

Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen II-N°4 Abril 2026

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Perú

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

La aplicación de la biorremediación en la contaminación de las aguas residuales del lago Titicaca

Srta. Anjali Greta Asque Huaraca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: anjali.asqueh@unmsm.edu.pe

Sr. Cristopher Jesús Baca Ruiz
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: Cristopher.bacar@unmsm.edu.pe

Sr. Jhack Leodan Silva Gálvez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jhack.silvag@unmsm.edu.pe

Srta. Edyd Franchesca Sosa Palma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: edyd.sosap@unmsm.edu.pe

Sr. Diego Turpo Quispe,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: diego.turpoq@unmsm.edu.pe

Resumen: El lago Titicaca enfrenta un proceso progresivo de degradación ambiental asociado al vertimiento de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, actividad minera y acumulación de residuos sólidos, factores que afectan la biodiversidad, la salud pública y los servicios ecosistémicos de la cuenca. En este contexto, la biorremediación constituye una alternativa sostenible para disminuir la carga contaminante mediante el empleo de microorganismos, plantas y enzimas capaces de degradar, inmovilizar o remover compuestos tóxicos presentes en el agua. El objetivo del presente artículo es explicar la aplicación de la biorremediación en la contaminación de las aguas residuales del lago Titicaca a partir de una revisión de literatura científica, documentos institucionales y experiencias comparadas. Los resultados revisados muestran experiencias favorables en la remoción de nutrientes, metales pesados, hidrocarburos y carga bacteriológica mediante microalgas, humedales artificiales, bioaumentación y consorcios microbianos. Asimismo, se identifican iniciativas públicas y binacionales para la recuperación del lago, aunque persisten limitaciones de gestión, infraestructura y monitoreo. Se concluye que la biorremediación representa una alternativa viable y complementaria al saneamiento convencional, siempre que se adapte a las condiciones ecológicas del altiplano, se articule con políticas públicas y cuente con participación comunitaria.

Palabras clave: Biorremediación/ Lago Titicaca/ Aguas residuales/ Contaminación hídrica/ Sostenibilidad.

Abstract: Lake Titicaca is undergoing progressive environmental degradation associated with domestic wastewater discharges, agricultural runoff, mining activity, and solid waste accumulation, all of which affect biodiversity, public health, and ecosystem servi-

ces in the basin. In this context, bioremediation is a sustainable alternative for reducing pollutant loads through the use of microorganisms, plants, and enzymes capable of degrading, immobilizing, or removing toxic compounds from water. The aim of this article is to explain the application of bioremediation to wastewater pollution in Lake Titicaca through a review of scientific literature, institutional documents, and comparative experiences. The reviewed findings show favorable results in the removal of nutrients, heavy metals, hydrocarbons, and bacterial loads through microalgae, constructed wetlands, bioaugmentation, and microbial consortia. Public and binational initiatives for lake recovery were also identified, although important limitations in management, infrastructure, and monitoring remain. It is concluded that bioremediation is a viable alternative that can complement conventional sanitation, provided that it is adapted to the ecological conditions of the Altiplano, linked to public policy, and supported by community participation.

Keywords: Bioremediation/ Lake Titicaca/ Wastewater/ Water pollution/ Sustainability.

Résumé : Le lac Titicaca subit une dégradation environnementale progressive liée aux rejets d'eaux usées domestiques, au ruissellement agricole, à l'activité minière et à l'accumulation de déchets solides – autant de facteurs qui affectent la biodiversité, la santé publique et les services écosystémiques du bassin versant. Dans ce contexte, la bioremédiation constitue une alternative durable pour réduire la charge polluante grâce à l'utilisation de micro-organismes, de plantes et d'enzymes capables de dégrader, d'immobiliser ou d'éliminer les composés toxiques présents dans l'eau. Cet article vise à expliquer l'application de la bioremédiation à la pollution des eaux usées du lac Titicaca, en s'appuyant sur une analyse de la littérature scientifique, des documents institutionnels et des expériences comparatives. Les résultats analysés font état d'expériences positives en matière d'élimination des nutriments, des métaux lourds, des hydrocarbures et de la charge bactérienne grâce aux microalgues, aux zones humides artificielles, à la bioaugmentation et aux consortiums microbiens. Des initiatives publiques et binationales pour la restauration du lac sont également recensées, malgré la persistance de limitations en matière de gestion, d'infrastructures et de suivi. Il est conclu que la bioremédiation représente une alternative viable et complémentaire à l'assainissement conventionnel, à condition qu'elle soit adaptée aux conditions écologiques du haut plateau, coordonnée avec les politiques publiques et qu'elle bénéficie de la participation de la communauté.

Mots-clés : Bioremédiation/ Lac Titicaca/ Eaux usées/ Pollution de l'eau/ Durabilité.

1. Introducción

El lago Titicaca, ubicado entre Perú y Bolivia, enfrenta un grave problema de contaminación hídrica que repercute negativamente en el ambiente y en la calidad de vida de las poblaciones ribereñas. El texto original recoge observaciones sobre descargas de

aguas residuales y disposición inadecuada de basura en las riberas, así como la presencia de metales pesados y carga orgánica en zonas críticas de la cuenca.

Esta situación compromete la fauna acuática, la salud humana y el equilibrio ecológico del lago. Frente a este escenario, la biorremediación se plantea como una alternativa tecnológica y ambiental que emplea organismos vivos para eliminar o reducir contaminantes en el medio.

En el manuscrito base se explica que esta estrategia puede aplicarse al tratamiento de aguas con metales pesados o aguas servidas y que su eficacia depende de la naturaleza del contaminante y de las condiciones de monitoreo y operación. Además de su menor impacto ambiental, este enfoque aprovecha procesos naturales como el catabolismo microbiano y la fitoacumulación. A partir de ello, la investigación se orienta a responder de qué manera la biorremediación puede constituir una solución efectiva y sostenible frente a la contaminación por aguas residuales en el lago Titicaca.

En concordancia con esa pregunta, el objetivo del artículo es explicar la aplicación de la biorremediación en este contexto específico a partir de la revisión de literatura científica, documentos institucionales y experiencias comparadas.

2. Material y métodos

El presente trabajo corresponde a una revisión bibliográfica de carácter descriptivo y analítico sobre la aplicación de la biorremediación en cuerpos de agua, con énfasis en el lago Titicaca.

El manuscrito base se elaboró a partir de artículos científicos, informes institucionales, documentos técnicos y notas periodísticas especializadas consignadas en la lista de referencias del texto original.

Para la organización del contenido se identificaron cinco ejes temáticos: contexto ambiental del lago Titicaca, fundamentos de la biorremediación, aplicaciones en cuerpos de agua, proyectos e iniciativas en la cuenca e implementación sostenible de esta tecnología.

Posteriormente, estos ejes fueron reorganizados conforme al formato exigido por la revista Ciencias e Ingeniería, cuyo cuerpo del artículo debe presentarse con las secciones Introducción, material y métodos, resultados, discusión, agradecimiento, conclusiones y literatura citada.

3. Resultados

Contexto ambiental del lago Titicaca

El lago Titicaca se localiza a 3810 m s. n. m. y constituye uno de los cuerpos de agua dulce más relevantes de América del Sur, compartido por Perú y Bolivia.

Según el texto original, posee una superficie aproximada de 8372 km², con 56 % en territorio peruano y 44 % en territorio boliviano, y recibe aportes de más de 25 ríos, entre ellos Ramis, Coata, Suches e llave.

Sus condiciones altiplánicas favorecen la retención de contaminantes, ya que más del 90 % del agua que ingresa se pierde por evaporación.

El artículo base también señala una disminución de las precipitaciones en los últimos años, lo que ha afectado la capacidad de dilución del lago y ha intensificado la concentración de contaminantes.

Entre las principales fuentes de contaminación se mencionan las descargas de aguas residuales no tratadas, el vertimiento de residuos sólidos, la escorrentía agrícola y las actividades mineras.

La eutrofización, la presencia de coliformes fecales y los altos valores de DBO5 en sectores como Yunguyo y Desaguadero evidencian el deterioro de la calidad del agua.

Fundamentos de la biorremediación

La biorremediación es presentada en el manuscrito como un proceso biotecnológico que utiliza microorganismos vivos para atenuar la contaminación en agua, suelo o aire.

El texto distingue entre modalidades in situ y ex situ, dependiendo de si el tratamiento se realiza en el lugar afectado o en condiciones controladas fuera del sitio.

También se destaca qué bacterias y hongos cumplen un papel central por su alta capacidad metabólica.

Entre los mecanismos mencionados figuran la mineralización, que transforma compuestos orgánicos en sustancias inocuas mediante reacciones enzimáticas, y la inmovilización, que incluye bioacumulación y biosorción de sustancias tóxicas o metales pesados.

Asimismo, se explica que ciertos microorganismos pueden actuar en condiciones anaeróbicas mediante procesos de dehalogenación reductiva, mientras otros operan en presencia de oxígeno degradando materia orgánica y favoreciendo la remoción de contaminantes.

En términos comparativos, el manuscrito resalta el menor costo y el menor impacto ambiental de esta estrategia frente a tratamientos fisicoquímicos convencionales.

Aplicaciones en cuerpos de agua

El texto original recoge experiencias nacionales e internacionales que muestran resultados positivos del uso de la biorremediación en ambientes acuáticos contaminados.

En el ámbito peruano, se menciona la reducción de contaminación bacteriológica en el río Chili mediante el uso de plantas en aguas residuales, mientras que a nivel internacional se reportan mejoras en parámetros como DBO5, turbidez, oxígeno disuelto y presencia bacteriana en experiencias aplicadas en otros contextos.

Del mismo modo, se presentan avances biotecnológicos como los modelos metabólicos a escala genómica, los consorcios microbianos y la bioaumentación, orientados a optimizar la remoción de hidrocarburos, compuestos orgánicos tóxicos y metales pesados.

El manuscrito indica además que variables como pH, temperatura, oxígeno y nitrógeno condicionan el rendimiento de los procesos biorremediadores, por lo que su control resulta esencial para lograr una degradación eficaz.

Proyectos e iniciativas en el lago Titicaca

En el caso del lago Titicaca, el documento base describe diversas acciones impulsadas por instituciones públicas peruanas y organismos binacionales con el fin de mitigar la contaminación de la cuenca.

Entre ellas se mencionan planes de acción para la recuperación ambiental, identificación de múltiples focos contaminantes, monitoreo hidrológico en tiempo real y experiencias piloto con humedales artificiales y tecnologías de remoción apoyadas en biorremediación.

No obstante, el mismo texto destaca que los resultados han sido limitados debido a problemas de gestión, insuficiencia de infraestructura sanitaria y persistencia de vertimientos contaminantes.

También se subraya que la complejidad geográfica y ecológica del lago, así como la ausencia de plantas de tratamiento adecuadas en ciudades de alta presión demográfica, dificultan la implementación de soluciones a gran escala.

Implementación sostenible de la biorremediación

El manuscrito sostiene que la biorremediación puede contribuir al desarrollo sostenible porque permite recuperar ambientes degradados con bajo impacto ecológico y costos relativamente menores.

Se destacan especies vegetales y microalgas como *Chlorella vulgaris*, además de biorreactores y humedales construidos, como alternativas con capacidad para remover nutrientes y metales pesados en aguas contaminadas.

En esta línea, se plantea que la adopción de tecnologías basadas en procesos biológicos puede alinearse con objetivos de sostenibilidad vinculados al agua limpia, la protección de ecosistemas y la salud pública.

El texto resalta que el valor de estas estrategias depende de su adecuación a las condiciones locales y del fortalecimiento de la investigación científica aplicada.

4. Discusión

La revisión muestra que la biorremediación posee un potencial considerable para complementar las estrategias de recuperación ambiental del lago Titicaca, especialmente en contextos donde los sistemas convencionales de saneamiento son insuficientes o presentan limitaciones de cobertura.

Las experiencias comparadas citadas en el manuscrito sugieren que la combinación de microorganismos, plantas acuáticas, humedales artificiales y bioaumentación pueden producir mejoras significativas en la calidad del agua cuando existe un diseño técnico adecuado.

Sin embargo, el caso del lago Titicaca exige cautela al extrapolar resultados, ya que intervienen factores como altitud, variabilidad climática, carga contaminante, condiciones fisicoquímicas del agua y capacidades institucionales de monitoreo.

Por ello, la biorremediación no debe entenderse como sustituto único del saneamiento, sino como parte de un enfoque integral que incluya tratamiento de aguas residuales, fiscalización ambiental, inversión pública transparente y participación comunitaria.

Asimismo, la evidencia reunida en el manuscrito indica que uno de los mayores desafíos no reside solo en la disponibilidad de tecnologías, sino en la continuidad de las políticas, la coordinación binacional y la ejecución eficiente de proyectos.

En ese sentido, la sostenibilidad de cualquier intervención depende de articular la innovación biotecnológica con gobernanza ambiental y educación ciudadana.

5. Agradecimiento

Se agradece a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a la Facultad de Química e Ingeniería Química y al curso Redacción y técnicas de comunicación I por el espacio académico que hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

6. Conclusiones

La biorremediación constituye una alternativa viable y sostenible para contribuir a la recuperación ambiental del lago Titicaca frente a la contaminación por aguas residuales, metales pesados y otras fuentes antrópicas de deterioro.

Su principal fortaleza radica en el aprovechamiento de procesos biológicos naturales con menor impacto ambiental y costos relativamente accesibles en comparación con tratamientos fisicoquímicos tradicionales.

No obstante, su aplicación efectiva a gran escala requiere adaptar las tecnologías a las condiciones ecológicas del altiplano, fortalecer la infraestructura de saneamiento, asegurar monitoreo permanente y mejorar la gestión de los proyectos públicos.

La evidencia revisada permite afirmar que la recuperación del lago demanda una estrategia integral que combine ciencia, tecnología, políticas públicas y participación social entre Perú y Bolivia.

7. Literatura citada

- AUTORIDAD BINACIONAL AUTÓNOMA DEL SISTEMA HÍDRICO DEL LAGO TITICACA, RÍO DESAGUADERO, LAGO POOPÓ, SALAR DE COIPASA. (2023, 2 DE FEBRERO). INFORME DE VIAJE EUROSOCIAL. [HTTPS://ALT-PERUBOLIVIA.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2023/03/01_INFORME-VIAJE-EUROSOCIAL.PDF](https://alt-perubolivia.org/wp-content/uploads/2023/03/01_INFORME-VIAJE-EUROSOCIAL.PDF)
- BRETTFELD, E. G., CHEOFA, O. A., CONSTANTINESCU, D. A., & OANCEA, F. (2023). BIOAUGMENTATION PERFORMANCE OF A BACTERIAL CONSORTIUM FOR MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR) TREATING MUNICIPAL WASTEWATER. *CHEMISTRY PROCEEDINGS*, 13(1), 29. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/CHEMPROC2023013029](https://doi.org/10.3390/CHEMPROC2023013029)
- CÁNEPA, A. C., DE LA CRUZ, C. L., & LOZANO, C. L. (2024). EFECTO BIORREMIADOR DE LOS HONGOS FILAMENTOSOS DE CITRUS X SINENSIS EN SUELO CONTAMINADO CON GASOLINA, LIMA-2022. *THE BIOLOGIST*, 22(2), 171–178. [HTTPS://DOI.ORG/10.62430/RTB20242221824](https://doi.org/10.62430/RTB20242221824)
- DAMAS RAMOS, L. C., SALAZAR GARCÍA, L. M., & LICONA-CASSANI, C. (2021). GENOME-SCALE METABOLIC MODELING FOR THE DEVELOPMENT OF RATIONAL STRATEGIES APPLIED TO BIOREMEDIATION. *REVISTA BIOTECNOLOGÍA*, 25(3), 10–24. [HTTPS://SMBB.MX/WP-CONTENT/UPLOADS/2021/11/DAMAS-ET-AL.-2021.PDF](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/11/DAMAS-ET-AL.-2021.PDF)
- GARZÓN, J. M., RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. P., & HERNÁNDEZ-GÓMEZ, C. (2018). APORTE DE LA BIORREMIACIÓN PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE. *REVISTA U.D.C.A ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA*. [HTTPS://REVISTAS.UDENAR.EDU.CO/INDEX.PHP/USALUD/ARTICLE/DOWNLOAD/3120/HTML](https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/download/3120/html)
- GONZÁLEZ MORA, I. D., & RÍOS PATRÓN, E. (Eds.). (2023, ABRIL–JUNIO). EXPERIENCIAS EN LA RESTAURACIÓN Y RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA. *IMPLUVIUM*, 9(23). [HTTPS://WWW.AGUA.UNAM.MX/ASSETS/PDFS/IMPLUVIUM/NUMERO23.PDF](https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero23.pdf)
- HERNÁNDEZ-RUIZ, G. M., ÁLVAREZ-OROZCO, N. A., & RÍOS-OSORIO, L. A. (2016). BIORREMIACIÓN DE ORGANOFOSFORADOS POR HONGOS Y BACTERIAS EN SUELOS AGRÍCOLAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA. *CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA*, 18(1), 139–159. [HTTPS://DOI.ORG/10.21930/RCTA.VOL18_NUM1_ART:564](https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL18_NUM1_ART:564)
- JONES, J. L., JENKINS, R. O., & HARRIS, P. I. (2018). EXTENDING THE GEOGRAPHICAL SCOPE OF WATER HYACINTH FOR HEAVY METAL REMOVAL FROM A TEMPERATE NORTHERN HEMISPHERE RIVER. *SCIENTIFIC REPORTS*, 8, 11071. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41598-018-29387-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-29387-6)

- KHAN, M. A., GANI, K. M., & KAZMI, A. A. (2019). RAPID GRANULATION OF AEROBIC GRANULAR SLUDGE: A MINI REVIEW ON OPERATION STRATEGIES AND COMPARATIVE ANALYSIS. *BIORESOURCE TECHNOLOGY REPORTS*, 7, 100206. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BITEB.2019.100206](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100206)
- LAZZARO, X. (2016). EL OBSERVATORIO BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (OBLT). *BOREA*. [HTTPS://BOREA.MNHN.FR/SITES/DEFAULT/FILES/FICHIERS-EQUIPES/OBLT-EJE%20TRANSVERSAL-BOREA.PDF](https://borea.mnhn.fr/sites/default/files/fichiers-equipements/OBLT-EJE%20TRANSVERSAL-BOREA.PDF)
- MENDOZA, I. F., ORTEGA, L. D. M., AGREDO, J. J. C., RODRÍGUEZ, V. S., CONTRERAS, L. M., & LEYVA, J. B. M. (2025). BACTERIA WITH POTENTIAL USE IN THE BIOREMEDIATION OF WATER CONTAMINATED WITH PESTICIDES: A SYSTEMATIC REVIEW AND SCIENTOMETRIC ANALYSIS. *REVISTA BIO CIENCIAS*. [HTTPS://DOI.ORG/10.15741/REVBIO.12.E1804](https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1804)
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2019). MINAM PRESENTA PROPUESTA DE PLAN DE ACCIÓN PARA LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN DEL LAGO TITICACA 2020-2024. [HTTPS://WWW.GOB.PE/INSTITUCION/MINAM/NOTICIAS/70818-MINAM-PRESENTA-PROPUESTA-DE-PLAN-DE-ACCION-PARA-LA-PREVEN-CION-Y-RECUPERACION-DEL-LAGO-TITICACA-2020-2024](https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/70818-minam-presenta-propuesta-de-plan-de-accion-para-la-prevencion-y-recuperacion-del-lago-titicaca-2020-2024)
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2020). PLAN DE ACCIÓN PARA LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA 2020–2024. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. [HTTPS://SINIA.MINAM.GOB.PE/SITES/DEFAULT/FILES/SIAR-PUNO/ARCHIVOS/PUBLIC/DOCS/PLAN_TITICACA_DE_ACCION_TITICACA_2020-2024_APROBADO.PDF](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/plan_titicaca_de_accion_titicaca_2020-2024_aprobado.pdf)
- MONTENEGRO, S. P., PULIDO, S. Y., & VALLEJO, L. F. C. (2018). PRÁCTICAS DE BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS Y AGUAS. *NOTAS DE CAMPUS*, (1). [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PROFILE/SAN-DRA-MONTENEGRO-3/PUBLICATION/341199431_PRACTICAS_DE_BIORREMEDIACION_EN_SUELOS_Y_AGUAS/LINKS/5EB36A2C299BF152D6A1C080/PRACTICAS-DE-BIORREMEDIACION-EN-SUELOS-Y-AGUAS.PDF](https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Montenegro-3/publication/341199431_PRACTICAS_DE_BIORREMEDIACION_EN_SUELOS_Y_AGUAS/links/5eb36a2c299bf152d6a1c080/PRACTICAS-DE-BIORREMEDIACION-EN-SUELOS-Y-AGUAS.PDF)
- MORALES, A. (2021, 15 DE NOVIEMBRE). PUNO: AFECTADOS POR CONTAMINACIÓN DEL LAGO TITICACA REINICIAN HUELGA. *WAYKA*. [HTTPS://WAYKA.PE/PUNO-AFECTADOS-POR-CONTAMINACION-DEL-LAGO-TITICACA-REINICIAN-HUELGA/](https://wayka.pe/puno-afectados-por-contaminacion-del-lago-titicaca-reinician-huelga/)
- OME BARRERA, O., & ZAFRA MEJÍA, C. (2018). FACTORES CLAVE EN PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: UNA REVISIÓN. *REVISTA U.D.C.A ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA*, 21(2), 573–585. [HTTPS://DOI.ORG/10.31910/RUDCA.V21.N2.2018.1037](https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1037)
- ORIHUELA, R. (2023). LAGO TITICACA, LA CLOACA DE PUNO. *CONVOCA*. [HTTPS://CONVOCA.PE/INVESTIGA-CION/LAGO-TITICACA-LA-CLOACA-DE-PUNO](https://convoqa.pe/investigacion/lago-titicaca-la-cloaca-de-puno)
- ORIHUELA, R., & RIVERA, D. (2024, 17 DE JUNIO). TITICACA: CONTAMINACIÓN PERSISTE A PESAR DE MILLONARIA INVERSIÓN EN OBRAS DE SANEAMIENTO. *CONVOCA*. [HTTPS://CONVOCA.PE/AGENDA-PRO-PIA/TITICACA-CONTAMINACION-PERSISTE-PESAR-DE-MILLONARIA-INVERSION-EN-OB-RAS-DE-SANEA-MIENTO](https://convoqa.pe/agenda-propia/titicaca-contaminacion-persiste-pesar-de-millonaria-inversion-en-obras-de-saneamiento)

- RABELO FLÓREZ, L. (2023). REVISIÓN DE BACTERIAS Y HONGOS EN DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS. *REVISTA EIA*, 20(39). [HTTPS://DOI.ORG/10.24050/REIA.V20I39.1622](https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1622)
- RPP NOTICIAS. (2020, 2 DE MARZO). CONOCE A MARINO MORIKAWA, EL PERUANO QUE LIMPIA EL LAGO TITICACA. [HTTPS://RPP.PE/CAMPANAS/EVENTO/MARINO-MORIKAWA-NUUESTRO-LAGO-TITICACA-ESTA-MURIENDO-DIA-A-DIA-NOTICIA-1249039](https://rpp.pe/campanas/evento/marino-morikawa-nuestro-lago-titicaca-esta-muriendo-dia-a-dia-noticia-1249039)
- SÁNCHEZ ARAUJO, V. G., PALOMINO PASTRANA, P. A., & MALPARTIDA YAPIAS, R. J. (2021). EFICIENCIA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE TOTORA Y BERROS SOBRE EFLUENTES DE GRANJA PORCÍCOLA, PERÚ. *REVISTA ALFA*, 5(14), 192–203. [HTTPS://DOI.ORG/10.33996/REVISTAALFA.V5I14.110](https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.110)
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ. (2023, 31 DE OCTUBRE). ANÁLISIS DE DÉFICIT DE LLUVIAS EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO, PERIODOS 2022/2024. [HTTPS://CDN.WWW.GOB.PE/UPLOADS/DOCUMENT/FILE/5372016/4809481-RESUMEN-EJECUTIVO-04_INFORME-SENAMHI-DMA-DHI-DAM_DEFICIT-PUNO-31OCT2023-F.PDF](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5372016/4809481-resumen-ejecutivo-04_informe-senamhi-dma-dhi-dam_deficit-puno-31oct2023-f.pdf)
- SHAMA, E. H., & GAZI-KHAN, L. (2025). LIMITATIONS AND CHALLENGES OF BIOREMEDIATION APPROACH: ALTERNATIVE SOLUTIONS. EN A. L. SRIVASTAV, I. ZINICOVSCAIA, & L. CEPOI (EDS.), *BIOTECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT AND RESOURCE RECOVERY* (PP. 147–157). ELSEVIER. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/B978-0-443-27376-6.00023-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-443-27376-6.00023-2)
- TRENTINI, A. M., QUADRO, M. S., FERRERO, M. A., & GROPPA, M. D. (2017). BIOREMEDIATION OF WATER CONTAMINATED WITH HEAVY METALS USING *CHLORELLA VULGARIS* IMMOBILIZED IN ALGinate BEADS. *ENVIRONMENTAL POLLUTION*, 231(1), 854–862. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENVPOL.2017.08.087](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.087)
- VACA, M. (2011, 15 DE JULIO). EL LAGO TITICACA, UNA MARAVILLA CONTAMINADA. *BBC NEWS MUNDO*. [HTTPS://WWW.BBC.COM/MUNDO/NOTICIAS/2011/07/110715_BOLIVIA_CONTAMINACION_TITICACA_FP](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/07/110715_bolivia_contaminacion_titicaca_fp)
- VELA, N. G., GUAMÁN, M. B., & GONZÁLEZ, N. R. (2019). BIORREMEDIACIÓN EFICIENTE DE EFLUENTES METALÚRGICOS UTILIZANDO MICROALGAS DE LA AMAZONÍA Y LOS ANDES DEL ECUADOR. *REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*, 35(4), 917–929. [HTTPS://DOI.ORG/10.20937/RICA.2019.35.04.11](https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.11)

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. https://www.vectorizados.com/vector/12952_pez-mecanico/#google_vignette
2. https://www.rawpixel.com/image/2828388/free-illustration-png-shopping-social-media-shop?utm_medium=organic&utm_source=Pinterest
3. https://cgworld.jp/interview/images/201612_Aiming/201612_Aiming_a3.jpg
4. https://stock.adobe.com/pe/stock-photo/id/1057997516?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic&epik=djoyJnUgZ3lZbmNiTDhxUDl-ja1ZRaXEyZE1LamFrMDh4TXVrTlcmcDowJm49VkhadGJkdExMaVM-2cXV5SkZkUopyQSZoPUFBQUFBR255Tks4https://es.pinterest.com/priyankaminnu/
5. https://es.pngtree.com/freepng/cleaning-service-eco-wiper-business-logo-design-template-vector_5101197.html?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen II- N° 4 Abril 2026

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>