



Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Carlos Mazariegos-Ortíz^{1,*} , Marvin Xajil-Sabán¹ , Elisa Blanda¹ , Denise Delvalle-Borrero²

- (1) Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad Universitaria, zona 12, edificio T14, 01012, Guatemala.
(2) Laboratorio de Microplásticos, Universidad Tecnológica de Panamá. Avenida Universidad Tecnológica, Campus Víctor Levi Sasso, Apartado 0819-07289, El Dorado, Panamá, República de Panamá.

* Autor de correspondencia: C. Mazariegos-Ortíz [carlosmaza07@profesor.usac.edu.gt]

> Recibido el 01 de marzo de 2021 - Aceptado el 18 de junio de 2021

Como citar: Mazariegos-Ortíz, C., Xajil-Sabán, M., Blanda, E., Delvalle-Borrero, D. 2021. Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas* 30(2): 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>

Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Resumen: El objetivo de esta investigación fue evaluar la ingesta de microplásticos (MPS) en peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM), y su relación con el hábito alimenticio y hábitat. Aunque los MPS son contaminantes emergentes reportados en varias especies acuáticas, a la fecha este es el primer registro que aborda la presencia de MPS en peces de áreas protegidas de Guatemala. El tracto digestivo de 624 individuos de 16 especies de peces se analizaron usando digestión con hidróxido de potasio al 20% e identificación visual de los MPS en el estereomicroscopio. Se encontraron 644 MPS en el 47% de los individuos de 15 especies, con un rango de ingestión promedio entre 1 y 4 MPS. Las formas dominantes fueron las fibras (82%) seguidas por fragmentos (12%) y láminas (6%). Las mayores cantidades de MPS se registraron en las especies omnívoras y de hábitat bentopelágico. Se encontraron diferencias significativas en el número de MPS respecto al hábito alimenticio y al hábitat de las especies, y una correlación negativa entre el factor de condición y la cantidad de MPS para *Gobionellus microdon*. Nuestros resultados proveen la primera evidencia de ingesta de MPS en peces de la RNUMM. Es necesario generar información adicional para conocer la distribución espacio temporal de los MPS en distintos hábitats dentro del área protegida y los riesgos para las especies de importancia pesquera.

Palabras clave: factor de condición; fibras plásticas; hábito alimenticio; hábitat; área protegida

Occurrence of microplastics in the digestive tract of fishes from Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Abstract: The purpose of this research was to evaluate the intake of microplastics (MPs) in fishes from the Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) and its relationship with their feeding habits and habitat. Although MPS are emerging pollutants reported in several aquatic species, to the best of our knowledge this is the first record that addresses the presence of MPS in fish from protected areas of Guatemala. The digestive tracts of 624 individuals from 16 fish species were analyzed using digestion with 20% potassium hydroxide and visual identification of the MPs on the stereomicroscope. 644 MPS were found in 47% of the individuals of 15 species, with an average ingestion range between 1 and 4 MPS. Dominant MPS shapes were fibers (82%), followed by fragments (12%) and films (6%). The highest amount of MPS were found in omnivorous and benthopelagic species. Significant differences were found in the number of MPS related to the feeding habit and habitat of the species, and a negative correlation between the condition factor and the amount of MPS for *Gobionellus microdon*. Our results provide the first evidence of MPS intake in RNUMM fishes. It is necessary to generate additional information to know the spatio-temporal distribution of the MPS in different habitats within the protected area, and the risks for species of fishing importance.

Keywords: condition factor; feeding habit; plastic fibers; habitat; protected area

Introducción

El plástico es uno de los materiales de mayor consumo a nivel global debido a su versatilidad, bajo costo y utilidad, lo cual genera beneficios sociales como el ahorro de energía en el transporte y empaque de insumos (Andrady y Neal 2009; Andrady 2017). Sin embargo, los impactos ecológicos, sociales y económicos del uso de plástico y su descarte inadecuado son evidentes (Beaumont et al. 2019). A la fecha, han sido generados un total de 8300 millones de toneladas métricas de las cuales 6300 se consideran desechos plásticos. Además, se calcula que el 79% está acumulado en relle-

nos sanitarios o en vertederos al aire libre (Geyer et al. 2017). De acuerdo al estudio de Geyer et al. (2017), aproximadamente 12 000 millones de toneladas métricas se acumularán en ecosistemas marinos y terrestres al año 2050, siendo el manejo ineficiente de la basura la principal causa de esta situación (Dauvergne 2018).

Una vez en el ambiente, el plástico puede fragmentarse en pequeñas partículas denominadas microplásticos < 5 mm (MPS) (Hidalgo-Ruz et al. 2012; Li et al. 2016). Los MPS se clasifican por su origen en primarios los cuales son fabricados en tamaños milimétricos para la industria de cosméticos o, como materia prima para plásticos de mayor tamaño. Por otro lado los MPS secundarios se

derivan de la estructura original de objetos plásticos que han estado sometidos a factores ambientales (Corcoran et al. 2009; Thompson et al. 2009). Los MPS se acumulan en los ecosistemas naturales más diversos (Barnes et al. 2009): desde el agua dulce (Li et al. 2018), estuarios y manglares (Garcés-Ordóñez et al. 2019; Deng et al. 2021), zonas costeras (Browne et al. 2011) y en el ambiente marino, tanto en sedimentos como en agua (Andrady 2011; Van Cauwenberghe et al. 2013).

La ingesta de MPS por parte de los peces puede darse de forma directa en el agua o indirecta cuando por sus altas concentraciones o por sus colores son confundidos con presas (Setälä et al. 2014). Boerger et al. (2010) indica que la similitud entre la presa y los MPS podrían hacer más propensa la ingestión de estos tanto para el plancton como para los peces. El plancton es el nivel más bajo de esta cadena, por ello es probable que la transferencia de MPS ocurra desde este eslabón hacia los consumidores secundarios (Botterell et al. 2019). Cabe mencionar que la ingesta de MPS trae consigo problemas fisiológicos en organismos acuáticos y terrestres, y aunque los efectos siguen siendo poco entendidos, se conoce que la presencia de MPS disminuye el consumo de las presas, la reproducción, el crecimiento y la sobrevivencia de las especies (Foley et al. 2018). Se ha podido establecer, además, que algunos factores biológicos tales como el hábito alimenticio pueden influenciar la capacidad de acumulación de MPS en especies de peces (Mizraji et al. 2017; García et al. 2020), por lo que resulta crítico contemplar este factor en los programas de monitoreo.

De acuerdo a su densidad, algunos MPS flotan o se mantienen en la columna de agua, mientras que otros sedimentan acumulándose en el fondo de los ecosistemas acuáticos. Dado que los peces habitan diferentes estratos dentro un ecosistema, la ingesta en relación al hábitat toma relevancia, como lo demuestra Savoca et al. (2021) en un estudio en el que 386 de 555 especies de peces marinos consumieron MPS. Estos resultados revelaron que es probable que los peces pelágicos ingirieran plástico en la columna de agua, mientras que los demersales los obtuviesen en aguas poco profundas.

Guatemala está constituida por 313 áreas protegidas que representan 31% de la extensión territorial del país (SEGEPLAN 2014). La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) fue creada por el Acuerdo Gubernativo 16-77 con el objetivo de res-

guardar el recurso natural y regular las actividades antrópicas como la pesca, turismo, agricultura, ganadería y conservación (Sigüenza y Ruiz-Ordóñez 1999). Es por ello que algunos de los estudios que se han realizado en la RNUMM se enfocan a la biodiversidad de flora y fauna (García-Fuentes et al. 2014; Sigüenza y Ruiz-Ordóñez 1999) y otros temas de gobernabilidad (González-Bernat y Clifton 2019). En relación al objetivo de protección de ciertas áreas naturales, Mazariegos-Ortiz et al. (2020) evidenció por primera vez la contaminación por MPS en arena de playa del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, ubicada en el mar Caribe de Guatemala, demostrando la necesidad de evaluar la contaminación por MPS en otras áreas protegidas del país y en particular el estado de los recursos pesqueros disponibles para las comunidades que se alimentan de ellos.

Los objetivos de este trabajo fueron i) evaluar la ingesta de MPS en peces de la RNUMM y su relación con su hábito alimenticio y hábitat y ii) establecer la relación entre el factor de condición y el número de MPS. Nuestros hallazgos proveen el primer reporte de ocurrencia de MPS en peces de la RNUMM. Esta información es útil para investigar el estado actual de las áreas protegidas, los riesgos para la biota y en consecuencia en los asentamientos humanos que hacen uso del recurso pesquero.

Materiales y métodos

Área de estudio

La RNUMM está localizada al sureste de Guatemala (costa Pacífico) entre los meridianos 90°26'21" y 90°30'14" O y paralelos 13°58'28" y 14°0'38" N (Fig. 1). Tiene un área aproximada de 1800 Ha con el 65% de su superficie ocupada por cuerpos de agua, el ecosistema manglar y dos asociaciones naturales: el ecosistema estuarino y marino costero. Dentro de ella se localiza el Canal de Chiquimulilla y cinco asentamientos humanos que se comunican vía acuática a través del Canal como es el caso de Monterrico, La Avellana y Agua Dulce, y a través de carreteras como La Curvina y El Pumpeo (Castillo-Cabrera 2012). En esta región el clima es cálido-húmedo con dos estaciones: época lluviosa de abril a noviembre y época seca de diciembre a mayo (Herrera 2003). La precipitación anual oscila entre 1000 a 2000 mm y el rango de temperatura anual es de 27 a 29 °C (ICC 2020).

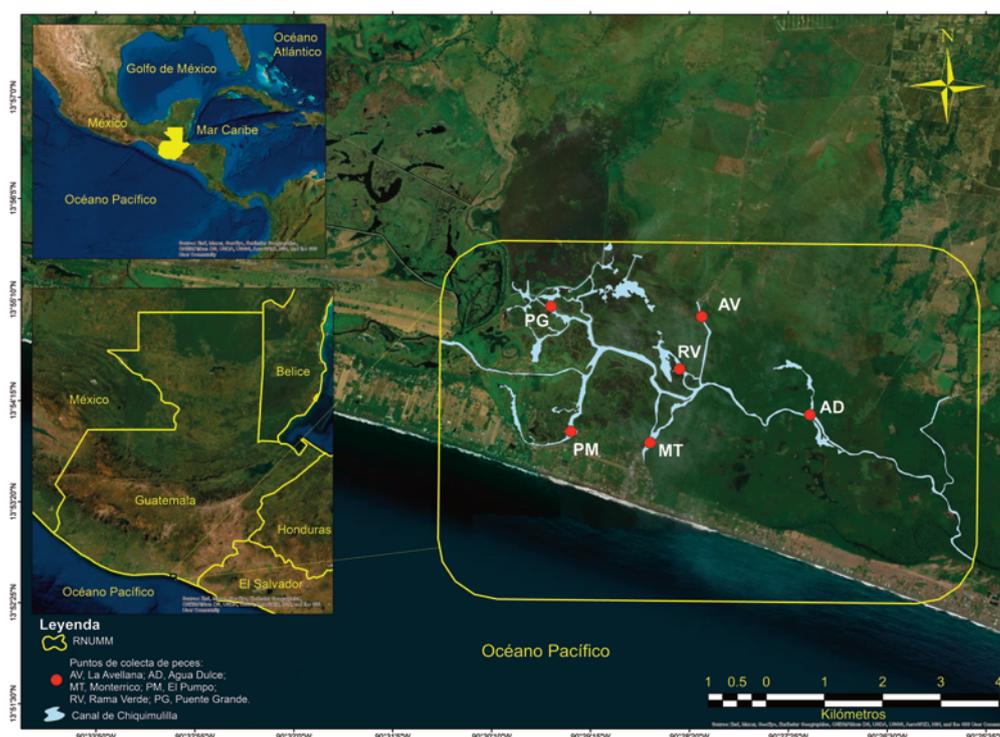


Figura 1. Ubicación geográfica de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico mostrando el Canal de Chiquimulilla y los puntos de colecta de peces.
Figure 1. Geographic location of the Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico showing the Chiquimulilla watercourse and collecting points of fishes.

Los peces fueron colectados en seis puntos dentro de la RNUMM: Puente Grande (13°55'24.42" N, 90°29'16.32" O), Rama Verde (13°54'32.77" N, 90°28'26.79" O), El Pumpo (13°54'7.47" N, 90°29'21.71" O), La Avellana (13°55'4.21" N, 90°28'14.80" O), Agua Dulce (13°53'52.67" N, 90°27'6.86" O) y Monterrico (13°53'52.92" N, 90°28'41.83" O) (Fig. 1).

Colecta y análisis de laboratorio

Se capturaron 624 individuos de diferentes especies de peces utilizando un arte de pesca activa (atarraya), en tres campañas realizadas en julio, agosto y diciembre de 2020. Los organismos fueron almacenados en recipientes herméticos con hielo para sacrificarlos. En el laboratorio, los especímenes fueron identificados a nivel de género o especie usando claves taxonómicas y bases de datos para peces del Pacífico Oriental (Fischer et al. 1995; Robertson y Allen 2015; Froeze y Pauly 2020). El hábito y hábitat de cada espécimen fue identificado utilizando la base de datos de Robertson y Allen (2015).

Se registraron longitud total (LT; cm) y peso total (PT; g) de cada espécimen utilizando un escalímetro y una balanza electrónica (AND EJ-2000, 0.1 g de precisión), respectivamente. Luego, se realizó un corte longitudinal en la parte ventral de cada pez, desde el poro urogenital hasta la base opercular para extraer el tracto digestivo. Para la digestión del tracto digestivo, se modificó el método utilizado por Foekema et al. (2013) usando hidróxido de potasio al 20% (200 g en 1000 L de agua desmineralizada) previamente filtrado en filtros de celulosa de 8 µm (Whatman®) y agregado en una relación peso-volumen de 1:3, manteniendo el material sumergido con la solución durante al menos 48 horas. Posteriormente, el material digerido fue filtrado a través de un filtro de celulosa de 8 µm (Whatman®) utilizando un sistema de filtración al vacío, para separar los MPS de la solución. Los filtros fueron almacenados en cajas de Petri plásticas con su respectiva tapa, y secados a temperatura ambiente. Para la identificación y cuantificación de MPS, los filtros fueron observados con un estereomicroscopio (Amscope SM-1TSZZ-144S-10M), magnificación de 3.5X hasta 180X, aumentando de acuerdo con el tamaño de las partículas.

Todos los materiales fueron previamente lavados con abundante agua desmineralizada y las superficies de trabajo fueron limpiadas con alcohol al 95%.

Los MPS fueron clasificados según su forma, con base a lo descrito por Hidalgo-Ruz et al. (2012) en fibras, fragmentos y láminas. Las fibras, generalmente son largas y homogéneas en su longitud (Kumar et al. 2018); los fragmentos son de formas y grosores irregulares, angulares o subangulares; y las láminas tienen formas delgadas, regulares e irregulares (Kovač et al. 2016). Para diferenciar entre fibras sintéticas y orgánicas, se utilizó el método descrito por Kumar et al. (2018), el cual consiste en acercar una aguja caliente a las fibras observando si se estiran o se encojen al calor.

Para determinar si hubo contaminación por MPS provenientes del aire o manejo de la muestra durante su procesamiento y análisis, se colocaron cinco filtros de celulosa (controles) en cada jornada dentro del área de trabajo. Ningún filtro fue registrado con fibras u otra forma de MPS.

Análisis estadístico

El Factor de ocurrencia (%) de los MPS fue calculado para cada una de las especies utilizando la ecuación $FO(\%) = (PCM_{ps/n}) * 100$, donde FO(%) es el factor de ocurrencia, PCM_{ps} peces con microplásticos, y n número de peces examinados. La abundancia promedio (MPS/pez) fue obtenida dividiendo el número total de MPS y el total de peces de cada especie, donde fueron registrados MPS.

El factor de condición es un índice que aporta información de las estrategias de crecimiento, madurez sexual, reproducción, estado nutricional y bienestar de los peces a través del peso y talla, lo que permite inferir las condiciones en las que habitan las poblaciones de peces en determinados cuerpos de agua (Cifuentes et

al. 2012). El factor de condición promedio (FC; K) para cada especie fue calculado con la ecuación $K = PT/LT^3$, donde PT es el peso total en g, y LT es la longitud total en cm.

Los peces fueron agrupados respecto a su hábitat y hábito alimenticio (Fig. 2), y previo al análisis de datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Una vez comprobado que los datos no cumplen con la normalidad, se aplicó el análisis de la varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparaciones entre grupos de Holm para evaluar la diferencia entre los tres hábitats: demersal, bentopelágico y pelágico; y entre los tres hábitos alimenticios: carnívoro, omnívoro y herbívoro. Para las especies que tuvieron ingesta de MPS (> 10 organismos) (Tabla 1), se aplicó el análisis de regresión lineal y la correlación de Kendall entre el FC y los MPS, con intervalos de confianza del 95%. Los resultados se consideraron significativos a un p valor < 0.05. Los datos se analizaron en R Studio (R Core Team 2020).

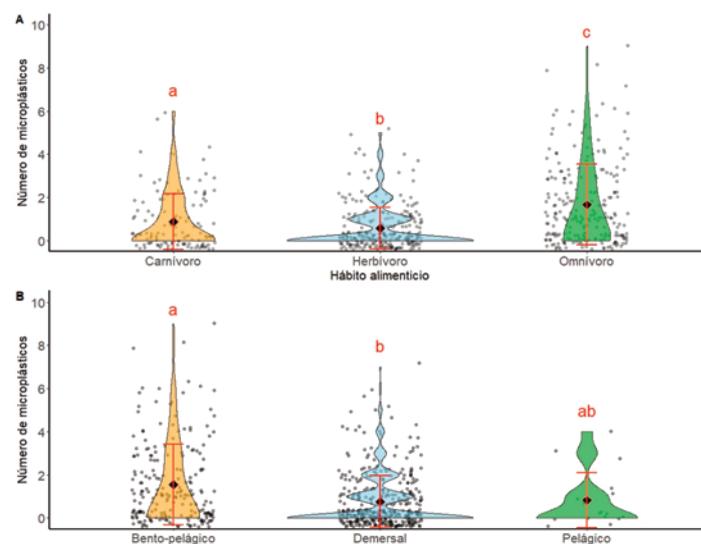


Figura 2. Gráficos de violín muestran la distribución de microplásticos, el promedio (\pm error estándar) y letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para los peces respecto a su hábito alimenticio (A) y hábitat (B) de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Figure 2. Violin graphs show the distribution of microplastics, the average (\pm standard error) and the letters indicate significant differences ($p < 0.05$) for fishes regarding their feeding habit (A) and habitat (B) from Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Resultados

Se capturaron un total de 624 ejemplares que corresponden a 16 especies (Tabla 1), de acuerdo a su hábitat: cuatro fueron bentopelágicas, diez demersales y dos pelágicas. Respecto a su hábito alimenticio: ocho fueron carnívoros, tres herbívoros y cinco omnívoros.

Se encontraron 644 MPS con tamaños de 10 a 100 µm, en 295 de los 624 ejemplares de las 15 especies analizadas (47%) (Tabla 1). En el tracto digestivo de la especie *A. macracanthus* ($n = 1$) no se encontraron MPS.

La ocurrencia de ingestión más alta se registró en *Pterygoplychthys* sp., (omnívoro, demersal) con un individuo analizado, seguido de *M. curema* (omnívoro, bentopelágico), *C. nigrescens* (carnívoro, demersal), *G. microdon* (omnívoro, demersal) y *G. maculatus* (carnívoro, demersal). La menor ocurrencia se registró en *P. butleri* (herbívoro, bentopelágico). La abundancia promedio (desviación estándar) de MPS en las especies fue de 2.14 (0.74) y el rango del promedio de MPS ingerido fue de 1 a 4 (Tabla 1).

Los MPS encontrados en su mayoría fueron fibras (82%), fragmentos (12%) y láminas (6%), representados por diversos colores como el azul (58%), rojo (18%), transparente (9%), negro (8%), blanco (3%), verde (3%) y amarillo (1%) (Figs. 3 y 4).

Tabla 1. Resumen de los datos colectados de familia, especies, hábito alimenticio, hábitat, número peces (N), peces con microplásticos (MPS), total de microplásticos, frecuencia de ocurrencia, abundancia promedio, factor de condición, peso y longitud promedio en peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Table 1. Summary of data collected on family, species, feeding habit, habitat, number of microplastics (N), fish with microplastics in gut (MPS), total microplastics, frequency of occurrence, average of microplastics, the condition factor, average weight and length in fishes from Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Familia	Nombre científico	Hábito alimenticio	Hábitat	N	Peces con MPS	Total de MPS	Frecuencia de ocurrencia (%)	Abundancia promedio	Factor de Condición	Peso (g)	Longitud (cm)
Ariidae	<i>Arius guatemalensis</i>	Carnívoro	Demersal	7	4	6	57	1.5	0.87	116.98	21.23
Centropomidae	<i>Centropomus armatus</i>	Carnívoro	Demersal	7	3	8	43	2.67	0.74	9.47	9.40
Centropomidae	<i>Centropomus nigrescens</i>	Carnívoro	Demersal	10	6	11	60	1.83	0.74	44.3	16.78
Centropomidae	<i>Centropomus robalito</i>	Carnívoro	Demersal	33	16	34	48	2.13	0.77	14.77	11.50
Centropomidae	<i>Centropomus viridis</i>	Carnívoro	Demersal	10	4	6	40	1.5	0.74	29.48	15.43
Characidae	<i>Astyanax aeneus</i>	Carnívoro	Bentopelágico	26	12	35	46	2.92	1.62	7.65	7.81
Gerreidae	<i>Diapterus peruvianus</i>	Carnívoro	Demersal	13	5	9	38	1.8	1.07	3.98	7.14
Gobiidae	<i>Gobiomorus maculatus</i>	Carnívoro	Demersal	27	13	30	48	2.31	0.88	20.30	13.07
Cupleidae	<i>Lile gracilis</i>	Herbívoro	Pelágico	12	5	12	41	2.4	0.48	26.06	18.22
Eleotridae	<i>Dormitator latifrons</i>	Herbívoro	Demersal	248	88	140	35	1.59	1.57	32.10	12.4
Poeciliidae	<i>Poecilia butleri</i>	Herbívoro	Bentopelágico	14	4	6	28	1.5	1.31	5.38	7.43
Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	Omnívoro	Pelágico	5	2	2	40	1	2.1	144.36	18.52
Cichlidae	<i>Asthateros macracanthus</i>	Omnívoro	Bentopelágico	1	0	0			2.04	20.40	10.00
Gobiidae	<i>Gobionellus microdon</i>	Omnívoro	Demersal	39	22	53	56	2.41	0.47	10.55	13.11
Loricariidae	<i>Pterygoplichthys</i> sp.	Omnívoro	Demersal	1	1	4	100	4	0.79	4.70	8.40
Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	Omnívoro	Bentopelágico	171	110	288	64	2.62	0.97	29.36	14.11

En la **figura 2** se muestra que el número de MPS fue superior en los peces omnívoros (379, 59%) respecto a los herbívoros (158, 25%) y carnívoros (107, 17%) ($H = 59.17$, $p < 0.05$). Al representar los peces por hábitat, el número de MPS en los peces bentopelágicos (329, 51%) fue superior a los demersales (301, 47%), mientras que los pelágicos (14, 2%) no difieren estadísticamente entre los bentopelágicos y demersales ($H = 29.60$, $p < 0.05$).

De las especies analizadas, únicamente en *G. microdon*, se encontró una correlación negativa entre el FC de los organismos y el número de MPS ($\text{Tau} = -0.43$, $p = 0.01$). El análisis de regresión para esta especie indica que una disminución del FC está asociado al incremento de MPS pero con una baja varianza explicada ($R^2 = 0.13$, $p = 0.10$, $y = 5.22 - 5.99 x$), y que además esa relación no es significativa.

Discusión

El presente trabajo provee el primer registro de ingesta de MPS en 47% de las especies de peces de la RNUMM. Este resultado

sugiere que es probable que los peces interactúen con MPS dentro del área protegida debido a actividades antrópicas alrededor de ella y los afluentes de la RNUMM. El valor de ocurrencia en este estudio es mayor a otros en peces de ecosistemas de manglar como lo reportado en la bahía de Cispatá Colombia por [Garcés-Ordóñez et al. \(2020\)](#), el de [Possatto et al. \(2011\)](#) en el noroeste de Brasil y el de [Pegado et al. \(2018\)](#) en el estuario del río Amazonas, con valores de 7%, 23% y 30%, respectivamente.

Los peces omnívoros presentaron una mayor proporción de MPS ingeridos, comparado con los otros dos grupos. Resultados similares fueron reportados por [Mizraji et al. \(2017\)](#), en un estudio en la costa central de Chile donde indica que la presencia de MPS está relacionado al hábito alimenticio. Este autor menciona que una mayor cantidad de partículas en peces omnívoros podría estar asociado a que cuentan con una dieta más amplia y menos selectiva respecto a los herbívoros y carnívoros. Además, las especies con este tipo de hábito pueden tener mayor potencial de ingestión activa debido al comportamiento alimenticio y mayor disponibilidad de ítems alimenticios que obtienen en la columna de agua ([García et al. 2020](#)).

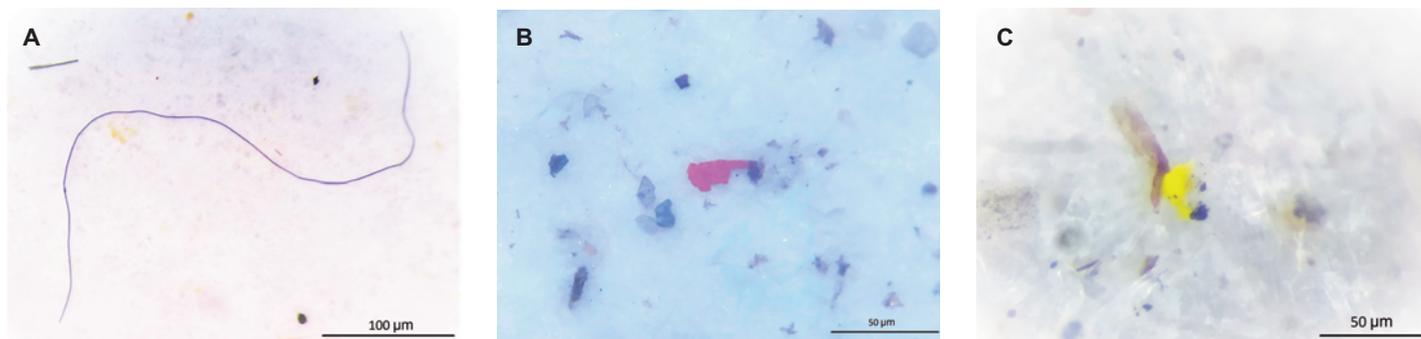


Figura 3. Microplásticos registrados en peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, fibra (A), lámina (B) y fragmento (C), barras indican el tamaño.

Figure 3. Microplastics recorded in digestive tract of fishes from Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, fiber (A), film (B) and fragments (C), bars indicate size.

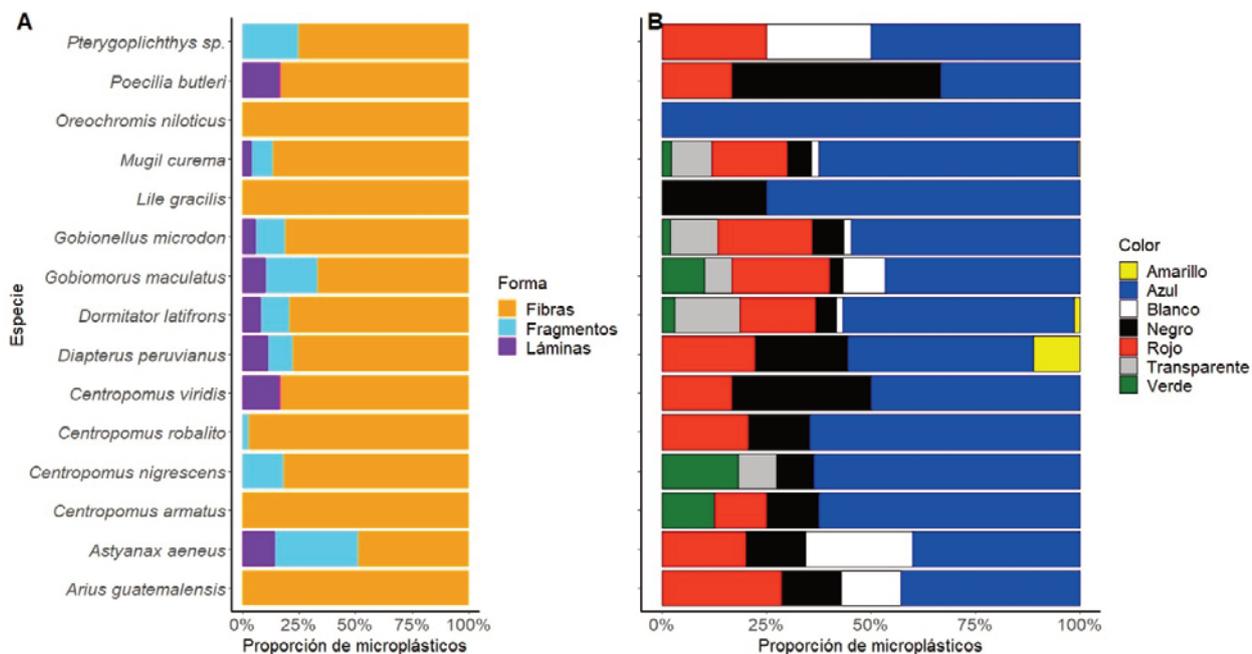


Figura 4. Formas de microplásticos (A) y colores (B) encontrados en diversos peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Figure 4. Microplastics shape (A) and colors (B) found in different fish species at the Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.).

En el análisis en relación al hábitat, los peces bentopelágicos presentaron una mayor proporción de MPS, seguido por los demersales y pelágicos. Huang et al. (2020), reportó una mayor abundancia de MPS en peces demersales comparado con los pelágicos en un ecosistema manglar de Zhanjiang al sur de China. Asimismo, en el río Zhejiang (China), Li et al. (2020) registró alta presencia de contaminación por MPS en el agua y sedimentos, así como también en peces bentopelágicos y demersales. Estos hallazgos fortalecen el conocimiento respecto a la forma en que los peces ingieren MPS, evidenciando la estrecha relación que tienen los peces de fondo con este contaminante (Al-Lihaibi et al. 2019; Justino et al. 2021).

Respecto a la clasificación de los MPS por forma, las fibras fueron las más abundantes en el tracto digestivo de los peces. Resultados similares han sido reportados por otros investigadores donde las fibras representaron el 80% de los MPS (Kumar et al. 2018). También se han reportado porcentajes mayores al 90% en estuarios del noroeste de Brasil y Portugal (Vendel et al. 2017; Bessa et al. 2018). Las fibras son partículas que provienen de diferentes fuentes, una muy común el uso de lavadoras, ya que la acción mecánica ocasiona el desprendimiento de grandes cantidades de fibras, que posteriormente terminan en los ríos y son arrastradas hasta los océanos (Lebreton et al. 2017; Kelly et al. 2019; Emmerik y Schwarz 2020). De igual manera, las artes de pesca también son una fuente de fibras en los ecosistemas, dado que muchas de ellas están hechas de materiales sintéticos que se desprenden durante su uso o cuando son abandonadas (Jonathan et al. 2021). Adicionalmente, reportamos la presencia de otras formas de MPS en el tracto digestivo de los peces, como fragmentos y láminas, lo que nos lleva a pensar que provienen de la fragmentación debido a la degradación por factores ambientales de plásticos de mayor tamaño como bolsas o botellas de bebidas, que se acumulan en los ecosistemas (Wang et al. 2016).

En este estudio el color predominante fue azul, seguido por rojo, siendo los colores menos comunes verde y amarillo. La dominancia del color azul se ha informado anteriormente en especies de peces de agua dulce (Santos et al. 2020), en peces de estuario (Pazos et al. 2017), en peces marinos costeros (Herrera et al. 2019; Barboza et al. 2020). Los peces pueden confundir sus presas con ciertos colores de MPS, como lo sugiere Ory et al. (2017) en una investigación donde el 80% de *Decapterus muroadsi* consumieron MPS de color azul similar al de su presa, el copépodo *Pontella sinica*.

En el análisis del factor de condición y el número de MPS, se encontró una correlación negativa en *G. microdon* (omnívoro, demersal). Este resultado no muestra evidencia de que el FC de los peces esté estrictamente afectado por los MPS registrados en los especímenes evaluados, ya que probablemente no se estén acumulando en el tracto digestivo sino más bien están pasando a través de él sin causar una falsa saciedad o bloqueo intestinal (Lei et al. 2018; Foley et al. 2018). Foekema et al. (2013) analizó seis especies de peces, en una de ellas (*Melanogrammus aeglefinus*) fue apreciable la disminución del factor de condición en relación al número de MPS, pero al igual que en este estudio, la información fue insuficiente para confirmar la hipótesis de que los MPS afectan el FC de los peces.

La pesca artesanal de la zona estuarina del corredor Monterrico-Hawaii, en la cual se encuentra la RNUMM tiene como objeto de pesca 11 especies de peces de escama, siendo el más capturado *D. latifrons*, los cuales son destinados para consumo y comercialización (Hernández-Padilla et al. 2020). Nuestro estudio evidenció la presencia de MPS en cuatro de las once especies de importancia comercial: *D. latifrons*, *A. guatemalensis*, *O. niloticus* y *C. robalito*. Las implicaciones de la potencial transferencia de MPS en la cadena trófica y la ingesta en el humano han sido poco estudiados, pero se conoce la capacidad de los MPS de adsorber contaminantes que se encuentren disponibles en el medio (contaminantes orgánicos persistentes, orgánicos hidrófobos o metales acuosos), así como también se ha demostrado en organismos acuáticos que ocurre la translocación de MPS del tracto digestivo al sistema circulatorio, hígado o a tejidos circundantes (Duis y Coors 2016). En consecuencia, podrían afectar procesos endócrinos y celulares que pueden desencadenar efectos mutagénicos o carcinogénicos (Duis y Coors 2016; Cole et al. 2011).

Conclusiones

Este trabajo ofrece los primeros resultados de la ocurrencia de MPS en el tracto digestivo de 15 especies de un área protegida de Guatemala. Se indica que cuatro de las especies en las que se registraron MPS son de importancia pesquera, y son parte de la economía de los lugareños por lo que es primordial realizar más estudios que permitan hacer una valoración del impacto de este contaminante en la salud de los peces y en los ecosistemas.

Los resultados indican que la mayor ocurrencia de MPS se registró en peces omnívoros, mientras que respecto al hábitat la ocurrencia de MPS fue mayor en los peces bentopelágicos. Estudios posteriores podrían enfocarse a establecer la transferencia de MPS en el nivel trófico, mientras que el hábitat puede relacionarse con la abundancia en otras matrices como agua y sedimento.

A pesar de que se encontró una correlación negativa entre el factor de condición y los MPS en *Gobionellus microdon*, los resultados no aportan suficiente evidencia para confirmar que el bienestar de los animales está siendo afectado por este contaminante en la RNUMM.

Agradecimientos

Este proyecto fue cofinanciado por la Dirección General de Investigación (DIGI) con partida presupuestaria 1130060.422 y código B16CU-2020 y el Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Agradecemos a Nelson Ávila y Armando Orantes quienes ayudaron en las tres campañas de colecta y transporte de los peces, así como a los revisores anónimos que hicieron aportes para mejorar el trabajo.

Contribución de los autores

Carlos Mazariegos-Ortiz: Administración del proyecto, Análisis formal, Conceptualización, Investigación, Redacción-Revisión y edición, Software. Marvin Xajil-Sabán: Investigación, Redacción-Revisión y edición, Visualización. Elisa Blanda: Redacción-Revisión y edición. Denise Delvalle-Borrero: Redacción-Revisión y edición.

Referencias

- Al-Lihaibi, S., Al-Mehmadi, A., Alarif, W.M., Bawakid, N.O., Kallenborn, R., Ali, A.M. 2019. Microplastics in sediments and fish from the Red Sea coast at Jeddah (Saudi Arabia). *Environmental Chemistry* 16(8):641-650.
- Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62(8):1596-1605.
- Andrady, A.L. 2017. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin* 119(1):12-22.
- Andrady, A.L., Neal, M.A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526):1977-1984.
- Barboza, L.G.A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C., Guilhermino, L. 2020. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of The Total Environment* 717:134625.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526):1985-1998.
- Beaumont, N.J., Aanesen, M., Austen, M.C., Börger, T., Clark, J.R., Cole, M., Hooper, T. et al. 2019. Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine Pollution Bulletin* 142:189-195.
- Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P., Marques, J.C. 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin* 128:575-584.
- Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L., Moore, C.J. 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 60(12):2275-2278.
- Botterell, Z.L.R., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R.C., Lindeque, P.K. 2019. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution* 245:98-110.
- 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 and Technology* 45(21):9175-9179.
- Castillo, F., Dávila, C., Morales, A., García, A. 2012. *Actualización del Plan Maestro de la Reserva de Usos Múltiples Monterrico: el levantamiento detallado de la vegetación y la cartografía botánica*. Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., Habit, E. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)* 75(2):101-100.
- 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.
- Corcoran, P.L., Biesinger, M.C., Grifi, M. 2009. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin* 58(1):80-84.
- Dauvergne, P. 2018. Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change* 51:22-31.
- Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H., Ge, C. 2021. Microplastics pollution in mangrove ecosystems: A critical review of current knowledge and future directions. *Science of The Total Environment* 753:142041.
- Duis, K., Coors, A. 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 28:2.
- Emmerik, T., Schwarz, A. 2020. Plastic debris in rivers. *WIREs Water* 7:e1398.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., Niem, V. H. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. [0] Vol. 2: Pacífico centro-oriental Vertebrados*; Pt. 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Foekema, E.M., De Grijter, C., Mergia, M.T., van Franeker, J.A., Murk, A.J., Koelmans, A.A. 2013. Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science and Technology* 47(15):8818-8824.
- Foley, C.J., Feiner, Z.S., Malinich, T.D., Höök, T.O. 2018. A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Science of The Total Environment* 631-632:550-559.
- Froese, R., Pauly, D. (Eds). 2020. *FishBase*. World Wide Web Electronic Publication. Disponible en: www.fishbase.org
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V.A., Granados-Briceño, A.F., Blandón García, L.M., Espinosa Díaz, L.F. 2019. Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin* 145:455-462.
- Garcés-Ordóñez, O., Mejía-Esquivia, K.A., Sierra-Labastidas, T., Patiño, A., Blandón, L.M., Espinosa Díaz, L.F. 2020. Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem in Cispatá, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin* 154:111085.
- García, T.D., Cardozo, A.L.P., Quirino, B.A., Yofukuji, K.Y., Ganassin, M.J.M., dos Santos, N.C.L., Fugi, R. 2020. Ingestion of Microplastic by Fish of Different Feeding Habits in Urbanized and Non-urbanized Streams in Southern Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution* 231:434.
- García-Fuentes, A., Castillo-Cabrera, F.J., Dávila-Pérez, C.V., Morales, A.S., Salazar-Mendías, C., Lendínez-Barriga, M.L., et al. 2014. Study of the vegetation in the Multiple Use Natural Reserve of Monterrico (Guatemala). *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 148(6):1064-1074.
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 3(7):e1700782.
- González-Bernat, M.J., Clifton, J. 2019. A governance analysis of two marine protected areas in the Pacific Region of Guatemala: The Multiple Use Area of Monterrico and the Private Reserve La Chorrera-Manchón Guamuchal. *Marine Policy* 103625.
- Hernández-Padilla, J.C., Capetillo-Piñar, N., Vélez-Arellano, N., Aranceta-Garza, F., Ortiz-Aldana, J.R., Navas-Beteta, A., Herrarte-Müller, I. C. 2020. Variación espacial en la composición y abundancia de las especies capturadas por las pesquerías de pequeña escala en el litoral del Pacífico de Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático–Yu'am* 4(1):19-43.
- Herrera, J.L. 2003. *Estado actual del clima y la calidad del aire en Guatemala*. Informe técnico n° 5, Instituto de Incidencia Ambiental, Universidad Rafael Landívar e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Agrícolas, Guatemala. Disponible en: http://wikiguate.com.gt/w/images/8/8a/Estado_actual_del_clima_y_calidad_del_aire_en_Guatemala.pdf
- Herrera, A., Štindlová, A., Martínez, I., Rapp, J., Romero-Kutzner, V., Samper, M.D., et al. 2019. Microplastic ingestion by Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) in the Canary Islands coast. *Marine Pollution Bulletin* 139:127-135.

- 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 and Technology* 46(6):3060-3075.
- Huang, J.-S., Koongolla, J.B., Li, H.-X., Lin, L., Pan, Y.-F., Liu, S., et al. 2020. Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Science of The Total Environment* 708:134839.
- ICC 2020. Resumen meteorológico 2019. Resultados del sistema meteorológico del ICC. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala. Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2020/06/20200622-Resumen-meteorológico-del-año-2019-en-el-sur-de-Guatemala.pdf>
- Jonathan, M.P., Sujitha, S.B., Rodriguez-Gonzalez, F., Campos Villegas, L.E., Hernández-Camacho, C.J., Sarkar, S.K. 2021. Evidences of microplastics in diverse fish species off the Western Coast of Pacific Ocean, Mexico. *Ocean and Coastal Management* 204:105544.
- Justino, A. K. S., Lenoble, V., Pelage, L., Ferreira, G. V. B., Passarone, R., Frédou, T., Lucena Frédou, F. 2021. Microplastic contamination in tropical fishes: An assessment of different feeding habits. *Regional Studies in Marine Science* 45:101857.
- Kelly, M.R., Lant, N.J., Kurr, M., Burgess, J.G. 2019. Importance of Water-Volume on the Release of Microplastic Fibers from Laundry. *Environmental Science and Technology* 53(20):11735-11744.
- Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., Kržan, A. 2016. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments* (118):e55161
- Kumar, V.E., Ravikumar, G., Jeyasanta, K.I. 2018. Occurrence of microplastics in fishes from two landing sites in Tuticorin, South east coast of India. *Marine Pollution Bulletin* 135:889-894.
- Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* 8:15611.
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H. et al. 2018. Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *Science of The Total Environment* 619-620:1-8.
- Li, B., Su, L., Zhang, H., Deng, H., Chen, Q., Shi, H. 2020. Microplastics in fishes and their living environments surrounding a plastic production area. *Science of The Total Environment* 727:138662.
- Li, J., Liu, H., Paul Chen, J. 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* 137:362-374.
- Li, W.C., Tse, H.F., Fok, L. 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment* 566-567:333-349.
- Mazariegos-Ortiz, C., de los Ángeles Rosales, M., Carrillo-Ovalle, L., Pereira Cardoso, R., Costa Muniz, M., Meigikos dos Anjos, R. 2020. First evidence of microplastic pollution of the El Quetzalito sand beach of the Guatemalan Caribbean. *Marine Pollution Bulletin* 156:111220.
- Mizraji, R., Ahrendt, C., Perez-Venegas, D., Vargas, J., Pulgar, J., Aldana, M., Patricio Ojeda, F. et al. 2017. Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Marine Pollution Bulletin* 116(1-2):498-500.
- Ory, N.C., Sobral, P., Ferreira, J.L., Thiel, M. 2017. Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of The Total Environment* 586:430-437.
- 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(1-2):85-90.
- Pegado, T. de S. S., Schmid, K., Winemiller, K.O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., Giarrizzo, T. 2018. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin* 133:814-821.
- Possatto, F.E., Barletta, M., Costa, M.F., Ivar do Sul, J.A., Dantas, D.V. 2011. Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin* 62(5):1098-1102.
- Robertson, D.R., Allen, G.R. 2015. *Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea*. Versión 2.0. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- R Core Team 2020. R: A language and environment for statistical computing [Software] R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org>
- Santos, T. dos, Bastian, R., Felden, J., Rauber, A.M., Reynalte-Tataje, D.A., Mello, F.T. de. 2020. First record of microplastics in two freshwater fish species (*Iheringthys labrosus* and *Astyanax lacustris*) from the middle section of the Uruguay River, Brazil. *Acta Limnológica Brasiliensis* 32:e26.
- Savoca, M.S., McInturf, A.G., Hazen, E.L. 2021. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Global Change Biology* 27(10): 2188-2199.
- SEGEPLAN 2014. *Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032*. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala. Disponible en: <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/18568.pdf>
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185:77-83.
- Sigüenza, R., Ruiz-Ordóñez, J.A. (Eds.). 1999. *Plan Maestro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Centro de Estudios Conservacionistas.
- Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S. 2009. Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526):1973-1976.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.R. 2013. Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution* 182:495-499.
- Vendel, A.L., Bessa, F., Alves, V.E.N., Amorim, A.L.A., Patricio, J., Palma, A.R.T. 2017. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin* 117(1-2):448-455.
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., Li, M. 2016. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research* 113:7-17.