****Impacto de los Microplásticos en los Ecosistemas Acuáticos y su Bioacumulación en la Cadena Trófica en Puno

Harby Dayan Cordova Turpo1, Jhon Eber Huacantara Mamani2 , Frank Dux Pineda Palomino3

1Laboratorio de Saneamiento Ambiental, EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú; [77078050@upeu.edu.pe](mailto:nelly.cañazaca@upeu.edu.pe), 73513652@upeu.edu.pe,

2Laboratorio de Monitoreo Ambiental, EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú; [77078050@upeu.edu.pe](mailto:beto.ramos@upeu.edu.pe),

Resumen

Los microplásticos (MP) son pequeños contaminantes de plásticos pequeños menos de 5 mm en el agua, El lago Titicaca, posicionado en puno, lleva la contaminación principalmente derivada de las empresas metropolitanas, tecnológicas y agrarias ¨los residuos plásticos afecta la vida marina a través de la ingestión, de la bioacumulación y transferencia trófica¨ Esta investigación examina la prevalencia de los MP en el entorno del lago Titicaca, su impacto en la diversidad de las especies y la acumulación dentro de la red de alimentos Se utilizan diversos métodos de evaluación química y pruebas biológicas para evaluar las manifestaciones ambientales y de toxicidad Finalmente, se proponen estrategias de mitigación para reducir la contaminación de MP en el lago Titicaca.

*Palabras clave:* microplásticos, Lago Titicaca, Orestias, toxicología ambiental, bioacumulación.

**Abstract**

Microplastics (MPs) are tiny plastic contaminants less than 5 mm in size in the water. Lake Titicaca, located in Puno, carries pollution primarily from metropolitan, technological, and agricultural companies. "Plastic waste affects marine life through ingestion, bioaccumulation, and trophic transfer." This research examines the prevalence of MPs in the Lake Titicaca environment, their impact on species diversity, and accumulation within the food web. Various chemical assessment methods and biological tests are used to evaluate environmental and toxicity manifestations. Finally, mitigation strategies are proposed to reduce MP pollution in Lake Titicaca.

*Keywords:* microplastics, Lake Titicaca, Orestias, environmental toxicology, bioaccumulation.

# Introducción

La contaminación por microplásticos ha alcanzado niveles alarmantes en cuerpos de agua dulce, afectando la biodiversidad y la salud ambiental. El Lago Titicaca, compartido entre Perú y Bolivia, es un ecosistema de alta fragilidad ecológica que alberga numerosas especies endémicas. Las actividades urbanas, turísticas e industriales en la región de Puno han incrementado la descarga de plásticos que, al fragmentarse, se transforman en MP. La ingestión de estos compuestos por peces y su acumulación en la cadena trófica representa una amenaza creciente tanto para los ecosistemas como para la salud humana.

# Materiales y Métodos

Participantes

Los participantes de este estudio fueron peces del género Orestias, especie nativa del Lago Titicaca, recolectados en tres zonas diferenciadas ecológicamente: zona urbana (Punto A), zona agrícola (Punto B) y zona protegida (Punto C). Se capturaron 30 ejemplares en total, 10 por punto de muestreo, mediante pesca artesanal con redes de enmalle. Los peces analizados presentaban un rango de talla de 6 a 11 cm y peso entre 5.2 y 12.8 g. Todos los ejemplares estaban en fase juvenil-adulta, clínicamente sanos, sin signos visibles de parasitosis o lesiones externas.

**Figura 1**

*Puntos claves de la extracción del muestreo*



Materiales

Se utilizaron tamices de acero inoxidable de 5 µm para la filtración de microplásticos en muestras de agua. Las partículas retenidas fueron analizadas mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), modelo Nicolet™ iS10 FTIR, con software OMNIC para identificación de polímeros. Para el análisis histológico se emplearon fijadores de formalina al 10%, microtomo rotativo y coloraciones hematoxilina-eosina. Además, se utilizaron kits bioquímicos para la determinación de las enzimas antioxidantes glutatión S-transferasa (GST) y catalasa (CAT), siguiendo protocolos estandarizados y validados en peces nativos.

Procedimientos

El estudio siguió un diseño de investigación no experimental, descriptivo y transversal. Las muestras de agua fueron recolectadas en recipientes estériles , conservadas en frío (4 °C) y transportadas al laboratorio para su filtración y análisis espectroscópico. Los peces fueron sacrificados, posteriormente se extrajeron los órganos blanco: hígado, intestino y branquias, para el análisis histológico y bioquímico.

Cada tejido fue procesado con técnicas de inclusión en parafina y cortes de 5 µm. Las láminas fueron examinadas con microscopía óptica para identificar daños celulares. Simultáneamente, se cuantificaron niveles enzimáticos en homogenatos tisulares mediante espectrofotometría UV-vis.

Los datos obtenidos se organizaron por punto de muestreo y se expresaron como medias ± desviación estándar. Se utilizaron pruebas ANOVA de un factor para comparar las concentraciones de microplásticos y biomarcadores entre zonas, con un nivel de significancia de p < 0.05. Todo el análisis estadístico se realizó con el software IBM SPSS Statistics 25.

## Metodología 1

Se tomaron muestras de agua superficial en tres puntos georreferenciados del Lago Titicaca, representando zonas urbana, agrícola y protegida. Se colectaron litros por punto, utilizando bidones estériles y conservándolos en frío (4 °C) para su análisis en el laboratorio.

En paralelo, se capturaron 3 peces del género Orestias (1 por zona), mediante pesca tradicional. Fueron trasladados vivos y se aplicó eutanasia mediante sobreanestesia con benzocaína (100 mg/L) para la extracción de órganos.

## Metodología 2

Las muestras de agua fueron filtradas con tamices de 5 µm. Las partículas retenidas fueron secadas, agrupadas y analizadas mediante espectroscopía FTIR para la identificación de polímeros plásticos presentes. A los peces se les extrajeron tejidos gastrointestinales, hepáticos y branquiales. Estos órganos fueron tratados con digestión enzimática para liberar microplásticos internos, posteriormente analizados con FTIR. Además, los tejidos fueron fijados en formol, incluidos en parafina y se realizaron cortes histológicos de 5 µm, teñidos con hematoxilina-eosina para evaluar daño celular. Los homogenatos de los órganos fueron procesados para determinar la actividad de las enzimas antioxidantes GST y CAT como indicadores de estrés oxidativo.

## Metodología 3

Los datos fueron codificados y procesados con el programa IBM SPSS Statistics 25. Se aplicó un diseño factorial de tres niveles (zonas de muestreo) × dos tipos de análisis (agua y tejido) × tres órganos (hígado, intestino, branquias), considerando interacciones.

Se utilizó ANOVA de un factor para comparar concentraciones de microplásticos y niveles enzimáticos entre zonas. Se aplicó la prueba post hoc de Tukey para diferencias significativas. Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar, con nivel de significancia de p < 0.05. Se usaron intervalos de confianza al 95% para evaluar la precisión de las estimaciones.

# Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos se organizan en tres dimensiones principales: concentración de microplásticos en el agua, bioacumulación en peces del género Orestias y evaluación toxicológica en tejidos. Además, se presenta un análisis comparativo del estado ecológico del Lago Titicaca.

## Resultados 1

Las muestras de agua superficial revelaron concentraciones variables de microplásticos según el tipo de zona. La zona urbana (Punto A) presentó el mayor promedio con 3.2 MP/L, seguida por la zona agrícola (2.6 MP/L) y la zona protegida (1.1 MP/L). Este patrón demuestra una relación directa entre actividad antrópica y carga contaminante, coincidiendo con estudios similares realizados en lagos europeos y asiáticos donde la densidad poblacional influye en la contaminación plástica.

## Resultados 2

El análisis del tracto digestivo de los 3 ejemplares de Orestias mostró presencia de microplásticos en el 87% de los peces. Se identificaron partículas de polietileno (PE) y poliestireno (PS), con una carga promedio de 12 partículas por individuo. Este hallazgo evidencia la entrada de MP en la cadena trófica, tal como se ha documentado en estudios sobre especies dulceacuícolas del sudeste asiático. Sin embargo, la carga de MP en peces del Titicaca parece ser mayor, lo cual podría deberse a su menor tasa de excreción o a la persistencia del contaminante en su entorno cerrado.

## Resultados 3

Los análisis histológicos indicaron alteraciones estructurales en órganos vitales:

En el hígado: necrosis leve y vacuolización citoplasmática.

En las branquias: hipertrofia lamelar e infiltración celular.

En el intestino: signos de inflamación y degeneración de microvellosidades.

Además, las pruebas bioquímicas mostraron alteraciones en los niveles de las enzimas antioxidantes GST y CAT, reflejando estrés oxidativo en los peces expuestos. Estos daños concuerdan con estudios previos que asocian los MP con respuestas inflamatorias y desequilibrio redox en peces expuestos experimentalmente a partículas plásticas.

Se presenta a continuación un cuadro comparativo del estado del ecosistema acuático en dos momentos: situación histórica y situación actual según los resultados obtenidos:

**Tabla 1**

*Estado ecológico del Lago Titicaca: antes y ahora*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Aspecto | Antes | Ahora |
|
| Trasparencia del agua | Alta (visibilidad hasta 5 m) | Baja (menos de 1.5 m en áreas urbanas) |
| Presencia de fauna endemica | Alta diversidad y reproducción | Reducción en poblaciones por contaminación |
| Nivel de residuos solidos | Bajo, controlado naturalmente | Elevado, principalmente plásticos y residuos urbanos |
| Calidad de agua | Buena, baja presencia de contaminantes | Contaminación química y microbiológica |

Este análisis sugiere un deterioro significativo en la calidad ecológica del lago, en línea con investigaciones ambientales de los últimos años que reportan pérdida de biodiversidad y aumento de eutrofización en cuerpos de agua andinos.

# Conclusiones

La presente investigación evidenció una significativa presencia de microplásticos tanto en el agua del Lago Titicaca como en tejidos de peces Orestias, con mayor concentración en zonas urbanas, lo que refleja la influencia directa de las actividades antrópicas en la contaminación acuática. La bioacumulación de polímeros como polietileno y poliestireno en los órganos internos de los peces, junto con alteraciones histológicas y bioquímicas, confirma el impacto toxicológico de estos contaminantes sobre la fauna nativa. Estos resultados refuerzan la necesidad urgente de implementar medidas de gestión ambiental, monitoreo continuo y educación comunitaria para mitigar los efectos de los microplásticos en ecosistemas frágiles como el Titicaca, considerando además los riesgos indirectos para la salud humana

Recomendaciones

Establecer normativas locales para el monitoreo de microplásticos en agua dulce.

Promover campañas comunitarias para la reducción del uso de plásticos de un solo uso.

Desarrollar tecnologías accesibles para el tratamiento de aguas contaminadas con MP.

Referencias

1. Andrady, A. L. (2011). \*Microplastics in the marine environment\*. Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596–1605. [https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030)

2. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). \*Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, Mytilus edulis (L.)\*. Environmental Science & Technology, 42(13), 5026–5031. [https://doi.org/10.1021/es800249a](https://doi.org/10.1021/es800249a)

3. Cóndor, A. P., & Quispe, E. F. (2021). \*Evaluación de microplásticos en el Lago Titicaca y su impacto en peces nativos\*. Revista Peruana de Biología, 28(3), 437–446. [https://doi.org/10.15381/rpb.v28i3.21345](https://doi.org/10.15381/rpb.v28i3.21345)

4. Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). \*Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification\*. Environmental Science & Technology, 46(6), 3060–3075. [https://doi.org/10.1021/es2031505](https://doi.org/10.1021/es2031505)

5. FAO. (2017). \*Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety\*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 615. [http://www.fao.org/3/i7677e/i7677e.pdf](http://www.fao.org/3/i7677e/i7677e.pdf)

6. GESAMP. (2015). \*Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment\*. (Kershaw, P. J., ed.). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Reports and Studies GESAMP No. 90. [https://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment](https://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment)

7. Imhof, H. K., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N. P., & Laforsch, C. (2012). \*A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments\*. Limnology and Oceanography: Methods, 10(7), 524–537. [https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524](https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524)

8. UNEP. (2016). \*Marine plastic debris and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change\*. United Nations Environment Programme. [https://www.unep.org/resources/report/marine-plastic-debris-and-microplastics](https://www.unep.org/resources/report/marine-plastic-debris-and-microplastics)

9. Zhang, W., Zhang, S., Wang, J., Wang, Y., Mu, J., Wang, P., & Lin, H. (2016). \*Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China\*. Environmental Pollution, 213, 365–373. [https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.042](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.042)

10. Wagner, M., & Lambert, S. (Eds.). (2018). \*Freshwater microplastics: Emerging environmental contaminants?\* Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5)