

# Contaminación por microplásticos en playas del Pacífico de Guatemala: abundancia y características

*Microplastics pollution in Pacific beaches of Guatemala: abundance and characteristics*

Carlos Mazariegos-Ortíz <sup>1,2\*</sup>, Luis García-Arroyave <sup>1</sup>, Carolina Marroquín-Mora <sup>1</sup>, Ana Luisa Mendizábal <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas, Universidad de San Carlos de Guatemala; <sup>2</sup>Red para la Investigación de Basura Marina de Centroamérica (Rebamar); y <sup>3</sup>Laboratorio de Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala

\*Autor al que se dirige la correspondencia: [carlosmaza07@gmail.com](mailto:carlosmaza07@gmail.com)

Recibido: 16 de abril 2020 / Revisión: 29 de enero 2021 / Aceptado: 18 de junio 2021

## Resumen

La contaminación por microplásticos (MPs) de tamaño menor a 5 mm ha tomado relevancia en los últimos años debido a su impacto en los ecosistemas. En Guatemala, se carece de información relacionada con MPs, por lo que este estudio tuvo como objetivo evaluar la abundancia y características de MPs en cuatro playas del Pacífico de Guatemala, Ocós, Tulate, Sipacate y Las Lisas. Se colectaron muestras de arena en mayo y octubre de 2019. Los MPs se aislaron y se clasificaron por forma, y el tipo de polímero se identificó a través de un equipo de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (ATR-FTIR). La abundancia expresada en MPs/m<sup>2</sup> en mayo fue de 25.6, 5.6, 0.8 y 0 MPs/m<sup>2</sup> para Tulate, Las Lisas, Ocós y Sipacate; mientras que en octubre fue de 59.6, 23.2, 17.6 y 17.6 MPs/m<sup>2</sup> en Tulate, Ocós, Las Lisas y Sipacate. Fragmentos, foam, pellets y láminas fueron las formas predominantes de MPs que se encontraron en las playas. El análisis por ATR-FTIR muestra que los principales polímeros identificados en las playas son polietileno, poliestireno y polipropileno. Los resultados de este estudio indican que las playas del Pacífico de Guatemala están contaminadas por MPs de diferentes tipos de polímeros. Además, estos resultados ofrecen información importante a los responsables de la toma de decisiones sobre la eliminación y el manejo de la basura plástica marina.

Palabras claves: arena, poliestireno, polipropileno, polietileno, abundancia

## Abstract

Microplastics < 5 mm (MPs) pollution has gained relevance in the last years because of its impact on the ecosystems. In Guatemala, information related to MPS as an environmental stressor is lacking, that is why this study aimed to assess the abundance and characteristics of MPS in four beaches to the Pacific Ocean of Guatemala, Ocós, Tulate, Sipacate, and Las Lisas. Sand samples were collected in May and October 2019. MPs were isolated and classified by shape and the type of polymer was identified by using Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR). The abundance expressed in MPs/m<sup>2</sup> in May was 25.6, 5.6, 0.8 and 0 MPs/m<sup>2</sup> in Tulate, Las Lisas, Ocós, and Sipacate; whereas in October was 59.6, 23.2, 17.6, and 17.6 MPs/m<sup>2</sup> in Tulate, Las Lisas, Ocós and Sipacate. Fragments, foam, pellets, and film were the predominant shapes found on the beaches. The ATR-FTIR analysis indicates that the main polymers identified in the beaches are polyethylene, polystyrene, and polypropylene. The results of this study indicate that the Pacific Beaches of Guatemala are contaminated by MPs of different types of polymers. These results offer important information to decision makers about disposal and management of marine plastic litter.

Keywords: sand, polystyrene, polypropylene, polyethylene, abundance

## Introducción

El plástico es uno de los materiales usados en diversas actividades industriales y domésticas (Geyer et al., 2017). La producción de este material alcanzó 60 millones de toneladas métricas en 2016, mientras que en 2018 fueron 350 millones de toneladas métricas. De la producción global de plástico, América Latina y El Caribe representan el 4% (PlasticsEurope, 2019). El plástico está fabricado de diferentes productos orgánicos sintéticos y semi-sintéticos que pueden ser duros, suaves o elásticos (Rocha-Santos & Duarte, 2015), lo cual los hace versátiles para el uso en diferentes actividades. El plástico que es descartado o abandonado, y que se acumula en las zonas marino y costeras, se define como basura plástica marina (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection [GESAMP], 2019), y está representada por macroplastico mayor a 25 mm (Li et al., 2016).

Debido a que el macroplastico se está acumulando en las zonas costeras, océanos y ecosistemas de agua dulce, el tiempo de permanencia, la exposición a procesos químicos y mecánicos están degradando estos productos en pequeñas partículas denominadas microplásticos (MPs) (Zhang et al., 2021). De acuerdo a Corcoran y colaboradores (2009), las playas son ambientes óptimos para la descomposición de materiales plásticos, debido en gran parte a que en esos ambientes están expuestos a rayos ultravioleta, abrasión física, fuerzas mecánicas y la temperatura de la arena (Barnes et al., 2009).

Los MPs son partículas menores a 5 mm de tamaño (Cole et al., 2011), los cuales se clasifican como primarios y secundarios. Los MPs primarios son productos manufacturados para propósitos domésticos e industriales como abrasivos, pellets de polietileno para la industria de plásticos y formulaciones cosméticas; mientras que los secundarios se producen a partir de la degradación de macroplastico por procesos químicos o mecánicos (Rocha-Santos & Duarte, 2015).

Una vez en los ecosistemas, los MPs pueden ser encontrados en diferentes organismos marinos desde el nivel trófico más bajo como el plancton (Wright et al., 2013), peces (Garcés-Ordóñez et al., 2020; Ory et al., 2018), aves e incluso mamíferos (Nelms et al., 2019). En la superficie de los MPs se han identificado bacterias potencialmente patógenas (Silva et al., 2019), así como contaminantes orgánicos persistentes que se dispersan en diferentes partes de los ecosistemas (Zhang, 2017). La basura plástica marina y los MPs están ingresando

a los ecosistemas a través de diferentes vías, como por ejemplo el vertimiento de aguas residuales (Browne et al., 2011), corrientes marinas (Li et al., 2016) y desembocaduras de ríos (Lebreton et al., 2017), donde se acumulan en sedimentos a lo largo de la línea costera (Mazariegos-Ortiz et al., 2020).

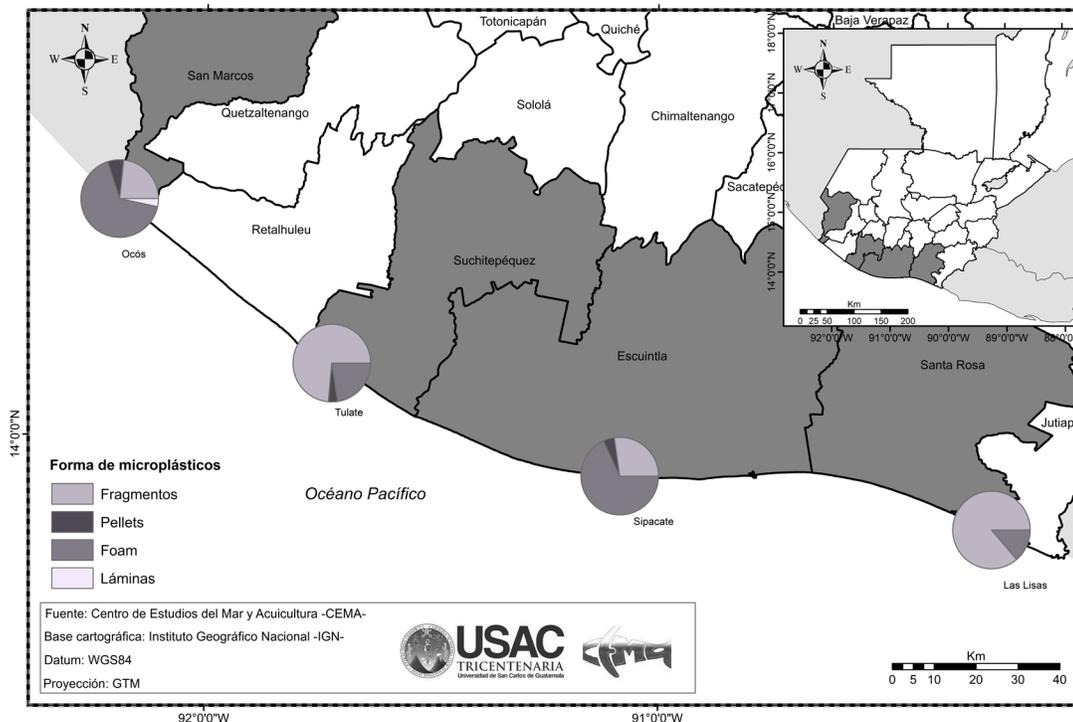
La costa sur de Guatemala abarca una longitud de 254 km desde la frontera con México al suroeste hasta la frontera con El Salvador al sureste. A lo largo de esta zona se encuentran ubicados seis departamentos que van desde las planicies en el sur hasta tierras volcánicas al norte. La zona costera de Guatemala se ha formado por la deposición de material volcánico proveniente del altiplano. Dentro de esta zona se encuentran 14 cuencas geográficas cuyos principales ríos tienen recorridos cortos con un promedio de 100 km que se originan aproximadamente a 3,000 m. s. n. m. Para el 2009 las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística indicaban que la población era de 1,894,292 habitantes con una densidad territorial aproximadamente de 132 hab/km<sup>2</sup> (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia [SEGEPLAN], Dirección de Ordenamiento Territorial, 2011).

En Guatemala, la contaminación por MPs en sedimentos dentro de un área protegida fue reportada por Mazariegos-Ortiz et al. (2020), y en peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, ubicada en la costa sur de Guatemala (Mazariegos-Ortiz et al., 2021). Los resultados de estas investigaciones sugieren la necesidad de generar mayor información para la toma de decisiones, por tanto el objetivo del presente estudio fue evaluar la abundancia y características de MPs en cuatro playas del Pacífico de Guatemala a través de la clasificación por forma e identificación química del polímero.

## Presentación del caso

Cuatro playas del litoral Pacífico de Guatemala fueron seleccionadas para el estudio (Figura 1). Ocós, en el departamento de San Marcos (14°30'23.86" N, 92°11'47.36" O); Sipacate, en el departamento de Escuintla (13°54'57.6" N, 91°05'03.8" O); Tulate, en el departamento de Retalhuleu (14°09'26.6" N, 91°43'18" O); y Las Lisas en el departamento de Santa Rosa (13°48'01.3" N, 090°15'47.4" O). Todas las playas se caracterizan por tener arena de origen volcánico. Además, los principales ríos que desembocan cerca de ellas son Suchiate, Naranjo, Samalá, Sis, Acomé, Achiguate, Los Esclavos y río Paz.

Figura 1  
Ubicación geográfica de las playas del litoral Pacífico de Guatemala y composición total de microplásticos por forma



Las playas de la costa del Pacífico de Guatemala fueron escogidas por su accesibilidad y disponibilidad de presupuesto. La colecta de arena en cada una de las playas se llevó a cabo en mayo y octubre de 2019. Los puntos de extracción de arena fueron adaptados según el protocolo que establece GESAMP (2019) y el procedimiento realizado por Mazariegos-Ortiz y colaboradores (2020), el cual constó de dos fases: una de campo y otra de laboratorio. La fase de campo consistió en el trazo de un transecto de 100 m de longitud dividido en cinco puntos equidistantes de 20 m de longitud entre ellos, en la última línea de pleamar de cada playa. En cada punto se estableció un cuadrante de 0.25 m<sup>2</sup> (usando un marco metálico de 50 cm de largo, 50 cm de ancho y 1 cm de altura), del cual se extrajeron 2.5 kg de arena con una espátula de metal, y se colocaron en bandejas de aluminio.

Una vez en el laboratorio la arena fue secada a 60 °C hasta presentar peso constante. El volumen total fue filtrado a través de tamices de 1 y 5 mm, donde todo el material retenido en el tamiz de 5 mm fue descartado. Los MPs entre 1 y 5 mm fueron sepa-

rados visualmente. Luego, la arena fue mezclada con solución saturada de cloruro de sodio (1.2 g/cm<sup>3</sup>) para realizar un cambio de densidad y los MPs flotantes fueron separados visualmente. Los MPs colectados fueron secados a 60 °C, luego contados y clasificados acorde a su forma y color (Hidalgo-Ruz et al., 2012) utilizando un estereoscopio (Nikon modelo SMZ-2B) con magnificación de 10 X y aumentado respecto al tamaño de los MPs. Finalmente, la abundancia por playa (MPs/m<sup>2</sup>) fue obtenida dividiendo la sumatoria total de MPs (en los cinco cuadrantes) entre el área total de los cuadrantes (1.25 m<sup>2</sup>).

La identificación del polímero se realizó a través de un ATR-FTIR (Perkin Elmer Modelo Frontier) en el laboratorio de Química Avanzada de la Universidad del Valle de Guatemala. Se registró la longitud de onda para la identificación del polímero (400-4000 cm<sup>-1</sup>). Se escogieron 26 MPs considerando (i) el tamaño mayor a 2 mm y (ii) la forma de los MPs. Para Las Lisas se analizaron 7 MPs; Ocosingo, 4; Sipacate, 3; Tulate, 12. Las bandas de absorción para cada espectro fueron comparadas con lo descrito por Jung y colaboradores

(2018), y con la base de datos de Perkin Elmer Spectrum versión 10.5.4.

En las cuatro playas fueron colectados 187 MPs. El mes de mayo corresponde al inicio de la temporada de lluvia en el país; sin embargo, únicamente en tres playas (Las Lisas, Ocós y Tulate) fueron registrados MPs, que consistieron en fragmentos (68%), *foam* (30%) y lámina (2%). En octubre, la temporada de lluvia está finalizando y las formas predominantes fueron los fragmentos (61%), seguido de *foam* (35%) y pellet (5%); no se registró la forma lámina en ninguna de las playas durante este mes.

En relación a la abundancia de MPs en mayo, se registró 0.8 MPs/m<sup>2</sup> en la playa de Ocós, mientras en las Lisas fue 5.6 MPs/m<sup>2</sup>. Caso contrario ocurrió en la playa Tulate, cuya abundancia fue de 25.6 MPs/m<sup>2</sup>, cuatro veces más que lo encontrado en Las Lisas. Las playas con mayor abundancia en el mes de octubre fueron Tulate con 59.2, Ocós 23.2, Las Lisas y Sipacate ambas con 17.6 MPs/m<sup>2</sup>.

Los principales polímeros identificados fueron polietileno (33%), polipropileno (41%) y poliestireno (26%). En Las Lisas, Tulate y Ocós fueron registrados los tres polímeros, mientras que en Sipacate se registró poliestireno y polipropileno (Figura 3).

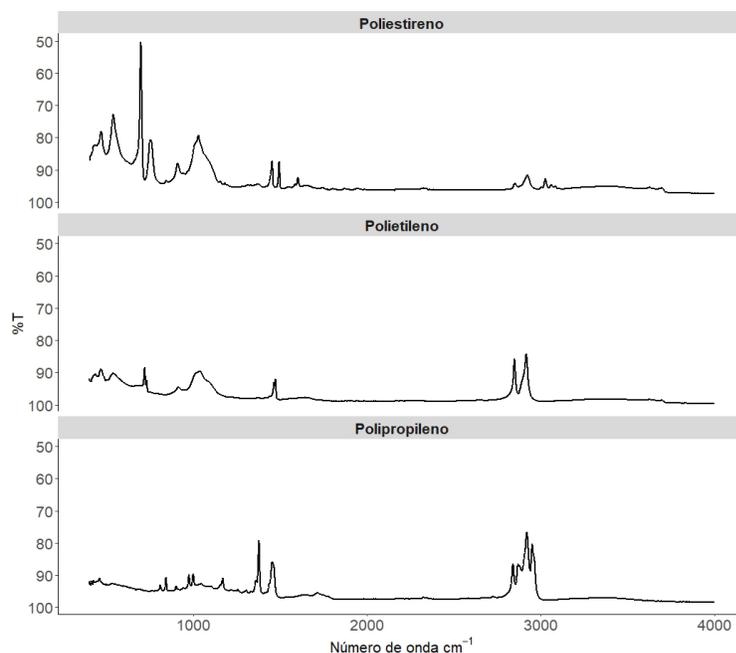
## Discusión

La contaminación por MPs está siendo ampliamente estudiada en diferentes animales de ecosistemas tanto terrestres como marinos y costeros (de Sá et al., 2018; de Souza Machado, 2018). En Guatemala, el estudio de MPs fue descrito por Mazariegos-Ortiz et al. (2020), en playas del Caribe. A ello debe sumarse que el manejo de las zonas marino costeras de Guatemala es deficiente, no se cuenta con planes de monitoreo de algunos de los contaminantes emergentes que causan estrés en los ambientes marinos y costeros, tales como acidificación oceánica, basura marina y eutrofización.

Las partículas de MPs en este estudio indican que la mayor parte de ellas corresponde a fuentes secundarias, es decir, se han originado por la ruptura mecánica o por la degradación de plásticos mayores expuestos a condiciones ambientales o acciones mecánicas (Corcoran et al., 2009). Estudios en otros lugares indican resultados similares, como el de Wessel y colaboradores (2016) en el Golfo de México, que reporta mayor abundancia de MPs secundarios. Lots y colaboradores (2017) también registraron mayor proporción de MPs secundarios en playas europeas.

Figura 3

*Espectros obtenidos a través del ATR-FTIR de los tres principales polímeros identificados en las playas del Pacífico de Guatemala*



Además, reportamos MPs primarios, cuya presencia en los ecosistemas podría estar asociado a la mala disposición de la basura, o actividades industriales que se desarrollan a lo largo de la cuenca y que luego son transportados por los ríos hasta el océano (Boucher & Friot, 2017).

Los fragmentos, *foam*, pellets y láminas (Figura 1) fueron registrados en los dos meses de colecta. Este grupo fue encontrado en la arena de todas las playas, resultado que coincide con lo reportado por Kunz y colaboradores (2016), donde los fragmentos fueron el grupo dominante dentro de la clasificación por formas. El *foam* es un grupo de MPs secundario usado en actividades industriales, comerciales, pesqueras y domésticas, cuyos productos comunes son empaques, vasos desechables, recipientes de comida, boyas y materiales de construcción (Rocha-Santos & Duarte, 2017), y que incluso es comúnmente denominado plástico de un solo uso (Schnurr et al., 2018). Los pellets fueron encontrados en tres de las cuatro playas, y corresponden a un grupo de MPs primarios que se utilizan como materia prima para la fabricación de plásticos mayores (Acosta-Coley & Olivero-Verbel, 2015; Andrady, 2011).

Las playas del litoral Pacífico en Guatemala son utilizadas para diversas actividades entre ellas el turismo nacional. Algunos estudios muestran que a lo largo de muchas playas alrededor del mundo, el turismo es una de las fuentes de MPs (Delvalle et al., 2020; Retama et al., 2016), lo cual podría ser un indicativo de la abundancia de estos. Las cuatro playas evaluadas en este estudio tienen importancia turística debido a la ubicación geográfica y la riqueza natural que poseen. Sipacate y Las Lisas son playas cercanas al estero, lo cual podría favorecer la deposición previa de la basura antes de llegar al océano (Martin et al., 2019). Aunque en Sipacate no se reportaron MPs en mayo, para octubre la abundancia de estos fue de 17.6 MPs/m<sup>2</sup>; la ausencia de partículas en mayo pudo deberse al cambio de mareas previo a la colecta. En cambio Las Lisas, en ambos meses fueron registrados MPs con abundancia de 5.6 y 17.6 MPs/m<sup>2</sup>.

La playa de Ocós tiene influencia de dos ríos: Suchiate y Naranjo; este último con caudal aproximado de 7 m<sup>3</sup>/s según reporte para abril del 2019 (Instituto Privado de Cambio Climático [ICC], 2019). La abundancia de MPs en esta playa fue de 0.8 MPs/m<sup>2</sup> al inicio de la temporada de lluvia y 23.2 MPs/m<sup>2</sup> al final

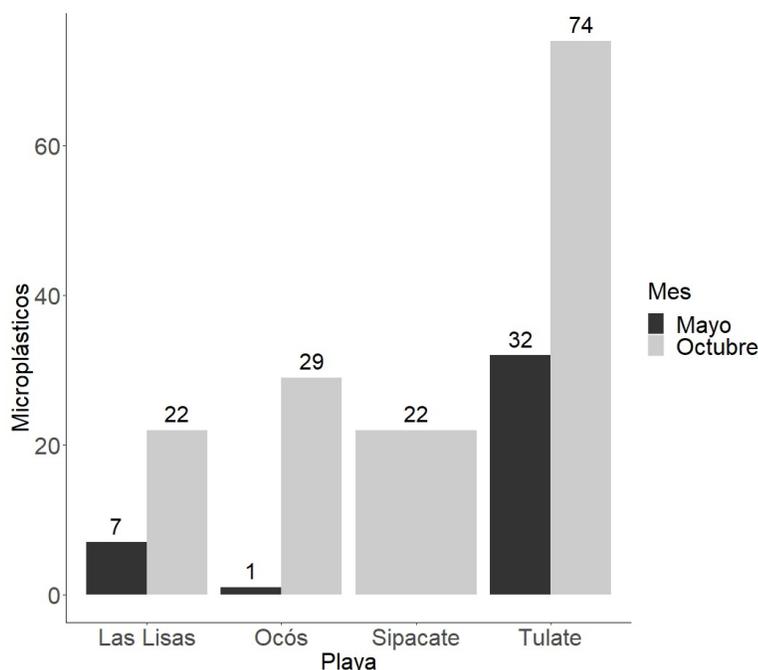
de ella. Similares resultados muestra la playa Tulate, donde cerca de esta zona desembocan los ríos Samalá y Sis con caudal promedio de 12.21 m<sup>3</sup>/s y 1.15 m<sup>3</sup>/s (ICC, 2019). Los ríos conducen basura plástica hacia el océano, pero también MPs que se originan a partir de la acción mecánica sobre plástico de mayor tamaño por efecto de las corrientes (Simon-Sánchez et al., 2019).

Varios ríos atraviesan ciudades y poblados a lo largo de su recorrido, en consecuencia los hace sitios vulnerables para la deposición o arrastre de plástico que termina acumulándose en playas (Meijer et al., 2021). En este estudio, Tulate es la playa con mayor abundancia de MPs en los meses de colecta (Figura 2), lo cual podría estar asociado a que dentro de la cuenca del río Samalá hay varios poblados y la segunda ciudad más grande de Guatemala, Quetzaltenango.

Los resultados de la identificación de polímeros a través del ATR-FTIR indican que los MPs encontrados en las playas del Pacífico de Guatemala fueron fabricados de polietileno, polipropileno y poliestireno. El poliestireno corresponde a la forma *foam* dentro de la clasificación visual, y es uno de los tipos de plástico al que se adhieren sustancias químicas como metales (pesados o ecotóxicos), disruptores endocrinos, o contaminantes orgánicos persistentes (Cole et al., 2011). Por otra parte, polipropileno es comúnmente usado para la fabricación de productos como empaques, tapas de botellas, equipos de laboratorio, pajillas para beber; mientras que polietileno es usado en la fabricación de bolsas de supermercado y botellas de plástico (Rocha-Santos & Duarte, 2017). Tanto poliestireno, polipropileno y polietileno han sido reportados en otros estudios en zonas marinas y costeras como los principales polímeros, lo cual coincide con lo encontrado en el presente trabajo (Bimali Koongolla et al., 2018; Claessens et al., 2011; Delvalle et al., 2020; Wessel et al., 2016). Finalmente, este estudio sugiere que la contaminación por MPs en las playas de Ocós, Tulate, Sipacate y Las Lisas, podría estar influenciado por la desembocadura de ríos que conducen cantidades significativas de plástico hacia el océano. Además, este trabajo es el primero en describir la contaminación por MPs en la arena de playas del Pacífico de Guatemala, cuya información es esencial para el manejo sostenible de los ecosistemas costeros del país, y para el manejo adecuado de la basura plástica producto de las actividades turísticas, industriales y domésticas.

Tabla 2

Total de microplásticos registrados en mayo y octubre en cinco playas del litoral Pacífico de Guatemala



### Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue desarrollado como parte del Problema Especial Supervisado del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. Agradecemos el apoyo de Marvin Xajil y Fernando Peláez en el trabajo de campo y laboratorio.

### Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: todos los autores

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: CM-O, LG-A, CM-M

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: LG-A

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: todos los autores

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: CM-O, CM-M, ALM

### Materiales suplementarios

No tiene materiales suplementarios

### Referencias

- Acosta-Coley, I., & Olivero-Verbel, J. (2015). Microplastic resin pellets on an urban tropical beach in Colombia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(7), 435. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4602-7>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- 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. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Bimali Koongolla, J., Andrady, A. L., Terney Pradeep Kumara, P. B., & Gangabadage, C. S. (2018). Evidence of microplastics pollution in coastal beaches and waters in southern Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.031>
- Boucher, J., & Friot, D. (2017). *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*. International Union for Conservation of Nature. <https://10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>
- 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. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Claessens, M., Meester, S. De, Landuyt, L. Van, Clerck, K. De, & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199-2204. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2158-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Corcoran, P. L., Biesinger, M. C., & Grifi, M. (2009). Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin*, 58(1), 80-84. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.022>
- de Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., & Futter, M. N. (2018). Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the Total Environment*, 645(15), 1029-1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
- de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), 1405-1416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>
- Delvalle de Borrero, D., Fábrega Duque, J., Olmos, J., Garcés-Ordóñez, O., Amaral, S. S. G. do, Vezzone, M., de Sá Felizardo, J. P. Meigikos dos Anjos, R. (2020). Distribution of plastic debris in the Pacific and Caribbean aches of Panama. *Air, Soil and Water Research*, 13, 1-8. <https://doi.org/10.1177/1178622120920268>
- 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, Article 111085. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111085>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- 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. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2019). *Síntesis de la información de los ríos de la Costa Sur de Guatemala: Promedios caudales comparativos en la temporada seca de los años 2017, 2018 y 2019*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2019/08/Síntesis-del-Sistema-de-Información-ríos-Costa-Sur-2017-a-2019.pdf>
- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2019). *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean* (No. 99). United Nations Environment Programme [https://environmentlive.unep.org/media/docs/marine\\_plastics/une\\_science\\_division\\_gesamp\\_reports.pdf](https://environmentlive.unep.org/media/docs/marine_plastics/une_science_division_gesamp_reports.pdf)
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez C., V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Todd Jones, T., Work, T. M., Brignac, K. C., Roye, S.J., Hyrenbach, D., Jensen, B. A., & Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify

- polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704-716. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Kunz, A., Walther, B. A., Löwemark, L., & Lee, Y. C. (2016). Distribution and quantity of microplastic on sandy beaches along the northern coast of Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1-2), 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.022>
- 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, Article 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- 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, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Lots, F. A. E., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A., & Bosker, T. (2017). A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2), 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.057>
- Martin, C., Almahasheer, H., & Duarte, C. M. (2019). Mangrove forests as traps for marine litter. *Environmental Pollution*, 247, 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.067>
- Mazariegos-Ortíz, C., Rosales, M. de los A., Carrillo-Ovalle, L., Pereira-Cardoso, R., Costa-Muniz, M., & dos Anjos, R. M. (2020). First evidence of microplastic pollution in the El Quetzalito sand beach of the Guatemalan Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 156, Article 111220. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111220>
- 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), Article 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Meijer, L. J. J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, 7(18), Article eaaz5803. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5803>
- Nelms, S. E., Barnett, J., Brownlow, A., Davison, N. J., Deaville, R., Galloway, T. S., Lindeque, P. K., Santillo, D., & Godley, B. J. (2019). Microplastics in marine mammals stranded around the British coast: Ubiquitous but transitory? *Scientific Reports*, 9, Article 1075. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37428-3>
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J. L., Gallardo, C., Garcés-Ordóñez, O., Henostroza, A., Laaz, E., Mizraji, R., Mojica, H., Murillo Hairo, V., Ossa Medina, L., Preciado, M., Sobral, P., Urbina, M. A., & Thiel, M. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.016>
- PlasticsEurope. (2019). *Plásticos situación en 2018. Análisis de los datos sobre la producción, la demanda y los residuos de plásticos en Europa*. [file:///C:/Users/Estudiante/Downloads/plastics\\_the\\_facts\\_2018-ESP\\_FINAL%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Estudiante/Downloads/plastics_the_facts_2018-ESP_FINAL%20(1).pdf)
- Retama, I., Jonathan, M. P., Shruti, V. C., Velumani, S., Sarkar, S. K., Roy, P. D., & Rodríguez-Espinosa, P. F. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.053>
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Rocha-Santos, T., Duarte, A. C. (2017). *Characterization and analysis of microplastics*. Comprehensive analytical Chemistry.
- Schnurr, R. E. J., Alboiu, V., Chaudhary, M., Corbett, R. A., Quanz, M. E., Sankar, K., Srain, H. S., Thavarajah, V., Xanthos, D., & Walker, T. R. (2018). Reducing marine pollution from single-use plastics (SUPs): A review. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 157-171. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.001>

- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Ordenamiento Territorial. (2011). *Plan de desarrollo integral del litoral del pacífico* (Serie: Litoral del pacífico, Litoral 1). file:///C:/Users/Estudiante/Downloads/DLP%20(2).pdf
- Silva, M. M., Maldonado, G. C., Castro, R. O., de Sá Felizardo, J., Cardoso, R. P., Dos Anjos, R. M., & Araújo, F. V. de. (2019). Dispersal of potentially pathogenic bacteria by plastic debris in Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 141(4), 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.064>
- Simon-Sánchez, L., Grelaud, M., Garcia-Orellana, J., & Ziveri, P. (2019). River deltas as hotspots of microplastic accumulation: The case study of the Ebro River (NW Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 687, 1186-1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.168>
- Wessel, C. C., Lockridge, G. R., Battiste, D., & Cebrian, J. (2016). Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 178-183. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.002>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>
- Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274(4), Article 116554 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>