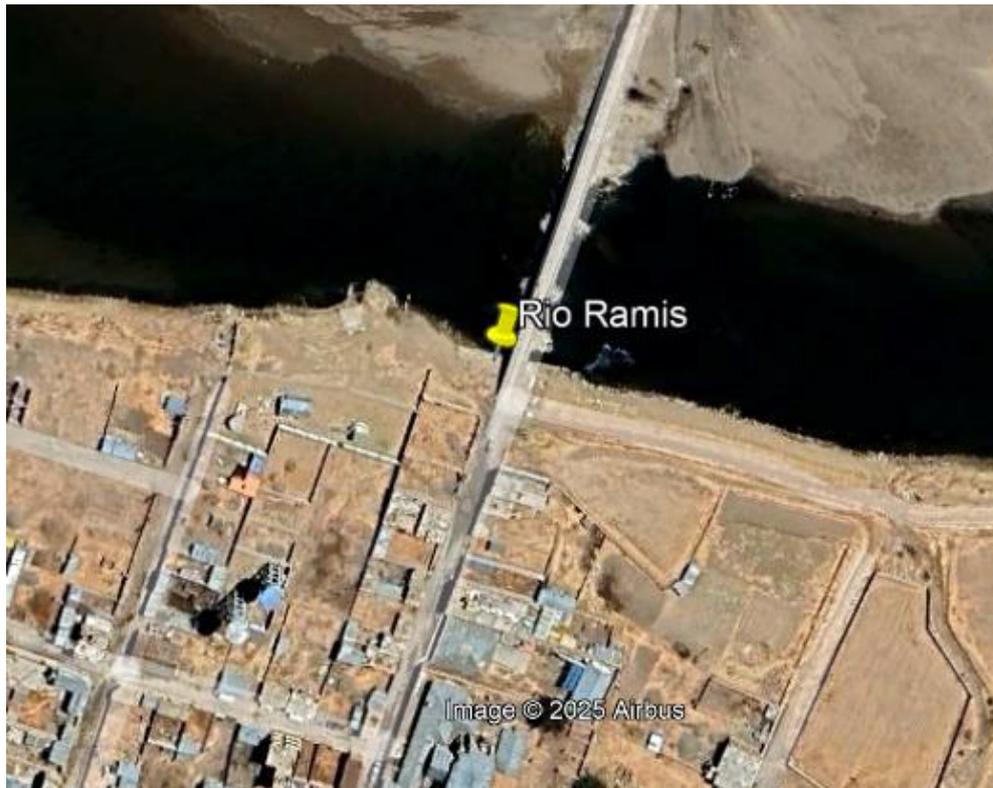
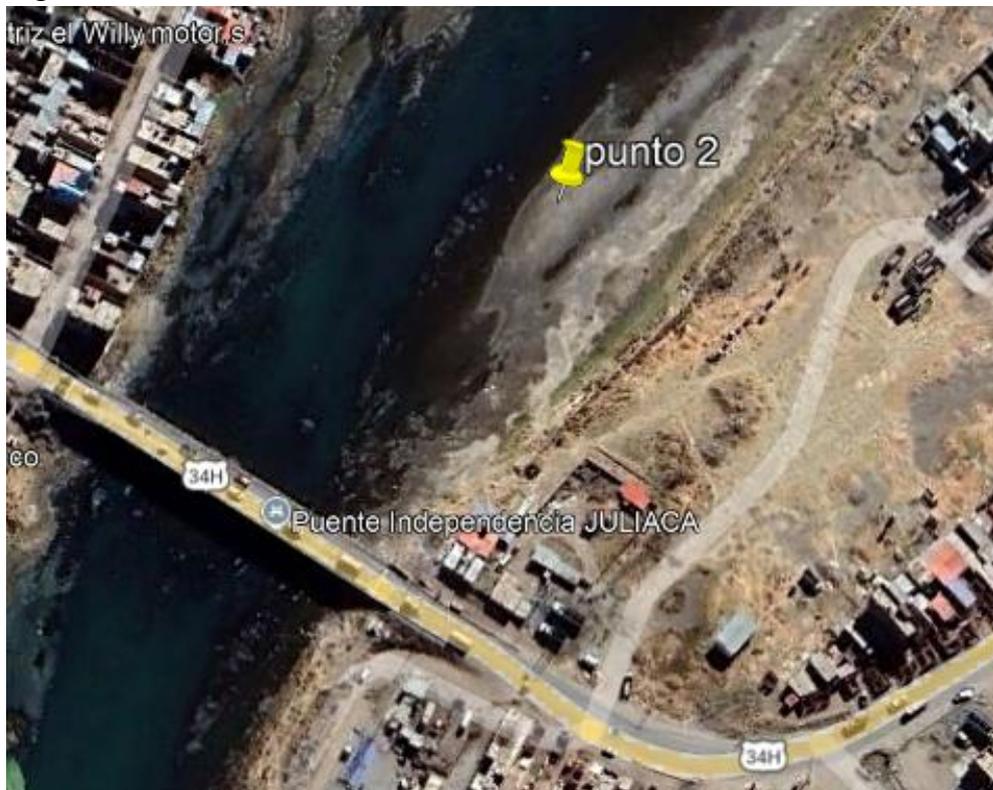


Figura 3: Rio Coata



2.2. Método:

2.2.1. Preparación del equipo:

La preparación del equipo consiste en asegurarse de que los instrumentos o equipos a utilizar estén calibrados correctamente, de acuerdo con el manual de instrucciones y lavar antes los materiales con agua destilada para eliminar residuos o contaminantes.

2.2.2. Conductividad Eléctrica:

La conductividad eléctrica del agua, que mide la capacidad de las sales inorgánicas disueltas para transportar corriente eléctrica, se determinó utilizando el método 2510 B del APHA, AWWA, WPFC. Para esta medición se empleó un conductímetro Hanna HQ40d – multi.

2.2.3. Oxígeno Disuelto:

La concentración de oxígeno disuelto en el agua se evaluó utilizando el mismo equipo de conductividad, el Hanna HQ40d – multi, siguiendo el método del electrodo de membrana 4500-O G del APHA, AWWA. Esta técnica permite determinar la cantidad de oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

2.2.4. Turbiedad:

La turbiedad, que refleja la capacidad de una muestra de agua para absorber o dispersar la luz debido a la presencia de partículas en suspensión, se midió con un turbidímetro Hanna (TB1 - VELP), siguiendo el método de turbidímetro. Este parámetro es crucial para entender la presencia de partículas como arcilla y limo en el agua.

2.2.5. Potencial de Hidrógeno (pH):

El pH del agua, indicador de la actividad del ion hidrógeno y su efecto en las propiedades químicas y biológicas, se determinó utilizando un pH-metro Milwaukee (Mi 150), según el método 4500-H+ del APHA, AWWA, WPFC. Esta medición es esencial para conocer la acidez o alcalinidad del agua.

2.2.6. Temperatura

La temperatura del agua se midió directamente en el sitio con la sonda metálica del pHmetro Milwaukee (Mi 150), conforme al método 2550B del APHA, AWWA, WPFC. Este parámetro es fundamental en el monitoreo de aguas, ya que influye en la variación de otros parámetros fisicoquímicos.

2.2.7. Hierro:

Utilizamos el equipo portátil DR 900 de Hach que utiliza el método colorímetro, El monitoreo del hierro es crucial porque permite: Identificar fuentes de contaminación metálica.

3. RESULTADOS

Tabla 2:

Resultados fisicoquímicos y inorgánico de los 3 ríos (Ramis, Coata y Macari) y Comparación con el ECA Categoría 1: Poblacional y Recreacional (A1)

Parámetros	Río Ramis	Río Coata	Río Macarí	ECA Categoría 1: Poblacional y Recreacional (A1)
Potencial de Hidrógeno (pH)	8.10	7.4	7.64	6,5 – 8,5
Temperatura	16.3 C°	16.2	9.58	Δ 3
Conductividad eléctrica	412 (μS/cm)	504 (μS/cm)	966.34 (μS/cm)	1500 (μS/cm)
Oxígeno Disuelto	6.24 mg/L	6.39 mg/L	4.29 mg/L	≥ 6
Turbidez	250 NTU	20 NTU	5.54 NTU	5 NTU
Hierro (Fe)	1.58 mg/L	0.48 mg/L	0.33 mg/L	0.3 mg/L

3.1. Interpretación de los resultados

Los parámetros de pH y conductividad reflejaron condiciones relativamente benignas. En los tres ríos el pH (8.10 en Ramis, 7.40 en Coata, 7.64 en Macari) se mantuvo dentro del rango permitido de 6.5–8.5 para uso poblacional y recreacional, por lo que no hubo indicios de acidez/alcalinidad perjudiciales. De forma similar, la conductividad eléctrica (412–966 μS/cm) estuvo por debajo del límite de 1 500 μS/cm, indicando una carga de sales disueltas moderada. En cuanto a temperatura, Ramis y Coata (~16.3°C) superan en unos 6–7°C la temperatura más baja de Macari (9.6°C). Este incremento de más de 3°C excedería el criterio del ECA (Δ3°C), lo que podría disminuir la solubilidad del oxígeno en Ramis y Coata, aunque en general la variación no plantea problemas normativos mayores. En resumen, pH y conductividad no comprometieron la aptitud del agua según los estándares básicos.

Por otro lado, el oxígeno disuelto (OD) alcanzó 6.24 mg/L en Ramis y 6.39 mg/L en Coata, cumpliendo apenas el umbral mínimo de 6 mg/L exigido por la ECA Categoría 1. Sin embargo, Macari registró sólo 4.29 mg/L, claramente por debajo del límite. Concentraciones de OD inferiores a ~5 mg/L se consideran estresantes para la vida acuática, y niveles por debajo de 1–2 mg/L pueden causar mortandades masivas de peces. La baja concentración de O₂ en Macari, a pesar de ser el río menos impactado, sugiere falta de aireación natural (por ejemplo, poca turbulencia o temperatura baja) o influencias locales que agotan el oxígeno. Estos valores indican que en condiciones actuales el río Macari podría no sustentar fauna acuática sensible sin procesos de reoxigenación.

El parámetro más crítico fue la **turbidez**. Ramis presentó 250 NTU, Coata 20 NTU y Macari 5.54 NTU, todos notablemente por encima del límite de 5 NTU. Niveles tan altos evidencian una carga masiva de sólidos en

suspensión (sedimentos, arcillas, materia orgánica) en particular en Ramis. Según la OMS y estándares internacionales, la turbidez del agua potable no debe superar 5 NTU, pues valores mayores reducen la transparencia, obstruyen las branquias de los peces y dificultan la desinfección del agua. De igual modo, para uso recreacional se recomienda turbidez muy baja para garantizar la seguridad sanitaria. En este caso, la turbidez extrema de Ramis (50 veces el límite) y su alta en Coata revelan contaminación severa, muy por encima de las condiciones deseables. Macari, aunque relativamente baja, igualmente supera por poco la norma. En consecuencia, todos los cursos requieren tratamiento de filtración o decantación para cumplir los estándares de turbidez.

Finalmente, el contenido de **hierro** total excedió el valor guía de 0.3 mg/L en los tres ríos. Se midieron 1.58 mg/L en Ramis, 0.48 mg/L en Coata y 0.33 mg/L en Macari, todos por encima del límite de la ECA y de la OMS. La recomendación mundial de 0.3 mg/L de hierro en agua potable se supera aquí, especialmente en Ramis. Concentraciones elevadas de hierro inducen coloración rojiza o turbia del agua y sabor metálico, además de depositar óxidos que pueden obstruir tuberías. Aunque estos niveles no son tóxicos agudos, su ingestión prolongada puede causar problemas gastrointestinales (náuseas, vómitos) y a largo plazo acumulación excesiva en órganos (hemocromatosis). Así, Ramis mostró contaminación ferruginosa crítica, Coata moderada y Macari apenas excede la norma.

En conjunto, los resultados sitúan al río Macari con la mejor calidad relativa (menores turbidez y hierro), seguido por Coata con contaminación intermedia, mientras que el río Ramis fue el más degradado. No obstante, ninguno de los tres cumple todos los criterios de la ECA Cat. 1: por ejemplo, Macari, a pesar de ser el “mejor”, falló en oxígeno disuelto y marginalmente en turbidez. Esto implica que en la práctica las aguas de las tres cuencas requieren tratamiento antes de cualquier uso poblacional.

4. DISCUSIÓN

La evaluación de la calidad del agua superficial en los ríos Macari, Coata y Ramis, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y su comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 1 (uso poblacional y recreacional), revela un gradiente de impacto antrópico que se correlaciona con la calidad del agua observada.

El Río Macari exhibió la mejor calidad relativa entre los tres cuerpos hídricos. Si bien sus valores de pH (7.64), temperatura (9.58 °C) y conductividad eléctrica (966.34 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se encuentran dentro de los límites normativos, y su turbidez (5.54 NTU) y concentración de hierro (0.33 mg/L) son los más bajos registrados en el estudio, es crucial señalar que estos dos últimos parámetros superan ligeramente el límite establecido por el ECA (5 NTU y 0.3 mg/L, respectivamente). Además, la concentración de oxígeno disuelto (4.29 mg/L) en el río Macari se sitúa por debajo del mínimo de 6 mg/L requerido por la normativa. Esta condición sugiere una posible contaminación orgánica o una aireación insuficiente, lo que, a pesar de su calidad superior en otros aspectos, implica que el agua del río Macari no es directamente apta para consumo humano sin un tratamiento previo que aborde específicamente el oxígeno disuelto, la turbidez y el hierro residual.

El Río Coata presentó una calidad intermedia. Sus parámetros de pH (7.4), temperatura (16.2 °C) y oxígeno disuelto (6.39 mg/L) se encontraron dentro de los rangos adecuados.

Sin embargo, la turbidez (20 NTU) y la concentración de hierro (0.48 mg/L) excedieron significativamente los límites del ECA. Estos hallazgos sugieren una contaminación remanente, probablemente atribuible a vertidos urbanos y actividades mineras diluidas en su cuenca.

El Río Ramis mostró el perfil de calidad más desfavorable, indicando un impacto antrópico severo. Se caracterizó por una turbidez extremadamente alta (250 NTU) y una concentración de hierro muy elevada (1.58 mg/L), superando ampliamente los límites normativos. Aunque su oxígeno disuelto (6.24 mg/L) cumplió con el mínimo, la magnitud de la turbidez y el hierro son indicadores de una fuerte alteración por actividades humanas, incluyendo minería (formal e informal) y descargas urbanas y agrícolas. Investigaciones previas en la cuenca del Ramis han documentado la presencia de metales contaminantes como arsénico y plomo que exceden los ECA [Cornejo-Olarte y Pacheco, 2009], lo cual es consistente con la elevada concentración de hierro y turbidez observadas en nuestro estudio.

En un contexto más amplio, los resultados de este estudio confirman un patrón recurrente en cuencas altoandinas, donde las áreas de cabecera con menor intervención humana, como el río Macari, tienden a mantener una mejor calidad del agua. Por el contrario, los tramos fluviales impactados por actividades urbanas, agrícolas y mineras, como los ríos Coata y Ramis, experimentan una degradación progresiva de su calidad, clasificándose en niveles marginales o pobres. Esta tendencia ha sido previamente reportada por Barboza-Palomino et al. (2022), quienes observaron una disminución de los índices de calidad del agua desde las cabeceras hasta las zonas urbanizadas en ríos altoandinos.

En cuanto al cumplimiento normativo, es evidente que ninguno de los tres ríos cumple plenamente con los Estándares de Calidad Ambiental Categoría 1 (A1) para uso poblacional y recreacional sin tratamiento. El río Macari, a pesar de su relativa superioridad, requiere atención en sus niveles de oxígeno disuelto, turbidez y hierro. El agua del río Coata, con su alta turbidez y niveles de hierro, no puede considerarse potable sin un tratamiento exhaustivo. El río Ramis, por su parte, presenta incumplimientos en múltiples parámetros esenciales, lo que lo hace inviable para consumo humano directo.

Las implicaciones para la salud pública son significativas. La alta turbidez en los ríos Ramis y Coata, junto con las elevadas concentraciones de metales, incrementa el riesgo de presencia de patógenos y toxinas adheridas a las partículas en suspensión. Esto no solo complica los procesos de potabilización, sino que también representa una amenaza directa para la salud humana, pudiendo causar enfermedades diarreicas y otras afecciones si el agua es ingerida sin el tratamiento adecuado.

Desde una perspectiva ambiental, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el río Macari y las elevadas cargas de sedimentos y metales en los ríos Coata y Ramis tienen efectos adversos sobre la biota acuática. La literatura científica indica que las aguas turbias pueden promover el crecimiento de algas y reducir la biodiversidad acuática, mientras que la liberación de metales pesados impacta negativamente las cadenas tróficas, generando toxicidad en organismos como los peces. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas en la región, como las de Flores-Gómez et al. (2024) en la cuenca del Titicaca, que evidencian una disminución considerable de la calidad del agua en áreas

urbanas debido al exceso de nutrientes y sedimentos. La comparación de los Índices de Calidad del Agua (ICA) en este estudio, aunque no calculados explícitamente, refuerza la conclusión de que el río Macari (con menor influencia directa) mantiene una calidad superior, mientras que el río Ramis muestra una clara degradación, en línea con los reportes de Barboza-Palomino et al. (2022) y Cornejo-Olarte y Pacheco (2009) para cuencas altoandinas.

5. CONCLUSION

El análisis de los ríos Ramis, Coata y Macari muestra que ninguno cumple completamente con los estándares ECA Categoría 1 (A1) para consumo humano debido a niveles elevados de turbidez y hierro, y un bajo oxígeno disuelto en Macari. El río Macari tiene la mejor calidad relativa, con los valores más bajos de turbidez y hierro, pero requiere tratamiento para ser seguro. Ramis es el más contaminado, probablemente por descargas urbanas y agrícolas, mientras que Coata presenta contaminación moderada. Estos resultados destacan la necesidad de intervenciones urgentes para mejorar la calidad del agua en estas cuencas.

6. RECOMENDACIONES

- **Control de contaminación:** Implementar regulaciones más estrictas sobre descargas de aguas residuales y actividades agrícolas/mineras, especialmente en el río Ramis.
- **Tratamiento del agua:** Establecer plantas de tratamiento para reducir turbidez y hierro antes del consumo humano.
- **Monitoreo continuo:** Realizar evaluaciones periódicas de la calidad del agua para detectar cambios y evaluar medidas correctivas.
- **Educación comunitaria:** Informar a las comunidades locales sobre los riesgos de consumir agua no tratada y promover prácticas seguras.
- **Restauración ecológica:** Mejorar la aeración en el río Macari mediante proyectos de restauración para aumentar el oxígeno disuelto.

7. BIBLIOGRAFIA

Barboza-Palomino, G. I., Kari-Ferro, A., Zamalloa-Puma, L. M., Mojo-Quisani, A., Barboza-Palomino, E. E., Zamalloa-Puma, M. M., Martínez-Huamán, E. L., Calla-Florez, M., & Aronés-Medina, E. G. (2022). Proposal of a Water-Quality Index for High Andean Basins: Application to the Chumbao River, Andahuaylas, Peru. *Water*, 14(4), 654. <https://doi.org/10.3390/w14040654>

CONAGUA. (2018). Manual de evaluación de la calidad del agua superficial. Comisión Nacional del Agua, México. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/manual-de-evaluacion-de-la-calidad-del-agua-superficial>

- Cornejo-Olarte, D. A., & Pacheco-Tanaka, M. E. (2009). Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno – Perú. *Revista de Investigaciones (UNAP)*, 5(4). <https://doi.org/10.26788/riepg.v5i4.13>
- Fernández-Rubio, R. (2004). Contaminación de aguas por la minería. *Ingeniería del Agua*, 11(4), 347–357. <https://www.ingenieriadelagua.es/article/view/497>
- Flores-Gómez, S., Da Costa, A. B., & Lobo, E. A. (2024). Assessment of water quality in high-pressure Peruvian anthropic sectors of Lake Titicaca using a calibrated index. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 12, 97–114. <https://doi.org/10.4236/gep.2024.128006>
- INDECI. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la actividad minera en cuencas hídricas del Perú. Instituto Nacional de Defensa Civil. <https://www.indeci.gob.pe/documentos/> (No hay link directo al informe específico, pero se consulta en la sección de publicaciones)
- Jarvie, H. P., Sharpley, A. N., Withers, P. J. A., Scott, J. T., Haggard, B. E., & Neal, C. (2006). Phosphorus mitigation to control river eutrophication: murky waters, in need of a transparent approach. *Environmental Science & Technology*, 40(16), 5293–5300. <https://doi.org/10.1021/es051593t>
- Jaramillo, L., & Restrepo, J. D. (2017). Flujos de nutrientes en cuencas andinas tropicales: impactos de la agricultura intensiva en la calidad del agua. *Revista Ambiente & Agua*, 12(3), 478–493. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1977>
- MINAM. (2021). Informe nacional sobre la calidad ambiental del recurso hídrico superficial. Ministerio del Ambiente del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2400885-informe-nacional-sobre-la-calidad-del-recurso-hidrico-superficial-2021>
- Tundisi, J. G., & Tundisi, T. M. (2012). Limnología: Fundamentos y aplicaciones. Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe – UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000218657>
- UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. <https://www.unep.org/resources/report/snapshot-worlds-water-quality-towards-global-assessment>

8. Anexos





28 mar 2025 11:36:24 a. m.
Análisis de agua en el distrito de TARACO



28 mar 2025 01:05:33 p. m.
Altitud:3912.0m
Análisis de agua en el distrito de TARACO

