

Caracterización de Microplásticos en los Recursos Hidrobiológicos del Lago Titicaca

Joshelyn Paredes Zavala^a, **Alexandra Sanchez Moreno del Castillo**^{a*}, Karen Ordoñez Rivera^b, Melanie Palo Zegarra^c

^a Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

^b Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

^c Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

* alexandrasanmor@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se han encontrado plásticos en casi todos los hábitats acuáticos del planeta, desde el océano abierto, ríos, mares, agua superficiales y también en la columna de agua e incluso en sedimentos (Lusher *et al.*, 2015); convirtiéndose en uno de los mayores problemas de calidad en los sistemas acuáticos. Los macroplásticos son fácilmente visibles y se ha demostrado sus impactos sociales, económicos y ecológicos negativos asociados (GESAMP, 2015; Raynaud, 2014). Contrario a ello, los microplásticos (MP); es decir, fragmentos de plástico menores a 5 mm, pasan desapercibidos. No obstante, sus impactos son de mayor magnitud, pese a ello, los estudios de identificación de MP en ecosistemas de agua dulce son aún escasos. Dichas partículas pueden incorporarse a la cadena alimenticia, ocasionando daño a la fauna acuática, ocasionando una gran cantidad de daños, dentro de los cuales, sobresalen los déficit energéticos a raíz del falso llenado y daños en el aparato digestivo de la biota (Pazos *et al.*, 2017; Lönnstedt & Eklöv 2016).

Uno de los lugares emblemáticos del altiplano es el Lago Titicaca, y pese a que destaca por su belleza, la gran contaminación que lo aqueja (Valderrama & Córdova, 2004) limita su potencial turístico y ecosistémico. Diversos organismos del estado han descrito la creciente problemática ambiental del lago a raíz de los residuos sólidos (MINAM, 2013; ANA, 2017), lo que supone un peligro dado que el lago posee gran diversidad, incluyendo especies endémicas como los carachis (*Orestia ssp.*) (PRODUCE, 2016).

Frente a ello, a nivel nacional e internacional se vienen realizando múltiples esfuerzos para la descontaminación y recuperación del lago, con iniciativas como el “Programa de Saneamiento del Lago Titicaca” desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Gobierno de Bolivia (BID, 2016); la “Recuperación ambiental del Lago Titicaca y su diversidad biológica” ejecutada por los Gobiernos Peruano y Boliviano (Comisión Binacional de Alto Nivel Perú-Bolivia, 2015); y el “Reto 15 – Titicaca” orientados a la reducción de la carga orgánica de 2 km del Lago Titicaca (Marino Morikawa, 2017); sin embargo ninguna de estas se ha enfocado directamente en la remoción de microplásticos.

Por lo tanto, el estudio de MP en cuerpos de agua dulce; así como su bioacumulación en la biodiversidad presente, permanecen como campos vírgenes en el país. A nivel nacional, sólo existen 3 trabajos publicados en revistas científicas y todos están orientados a ecosistemas marino - costeros (Purca & Henostroza, 2017; Ory *et al.*, 2019). Esto demuestra la urgente necesidad de direccionar esfuerzos a la presente línea de investigación. Por lo que el presente proyecto está orientado a brindar un diagnóstico acerca la contaminación del lago con

microplásticos; se buscó tomar tres puntos estratégicos para realizar muestreos de la columna de agua, empleando una botella Niskin, así como de dos especies de importancia comercial; con el fin de demostrar la existencia de microplásticos en lago.

MATERIAL Y MÉTODOS

Toma de muestras de agua y especies seleccionadas

En primer lugar, se seleccionaron las especies a estudiar, seleccionando al Carachi amarillo y al Pejerrey argentino. Posteriormente, se seleccionaron las estaciones de muestreo en base a la afluencia turística, pesca artesanal y distribución de especies, siendo las estaciones escogidas Los Uros, Amantaní y Llachón.

Para la columna de agua, se utilizó una Botella Niskin de 3L a una profundidad aproximada de 5m, el líquido contenido se depositó en un frasco hermético de vidrio, el mismo fue rotulado y almacenado en un cooler. Además se hizo la colecta de muestra de agua superficial de forma manual con ayuda de un frasco hermético de vidrio de 1L de capacidad, también almacenados en un cooler. Mientras que para las especies, se contó con ayuda de pescadores artesanales locales para la pesca de las mismas, en cada estación de muestreo, se extrajeron 5 individuos por especie, que fueron almacenados con hielo picado para mantener la cadena de frío.

Caracterización los microplásticos en especies

En primer lugar, se registró la talla de cada pez estudiado con ayuda de una regla, para, posteriormente, extraer el tracto digestivo con ayuda de un kit de disección. Cada tracto extraído fue colocado en placas petri de vidrio y estos fueron pesados. El tiempo de disección se limitó a un máximo de 10 minutos, tomando medidas contra contaminación mediante el uso de guantes, barbijo y gorro. Del mismo modo, se dispusieron dos placas petri con agua destilada en el ambiente de trabajo con el objetivo de monitorear una posible contaminación externa.

Seguidamente se procedió a aislar los microplásticos de la matriz biológica con un método químico alcalino con KOH al 10% a temperatura ambiente durante 2 a 3 semanas.

Posteriormente, se realizó el filtrado de las muestras con un tamiz de malla N°50 de 300µm, empujando los microplásticos retenidos hacia el borde del tamiz con ayuda de una pizeta con agua destilada. Finalmente, para la determinación de microplásticos, se procedió a visualizar las muestras mediante estereoscopios, para determinar la cantidad, forma y color.

Caracterización de los microplásticos en agua.

Al no encontrarse partículas que superen los 5mm, se procedió a realizar el filtrado de las muestras de agua con un tamiz de malla de acero N°50, enjuagando el tamiz con agua destilada 3 veces luego de cada. El sólido filtrado fue sometido a una separación densimétrica, incrementando la densidad del agua con una solución salina de NaCl, agregando al menos 3 veces más de solución con respecto al volumen filtrado, con el fin de formar un sobrenadante que incluyera a los microplásticos. Posterior a ello, se volvió a filtrar y se colocaron los microplásticos retenidos en placas petri de vidrio. Para la determinación de microplásticos, se procedió a visualizar las muestras contenidas en las placas petri empleando un estereoscopio, anotando la cantidad, forma y color. Además, para evitar contaminación externa, se mantuvo

tapada la placa cuando no se estaba observando, se utilizaron guantes y todos los materiales se enjuagaron con agua destilada.

RESULTADOS

Caracterización los microplásticos presentes en agua y columna de agua.

Luego del procesamiento de las muestras de agua y la identificación de los microplásticos aislados, se encontraron los siguientes resultados para el componente agua.

Tabla 1: Cantidad de mp/m³ para agua superficial y columna de agua en las zonas de estudio del Lago Titicaca

Pruebas	Agua superficial (mp/m ³)	Columna de agua (mp/m ³)
Media	175,916.6667	22,583.3433
Intervalos de confianza	± 68,137	± 10,220
Mediana	191,250.000	21,472.2300
Desviación estándar	27,428.6954	4,114.1135
U-Mann-Whitney	0.000	

Fuente: Elaboración propia en Software IBM SPSS v25.

En la Tabla 1, se puede observar la cantidad de microplásticos promedio encontrados por metro cúbico, para agua superficial y columna de agua, así como parte de la estadística descriptiva. Y a partir de las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks aplicadas, se realizó una prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney para la comparación de medianas, el cual indicó diferencia significativa entre agua superficial y columna de agua ($P < 0.05$).

Luego de realizar la identificación visual de microplásticos, con respecto a la forma de los microplásticos encontrados, se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 2: Forma de microplásticos encontrados para el componente agua en zona de estudio del Lago Titicaca

Forma	Agua superficial		Columna de agua	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Fibras	528.2501	100 %	200.2501	98.52 %
Fragmentos	-	0 %	3	1.48 %
Total	528.2501	100 %	203.2501	100 %

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados de la Tabla 2, tanto en agua superficial como en columna de agua, predominaron los microplásticos de tipo fibra con porcentajes de 100 a 98.52%, respectivamente. Y con respecto al color de los microplásticos encontrados, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 3: Color de microplásticos encontrados para el componente agua en zona de estudio del Lago Titicaca

Color	Agua superficial		Columna de agua	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Incoloro (transparente)	172.4999	32.65%	80.4999	40.20%
Rojo	94.2501	17.84%	34.2501	17.10%
Azul	117.5	22.24%	48.5	24.22%
Verde	-	-	9	4.49%
Amarillo	-	-	1	0.50%
Negro	27	5.11%	27	13.48%
T/Azul	47	8.90%	-	-
T/Verde	31	5.87%	-	-
T/Rojo	8	1.48%	-	-
T/Amarillo	31	5.87%	-	-
Total	528.2501	100 %	200.2501	100 %

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados de la Tabla 3, el color predominante de microplásticos encontrados en agua superficial y columna de agua, fue incoloro o transparente con porcentajes de 32.65 y 40.20%, respectivamente; seguido del azul y rojo.

Caracterización los microplásticos presentes en especies de importancia ecológica y comercial

En el caso de las especies, luego de realizar el aislamiento de microplásticos y el conteo de los mismos, se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 4: Cantidad de mp/individuo en las especies estudiadas

Estación de muestreo	Carachi amarillo (<i>Orestias luteus</i>)	Pejerrey argentino (<i>Odontesthes bonariensis</i>)
Media	25.4056	33.3223
Intervalo de confianza	± 6.9194	± 7.5768
Desviación estándar	12.4948	13.6819
Mínimo	7.42	10.42
Máximo	54.42	52.42
T-student	0.109	

Fuente: Elaboración propia en el Software IBM SPSS versión 25.

La Tabla 4, contiene las cantidades de microplásticos consumidos por individuo promedio para cada especie; así como parte de la estadística descriptiva. Y a partir de las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks aplicadas, se realizó la prueba paramétrica de T de Student para

comparar medias, la cual indicó una diferencia no significativa entre la concentración de microplásticos de carachi amarillo y pejerrey argentino ($P>0.05$).

Posteriormente, luego de realizar la identificación visual de microplásticos, con respecto a la forma de los microplásticos encontrados, se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 5: Forma de microplásticos encontrados en las especies estudiadas

Forma	Especies	
	Cantidad	Porcentaje
Fibras	879.9176	99.89 %
Fragmentos	1	0.11 %
Total	880.9176	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Conforme a los resultados de la Tabla 5, para especies, los microplásticos tipo fibra fueron los más abundantes, superando el 90%. Y en cuanto al color de las fibras encontradas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6: Color de microplásticos encontrados para las especies estudiadas

Color	Especies	
	Cantidad	Porcentaje
Incoloro (transparente)	374.999	38.03%
Rojo	132.0843	13.40%
Azul	226.8343	23.01%
Verde	33	3.35%
Negro	108	10.95%
T/Negro	2	0.20%
T/Rojo	3	0.30%
Total	879.9176	100 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6, se puede observar que, los microplásticos incoloros (transparentes) fueron los predominantes, seguidos de los azules y los rojos.

CONCLUSIONES

1. Se realizó de forma correcta la selección de las estaciones de muestreo, en base a las rutas turísticas y zonas de pesca; así como de las especies a estudiar que fueron una endémica y una introducida, ambas con importancia comercial. Asimismo, el muestreo

fue llevado a cabo de manera adecuada, obteniendo 6 muestras de agua y 30 muestras entre ambas especies.

2. Se identificó la presencia de microplásticos tanto en agua superficial con un promedio de $175,916.6667 \pm 68,136$ mp/m³, como en la columna de agua con un promedio de $22,583.3433 \pm 10,220$ mp/m³, siendo más abundantes en el agua superficial. Estos microplásticos tienen su origen en las aguas residuales vertidas al lago sin un tratamiento adecuado, la mala gestión de residuos sólidos; así como a partir de los aparejos de pesca utilizados por los pescadores artesanales y turistas. Además, el tipo de microplástico predominante fue el de tipo fibra transparente.
3. Se encontró microplásticos en el 100% de especímenes estudiados, con una predominancia de las fibras transparentes. Se obtuvo un promedio de 25.4056 ± 6.9194 mp/individuo para *O. luteus* y 33.3223 ± 7.5768 mp/individuo para *O. bonariensis*, siendo la estación de Uros la de mayor concentración (34.8167 ± 14.9671 mp/individuo) para *O. luteus* y la estación de Llachón (36.6167 ± 12.0831 mp/individuo) para *O. bonariensis*, demostrando que los microplásticos del lago interactúan con la biota del lago, representando un riesgo para la biota endémica, como fue el caso del *O. luteus* al encontrar una diferencia significativa en la longitud del cuerpo en la estación de Uros con respecto a las demás, después de aplicar un ANOVA seguido de una prueba de Duncan.

FINANCIAMIENTO

Fondo Semilleros de Investigación 2017

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A Lönnstedt, O. M., & Eklöv, P. (2016). Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. *Science*, 1213-1216.
2. Lusher, A. (2015). Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. En L. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (págs. 245-307). Springer.
3. ANA. (2017). Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso Lago Titicaca. Lima: ANA
4. Pazos, R., Maiztegui, T., Colautti, D., & Paracampo, A. (2017). Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary. *Marine Pollution Bulletin*.
5. GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. IMO / FAO/ UNESCO-IOC / UNIDO / WMO / IAEA / UN / UNEP / UNPD Joint Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine Environmental Protection. Kershaw, P. J.
6. MINAM. (2013). Línea Base Ambiental de la Cuenca del Lago Titicaca. Lima: Viceministerio de Gestión Ambiental. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestreo de agua.

Figura 2. Muestreo de especies.

Figura 3. Identificación de microplásticos.

Figura 4. Microplásticos identificados.