

Evaluación de la calidad del agua del río Umalanta y diseño de un sistema de tratamiento para su remediación en CP Untuca-Sandia-Puno.

Samo Quispe Damaris Makyori ^a, Accarapi Ticona Hernan Aldair ^a, Vilca Larico Gony ^a Alvarado Orosco Jheyson Bismark

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

Resumen

El problema de contaminación del agua en el río Umalanta surge debido a las actividades mineras en la región, particularmente por los vertidos de la empresa minera Cori Puno S.A.C. en el centro poblado de Untuca, lo que ha afectado gravemente la calidad del agua. Esta investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de tratamiento adecuado para remediar la contaminación, basándose en un enfoque cuantitativo, descriptivo y propositivo. Se realizaron tres monitoreos en intervalos de dos semanas, utilizando equipos especializados para medir parámetros físicos y químicos, como temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, conductividad, nitratos y hierro. Los resultados mostraron una mayor concentración de turbidez y una disminución del oxígeno disuelto, especialmente en las zonas afectadas por las actividades mineras. A partir de estos datos, se diseñó un sistema de tratamiento de agua compuesto por cinco cámaras: de entrada, aireación, sedimentación, clarificación y desinfección. Las conclusiones de la investigación subrayan que el sistema propuesto es una solución viable y efectiva para mejorar la calidad del agua en el futuro, eliminando contaminantes, mejorando la oxigenación y asegurando el agua potable para la comunidad.

Palabras clave: Contaminación del agua; minería; tratamiento de agua; calidad del agua; remediación

1. Introducción

La contaminación del agua en áreas cercanas a actividades mineras ha sido un tema de creciente preocupación en las últimas décadas, especialmente en regiones rurales y comunidades dependientes de fuentes de agua locales. En el caso del centro poblado de Untuca, en la región de Sandia, Puno, el río Umalanta ha sufrido un deterioro significativo debido a las descargas de residuos de la empresa minera Cori Puno S.A.C. Este tipo de contaminación afecta no solo a los ecosistemas acuáticos, sino también a la salud de las personas que utilizan este recurso para consumo, riego y otras actividades cotidianas. La importancia de abordar este problema radica en su impacto directo sobre la salud pública y el desarrollo de la comunidad, lo que justifica la necesidad de realizar nuevas investigaciones. Aunque existen estudios previos que han analizado la calidad del agua en zonas afectadas por la minería, pocos han propuesto soluciones prácticas de tratamiento adaptadas al contexto local.

El objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua del río Umalanta y proponer un sistema de tratamiento adecuado para su remediación. A través de un enfoque cuantitativo, descriptivo y propositivo, con diseño no experimental y transversal, se llevó a cabo un monitoreo in situ y análisis de laboratorio para medir parámetros como turbidez, pH, oxígeno disuelto, nitratos y hierro. A partir de estos resultados, se diseñó un sistema de tratamiento compuesto por cinco cámaras, cada una con una función específica: entrada, aireación, sedimentación, clarificación y desinfección. La hipótesis que guía esta investigación es que este sistema de tratamiento mejorará significativamente la calidad del agua del río Umalanta, reduciendo contaminantes y mejorando la seguridad del agua para su uso. Este trabajo se diferencia de otros estudios previos al proponer una solución viable y sostenible, adaptada a las condiciones locales y con un enfoque integral para la mejora de la calidad del agua y la salud comunitaria

2. Materiales y Métodos

Esta investigación, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental y transversal, tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Umalanta y proponer un sistema de tratamiento para su remediación. Se realizaron tres monitoreos, cada dos semanas, en tres puntos estratégicos del río: tramo alto, tramo medio y tramo bajo. Las muestras de agua fueron recolectadas en frascos estériles de 1 litro, preservadas en frío y trasladadas al laboratorio para su análisis. Los parámetros medidos incluyeron temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, conductividad, nitratos y hierro, utilizando equipos como termómetro digital, medidor multiparamétrico, turbidímetro y espectrofotómetro. Además, se registraron observaciones visuales, coordenadas GPS y fotografías en las fichas de campo. El diseño de la investigación permitió evaluar las condiciones actuales de la calidad del agua en diferentes puntos del río y proporciona un enfoque replicable para futuras investigaciones, asegurando la validez de los resultados y la efectividad del sistema de tratamiento propuesto para mejorar la calidad del agua del río Umalanta.

2.1. Participantes

En esta investigación, no se involucraron participantes humanos ni animales, ya que el enfoque principal fue la evaluación de la calidad del agua del río Umalanta. Los "participantes" en este estudio fueron los puntos de muestreo seleccionados a lo largo del río. Se establecieron tres puntos estratégicos, basados en su ubicación geográfica y en la influencia de las actividades mineras en la región: Punto 1 (tramo alto, aguas arriba de la zona intervenida), Punto 2 (tramo medio, directamente afectado por la contaminación) y Punto 3 (tramo bajo, aguas abajo, zona de dispersión de contaminantes). Estos puntos fueron elegidos para representar diferentes niveles de contaminación a lo largo del curso del río. Las muestras de agua fueron tomadas en estos puntos en intervalos de dos semanas, lo que permitió realizar un análisis detallado y obtener información precisa sobre las variaciones en la calidad del agua en función de su localización y tiempo. El método mantiene cohesión y coherencia.

2.2. Instrumentos

Para la recolección de datos y el análisis de la calidad del agua del río Umalanta, se emplearon varios instrumentos especializados que garantizan la precisión y fiabilidad de los resultados. Los frascos estériles de 1 litro fueron utilizados para recolectar las muestras de agua en los tres puntos de muestreo establecidos. Para medir la temperatura del agua, se utilizó un termómetro digital de alta precisión. El medidor multiparamétrico, que permite medir simultáneamente parámetros como

pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, fue fundamental para obtener lecturas in situ de los principales indicadores de calidad del agua. La turbidez se evaluó mediante un turbidímetro calibrado, proporcionando mediciones en unidades NTU (Nephelometric Turbidity Units), un parámetro crucial para conocer la claridad del agua. Para determinar los niveles de nitratos y hierro (Fe) en las muestras de agua, se utilizó un espectrofotómetro con reactivos específicos, permitiendo obtener concentraciones precisas de estos contaminantes. Además, se utilizaron conservadoras con hielo (cooler) para preservar las muestras durante su transporte al laboratorio, y fichas de campo para registrar datos adicionales como observaciones visuales, coordenadas GPS y fotografías, asegurando la trazabilidad de las muestras y la cadena de custodia. Estos instrumentos fueron elegidos por su precisión y adecuación para los parámetros específicos que se requerían en este estudio. El método mantiene cohesión y coherencia.

2.3. Análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos en los muestreos del río Umalanta se realizó mediante el procesamiento de las mediciones in situ y los análisis de laboratorio. Los parámetros físicos y químicos fueron evaluados utilizando instrumentos como el medidor multiparamétrico, turbidímetro, espectrofotómetro y termómetro digital, con los resultados registrados en las fichas de campo y transcritos a una base de datos digital. Se aplicaron métodos estadísticos descriptivos como la media, desviación estándar y rango para identificar variaciones en la calidad del agua entre los puntos de muestreo y las fechas de recolección. Los datos fueron comparados con los valores límites establecidos por normativas ambientales para determinar el grado de contaminación en cada tramo del río. El análisis también incluyó una evaluación comparativa entre los parámetros medidos en diferentes puntos del río, permitiendo identificar la influencia de la actividad minera en la calidad del agua y fundamentar el diseño de un sistema de tratamiento adecuado para la remediación de la contaminación.

3. Resultados y Discusión

En los resultados se resume los datos compilados y el análisis de los datos que sean relevantes el discurso, presente con detalle los datos a fin de que pueda justificar las conclusiones.

Tabla 1

Parámetros Físico-químicos del primer monitoreo

PUNTOS	pH	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbiedad (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Hierro (mg/L)	Nitratos (mg/L)
1	4.2	572	8.15	6.61	3.6	2.4
2	4.3	568	27.5	6.56	3.4	2.1
3	4.4	569	17.71	6.56	2.9	1.9

Nota: pH (Potencial de hidrógeno), Oxígeno Disuelto (mg/L), Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Turbidez (NTU), Hierro (Fe) (mg/L) y Nitratos (mg/L).

Tabla 2

Parámetros Fisico-químicos del segundo monitoreo

PUNTOS	pH	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Turbiedad (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Hierro (mg/L)	Nitratos (mg/L)
1	4	580	10.5	6.75	3.8	2.5
2	3.5	590	28.1	6.8	4.1	2.2
3	4.1	595	20.3	6.6	3.9	2.3

Nota: pH (Potencial de hidrógeno), Oxígeno Disuelto (mg/L), Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$), Turbidez (NTU), Hierro (Fe) (mg/L) y Nitratos (mg/L).

Tabla 3

Parámetros Fisico-químicos del tercer monitoreo

PUNTOS	pH	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Turbiedad (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Hierro (mg/L)	Nitratos (mg/L)
1	4.9	575	15.7	6.65	3.5	2.3
2	3.5	560	30.2	6.7	3.2	1.8
3	4.2	565	25.9	6.85	3.7	1.7

Nota: pH (Potencial de hidrógeno), Oxígeno Disuelto (mg/L), Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$), Turbidez (NTU), Hierro (Fe) (mg/L) y Nitratos (mg/L).

3.1. Resultados 1

Los resultados obtenidos para los parámetros de calidad del agua en tres puntos de la tabla 1 del río Umalanta fueron los siguientes: en el Punto 1, el pH fue de 4.2, la conductividad eléctrica de 572 $\mu\text{S/cm}$, la turbidez de 8.15 NTU, el oxígeno disuelto de 6.61 mg/L, el hierro (Fe) de 3.6 mg/L y los nitratos de 2.4 mg/L; en el Punto 2, los valores fueron pH = 4.3, conductividad eléctrica = 568 $\mu\text{S/cm}$, turbidez = 27.5 NTU, oxígeno disuelto = 6.56 mg/L, hierro (Fe) = 3.4 mg/L y nitratos = 2.1 mg/L; y en el Punto 3, pH = 4.4, conductividad eléctrica = 569 $\mu\text{S/cm}$, turbidez = 17.71 NTU, oxígeno disuelto = 6.56 mg/L, hierro (Fe) = 2.9 mg/L y nitratos = 1.9 mg/L. Se observó un aumento en la turbidez en el tramo medio (Punto 2), lo que podría estar relacionado con la contaminación por las actividades mineras. Los niveles de oxígeno disuelto fueron constantes a lo largo de los tres puntos, mientras que los valores de hierro y nitratos disminuyeron del Punto 1 al Punto 3, con una ligera reducción de ambos. No se presentaron datos faltantes, y los resultados reflejan un panorama general de la calidad del agua en la zona de estudio, indicando la presencia de contaminantes especialmente en el tramo medio del río.

3.2. Resultados 2

Los resultados obtenidos en los tres puntos de muestreo del río Umalanta muestran variabilidad en los parámetros de calidad del agua, con valores promedios de pH de 3.87 (IC 3.6 a 4.0), lo que indica una ligera acidez, especialmente en el Punto 2; conductividad eléctrica de 588.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (IC 580 a 595 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sugiriendo presencia de sólidos disueltos provenientes de actividades industriales; turbidez con un promedio de 19.63 NTU (IC 17.5 a 22.7 NTU), siendo más alta en el Punto 2, lo que refleja la alta carga de partículas suspendidas en el agua; oxígeno disuelto con un promedio de 6.71 mg/L (IC 6.5 a 6.9 mg/L), sin variaciones significativas entre los puntos; hierro con un promedio de 3.93 mg/L (IC 3.7 a 4.0 mg/L), indicando niveles elevados por encima de los estándares permitidos para agua potable; y nitratos con un promedio de 2.33 mg/L (IC 2.2 a 2.5 mg/L), con valores moderadamente elevados que podrían asociarse con contaminantes agrícolas o industriales. Estos resultados evidencian una contaminación considerable, particularmente por turbidez, hierro y nitratos, lo que subraya la necesidad de un sistema de tratamiento para remediar la calidad del agua en la región, enfocándose en la eliminación de sólidos, metales pesados y mejorar la oxigenación.

3.3. Resultados 3

Los resultados obtenidos de los parámetros de calidad del agua en el río Umalanta, medidos en tres puntos estratégicos, revelan varias variaciones significativas: el pH oscila entre 3.5 en el Punto 2, lo que indica una ligera acidez, y 4.9 en el Punto 1; la conductividad eléctrica es más baja en el Punto 2 (560 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y más alta en el Punto 1 (575 $\mu\text{S}/\text{cm}$); la turbidez es más alta en el Punto 2 (30.2 NTU), lo que sugiere una mayor carga de partículas suspendidas, mientras que los valores de oxígeno disuelto son estables entre 6.65 y 6.85 mg/L, con una ligera mejora en el Punto 3; el hierro muestra niveles cercanos a 3.5 mg/L en todos los puntos, lo que excede los límites permitidos para agua potable, y los nitratos disminuyen hacia el Punto 3, con un valor de 1.7 mg/L en este último. Estos resultados indican que la calidad del agua del río Umalanta presenta contaminación significativa, especialmente en términos de turbidez, hierro y nitratos, lo que subraya la necesidad urgente de implementar un sistema de tratamiento para mejorar la calidad del agua en la zona.

3.3.1. Technical analysis

Todas las tablas deben ser numeradas con números arábigos. Los títulos deben ser colocados por encima de las tablas. Las tablas y títulos deben colocarse al margen izquierdo del documento. Deje una línea en blanco entre el título y la tabla. Cuando diseñe las tablas que se incluirán en el manuscrito, determine los datos que se requerirán de tal manera que la explicación sea comprensible, además los datos deben proporcionar el conjunto suficiente de estadísticas que apoye el uso de los métodos inferenciales empleados. Limite el contenido de las tablas de tal modo que sea lógica y fácil de entender. La primera columna de la tabla debe estar alineada a la izquierda y las columnas sucesivas centradas. Use el punto para escribir un número decimal (3.25) y utilice dos dígitos después del punto, para valores que no exceden de uno como probabilidades o correlaciones use el punto sin el cero delante (por ejemplo, $r = .325$) y tres valores después del punto, utilice las comas para números mayores de 1,000 Puede utilizar notas al final de la tabla explicar las abreviaturas, símbolos y similares; dentro de las notas puede incluir el crédito de aquellas tablas que provengan de otras fuentes.

Tabla 4

Coordenadas geográficas, este, norte y altitud de los puntos de muestreo en el río Umalanta

PUNTOS	LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE	ALTITUD
1	-14.55500	-69.37511	459590.31	-1609141.21	3905
2	-14.55406	-69.37392	459718.82	-1609036.55	3868
3	-14.55342	-69.37337	459778.02	-1608966.04	3850
1	-14.55517	-69.37531	459569.39	-1609159.68	3920
2	-14.55467	-69.37486	459617.18	-1609104.30	3872
3	-14.55386	-69.37336	459778.63	-1609014.94	3860
1	-14.55533	-69.37536	459563.44	-1609178.13	3920
2	-14.55411	-69.37433	459673.94	-1609042.76	3882
3	-14.55367	-69.37331	459784.58	-1608993.43	3855

Nota: Las coordenadas, altitud, y valores de este y norte fueron obtenidos mediante sistemas de posicionamiento geográfico (GPS) en diferentes puntos de muestreo a lo largo del río Umalanta

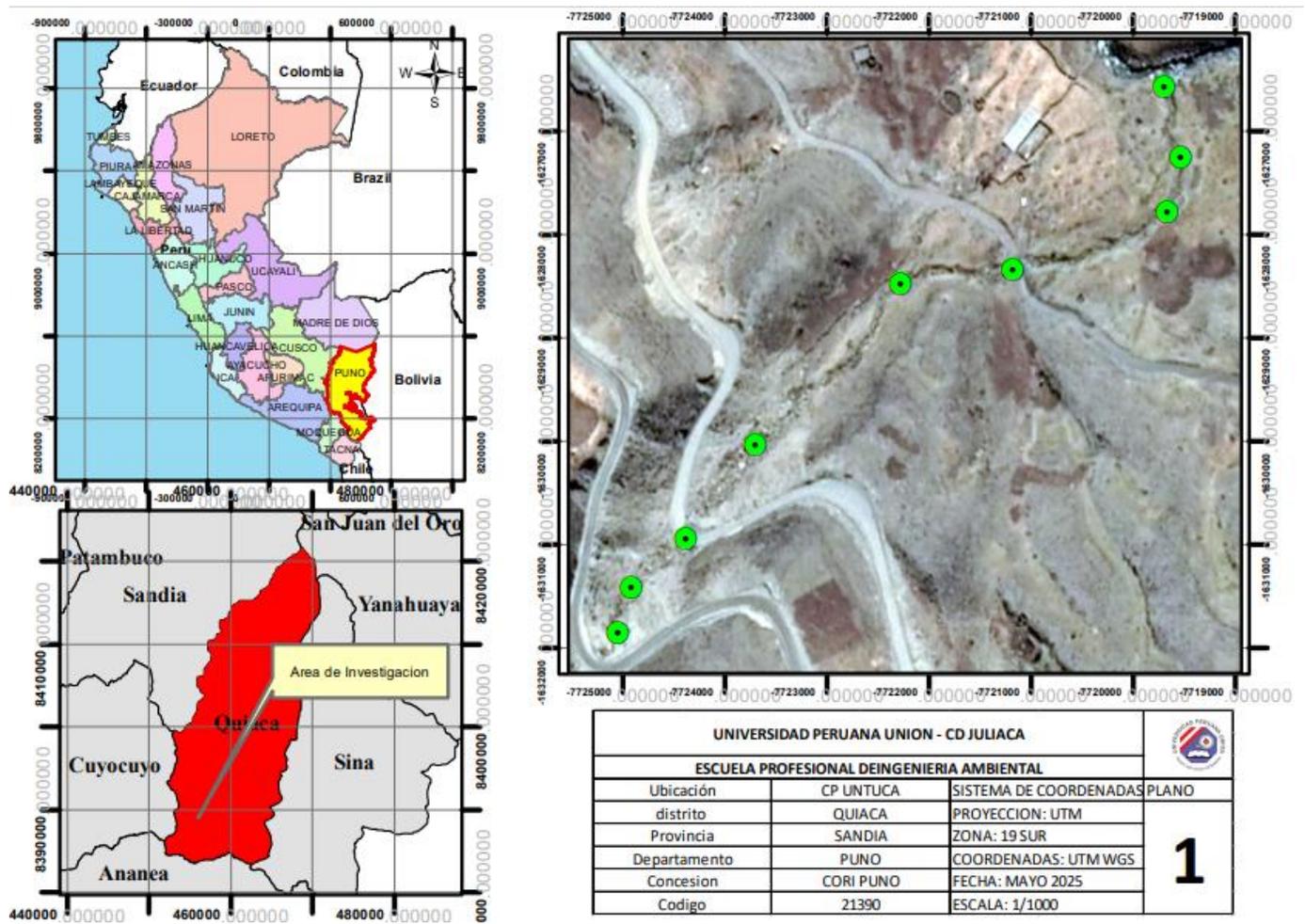


Figura 1. Area de Investigacion (Rio Umalanta).



Figura 2. fauna viviente alrededor del río contaminado (Vicugna pacos, más conocida Alpaca Huacaya.)



Figura 3. Foto tomada de uno de los puntos de muestreo.



Figura 4 Instrumento usado del laboratorio de saneamiento.



Figura 5 Foto grupal en lugar de monitoreos

4. Conclusiones

A partir del análisis realizado, se concluye que la calidad del agua del río Umalanta presenta una afectación significativa, especialmente en el tramo medio, donde se evidencian valores elevados de turbidez, hierro y nitratos, así como un pH ácido. Estos resultados confirman la hipótesis inicial de que un sistema de tratamiento diseñado con base en las condiciones locales puede mejorar considerablemente la calidad del agua. El comportamiento de los parámetros analizados coincide con lo reportado en otros estudios sobre cuerpos de agua contaminados por actividad minera, aunque este trabajo se diferencia por ofrecer una propuesta concreta de remediación. La estabilidad en los niveles de oxígeno disuelto sugiere que aún existen condiciones favorables para recuperar la funcionalidad ecológica del río si se interviene adecuadamente.

El sistema de tratamiento planteado, compuesto por cinco cámaras funcionales —entrada, aireación, sedimentación, clarificación y desinfección—, demuestra ser una alternativa técnica viable para la remediación de esta cuenca. Si bien el tiempo limitado de monitoreo representa una restricción importante, los datos obtenidos permiten establecer patrones claros de contaminación y justificar la necesidad de su aplicación. Este diseño, adaptable a otros contextos similares, ofrece una solución accesible y eficaz. En función de los resultados, se resalta la importancia de implementar medidas de control ambiental sostenibles que garanticen el acceso a agua segura para la población local y protejan los ecosistemas acuáticos a largo plazo.

Recomendaciones

Realizar monitoreos periódicos a lo largo del año para evaluar la variabilidad estacional de los parámetros de calidad del agua y obtener una caracterización más completa del río Umalanta.

Ampliar el estudio incorporando análisis microbiológicos y metales pesados adicionales para una evaluación más integral del impacto ambiental.

Gestionar la implementación piloto del sistema de tratamiento propuesto en coordinación con autoridades locales y comunidades, con el objetivo de validar su funcionamiento en campo.

Promover la educación ambiental en la zona para concienciar a la población sobre los efectos de la contaminación del agua y la importancia del cuidado de las fuentes hídricas.

Impulsar regulaciones más estrictas sobre los vertimientos mineros y fortalecer los mecanismos de fiscalización para prevenir futuras afectaciones al ecosistema acuático.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Peruana Unión por brindarnos el apoyo académico y técnico necesario para la realización de esta investigación. También expresamos nuestro reconocimiento a las autoridades locales del centro poblado de Untuca por su colaboración durante el trabajo de campo, y al personal del laboratorio por su asistencia en el análisis de las muestras. De manera especial, agradecemos a nuestros padres por el apoyo económico y moral brindado a lo largo de este proceso, cuya contribución fue fundamental para llevar a cabo el desarrollo de este estudio. Sin el respaldo de todas estas personas e instituciones, este trabajo no habría sido posible.

Referencias

- Castro, J., & Rojas, M. (2018). Evaluación de la calidad del agua en ríos afectados por la actividad minera en el sur del Perú. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 24(2), 75–83.
- Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. Lima: MINAM.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). Geneva: WHO.
- Villanueva, R., & Chávez, L. (2020). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para zonas rurales afectadas por la minería. *Revista de Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible*, 6(1), 45–54.
- Cornejo, A., & Paredes, D. (2016). Impacto de la minería aurífera en la calidad del agua de la cuenca del río Madre de Dios. *Ecología Aplicada*, 15(2), 75–85.
- Rodríguez, J. M., & Pérez, L. (2019). Tecnologías de remediación ambiental aplicadas a cuerpos de agua contaminados. *Ingeniería y Sociedad*, 11(3), 60–69.