




Efecto de la ingesta incidental de polietileno y polipropileno sobre el crecimiento de *Oreochromis* sp. manejada en condiciones de laboratorio

Alisson Ponce-Mero^{1,*} , Bryan Chérrez-Palma¹ , David Mero-del Valle¹ 

(1) Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ciudadela Universitaria Vía San Mateo s/n, 130802, Manta, Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia: A. Ponce [alis_onponce@hotmail.com]

> Recibido el 14 de mayo de 2021 - Aceptado el 14 de febrero de 2022

Como citar: Ponce Mero, A.A., Chérrez Palma, B., Mero del Valle, D. 2022. Efecto de la ingesta incidental de polietileno y polipropileno sobre el crecimiento de *Oreochromis* sp. manejada en condiciones de laboratorio. *Ecosistemas* 31(2): 2243. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2243>

Efecto de la ingesta incidental de polietileno y polipropileno sobre el crecimiento de *Oreochromis* sp. manejada en condiciones de laboratorio

Resumen: Actualmente la contaminación por microplásticos (MP) en los ecosistemas acuáticos se ha incrementado perjudicando la biota marina, siendo los ensayos ecotoxicológicos una herramienta para evaluar este impacto. El presente estudio estimó el efecto provocado por la ingesta de los MP polietileno (PE) y polipropileno (PP), en el crecimiento de juveniles de *Oreochromis* sp. Para cada tipo de MP se establecieron tres concentraciones (25%/75%, 50%/50% y 75%/25%) más un tratamiento control (sin MP), con tres réplicas distribuidas al azar constituidas por unidades experimentales de ocho juveniles de *Oreochromis* sp. (tamaño inicial 2 ± 0.5 cm). Se retiraron aleatoriamente dos individuos por cada tiempo de exposición (7, 14, 21 y 28 días) examinando los tractos digestivos de 154 peces en total. Los resultados no demostraron diferencias significativas en las variables de crecimiento en longitud ($p=0.3444$) y peso ($p=0.0818$) de *Oreochromis* sp. de los tratamientos experimentales, mientras que el índice de condición nutricional (K) tampoco demostró diferencias significativas ($p=0.513$) entre tratamientos, sin embargo, evidencian una tendencia de mayor condición nutricional en los tratamientos PE que PP. En el contenido de MP se hallaron diferencias significativas ($p=0.6078$) en el primer muestreo en los tratamientos experimentales, mostrando mayor presencia de PE respecto al PP en el tracto digestivo, probablemente debido a la retención y acumulación, diferencia de forma o tipo de polímero. Aunque la ingesta de MP no causaría efectos inmediatos en el crecimiento de *Oreochromis* sp. sus efectos podrían estimarse en estudios de mayor duración.

Palabras clave: ecotoxicología; ensayo de exposición forzada; Cichlidae; microplásticos; polímero

Effect of the incidental intake of polyethylene and polypropylene on the growth of *Oreochromis* sp. handled under laboratory conditions

Abstract: Currently, microplastics contamination (MP) in aquatic ecosystems has increased, damaging marine biota. Ecotoxicological tests are a useful tool to evaluate this impact. This study estimated the effect caused by the intake of MP polyethylene (PE) and polypropylene (PP), on the growth of juveniles *Oreochromis* sp. Three concentrations were established (25% / 75%, 50% / 50% and 75% / 25%) for each type of MP, including a control treatment (without MP), with three randomly distributed replicates on experimental units of eight juveniles *Oreochromis* sp. (initial size 2 ± 0.5 cm). Two individuals were randomly removed after each exposure time (7, 14, 21 and 28 days). In total 154 fish digestive tracts were examined. Results showed no significant differences in the length ($p=0.3444$) and weight ($p=0.0818$) of the individuals of *Oreochromis* sp. in used in the treatments. There were no significant differences ($p=0.513$) in the nutritional condition index, though a higher nutritional status trend in the PE treatments compared to the PP treatments was observed. Significant differences ($p=0.6078$) were found in the content of MP in the first sampling of the experimental treatments, showing a greater presence of PE compared to PP in the digestive tract, due probably to retention and accumulation, shape difference or polymer type. Although MP intake does not appear to cause immediate effects on *Oreochromis* sp. growth, they could be evidenced in long term studies.

Keywords: ecotoxicology; Cichlidae; forced exposure test; microplastics; polymer

Introducción

Los ecosistemas acuáticos del mundo tienen un elevado nivel de biodiversidad, tanto desde el punto de vista estructural como funcional, formando una red vital de miles de especies interconectadas que respaldan la pesca y la acuicultura (FAO 2018). Uno de los principales problemas que enfrentan los ecosistemas acuáticos es la contaminación por basura marina, la cual ha incrementado significativamente encontrándose en todos los mares y océanos (Galgani et al. 2015).

La producción mundial de plástico alcanzó casi los 360 millones de toneladas en 2018 (Plastics Europe 2019). Alrededor de 8 millones de toneladas de plásticos ingresan cada año a los océanos, y se estima que hay un total de 150 millones de toneladas de plástico en él (Jambeck et al. 2015; Ocean Conservancy 2015). Estos residuos destacan como el tipo de basura marina más abundante, ya que son ubicuos y se encuentran incluso en regiones polares remotas (Galgani et al. 2015).

Al ser un material versátil, liviano, resistente y potencialmente transparente, los plásticos son ideales para una variedad de aplicaciones, lo que ha provocado que aumente constantemente la demanda mundial anual en los últimos años (Andrady 2011).

El movimiento de los plásticos en los medios marinos es complejo y depende de factores como flotabilidad, bioincrustación, el tipo, tamaño y forma de los polímeros, el viento e hidrodinamismo (GESAMP 2016). Una vez que estos plásticos pasan a formar parte del medio marino, las condiciones ambientales, principalmente la radiación UV y la temperatura, ocasionan su degradación, transformándolo en uno más frágil y vulnerable a la fragmentación hidrodinámica. Esta ruptura es capaz de generar plásticos de un tamaño muy reducido, llamados microplásticos (MP) (Andrady 2011).

Los MP son contaminantes antropogénicos físicos (Adeogun et al. 2020), partículas sólidas sintéticas o matriz polimérica, de forma regular o irregular, con tamaños comprendidos entre 1 µm y 5 mm, de origen primario o secundario en cuanto a su manufactura e insolubles en agua (GESAMP 2015).

Las partículas de MP varían en forma, distinguiéndose según lo propuesto por Bessa et al. (2018) en fragmentos (trozos de forma irregular y angular), películas (delgadas y transparentes) y fibras (filamentos alargados). También es frecuente separarlos por color (Da Costa et al. 2017; Nelms et al. 2018).

Estudios realizados por Eriksen et al. (2014) muestran que, de los plásticos más abundantes en el mar, los MP ocupan el 13.2% de los plásticos totales. Por el tipo de polímeros los plásticos se clasifican en polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), polipropileno (PP) y polietileno tereftalato (PET), constituyendo un 90% de plásticos a escala global (Andrady y Neal 2009).

El PE es una resina poliolefina resultado de la polimerización del etileno. Se fabrican gran variedad de productos de uso común como botellas o envoltorios para alimentos, también puede formar parte de fibras sintéticas o ser modificado y adquirir propiedades elásticas (Toledo y Fernández 2019, comunicación personal). Además, es el polímero que se encuentra en mayor proporción en los residuos plásticos de origen marino (Suaria et al. 2016).

Según Riba (2008) el PP destaca por ser el plástico más ligero (con una densidad de 0.90 mg.m⁻³), por tener el menor coste después del PE y, también, por ofrecer un buen equilibrio entre las propiedades térmicas, es inodoro, insípido y fisiológicamente inocuo. Resiste poco la intemperie (debido a los rayos UV) y al envejecimiento (oxidación a temperatura).

Los peces están en los últimos eslabones de la cadena trófica de sistemas acuáticos continentales y tienen un papel destacado en la transferencia de energía entre niveles tróficos (Rodríguez-Sierra et al. 2020), por lo cual los MP como potenciales estresores de aquellos organismos que los consumen producen efectos como la falta de formación de grasa (que afecta negativamente sus migraciones), obstrucción del tracto digestivo bloqueando la secreción enzimática gástrica, alteraciones de los niveles hormonales, inhibición del crecimiento y retraso de la madurez sexual (Azzarello y Van Vleet 1987; Derraik 2002; Xiong et al. 2018). Así mismo, la acumulación de MP puede alcanzar el nivel trófico superior y desencadenar cambios de comportamiento, concretamente falta de agregación social defensiva y reducción de la evaluación de riesgo (Da Costa Araujo y Malafaia 2020).

Los polímeros también pueden contener productos químicos peligrosos que se agregan durante su producción, lo que provoca efectos en la salud de los organismos marinos, como daño hepático (Thompson 2018). Según la FAO (2018) los MP absorben y adsorben eficazmente sustancias persistentes, bioacumulables y tóxicas como el polibutileno tereftalato (PBT) presentes en el medio marino y los contaminantes orgánicos persistentes como los pesticidas. Indistintamente de la forma de alimentación de los peces, estos pueden ingerir accidentalmente MP, muchos de los cuales son de tamaño, color y forma similares a sus presas naturales (Shaw y

Day 1994; Wright et al. 2013b) o al consumirlas con estos agregados, en tanto que los peces de alimentación más selectiva capturan accidentalmente los MP al estar cerca de los gránulos de comida, que son su objetivo real (Ory et al. 2018).

Existen estudios que evidencian el consumo de plástico por los peces demostrando la contaminación marina a nivel mundial (Escobar et al. 2020), la mayoría de estos son llevados a cabo en ambientes naturales (Neves et al. 2015; Nelms et al. 2018; Nadal et al. 2016), y en un número menos relevante son realizados en condiciones de laboratorio (Naidoo y Glassom 2019; Huang et al. 2020). El trabajo experimental es crucial para identificar posibles riesgos, pero no proporciona una representación precisa de las condiciones naturales (Phuong et al. 2016), aun así, son necesarios, ya que solo unos pocos estudios han cuantificado o modelado la transferencia de sustancias químicas de MP entre especies en una red alimentaria, limitando la comprensión general de la toxicidad y el riesgo a nivel de comunidad y ecosistema (Stock et al. 2020).

La tilapia es un pez teleosteo, del orden Perciforme perteneciente a la familia Cichlidae originario de África central, y que habita en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo (Alicorp 2004). El término genérico tilapia se utiliza para describir a varios géneros y especies de peces de esta familia dentro de los cuales *Oreochromis* es de importancia para fines de acuicultura (Barreto-Curiel et al. 2015) siendo las especies más cultivadas *O. aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus* y así como varios híbridos (Alicorp 2004). Comercialmente estas especies destacan por su potencial para ser cultivadas en aguas continentales, salobres y saladas (Pulgarin et al. 2012), además de su resistencia a enfermedades, rápida maduración, crecimiento y eficiencia reproductiva. Por la diversidad de alimentos que ingiere se clasifica como omnívoro, variando su alimentación desde vegetación macroscópica hasta algas unicelulares y bacterias. Esta especie también tolera aguas con variabilidad significativa de pH y bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Saavedra 2006).

Por lo antes mencionado, el presente trabajo tuvo como objetivo estimar el efecto provocado por la exposición de MP polietileno y polipropileno en el crecimiento en longitud y peso de *Oreochromis* sp. mediante un ensayo ecotoxicológico.

Materiales y métodos

Para el presente estudio se utilizaron 154 juveniles de *Oreochromis* sp. con una edad de 28 días procedentes del laboratorio de producción de alevines Del Valle de Yantzaza, Zamora Chinchipe, Ecuador. Para el inicio del bioensayo los juveniles se separaron por tallas con una media de 2 ± 0.5 cm de longitud y se utilizaron 21 unidades experimentales de 3 L con una densidad de siembra de tres individuos por litro (9 individuos/unidad experimental), la cual estuvo basada en la sugerencia de siembra de la FAO (2020). Cada unidad experimental contó con aireación independiente con una bomba de aire JAD SC-3500 que proporciona un flujo de 3.2 l/min. El periodo de aclimatación fue de tres días.

Se realizó limpieza de heces y MP diariamente mediante sifonado, para mantener las condiciones óptimas de experimentación. En cada unidad experimental se realizaron recambios totales de agua semanalmente.

Se utilizó MP (PE y PP) de color blanco para el experimento. Ambos tipos de MP, fueron fragmentos irregulares tamizados a fracciones entre 1.25 a 2 mm de diámetro. Las concentraciones de MP se detallan en la **Tabla 1**.

El suministro de la ración de alimento balanceado se realizó siguiendo la tabla de consumo para *Oreochromis* sp. propuesta por Martínez et al. (2015), en la cual se establece que para individuos de 15 a 30 días de vida se administra una cantidad de alimento de 0.0047 gramos (g) por pez, para individuos de 30 a 45 días de vida una cantidad de 0.0025 g y de 45 a 60 días la cantidad de 0.0030 g.

El MP administrado fue mezclado con el alimento en las proporciones que se muestran en la **Tabla 1**. Se suministró alimento dos veces al día como sugiere [Martínez et al. \(2015\)](#).

La distribución de los tratamientos en las 21 unidades experimentales se realizó por un diseño en bloques completamente al azar de 7x3.

El muestreo de los individuos se realizó a los 7, 14, 21 y 28 días de iniciado el bioensayo. De cada unidad experimental se extrajeron dos individuos al azar los cuales se colocaron en solución anestésica de Eugenol al 10% de concentración durante un minuto como lo sugiere [Millán-Ocampo et al. \(2012\)](#). Una vez anestesiados los individuos fueron medidos empleando ictiómetro convencional, pesados empleando balanza analítica ADAM PW254, y diseccionados con kit quirúrgico bajo observación al estereoscopio con cámara integrada. El procesamiento de imágenes se realizó con el software TS VIEW.

La caracterización del contenido estomacal se basó en el análisis gravimétrico propuesto por [Hyslop \(1980\)](#). Cada uno de los componentes de la dieta fueron separados y pesados obteniendo el peso seco (g). Para esta investigación se separaron manualmente los fragmentos de PP y PE del resto de contenido.

En el análisis estadístico se consideró una tasa de crecimiento diaria, la cual se obtuvo con la diferencia del peso actual y el peso inicial en los distintos muestreos (7, 14, 21 y 28 días).

Además, se evaluó el estado nutricional de los peces a través del índice de condición por individuo y su grado de engorde mediante el índice de Fulton (K) ([Ricker 1975](#)):

$$K_{rel} = \frac{W}{aL^b}$$

Para el análisis estadístico se realizó una normalización de datos mediante conversión a logaritmo natural y posteriormente se realizó una prueba paramétrica con el software InfoStat 4, a través de un Análisis de Varianza (ANOVA) multifactorial y pruebas post hoc de comparación de medias de Tukey. Los datos fueron considerados significativos a un $p < 0.05$.

Resultados

El ANOVA de las variables de crecimiento en longitud ($F=1.14$, $p=0.3444$) y peso ($F=1.92$, $p=0.0818$) de *Oreochromis sp.* no demostró diferencias significativas entre los MP PE y PP en sus diferentes concentraciones, pese a que presentaron mayores tallas en el tratamiento control (**Fig. 1**, panel izquierdo).

El ANOVA del índice de condición (K) para cada uno de los tratamientos tampoco resultó estadísticamente significativo ($F=0.88$, $p=0.513$), no obstante, se observó una tendencia en la que los tratamientos de PE mostraron mayor estado nutricional (a excepción

del tratamiento PE2 $K=1.63$) el cual se observa en la **Figura 2**. El tratamiento PE1 presentó el mayor índice K (1.91), en contraste a los tratamientos de PP cuyos valores K fueron mayores a PE2 y menores a PE3. A su vez, el tratamiento control también demostró un índice de condición bajo ($K=1.69$).

Existieron diferencias significativas ($F=1.01$, $p=0.4561$) en los tiempos de exposición en función al crecimiento en longitud de *Oreochromis sp.* A los siete días se registró una tasa de crecimiento más alta a diferencia de los otros tiempos; mientras que en el ANOVA de los tiempos de exposición en función del crecimiento en peso no se encontró una diferencia significativa ($F=1.26$, $p=0.2237$) (**Fig. 3**).

El ANOVA multifactorial del contenido de MP demostró diferencias significativas ($F=0.86$, $p=0.6078$) tanto en función de los tratamientos como en los tiempos de exposición (**Fig. 1**). Se obtuvo mayor peso de MP para los tratamientos de polietileno (PE2, PE3) en comparación al polipropileno (PP1, PP3). A su vez, el tiempo de exposición destaca mayor registro de peso de MP en el día siete y el menor en el día 21.

Discusión

Los resultados del análisis multifactorial demostraron que la presencia de MP PE y PP no tuvieron influencia en las variables de crecimiento de *Oreochromis sp.*, pues las variables de longitud y peso de los peces no difirieron significativamente entre los tratamientos de MP, resultados similares fueron encontrados por [Wen et al. \(2018\)](#), donde los MP no tuvieron un impacto significativo en el crecimiento del pez disco (*Symphysodon aequifasciatus*). Así mismo, en investigaciones de exposición de MP con peces vívidos asiáticos (*Ambassis dussumieri*) de [Naidoo y Glassom \(2019\)](#), el crecimiento en la talla de los peces en los tratamientos de MP no difirió entre sí.

Si bien existe la tendencia de mayor condición nutricional en los tratamientos PE1 y PE3 (exceptuando PE2) en comparación a los tratamientos PP, el análisis de la relación talla peso demostró que el índice de condición (K) difirió significativamente entre tratamientos. Este índice sí puede verse afectado en exposiciones prolongadas como menciona [Huang et al. \(2020\)](#) en un estudio en el que el pez guppy (*Poecilia reticulata*) demuestra una inhibición del índice de condición después de 28 días de exposición. Aun así, no se inhibió significativamente la supervivencia y crecimiento, indicando que los MP podrían no restringir la absorción de nutrientes en el alimento y el guppy probablemente haya desarrollado una respuesta adaptativa al ambiente contaminado.

Se presume que en este estudio los factores que afectan la nutrición de los peces estuvieron más relacionados al tipo de MP que a la concentración del mismo, por lo que tal diferenciación en la nutrición de los peces podría deberse más a la composición de los polímeros que a su forma, tamaño o color ([Ory et al. 2018](#); [Wright](#)

Tabla 1. Condiciones de los tratamientos en el experimento.

Table 1. Treatments conditions in the experiment.

Tratamientos	Repeticiones	Concentraciones de microplásticos y balanceado	Dosis (g) 16-28 días
PE1	3	25% polietileno – 75% balanceado	0.0012 g PE – 0.0035 g Bal
PE2	3	50% polietileno – 50% balanceado	0.0024 g PE – 0.0024 g Bal
PE3	3	75% polietileno – 25% balanceado	0.0035 g PE – 0.0012 g Bal
PP1	3	25% polipropileno– 75% balanceado	0.0012 g PP – 0.0035 g Bal
PP2	3	50% polipropileno – 50% balanceado	0.0024 g PP – 0.0024 g Bal
PP3	3	75% polipropileno – 25% balanceado	0.0035 g PP – 0.0012 g Bal
CTRL	3	100% balanceado	0.0047 g Bal

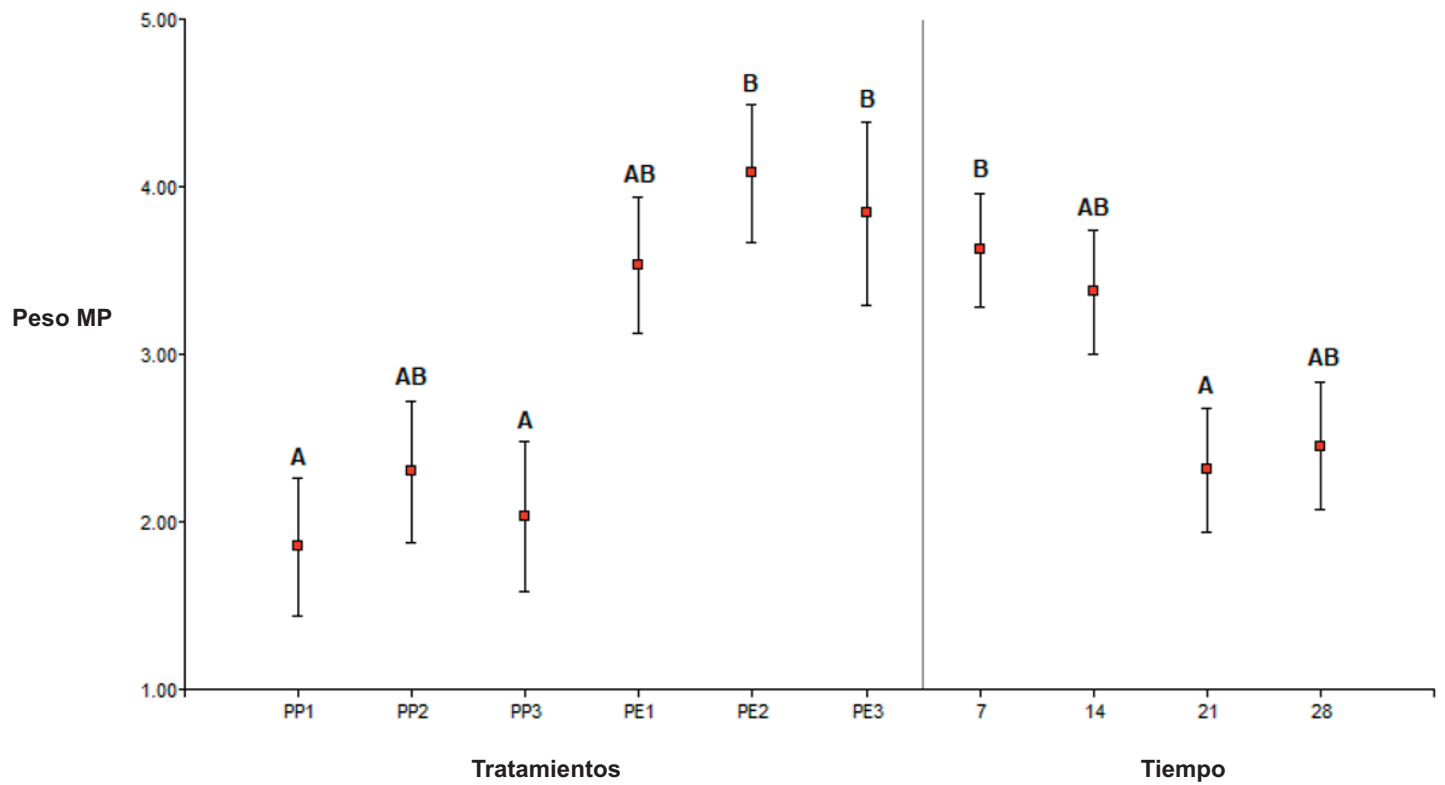


Figura 1. Peso de MP en *Oreochromis* sp. en función de los tratamientos experimentales (izquierda) y tiempos de exposición (derecha).

Figure 1. MP weight in *Oreochromis* sp. in the experimental treatments (left) and exposure times (right).

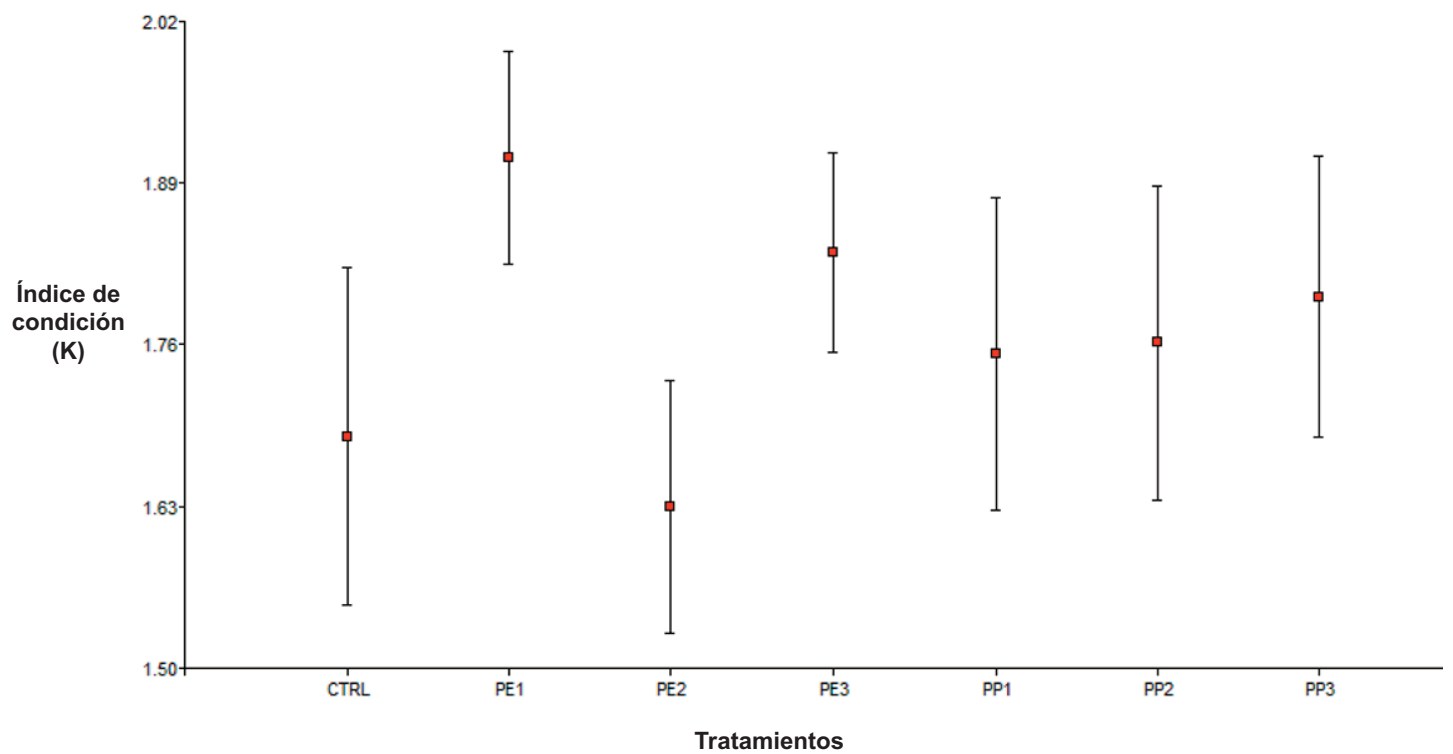


Figura 2. Índice de condición (K) para los tratamientos experimentales de *Oreochromis* sp.

Figure 2. Condition index (K) in the experimental treatments with *Oreochromis* sp.

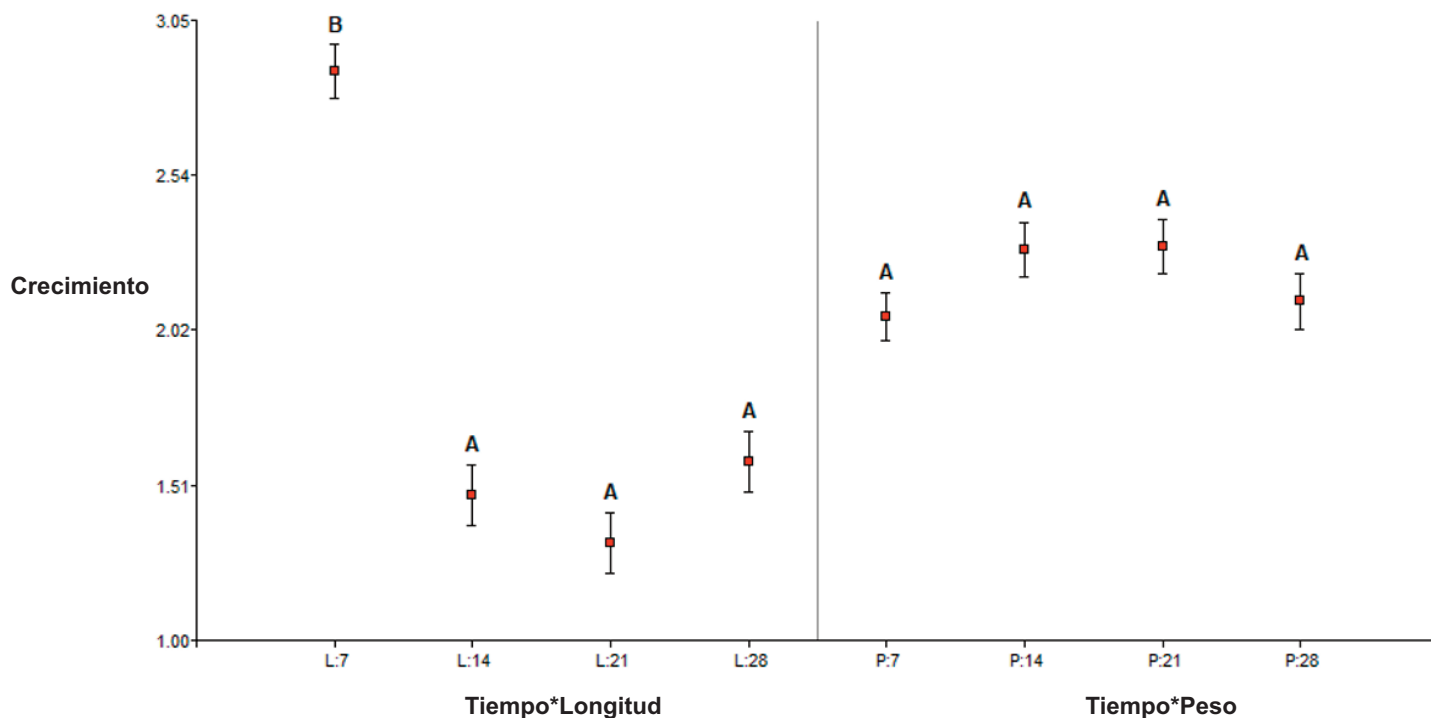


Figura 3. Análisis de crecimiento en longitud y peso de *Oreochromis* sp. respecto a los tiempos de exposición.

Figure 3. Length and weight growth of *Oreochromis* sp. according to exposure times.

et al. 2013b), pues en su composición pueden contener aditivos químicos y contaminantes, incluidos disruptores endócrinos conocidos que pueden ser dañinos para los organismos marinos (Chenet et al. 2021). Por ejemplo, la investigación realizada en condiciones de laboratorio por Von Moos et al. (2012) demostró que en el mejillón *Mytilus edulis*, las partículas de PE de alta densidad absorbidas por las branquias durante la alimentación por filtración, son transportadas al estómago y la glándula digestiva, donde se acumulan en el sistema lisosomal, provocando cambios histológicos y respuesta inflamatoria.

En este estudio se evaluó el crecimiento en longitud de *Oreochromis* sp. y respecto al tiempo de exposición se halló una diferencia significativa ($p < 0.0001$) en los primeros siete días de exposición demostrando mayor tasa de crecimiento. La disminución de esta tasa de crecimiento en muestreos posteriores parece estar relacionada con la reacción del organismo, ante el estrés que trae consigo la presencia de MP, pues la ingestión de estas partículas supone una carga energética adicional para los procesos de depuración de los mismos y una disminución de las reservas de energía a través de la catálisis de lípidos (Cedervall et al. 2012; Wright et al. 2013a), pues con la energía utilizada para atacar estos efectos subletales, la disminución de la alimentación (De Sá et al. 2015; Bergami et al. 2016) y una posible falsa sensación de saciedad se pudo reducir aún más la energía disponible para un crecimiento óptimo (Cole et al. 2015).

En cuanto al análisis del contenido de MP se encontraron diferencias significativas ($p = 0.6078$) tanto en los tratamientos como en los tiempos de exposición, donde un MP tuvo mayor presencia en el tracto digestivo que otro, debido a que PE tuvo mayor capacidad de retención en el tracto digestivo, mientras que PP pudo ser expulsado por los individuos. Resultados similares se encontraron en estudios de crustáceos como el de Au et al. (2015) usando *Hyalella azteca* (pulga de mar) donde se relacionaron significativamente la ingestión de MP con las concentraciones y los tipos de MP utilizados. Las exposiciones crónicas de PE presentaron mayores variaciones y tendencias distintas en las que ingieren menos partículas de MP conforme pasaba el tiempo de exposición, mientras que en la exposición aguda de PP se dio un significativo aumento en la ingestión y excreción de MP con disminución de crecimiento, contra-

rio a la exposición aguda de PE, lo cual no resultó en reducciones significativas de crecimiento en el tiempo en respuesta al aumento de la exposición.

Naidoo y Glassom (2019) presentaron resultados parecidos en cuanto a la retención y acumulación de plástico, ya que no se encontraron evidencias de una correlación significativa entre el número de partículas plásticas y el número de días de exposición, pues *Ambassis dussumieri* consumió y extrajo partículas de plástico con evidencia limitada de acumulación. Ellos manifiestan que el aumento de la toxicidad por la exposición de fibras de PP puede atribuirse a la diferencia de forma, ya que la forma microplástica puede tener una influencia significativa en el destino y transporte de los mismos (Wright et al. 2013a). Además, una mayor retención puede favorecer la disociación y la lixiviación de contaminantes asociados al plástico en el intestino, lo que genera efectos negativos para la salud (Nobre et al. 2015; Khan et al. 2017).

La ingesta de plásticos puede afectar el rendimiento en crecimiento de las especies. Las disminuciones del tamaño de peces tendrían efectos adversos en la biomasa y su rendimiento (Audzinyte et al. 2013), alterando incluso las redes tróficas y afectando a especies de interés comercial, puesto que utilizan las zonas estuarinas como áreas de crías o en actividades de acuicultura realizadas cerca de núcleos urbanos (Naidoo y Glassom 2019).

Conclusiones

Aunque la exposición a los MP PE y PP no influyen en las variables de crecimiento longitud y peso de *Oreochromis* sp. así como tampoco altera su índice de condición nutricional, con base en los resultados de la presente investigación se puede concluir que en caso de exposiciones prolongadas de MP polietileno, existiría la tendencia de una reducción en la tasa de crecimiento lo que afectaría las condiciones de nutrición de los organismos, ya que este MP se caracteriza por tener mayor capacidad de retención en el tracto digestivo. En cuanto al tiempo de exposición, se recomienda hacer estudios con un mayor período de experimentación, debido a que los efectos de la exposición a MP como el PE pueden no evidenciarse en cortos períodos como los elegidos en este estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por proveer el espacio, equipos y laboratorios para el desarrollo de esta investigación.

Contribución de los autores

Alisson Ponce: Término, administración del proyecto, análisis formal, conceptualización, curaduría de datos, investigación, metodología, recursos, redacción - revisión y edición, visualización. Bryan Chérrez: Administración del proyecto, conceptualización, curaduría de datos, investigación, metodología, recursos, redacción - revisión y edición, visualización. David Mero: Término, análisis formal, conceptualización, curaduría de datos, investigación, metodología, recursos, redacción - revisión y edición, supervisión, software, validación.

Referencias

- Alicorp, S.A. 2004. Manual de crianza de tilapia. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.alicorp.com.pe.pdf>
- Adeogun, A., Ibor, O., Khan, E., Chukwuka, A., Omogbemi, E., Arukwe, A. 2020. Detection and occurrence of microplastics in the stomach of commercial fish species from a municipal water supply lake in southwestern Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research* 27(25):31035-31045.
- Andrady, A., Neal, M. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transaction of the Royal Society B* 364:1977-1984.
- Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62(8):1596-1605.
- Au, S.Y., Bruce, T.F., Bridges, W.C., Klaine, S.J. 2015. Responses of *Hyalella azteca* acute and chronic microplastic exposures. *Environmental Toxicology and Chemistry* 34(11):2564-2572.
- Audzijonyte, A., Kuparinen, A., Gorton, R., Fulton, E.A. 2013. Ecological consequences of body size decline in harvested fish species: positive feedback loops in trophic interactions amplify human impact. *Biology Letters* 9(2):1-5.
- Azzarello, M., Van-Vleet, E. 1987. Marine birds and plastic pollution. *Marine Ecology Progress Series* 37:295-303.
- Barreto-Curiel, F., Durazo, E., Viviana, M. 2015. Growth, ammonium excretion, and oxygen consumption of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis aureus*) grown in seawater and freshwater. *Ciencias Marinas* 41(3):247-254.
- Bergami, E., Bocci, E., Vannuccini, M., Monopoli, M., Salvati, A., Dawson, K., Corsi, I. 2016. Nano-sized polystyrene affects feeding, behavior and physiology of brine shrimp *Artemia franciscana* larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 123:18-25.
- Bessa, F., Barria, P., Neto, J., Frias, J., Otero, V., Sobral, P., Marques J. 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin* 128:575-584.
- Cedervall, T., Hansson, L.A., Lard, M., Frohm, B., Linse, S. 2012. Food chain transport of nanoparticles affects behaviour and fat metabolism in fish. *PLOS ONE* 7(2):e32254.
- Chenet, T., Mancía, A., Bono, G., Falsone, F., Scanella, D., Vaccaro, C., Baldi, A., et al. 2021. Plastic ingestion by Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*) from central Mediterranean Sea: A potential cause for endocrine disruption. *Environmental Pollution* 284:117449.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T. 2015. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science and Technology* 49:1130-1137.
- Da Costa Araújo, A.P., Malafaia, G. 2020. Microplastic ingestion induces behavioral disorders in mice: A preliminary study on the trophic transfer effects via tadpoles and fish. *Journal of Hazardous Materials* 401:123263-123263.
- Da Costa, J., Duarte, A., Rocha-Santos, T. 2017. Microplastics-occurrence, fate and behaviour in the environment. En: Rocha-Santos, T., Duarte, A. (eds.), *Characterization and analysis of microplastics* 75: 1-24. Elsevier, Universidad de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Derrai, J.G. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44:842- 852.
- De Sá, L., Luís, L., Guilhermino, L. 2015. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution* 196:359-362.
- Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., et al. 2014. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLOS ONE* 9(12):e111913.
- Escobar, E., Izquierdo, Y., Macedo, A., Remuzgo, G., Huiman, A. 2020. Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. *Revista Kawsaypacha: sociedad y medio ambiente* 4:79-92.
- FAO 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos del desarrollo sostenible*. pp. 115. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. ISBN: 978-92-5-130688-8
- FAO 2020. Feeding table for tilapia using formulated feed under intensive farming system. En: Species Profiles: Nile tilapia - *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Recurso en línea] Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/img/Niletilapia_table/table25-2.pdf
- Galgani, F., Hanke, G., Maes, T. 2015. Global distribution, composition and abundance of marine litter. En: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds), *Marine Anthropogenic Litter*, pp. 29-56 Springer International Publishing, Bremerhaven, Alemania.
- GESAMP 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. En: Kershaw, P.J. (ed.), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), GESAMP Reports & Studies Series, No. 90: 96 p. Londres, Reino Unido. Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9545/-Sources_Fate_and_Effects_of_Microplastics_in_the_Marine_Environment_A_Global_Assessment.pdf?sequence=2&disAllo-wed=y
- GESAMP 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. En: Kershaw, P.J., Rochman, C.M. (eds.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), GESAMP Reports & Studies Series, No. 93: 220. Londres, Reino Unido. Disponible en: <http://www.gesamp.org/site/assets/files/1275/sources-fate-and-effects-of-microplastics-in-the-marine-environment-part-2-of-a-global-assessment-en.pdf>.
- Huang, J.N., Wen, B., Meng, L.J., Li, X.X., Wang, M.H., Gao, J.Z., Chen, Z.Z. 2020. Integrated response of growth, antioxidant defense and isotopic composition to microplastics in juvenile guppy (*Poecilia reticulata*). *Journal of Hazardous Materials* 399:123044.
- Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17(4):411-429.
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., et al. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347(6226):768-771.
- Khan, F.R., Boyle, D., Chang, E., Bury, N.R. 2017. Do polyethylene microplastic beads alter the intestinal uptake of Ag in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)? Analysis of the MP vector effect using in vitro gut sacs. *Environmental Pollution* 231:200-206.
- Martínez, V., Mendoza, W., Álvarez, J., Martínez, E. 2015. Comportamiento del crecimiento de juveniles de tilapia *Oreochromis niloticus*, utilizando alimento comercial: para tilapia al 28% vs para camarón al 30%. *Revista Científica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*, León 6(1):65-7.
- Millán-Ocampo, L., Torres, A., Marín, G., Ramírez, W., Vásquez, M., Schronilgt, L. 2012. Concentración anestésica del eugenol en peces escalares (*Pterophyllum scalare*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 23(2):171-181.
- Nadal, M., Alomar, C., Deudero, S. 2016. High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *Boops boops* (L.) around the Balearic Islands. *Environmental Pollution* 214(1):517-523.
- Naidoo, T., Glassom, D. 2019. Decreased growth and survival in small juvenile fish, after chronic exposure to environmentally relevant concentrations of microplastic. *Marine Pollution Bulletin* 145:254-259.
- Nelms, S., Galloway, T., Godley, B., Jarvis, D., Lindeque, P. 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution* 238:999-1007.

- Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J., Pereira T. 2015. Ingestion of microplastics by commercial fish off the portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin* 101(1):119-126.
- Nobre, C.R., Santana, M.F., Maluf, A., Cortez, F.S., Cesar, A., Pereira, C.D., Turra, A. 2015. Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Marine Pollution Bulletin* 92(1-2):99-104.
- Ocean Conservancy 2015. *Stemming the tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean*. McKinsey Center for Business and Environment and Ocean Conservancy. Disponible en: <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/full-report-stemming-the.pdf>
- Ory, N.C., Gallardo, C., Lenz, M., Thiel, M. 2018. Capture, swallowing, and egestion of microplastics by a planktivorous juvenile fish. *Environmental Pollution* 240:566-573.
- Plastics Europe 2019. *Plásticos: Situación en 2019: Un análisis de los datos sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa*. PlasticsEurope. Madrid, España. Disponible en: <https://plasticseurope.org/es/knowledge-hub/plasticos-situacion-en-2019/>
- Phuong, N., Zalouk-Vergnoux, A., Poirier, L., Kamari, A., Chatel, A., Mouneyrac, C., Lagarde, F. 2016. Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments? *Environmental Pollution* 211:111-123.
- Pulgarin, C., Rodríguez, K., Salazar, M., Manríquez, C., Pérez, F., Gitterle, T. 2012. Parámetros genéticos para crecimiento comercial, sobrevivencia y manchado en tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 59(2):119-130.
- Riba, C. 2008. *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, pp. 200. Catalunya, España. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2099.3/36844>
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin-Fisheries Research Board of Canada* 191:1-382.
- Rodríguez Sierra, C.M., Antón Pardo, M., Quintana, X., Armengol, X. 2020. Ingesta de microplásticos por el pez exótico *Gambusia holbrooki* en dos lagunas costeras mediterráneas. *Ecosistemas* 29(3):2097. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2097>
- Saavedra, M. 2006. *Manejo del Cultivo de Tilapia*. Universidad Centroamericana, Coastal Resource Center, pp. 6. Managua, Nicaragua. Disponible en: http://repositorio.uca.edu.ni/2554/1/2006_manejo_del_cultivo_de_tilapia.pdf.
- Shaw, D.G., Day, R.H. 1994. Colour-and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 28:39-43.
- Stock, F., Kochleus, C., Spira, D., Brennholt, N., Bänisch-Baltruschat, B., Demuth, S., Reifferscheid, G. 2020. Plastic in aquatic environments - Results of an international survey. *Fundamental and applied limnology* 194(1):67-76
- Suaria, G., Avio, C.G., Mineo, A., Lattin, G.L., Magaldi, M.G., Belmonte, G., Aliani, S. 2016. The Mediterranean Plastic Soup: synthetic polymers in Mediterranean surface waters. *Scientific Reports*. 6(1):1-10.
- Thompson, A. 2018. *From fish to humans, a microplastic invasion may be taking a toll*. Scientific American, a Division of Springer Nature America, Inc. Disponible en: <https://www.scientificamerican.com/article/from-fish-to-humans-a-microplastic-invasion-may-be-taking-a-toll/>
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., Köhler, A. 2012. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science Technology* 46(20):11327-11335.
- Wen, B., Jin, S.R., Chen, Z.Z., Gao, J.Z., Liu, Y.N., Liu, J.H., Feng, X.S. 2018. Single and combined effects of microplastics and cadmium on the cadmium accumulation, antioxidant defence and innate immunity of the discus fish (*Symphysodon aequifasciatus*). *Environmental Pollution* 243:462-471.
- Wright, S.L., Rowe, D., Thompson, R.C., Galloway, T.S. 2013a. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Current Biology* 23(23): R1031-R1033.
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. 2013b. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution* 178:483-492.
- Xiong, X., Zhang, K., Chen, X., Shi, H., Luo, Z., Wu, C. 2018. Sources and distribution of microplastics in China's largest inland lake—Qinghai Lake. *Environmental Pollution* (235):899-906.