

## Ingesta de microplásticos por el cormorán oliváceo (*Nannopterum brasilianum*) en un área de crianza en Guanajuato

Ingestion of microplastics by the cormorant (*Nannopterum brasilianum*) in a breeding area in Guanajuato

Marcos David Cevada Ayala<sup>1</sup>, David Arturo Escalante López<sup>2</sup>, Dulce María Celeste González López<sup>3</sup>, Alejandrina Medina Abundes<sup>3</sup>, Juan Eduardo Montoya González<sup>3</sup>, José Ismael Salas Morales<sup>4</sup>, Juan Pablo Huchin Mian<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Química. Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

<sup>2</sup>Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo. Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

<sup>3</sup>Licenciatura en Biología Experimental. Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

<sup>4</sup>Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología. Universidad de Guanajuato Av. Ing. Barros Sierra No. 201 Ejido de Santa María del Refugio, C.P. 38140 Celaya, Gto., México.

[jp.huchin@ugto.mx](mailto:jp.huchin@ugto.mx)

### Resumen

La contaminación por residuos de plástico se ha convertido en uno de los mayores problemas a nivel global afectando todo tipo de ecosistema. Los microplásticos (MPs) son uno de los contaminantes más complejos y de difícil manejo, se definen como polímeros sintéticos con un tamaño menor a los 5 mm. El objetivo de este proyecto fue cuantificar la abundancia de MPs en muestras de alimento regurgitado por el cormorán oliváceo (*Nannopterum brasilianum*), los cuales consistieron principalmente en dos especies de pez (tilapia y tiro) y de agua superficial tomada de tres puntos estratégicos en Presa de la purísima. Se aislaron 470 MPs de todas las muestras. La mayor abundancia de MPs se encontró en las muestras de agua superficial (n=242 MPs), seguido de los tractos digestivos de los peces regurgitados por los cormoranes en donde se aislaron 228 MPs. La Presa de la Purísima ubicada en Guanajuato, Gto. es un ecosistema afectado por los MPs; por lo tanto, es necesario realizar más estudios que nos ayuden a comprender el impacto ambiental que los MPs tienen en el hábitat y tomar acciones para no llegar a un punto de no retorno.

**Palabras clave:** Agua, hábitat, presa, regurgitación.

### Introducción

Los plásticos están presentes en nuestra vida cotidiana porque lo usamos en diferentes productos como utensilios caseros, embalajes, o para transportar compras del supermercado. Estos plásticos muchas veces son desechados directamente en el medio ambiente; por lo tanto, están expuestos a los factores fisicoquímicos del entorno que puede fragmentarlos en piezas muy pequeñas llamados microplásticos (MPs). Los MPs son pequeñas partículas de plástico que miden menos de 5 mm de diámetro (Figura 1), y se ha reportado que se encuentran ampliamente distribuidos en todos los ecosistemas conocidos del planeta (Andrady, 2017). Estos diminutos plásticos pueden tener diversas fuentes, entre ellos se encuentran principalmente los efluentes domésticos e industriales, el lavado de ropa sintética que libera fibras, y la abrasión de los neumáticos de los automóviles. Otra fuente importante de entrada de MPs son los productos de cuidado personal que contienen microperlas de plástico; por ejemplo, las pastas de dientes, los exfoliantes de la piel, y el maquillaje (Cole et al., 2011).



Figura 1. Ejemplo de microplásticos en forma de filamentos y fragmentos multicolores.

Los MPs son persistentes en el medio ambiente debido a que pueden permanecer durante largos períodos de tiempo sin desaparecer (Jambeck et al., 2015). Estas partículas no se biodegradan fácilmente,

en cambio, pueden fragmentarse hacia piezas más pequeñas, los llamados nanoplasticos. En caso de ser ingeridos, los MPs representan una seria amenaza para la vida silvestre, y potencialmente, para la salud humana. Los MPs pueden ser ingeridos por una alta diversidad de organismos acuáticos y terrestres, desde pequeños invertebrados hasta peces, aves y grandes mamíferos. Esto puede conducir a problemas de salud, como daño interno, bloqueo del tracto digestivo, alteraciones hormonales, o inclusive una reducción de la capacidad reproductiva. En los últimos años ha generado preocupación en la comunidad científica la capacidad que tienen los MPs de adsorber y transportar elementos químicos como metales pesados o plaguicidas, los cuales pueden ser liberados en el tracto digestivo de los animales que los ingieren. Estos contaminantes pueden bioacumularse en la cadena alimentaria e impactar negativamente a los ecosistemas y la biodiversidad. Los MPs se han convertido en un gran problema para el medio ambiente y la salud de los seres vivos, especialmente en los ecosistemas acuáticos (Wagner et al., 2014). Las aves acuáticas se alimentan de peces y otros organismos como los macroinvertebrados. Si estos animales están contaminados con MPs pueden transferirlo al tracto digestivo de las aves, cuando son depredados, y causar diversos problemas de salud. Por ejemplo, interferir con la capacidad de absorción de nutrientes o liberar contaminantes en el sistema digestivo. La ingesta de MPs puede afectar no sólo la salud de las aves, sino también puede tener consecuencias a nivel poblacional y ecosistémico aún desconocidas.

Por lo anterior, el principal objetivo de este estudio fue cuantificar la ingesta de MPs por el cormorán oliváceo (*Nannopterum brasilianum*), una especie residente y dominante en el Área Natural Protegida (ANP) de Presa la Purísima, Guanajuato. Debido a que no se pueden capturar o manipular a las aves en la ANP, en esta investigación se analizaron muestras de alimento regurgitados por los mismos cormoranes, conformados principalmente de peces, que fueron colectados debajo de los árboles donde perchan para descansar. Adicionalmente se analizaron muestras de agua superficial de la presa para conocer la abundancia de MPs, los cuales pueden ser ingeridos por los peces y, después pasar hacia su principal depredador, los cormoranes.

## Materiales y métodos

### Sitios de muestreo

Se recolectaron muestras provenientes de la presa de La Purísima en Guanajuato. Dentro de la presa se ubicó un sitio, cerca la comunidad La Haciendita (20°54'28.4"N 101°16'52.7"W) con características de ser un hábitat de crianza de cormoranes debido a la presencia de hábitats estructurados y la alta abundancia de nidos de cormoranes (Figura 2 y 3). Debido a que los cormoranes perchan principalmente en árboles altos (~ 3 m o más), la colecta de comida regurgitada se realizó debajo de estos árboles. El alimento regurgitado, que consistió principalmente en peces parcialmente digeridos, fueron etiquetados y guardados en bolsas ziploc hasta su procesamiento.

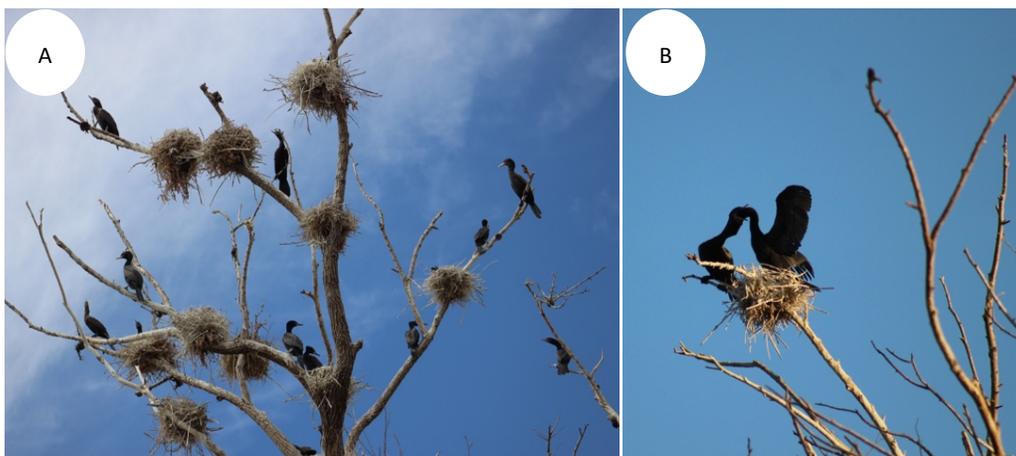


Figura 2. Área de crianza del cormorán oliváceo *Nannopterum brasilianum* en el ANP de Presa la purísima, Guanajuato. (A) grupo de cormoranes adultos en el sitio de anidamiento, (B) cormorán adulto alimentando a una cría juvenil. Fotos: Jesús Omar Chávez Sánchez.

Por otro lado, las muestras de agua superficial fueron obtenidas de tres ubicaciones cercano al área de crianza (Figura 3). Se obtuvieron las muestras de agua superficialmente usando nueve botellas de vidrio de un litro cada una. Los frascos fueron lavados y enjuagados tres veces con agua destilada antes de ser utilizados, esto para prevenir cualquier tipo de contaminación cruzada con MPs. En cada sitio se recolectaron tres litros de agua, evitando la captación de sedimentos en el lecho de la presa.



Figura 3. Sitios de colecta de alimento regurgitado de cormoranes en el área de crianza (estrella roja) y de agua superficial (pinchos rojos) dentro de la presa La Purísima, Guanajuato.

## Procesamiento de muestras para aislar microplásticos

### Agua superficial

A cada muestra de 1 L de agua superficial se les añadió 40 ml de peróxido de hidrógeno al 30% ( $H_2O_2$ ). Después, cada vaso fue llevado a una parrilla de calentamiento (DLAB MS-H280-Pro) por 30 min a una temperatura de 70°C en agitación constante. Para evitar el sobrecalentamiento se retiró cada vaso de la parrilla por un minuto y se regresaba a la parrilla cuando la temperatura se reestableciera. Ya cumplido el tiempo de procesamiento, se dejó enfriar por 10 min y luego fue enfriado sobre una charola con hielo durante 20 min. Posteriormente las muestras fueron filtradas, en papel Whatman (poro de 2.5  $\mu m$ ), con ayuda de una bomba de vacío y un sistema de filtrado conectado a un matraz de Kitasato. Una vez listo el sistema, se procesó cada muestra hasta filtrar la totalidad de la muestra.

Los filtros obtenidos de este procesamiento fueron colocados en cajas de Petri de vidrio y se etiquetaron con el número de muestra para su posterior identificación y caracterización.

### Alimento regurgitado

El alimento regurgitado por los cormoranes consistió principalmente de peces tilapia y tiro (Figura 4). A cada pez se le realizó una incisión con bisturí en el vientre para poder extraer el tracto digestivo, posteriormente, se pesó cada muestra en una balanza analítica y se pasó a un vaso de precipitado de 600 ml. A cada vaso se le añadieron 20 ml de peróxido de hidrógeno al 30% ( $H_2O_2$ ) y se llevó a una parrilla de calentamiento durante 25 min a una temperatura de 70°C en agitación constante. Para evitar el sobrecalentamiento se retiró cada vaso de la parrilla por un minuto y se regresaba a la parrilla cuando la temperatura se reestableciera. Ya cumplido el tiempo de procesamiento, se dejó enfriar por 10 minutos y luego se llevó a una charola con hielo durante 10 min. Posteriormente las muestras fueron filtradas de manera similar a las muestras de agua superficial.

Los filtros obtenidos del procesamiento fueron colocados en cajas de Petri de vidrio y se etiquetaron con el número de muestra para posteriormente realizar la cuantificación y caracterización de los MPs.



Figura 4. Ejemplo de alimento regurgitado por los cormoranes oliváceos (*Nannopterum brasilianum*) que consistieron principalmente en peces como tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) y el pez tiro (*Goodea atripinnis*).

### Identificación y caracterización de microplásticos

Los filtros obtenidos del procesamiento de muestras fueron revisados bajo un microscopio estereoscópico (Motic SMZ-171) para identificar piezas con características de forma y color de MPs. Se aplicó una prueba preliminar de la aguja caliente, en caso de que la pieza se deformara o retorció se consideraba como MPs, el material vegetal no presenta este comportamiento y se deshace fácilmente al contacto con la aguja (Cutroneo et al., 2020). Los MPs fueron caracterizados cualitativamente en tipo filamentos, fragmentos, y esferas. Adicionalmente, fue registrado el color que presentaban. Estos MPs fueron transferidos a un filtro nuevo y libre de MPs, y posteriormente se procedió a medirlos utilizando el software Image J.

### Resultados

Una vez realizado el muestreo y el procesamiento de muestras, se analizaron los datos mediante estadística descriptiva con el propósito de determinar la abundancia de MPs en Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Tiro (*Goodea atripinnis*). Se encontró que el pez Tiro presentó la mayor abundancia de MPs con una media de 7 MPs por individuo, mientras que las Tilapias presentaron una abundancia promedio de 5 MPs (Figura 5). Un análisis estadístico T-student, mostró una diferencia significativa ( $p = 0.04$ ) entre la media de MPs de estos dos grupos, siendo el pez Tiro el que tiene la abundancia media más alta.

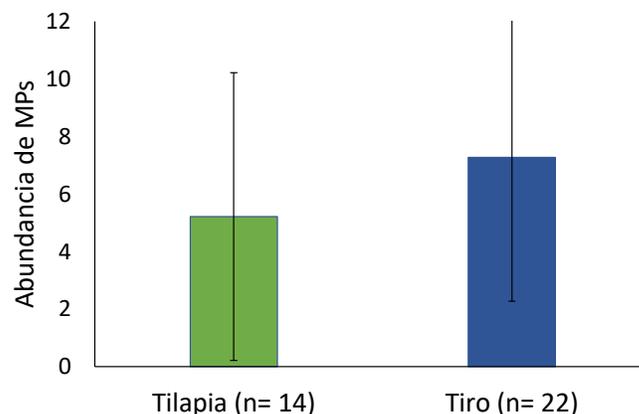


Figura 5. Abundancia de micro plásticos en peces Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y el pez Tiro (*Goodea atripinnis*). Barras de error indican la desviación estándar.

La abundancia media de los MPs en agua superficial de los 3 sitios de Presa la Purísima fue similar (Figura 6), aunque el Sitio 2 presentó la mayor abundancia de MPs con un promedio de 40 MPs/L aproximadamente; mientras que el Sitio 1 y el Sitio 2 tienen una abundancia promedio de 20 MPs/L. Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis y se encontró que no hay diferencia significativa ( $p=0.43$ ) en la abundancia de los MPs entre los tres sitios.

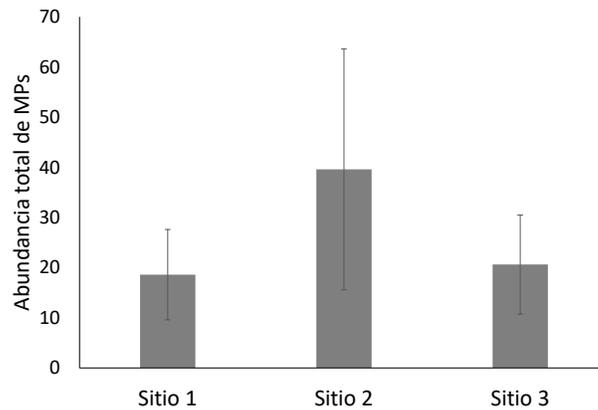


Figura 6. Abundancia total de MPs en tres Sitios de Presa la Purísima Guanajuato. Las barras de error indican la desviación estándar.

Para determinar si existe una relación entre el tamaño de los peces y la cantidad de MPs que ingirieron, se realizó un análisis de regresión lineal simple. Los resultados mostraron que no existe una relación entre las variables tanto en la tilapia ( $R^2= 0.07$ , Figura 7A) o el pez tiro ( $R^2= 0.11$ , Figura 7B). Esto significa que el tamaño de los peces no está directamente relacionado con la cantidad de MPs que se les puede encontrar en el tracto digestivo (Figura 7).

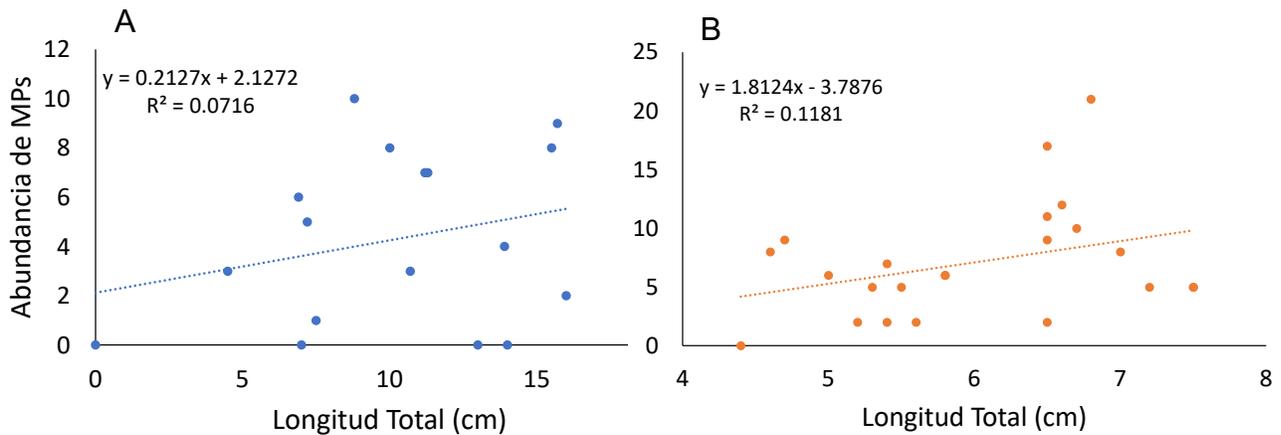


Figura 7. Regresión lineal entre la talla y la abundancia de MPs en (A) la tilapia *Oreochromis niloticus* y (B) el pez tiro *Goodea atripinnis*.

En la caracterización cualitativa de los MPs se encontró una gran variedad de formas y colores (Figura 8A). Una forma bastante peculiar de MPs que llamó la atención se muestra en la Figura 8B, se trata de una maraña de filamentos transparentes, posiblemente fibras textiles muy delgadas. Asimismo, se pudo observar en la imagen un conjunto de MPs cortos tipo filamento de color transparentes, azul y negro.

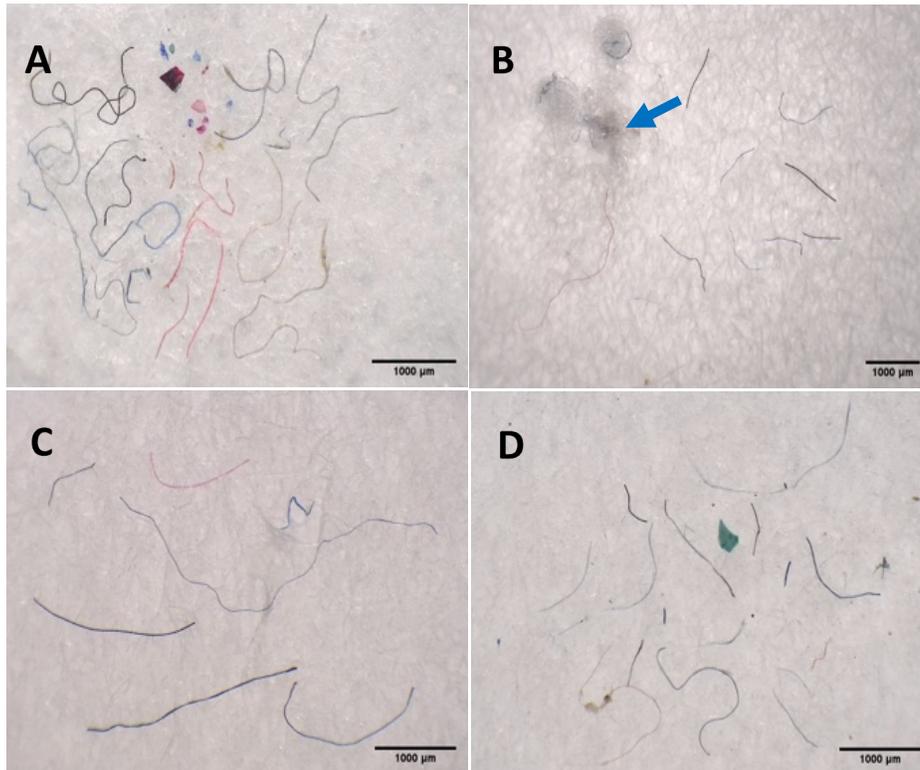


Figura 8. Ejemplos de microplásticos aislados en agua superficial y alimento regurgitado por los cormoranes. A: Filamentos y fragmentos agrupados por colores, B: Maraña de filamentos (flecha) y otros ejemplares, C: Filamentos de distintos colores y tamaños, D: Fragmento verde rodeado de filamentos multicolores.

La cuantificación y caracterización de los MPs tanto en agua superficial como en alimento regurgitado por los cormoranes, mostró tres tipos principales de MPs: filamentos y fragmentos. El filamento representó el 94.4% de los MPs aislados; por lo tanto, fue el tipo de MPs más frecuente en los componentes analizados. El segundo tipo de MPs más común fueron los fragmentos, los cuales representaron el 5.5% del total de MPs aislados. Cabe destacar que no se encontraron MPs tipo esferas en ninguna de las muestras analizadas. (Figura 9).



Figura 9. Cuantificación y clasificación de microplásticos en A: Microplásticos encontrados en el pez Tiro, B: Microplásticos encontrados en agua superficial, C: Microplásticos encontrados en las Tilapias.

En cuanto a los colores de los MPs aislados se observó una alta diversidad (Figura 10). Tanto en las muestras de peces (Figura 10A) como en las muestras de agua superficial (Figura 10B). Se evidenció que los MPs azules fueron los más frecuentes en ambos componentes representando un 51.5% y 46.0%, respectivamente. El segundo color más abundante fueron los MPs negros, en ambos componentes representaron el 33%. El resto de los colores estuvo conformado por MPs rojos, verdes, rosa y morados.

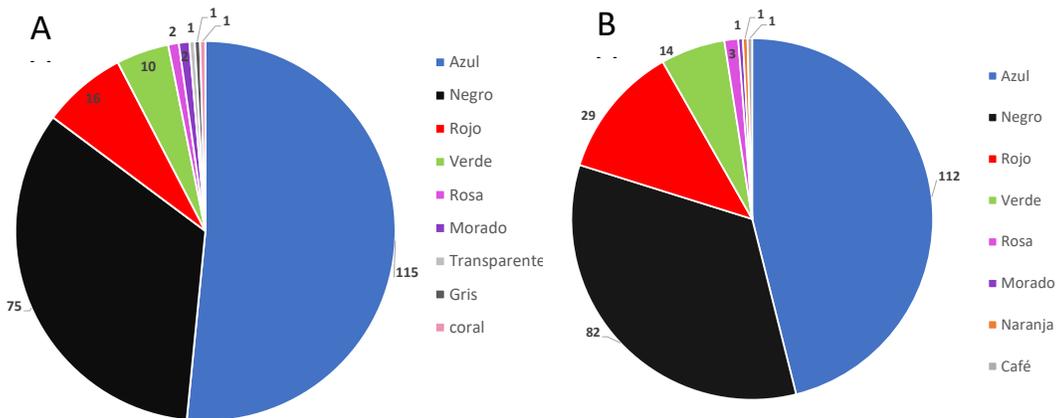


Figura 10. Diversidad de colores de los microplásticos aislados en: A) alimento regurgitado (peces) por los cormoranes, y B) muestras de agua superficial.

Los MPs aislados en cada uno de los componentes muestreados fueron medidos y analizados. Se encontró que el tamaño promedio de los MPs fueron significativamente más grandes en el agua superficial (1.15 mm) comparado con la media de MPs aislados en el tracto digestivo de los peces (0.84 mm) regurgitados por los cormoranes. Los resultados se muestran en la Figura 11 (T-student,  $p = 0.003$ ).

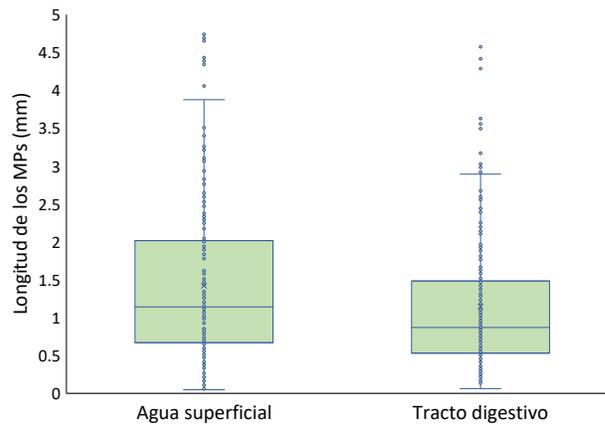


Figura 11. Tamaño de microplásticos aislados de muestras de agua superficial y del tracto digestivo de los peces, los cuales fueron regurgitados por los cormoranes.

## Discusión

En los últimos años el aumento de producción y uso de plástico ha sido evidente, su difícil reciclaje y su baja capacidad de degradación tienen como consecuencia una acumulación de estos en el medio ambiente (Eerkes-Medrano et al., 2015; Rochman et al., 2013). Cuando los plásticos son sometidos a las condiciones

físico químicas del entorno pueden fragmentarse hacia piezas más pequeñas llamadas microplásticos (MPs). En los últimos años ha llamado mucho la atención de los científicos la alta abundancia de MPs en los componentes bióticos (animales) y abióticos (suelo, agua, aire, o sedimento) en los ecosistemas acuáticos, así como los posibles problemas de salud que puede causar. En este estudio se comprobó la presencia y alta abundancia de MPs tanto en el componente biótico como abiótico del Área Natural Protegida (ANP) de Presa de la Purísima ubicada en las afueras de la ciudad de Guanajuato. Este resultado era de esperarse, ya que el ANP recibe las descargas de agua del río Guanajuato que arrastra aguas residuales y lixiviados de la ciudad.

La abundancia media de MPs obtenida entre los peces regurgitados y en el agua superficial fue significativamente diferente, debido a que los MPs pueden ingresar a la presa a través de diversas fuentes, como el escurrimiento de aguas pluviales contaminadas, vertidos de aguas residuales tratadas de forma inadecuada o directamente a partir de actividades humanas cercanas. Estos contaminantes pueden acumularse en la presa y, con el tiempo, aumentar su concentración y los peces pueden seleccionar su alimento en función de su forma, tamaño y características físicas. Es posible que algunos peces eviten activamente la ingestión de partículas de MPs o que los eliminen rápidamente del tracto digestivo a través de la excreción. Por lo tanto, esto puede resultar en una menor cantidad de MPs detectados en los intestinos de los peces en comparación con la concentración general en el agua superficial de la presa (Browne et al., 2011).

De acuerdo con nuestros resultados, los filamentos fueron los MPs más abundantes en el alimento regurgitado por los cormoranes y el agua superficial, seguido por los MPs tipo fragmentos. La alta abundancia de MPs tipo filamento puede deberse a varias causas como la liberación de fibras textiles como la ropa o productos textiles domésticos que al ser lavados libera estos MPs al ambiente; también puede deberse al desgaste de materiales debido a la radiación solar, las corrientes de viento, redes de pesca, cuerdas, entre otros (Hidalgo-Ruz et al., 2012). En general, los MPs tipo filamento también han sido reportados como los MPs más abundantes en ecosistemas rivereños, como en el río Ganges en la India, en el cual los filamentos representaron el 91% del total de MPs (Napper et al., 2021); mientras que en ecosistemas lacustres en el estado de Oregon en los Estados Unidos, los MPs tipo fragmento fueron los más comunes (Talbot et al., 2022). Lo anterior indica que la abundancia y los tipos de MPs en los ecosistemas acuáticos está relacionado a factores como tipo de uso de suelo, la velocidad de las corrientes del agua o a las actividades antropogénicas.

No se encontró evidencia de una relación significativa entre la talla de los peces regurgitados y el número de MPs que contienen. Esto implica que no existe una razón clara por la cual los peces más grandes tengan una mayor concentración de MPs en comparación con los peces más pequeños. Esta observación respalda la hipótesis de que los peces son selectivos en su alimentación y que los MPs son ingeridos de manera accidental, sin estar directamente relacionados con el tamaño del pez. Adicionalmente, coincide con la información publicada en la literatura científica que demuestra que el tamaño de los peces no está relacionado con la cantidad de MPs que pueden tener en el tracto digestivo. Por ejemplo, en un estudio realizado en 11 especies de peces estuarinos en el Río de la Plata, Argentina, la abundancia de MPs fue independiente a su talla (Pazos et al., 2017). Mismo resultado fue encontrado en dos especies de peces marinos colectados en Islandia (De Vries et al. 2020).

Con nuestro estudio no se puede dar una razón exacta sobre la alta cantidad de MPs azules, aunque podría sugerir su posible origen, es decir que es el color de preferencia en los textiles usados, especialmente los pantalones tipo jeans. El color de los MPs también puede estar asociado a la distribución o ubicación de las principales fuentes de contaminación, como la presencia de comunidades locales o una alta densidad poblacional.

Finalmente, durante el muestreo de campo se pudo observar el gran impacto ecológico que tienen los habitantes alrededor de la ANP, entre los cuales se encuentra la deforestación, especialmente en el área de crianza de los cormoranes; acumulación de basura, principalmente botellas PET; así como la extracción de leña y arena que incrementan la degradación del hábitat. Por lo tanto, no solamente debería preocupar la alta contaminación de MPs encontrada en este estudio, también deben tomarse en cuenta el impacto de la comunidad local para evitar su continua degradación. Es urgente la implementación de programas de difusión del conocimiento sobre los impactos de la contaminación plástica, especialmente entre los habitantes locales más jóvenes para crear una ciencia ambiental que ayude a la protección del ANP de Presa la Purísima que es un ecosistema acuático de alta relevancia ecológica por la alta diversidad de animales que alberga, especialmente, aves acuáticas residentes y migratorias.

## Conclusiones

La alta abundancia de MPs encontrados en los componentes bióticos y abióticos del ANP de Presa sugiere que puede representar un serio problema ecológico debido a que puede entrar y afectar la cadena trófica de la Presa; por lo tanto es necesario realizar un análisis para identificar los tipos de polímeros que se encuentran en los MPs aislados en este estudio, así como proponer investigación experimental para analizar los posibles efectos que pueden generar en la salud los peces y aves que habitan este importante ecosistema acuático.

## Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por la beca otorgada a través del XXVII Verano de la Ciencia a los alumnos participantes de este proyecto de verano científico 2023: MDCA, DAEL, DMCG, AMA, JEMG, y JISM.

A la LBE. Diana Guadalupe Amezcua Hernández, estudiante de Maestría en Ciencias (Biología), por su valioso apoyo y asesoría académica sobre el manejo y procesamiento de muestras en el laboratorio.

## Bibliografía/Referencias

- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179.
- de Vries, A. N., Govoni, D., Árnason, S. H., & Carlsson, P. (2020). Microplastic ingestion by fish: Body size, condition factor and gut fullness are not related to the amount of plastics consumed. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110827.
- 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.
- Andrady, A. L. (2017). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12-22.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- Cutroneo, L., Reboa, A., Besio, G., Borgogno, F., Canesi, L., Canuto, S., Dara, M., Enrile, F., Forioso, I., Greco, G., et al. (2020). Microplastics in seawater: sampling strategies, laboratory methodologies, and identification techniques applied to port environment. *Environ Sci Pollut Res* 27, 8938–8952.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Napper, I. E., Baroth, A., Barrett, A. C., Bholá, S., Chowdhury, G. W., Davies, B. F. R., Duncan, E. M., Kumar, S., Nelms, S. E., Hasan Niloy, M. N., Nishat, B., Maddalene, T., Thompson, R. C., & Koldewey, H. (2021). The abundance and characteristics of microplastics in surface water in the transboundary Ganges River. *Environmental Pollution*, 274, 116348.
- Pazos, R. S., Maiztegui, T., Colautti, D. C., Paracampo, A. H., & Gómez, N. (2017). Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1), 85-90.
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... & Thompson, R. C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169-171.
- Talbot, R., Granek, E., Chang, H., Wood, R., & Brander, S. (2022). Spatial and temporal variations of microplastic concentrations in Portland's freshwater ecosystems. *Science of The Total Environment*, 833, 155143.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., ... & Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1-9.