

**Contaminación por
microplásticos en
arrecifes de coral de
alto valor ecológico y
en estado crítico de
extinción (*Acropora
palmata*) en el parque
nacional Blanca
Jeannette Kawas**

Juan Carlos Carrasco, PhD.
Carolina Montalván, MSc.
Joel Guity, MSc.



**Proyecto Conservando Ecosistemas
Costeros USAID – UICN, Honduras**

Contenido

Resumen	1
1. Introducción	2
2. Metodología	4
<i>2.1 Recolección de muestras</i>	4
<i>2.2 Extracción de microplásticos</i>	5
<i>2.3 Caracterización de los microplásticos</i>	5
<i>2.4 Análisis y procesamiento de datos</i>	5
3. Descripción del área de estudio	6
4. Resultados	6
<i>4.1 Características y fuentes de microplásticos a la Bahía de Tela</i>	6
<i>4.2 Fuentes de microplásticos al arrecife de coral</i>	10
5. Discusión	11
6. Conclusiones	14
7. Referencias	15

Investigación sobre los niveles de contaminación por microplásticos en arrecifes de alto valor ecológico y en estado crítico de extinción (*Acropora palmata*) en el Parque Nacional Jeanette Kawas” Tela, Honduras

Juan Carlos Carrasco, Carolina Montalván y Joel Guity

Resumen

La contaminación de los arrecifes coralinos con microplásticos (MPs) los hace 22 veces más vulnerables al cambio climático y estresores locales. En el arrecife de coral del Cabo de Punta Sal se encuentran más de 800 colonias saludables de *Acropora palmata*, especie en peligro crítico de extinción. Para determinar las fuentes y niveles de contaminación por MPs de la Bahía de Tela y del arrecife de coral el Cabo de Punta Sal, en la región sur del Arrecife Mesoamericano (SAM). Durante marzo y abril/24, muestreamos agua en las bocas estuaricas de los ríos Lancetilla, High Land Creek, laguna de Los Micos, zona de influencia del Río Ulúa y las aguas superficiales en el arrecife de coral. Se observaron y clasificaron 2,963 partículas de MPs con una concentración media de $2,457 \pm 257$ MPs m^{-3} . Durante los muestreos en marzo y abril los ríos Lancetilla, High Land Creek y La laguna de Los Micos descargaron a la Bahía de Tela en promedio 136,608,321 partículas de MPs h^{-1} . El Río Lancetilla presentó la mayor relación entre la concentración MPs y el caudal de descarga, es decir, proporcionalmente el río más contaminado. Sin embargo, debido al mayor caudal el mayor exportador de MPs a la Bahía de Tela es laguna de Los Micos. Nuestros análisis sugieren que los principales aportantes de MPs al arrecife coralino en el Cabo de Punta Sal son la Laguna de Los Micos y el Río Ulúa. Se recomienda el monitoreo permanente, la implementación de ordenanzas municipales y políticas regionales para la reducción del uso de plástico en el SAM.

1. Introducción

En términos globales los arrecifes coralinos contaminados con microplásticos (MPs) se encuentran 22 veces bajo una mayor amenaza de riesgo ante estresores globales (Alza de temperatura y acidificación) y locales (exceso de nitrógeno), siendo más propensos en un 4 al 89%, a la aparición de enfermedades y muerte de tejido, que aquellos arrecifes coralinos que son altamente conservados (Zhang et al., 2023).

Dentro de la biota más afectada por los MPs se encuentran los invertebrados marinos, sobre todo aquellos con poca o nula locomoción (Ogunola et al., 2018). Se ha detectado contaminación por MPs en los arrecifes de coral relacionándose esta con una mayor susceptibilidad a las enfermedades por parte de las colonias coralinas (Reichert et al., 2018). Aunque los arrecifes de coral cubren una pequeña porción (<1%) del área total de los océanos del mundo, poseen estructuras geológicas y biológicas que atrapan MPs y aumentan desproporcionadamente su acumulación (Soares et al., 2023).

Los rangos de tamaño de los MPs (< 5mm o < 5000 μ m) son similares a los de microalgas, bacterias y microzooplancton marino, siendo esta una característica por la cual los corales los consumen erróneamente, lo cual puede representar la muerte por inanición, entre otros potenciales efectos (Reichert et al., 2018; Hall et al., 2015). Reichert et al. (2018) demostraron durante un experimento controlado, que los corales confunden los MPs con sus presas (zooplancton), los autores reportan la presencia de MPs en el sistema digestivo de los corales aún 24 h después de la ingestión.

La interacción entre MPs y corales puede provocarles daños físicos, producción excesiva de mucus y gasto energético sin retribución, volviéndolos más propensos al blanqueamiento térmico o necrosis tisular del coral, por lo que altas concentraciones de MPs a lo largo de la columna de agua pueden representar un gran impacto en la salud de los corales (Reichert et al., 2018).

Las especies de coral del género *Acropora* (ej., *A. palmata*) son de las principales constructoras de los arrecifes coralinos someros (Mendrik et al., 2021), estas especies obtienen la mayor parte de nutrientes y energía del sistema endosimbiótico que mantienen con el género fotosintético Symbiodiniacea. Esta simbiosis es la piedra angular de los

ecosistemas de arrecifes de coral saludables (Huang et al., 2021). La presencia de MPs y nano plásticos afecta el desarrollo de esta relación simbiótica al acumularse en los lugares usuales de ocupación de la zooxantelas, a su vez disminuyen su crecimiento y en algunos casos provocan la retirada de las zooxantelas del coral, ocasionando su muerte (Huang et al., 2021; Reichert et al., 2018).

En el Parque Nacional Jeannette Kawas (PNJK), ubicado en la Bahía de Tela, Honduras, destacan los arrecifes costeros dominados por *A. palmata* y por *A. prolifera* (especies híbrida de *A. palmata* y *A. cervicornis*), debido a que se encuentran las colonias más grandes y saludables del SAM (Kramer et al., 2015).

Las colonias de *A. palmata* en el PNJK presentan características de un paisaje arrecifal saludable típico de la región del Caribe en los años 70, calificando a estas colonias coralinas como únicas, de alto valor ecológico y prioridad para la conservación en la región del SAM (Kramer et al., 2015; Rivera-Sosa et al., 2018). *A. palmata* es una de las seis spp. de corales escleractíneos en peligro crítico de extinción (<https://www.iucnredlist.org/>), lo que convierte a estas colonias de *A. palmata* del PNJK en un hotspot para la conservación de la biodiversidad marina a nivel de la región del SAM, en especial, considerando que el índice de salud arrecifal en los distintos sitios de monitoreo (n= 234) en el SAM está decayendo aceleradamente (McField et al., 2022).

La contaminación por MPs en los sistemas arrecifales presenta un gran reto respecto a las acciones de mitigación ya que, debido a su diminuto tamaño, se dificulta la retirada de MPs y nano plásticos de los ecosistemas de arrecifes de coral por lo que el principal enfoque es la reducción en la fuente (Huang et al., 2021). Siendo urgente tener una comprensión integral desde la perspectiva ecológica del origen, fuentes y abundancia de MPs, así como de los potenciales peligros que representan para ecosistemas de alto valor como los arrecifes de coralinos del PNJK, Honduras.

El propósito de este estudio es determinar la contribución de las fuentes continentales en la exportación de MPs a la Bahía de Tela, y comprobar el grado de influencia de las distintas fuentes en la composición de MPs en agua superficial del arrecife coralino en el Cabo de Punta Sal. Nuestros resultados servirán de insumos para la toma de decisiones

basadas en ciencia, elaboración de políticas basadas en ciencia para la reducción del uso de plásticos MPs en la región del SAM.

Palabras clave: Arrecife mesoamericano, Bahía de Tela, Cambio climático, contaminación marina, Plástico.

2. Metodología

2.1 Recolección de muestras

Se realizaron muestreos del agua superficial en sitios emisores de microplásticos (MPs) a la Bahía de Tela. Como ser las bocas estuaricas de los ríos Lancetilla, High Land Creek, Laguna de Los Micos, en la zona de los arrecifes de coral (*Acropora palmata*) en el litoral este del Cabo de Punta Sal y aguas afuera de la Bahía o zona de influencia del Río Ulúa (Fig. 1).

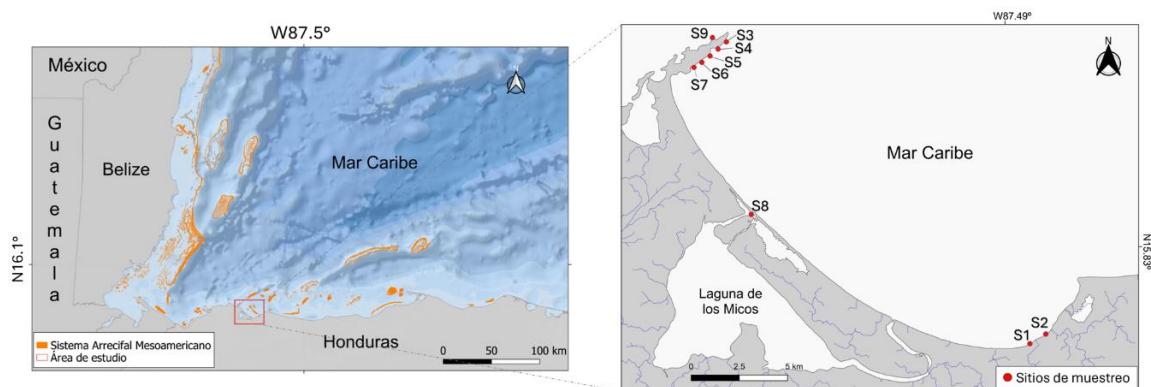


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la Bahía de Tela, PNJK, Honduras, Región del Arrecife Mesoamericano.

Siguiendo la propuesta metodológica de Huang et al. (2019), en los sitios de muestreo seleccionados se colectaron 40 L^{-1} de agua, se realizaron dos réplicas en cada sitio como medida de control de calidad. En las desembocaduras de ríos y lagunas aparte de colectar las muestras de agua se midieron los caudales de descarga. Cada muestra fue filtrada a través de una red con poro de $60 \mu\text{m}$ y 50 cm de largo, recolectando un volumen concentrado de 350 mL . Que fue almacenado en un recipiente de vidrio y conservado a 4°C hasta su procesamiento en laboratorio.

2.2 Extracción de microplásticos

En el laboratorio, se siguieron los protocolos de control de calidad para evitar la contaminación cruzada (Dehault et al., 2016). Todos los instrumentos que se utilizaron en el análisis de los MPs fueron lavados con agua ultrapura, previo al filtrado y manipulación de las muestras de agua (Yan et al., 2019).

La materia orgánica presente en las muestras de agua se eliminó mediante digestión de las muestras, con H₂O₂ al 30% durante 24h, en oscuridad y a temperatura ambiente (Nuelle et al., 2014). Luego las muestras fueron filtradas a través de filtros Whatman No. 540 de poro de 8 µm y una bomba de vacío (Rocker 300). Cada filtro fue conservado en placa Petri por 24h para su secado a temperatura ambiente.

2.3 Caracterización de los microplásticos

La caracterización visual de los MPs se realizó mediante observaciones al estereoscopio y microscopio óptico (lentes 4x y 10x), se realizó un registro fotográfico de cada una de las partículas de MPs observada. Las partículas de MPs fueron identificadas, medidas y clasificadas siguiendo los criterios de Lusher et al. (2013, 2016) y Meri (2017). Con base en Cole et al. (2011) y Hidalgo-Ruz et al. (2012), se tomaron registros numéricos de abundancia, forma (fibra, fragmento, partícula, película, pellets y espuma) (Sruthy & Ramasamy, 2017), así como tamaño y color de cada MP observado (Huang et al., 2019).

2.4 Análisis y procesamiento de datos

Los datos fueron ordenados en hojas de cálculo, para su análisis. Lo que permitirá determinar las concentraciones espaciales, volumétricas, estacionales de los MPs, así como su caracterización, de acuerdo con los protocolos citados. Se utilizó Non-metric Multi-Dimensional Scaling (NMDS) y análisis de varianza (One-way PERMANOVA) y correlaciones de Pearson. Los análisis estadísticos se realizaron en el programa PRIMER 6 & PERMANOVA.

3. Descripción del área de estudio

En la Bahía de Tela las colonias saludables de *A. palmata* (> 800 colonias) (Kramer et al., 2015), forman un arrecife costero que se extiende desde pocos centímetros hasta los 2.5 metros de profundidad. El arrecife tiene un ancho aproximado de 100 m y se extiende por aproximadamente 3.3 kilómetros sobre el litoral este del Cabo de Punta Sal, en el PNJK, ubicado en la parte sur este del SAM.

En esta zona las colonias de *A. palmata*, prosperan en condiciones ambientales muy variables y a menudo extremas. Estas condiciones van desde turbidez crónica, sedimentación, alta temperatura, exceso de nutrientes y aportes sustanciales de agua dulce durante la temporada de lluvia y expuesto a la energía de las olas sobre todo durante eventos meteorológicos extremos como huracanes (Rivera-Sosa et al., 2018). El litoral del Cabo de Punta Sal se caracteriza por actuar como barrera a las corrientes marinas dominantes, que en la zona se direccionan de este a oeste (Paris & Cherubín, 2008), a su vez opera como una zona de sedimentación y deposición de basura marina.

4. Resultados

4.1 Características y fuentes de microplásticos a la Bahía de Tela

Durante los meses de marzo y abril de 2024, se estudiaron las contribuciones continentales de MPs a un arrecife costero dominado por la especie de coral *A. palmata*, ubicado en el litoral este del Cabo de Punta Sal, en el PNJK, Honduras, en la parte sureste del SAM (Fig. 1). Se observaron y clasificaron un total de 2,963 partículas de MPs, siendo la concentración media de $2,457 \pm 257$ de MPs m^{-3} .

Los MPs observados se clasificaron según su morfología en fibras, fragmentos, pellets, películas y espumas (Fig. 2). También, se le determinó tamaño y el color a cada partícula. Los tamaños oscilaron entre 25.52 y 3,675.30 μm , siendo las fibras y los pellets las partículas de mayor y menor tamaño respectivamente. La morfología y colores más abundantes fueron los pellets (43.81 %) color blanco, fibras (29.01%) color azul y fragmentos (20.65%) color negro. Mientras que, las espumas, películas y colores transparentes, rojo, amarillo y verde fueron poco frecuentes (Tablas 1 y 2).

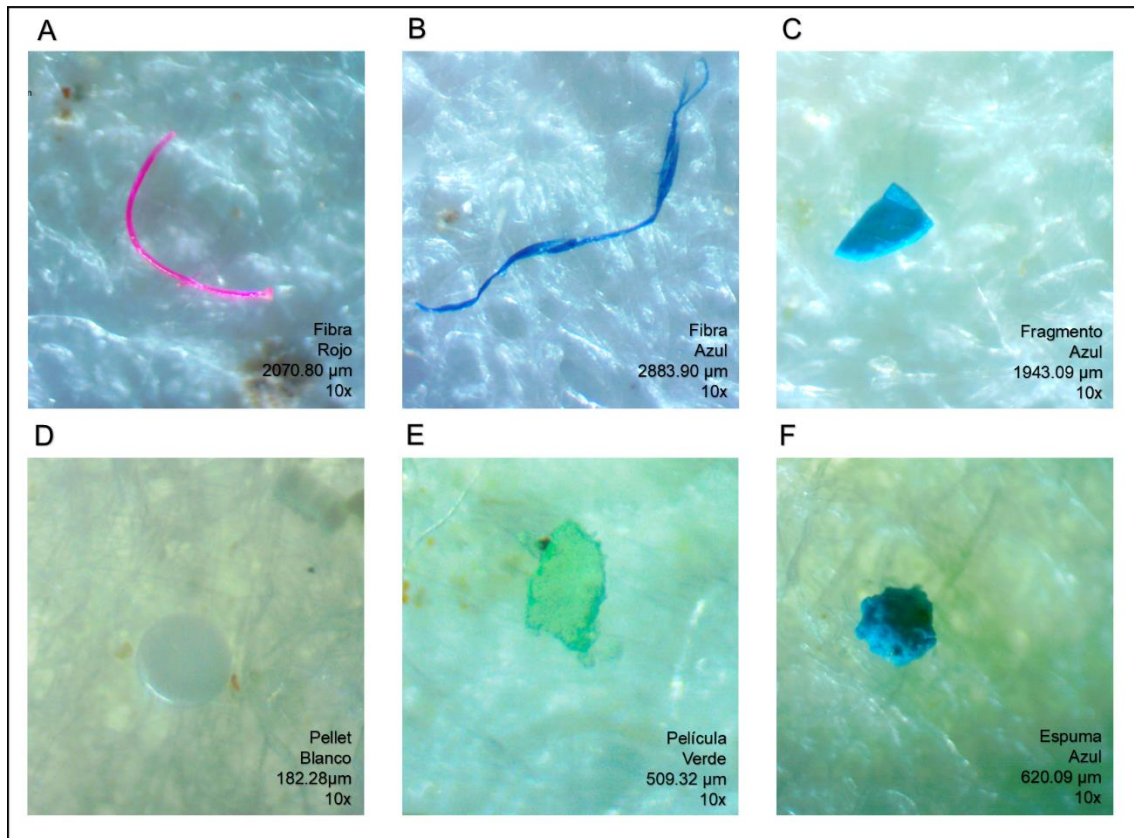


Figura 2. Morfologías de las partículas de microplásticos identificadas en la Bahía de Tela. A y B: fibras, C: fragmento, D: Pellets, E: Película, F: Espuma. Las leyendas en cada figura indican diferentes características de las partículas: forma, color, tamaño y lente con el cual fue identificado.

Los Ríos Lancetilla (S1) y High Land Creek (S2) atraviesan la ciudad de Tela y tienen una importante influencia urbana. Ambos ríos presentaron la mayor abundancia de MPs por metro cúbico. En promedio (marzo y abril/2024) el Río Lancetilla exportó a la Bahía de Tela $4,662.5 \pm 1,687.7$ partículas de MPs m^{-3} , seguido por el Río High Land Creek con $3,262.5 \pm 335.8$ MPs m^{-3} y, por último, la laguna de Los Micos con $1,687.5 \pm 247.5$ MPs m^{-3} .

El Río Lancetilla presentó la mayor relación entre la concentración MPs y el caudal de descarga (MPs/Q), es decir, proporcionalmente el Río Lancetilla es el más contaminado por MPs, seguido por Río High Land Creek y la Laguna de Los Micos (Tabla 3). Si bien el Río Lancetilla presentó la mayor concentración de MPs y la laguna de Micos la menor, debido al mayor caudal es la laguna de Los Micos es la que más MPs descarga a la Bahía de Tela con un caudal medio de $20.3 m^{-3}s^{-1}$, en comparación con los $0.77 m^{-3}s^{-1}$ del Río Lancetilla y los $0.08 m^{-3}s^{-1}$ aportados por el Río High Land Creek (Tabla 3 y Fig. 3).

Tabla 1. Morfología y concentración de microplásticos estudiados durante marzo y abril (2024) en muestras de 40 L⁻¹ de agua superficial en 9 estaciones, ubicadas en bocas estuaricas y zona de influencia de tres ríos, una laguna costera y en el área del arrecife de coral costero dominado por *A. palmata*, en la Bahía de Tela, PNJK, Honduras, Región del Arrecife Mesoamericano.

Localidad	Código	Mes	Fibras	Fragmentos	Pellets	Películas	Espumas	Totales
Río Lancetilla	S1	Marzo	79	134	5	6	8	232
Río High Land Creek	S2	Marzo	24	81	2	1	13	121
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S3	Marzo	63	34	78	2	10	187
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S4	Marzo	29	33	71	0	18	151
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S5	Marzo	35	33	89	1	26	184
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S6	Marzo	40	15	99	1	9	164
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S7	Marzo	47	17	74	0	10	148
Laguna de Los Micos	S8	Marzo	40	42	55	2	10	149
Río Lancetilla	S1	Abril	80	32	21	4	4	141
Río High Land Creek	S2	Abril	91	43	2	2	2	140
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S3	Abril	45	10	106	3	6	170
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S4	Abril	36	19	113	2	2	172
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S5	Abril	55	8	106	3	6	178
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S6	Abril	18	11	129	2	7	167
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	S7	Abril	28	21	95	1	1	146
Laguna de Los Micos	S8	Abril	37	15	63	4	2	121
Río Ulúa	S9	Abril	59	4	53	4	2	122
Totales			806	552	1161	38	136	2693

Durante los meses de marzo y abril los ríos Lancetilla, High Land Creek y La laguna de Los Micos (S8) descargaron a la Bahía de Tela en promedio 136,608,321 de partículas de MPs h⁻¹, que, para una mayor comprensión, sería el equivalente a verter al mar 49 kilómetros de hilo de pescar muy fino cada hora. Por otra parte, se observó una fuerte correlación entre el caudal de descarga y la cantidad de MPs exportados a la Bahía de Tela (P = 0.0002, r = 0.988).

En promedio la laguna de Los Micos exportó a la Bahía de Tela 122,470,528.5 partículas de MPs h⁻¹. Mientras que el Río Lancetilla exportó 13,231,804.2 MPs h⁻¹ o 9.2 veces menos MPs que la laguna de Los Micos. En cuanto al Río High Land Creek exportó 905,988.1 partículas MPs h⁻¹. En total la exportación de MPs a la Bahía de Tela desde las tres fuentes citadas, fue de aproximadamente 136,608,321 MPs h⁻¹ durante los meses de marzo y abril.

Tabla 2. Descripción del tamaño (micrómetros) de partícula por cada morfología de microplástico estudiados durante marzo y abril (2024) en muestras de 40 L⁻¹ de agua superficial en 9 estaciones, ubicadas en bocas estuaricas y zona de influencia de tres ríos, una laguna costera y en el área del arrecife de coral costero dominado *A. palmata*, en la Bahía de Tela, PNJK, Honduras, Región del Arrecife Mesoamericano.

Estaciones	Mes	Fibras	Fragmentos	Pellets	Películas	Espumas
Río Lancetilla	Marzo	956.30	70.84	38.07	220.56	204.48
Río High Land Creek	Marzo	819.22	62.22	36.47	55.94	98.60
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Marzo	1004.61	56.21	129.04	197.04	73.26
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Marzo	1088.87	73.19	115.98	0.00	109.91
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Marzo	906.57	56.46	116.37	83.64	90.23
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Marzo	1033.58	158.11	111.03	163.64	135.89
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Marzo	1119.43	166.88	113.29	0.00	151.22
Laguna de Los Micos	Marzo	1168.13	130.57	115.44	83.93	145.88
Río Lancetilla	Abril	748.76	209.01	80.20	239.67	121.18
Río High Land Creek	Abril	2367.83	420.15	191.13	66.75	338.60
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Abril	964.96	236.11	175.54	226.29	183.90
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Abril	1128.69	191.10	173.74	117.44	230.48
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Abril	859.89	129.11	184.16	146.24	201.29
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Abril	853.69	245.31	163.74	1611.06	142.41
Punta Sal (<i>A. palmata</i>)	Abril	1119.65	93.55	160.05	209.42	20.77
Laguna de Los Micos	Abril	938.91	171.97	137.37	197.91	182.44
Río Ulúa	Abril	983.32	339.75	160.26	278.21	71.95
Promedio		1062.49	165.33	129.52	229.28	147.20
Desviación estándar		346.39	99.68	45.10	354.96	71.67

Tabla 3. Contribuciones de microplásticos desde distintas fuentes continentales a la Bahía de Tela, Honduras, en el sur de la Región del Arrecife Mesoamericano. MPs = microplásticos, Q = caudal de descarga por la boca estuarica.

Estación	Mes	Concertación MPs (m ⁻³)	Q (m ³ s ⁻¹)	Descarga MPs (h ⁻¹)	Relación MPs/Q
Río Lancetilla	Marzo	5800.00	0.84	17566687	20880000
Río High Land Creek	Marzo	3025.00	0.08	884087	10890000
Laguna de Los Micos	Marzo	1862.50	19.04	127692057	6705000
Río Lancetilla	Abril	3525.00	0.70	8896921	12690000
Río High Land Creek	Abril	3500.00	0.07	927890	12600000
Laguna de Los Micos	Abril	1512.50	21.53	117249000	5445000

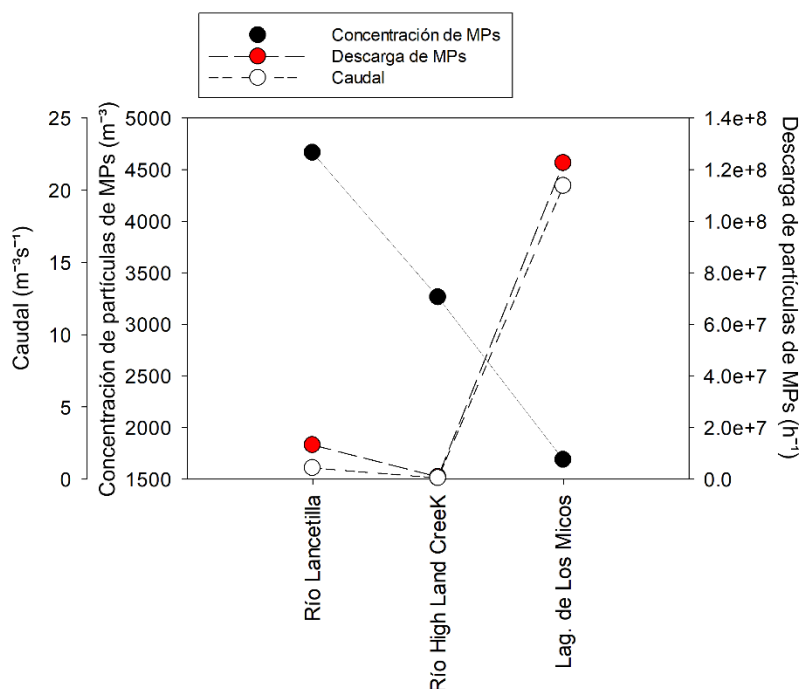


Figura 3. Muestra los caudales de descarga, la concentración de MP m⁻³ y la cantidad de partículas de MP exportada desde las diferentes fuentes a la Bahía de Tela.

4.2 Fuentes de microplásticos al arrecife de coral

Los ríos Lancetilla y High Land Creek se caracterizaron por la abundancia de fragmentos y fibras. La boca estuarica de la laguna de Los Micos (S8) y la zona de influencia del Río Ulúa (S9, al oeste de Punta Sal), cuyas cuencas están compartidas en áreas urbanas y agroindustriales se caracterizaron por la abundancia de pellets y fibras. Mientras que las aguas superficiales del arrecife de coral en el Cabo de Punta Sal (S3, S4, S5, S6 y S7) se caracterizaron por la abundancia de pellets (Tabla 1).

El NMDS muestra las fuentes de MP que mayor influencia tienen en el arrecife de coral en el Cabo de Punta Sal. Las estaciones de muestreo se ordenaron en dos grupos bien definidos. En el grupo 1 a la izquierda del gráfico, están las estaciones que corresponden al arrecife de coral (S3, S4, S5, S6, S7), laguna de Los Micos (S8) y la zona de influencia del Río Ulúa (S9). En el grupo 2, ubicado a la derecha del gráfico, están los ríos Lancetilla (S1) y High Land Creek (S2). En ambos grupos se observa que hubo variabilidad entre los muestreos realizados entre marzo y abril, observándose la mayor variabilidad en los ríos Lancetilla y High Land Creek (One-way PERMANOVA, $F = 3.124$; $P = 0.047$) (Fig. 4).

La composición de las muestras de MPs en la zona del arrecife mostraron ser significativamente diferentes al resto de las localidades (One-way PERMANOVA, $F = 26.16$; $P = 0.0001$). Las diferencias observadas en parte están determinadas por la mayor abundancia de pellets en el arrecife (One-way PERMANOVA, $F = 27.33$; $P = 0.0001$). Por otra parte, se observan fuertes correlaciones entre las localidades del arrecife con la laguna de Los Micos en ambos meses (marzo, $r = 0.86$; abril, $r = 0.95$) y con la zona de influencia de Río Ulúa en abril ($r = 0.76$). Mientras que, las correlaciones entre los MPs observados en el arrecife y los observados en los Ríos Lancetilla ($r = -0.02$) y High Land Creek ($r = -0.01$) fueron muy bajas.

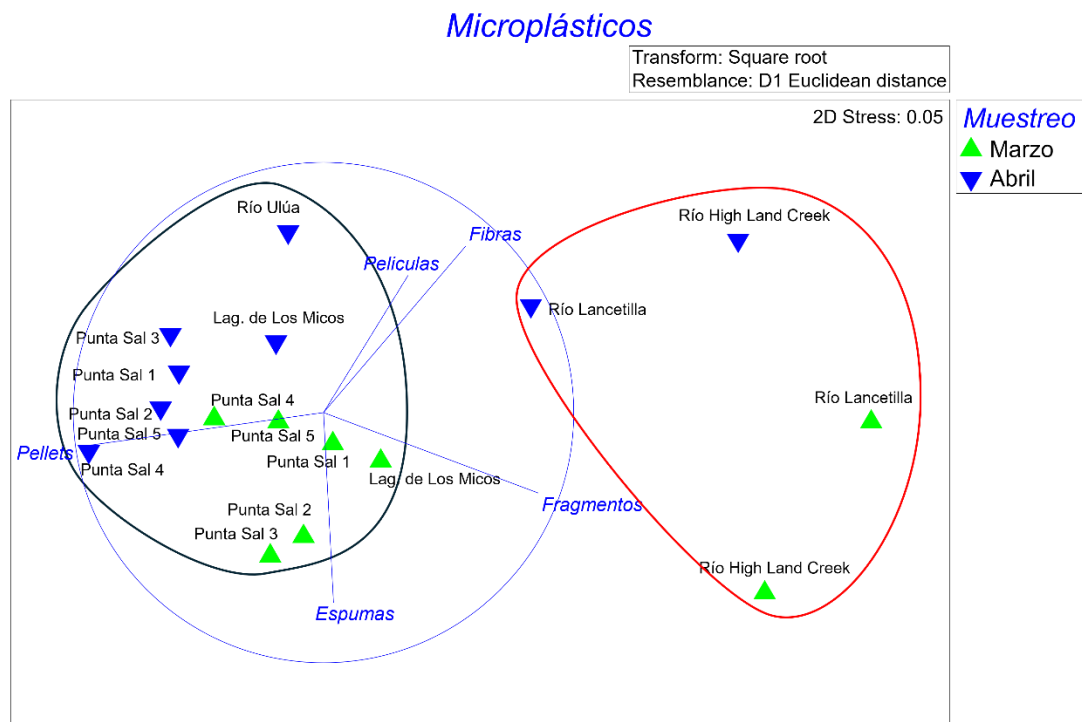


Figura 4. El gráfico nMDS ordena las estaciones de muestreo en la Bahía de Tela ($n = 9$), con base en la similitud calculada a partir de la concentración y forma de MPs, usando la distancia euclidiana como índice de similitud. Los datos de abundancia transformados mediante raíz cuadrada. Los vectores indican las correlaciones de Pearson entre las estaciones de muestreo y las morfologías de los MPs.

5. Discusión

A nivel mundial, se estima que los ríos exportan aproximadamente 0.5 millones de toneladas de plástico a los mares por año. Las exportaciones fluviales de plástico varían entre las subcuencas a nivel global. Se identifican altos niveles de exportación fluvial

(>10 kg MPs km⁻² a⁻¹) desde de los ríos de Asia, África, Centroamérica y Suramérica debido a la mala gestión de los desechos sólidos (Strokal et al., 2023).

En la Bahía de San Francisco (EE. UU), se observó que las instalaciones de tratamiento de aguas residuales descargan alrededor de 7 millones de partículas de MPs por día, y se estima que los MPs en las aguas superficiales de la Bahía oscilan entre 15,000 y 2,000,000 de partículas km² (Sutton et al., 2016). Saliu et al. (2019) y Lanctôt et al. (2020), sugieren que las aguas en arrecifes costeros con concentraciones mayores a 45 mil MPs m⁻³ son considerados contaminados. En nuestro estudio, la exportación a la Bahía de Tela durante marzo y abril fue de aproximadamente 136,608,321 partículas de MPs h⁻¹, siendo la concentración media en las aguas superficiales de la Bahía de Tela de 2,457 ± 257 MPs m⁻³. Considerando lo anterior, la Bahía de Tela estaría en una categoría de contaminación de moderada alta, como el de Swedis Coast con un rango de 2,400 a 102,000 partículas m⁻³ (Lönstedt & Eklöv, 2016) en contraste con áreas poco contaminadas como Nort East Atlantic Ocean donde la concentración de partículas de MPs es de 2.46 m⁻³ (Lusher et al., 2014).

En América Latina el manejo inadecuado de los residuos sólidos representa el 71% de las fuentes de MPs (Kutralam-Muniasamy et al., 2020), por los que estimamos que gran parte de MPs exportados a la Bahía de Tela proviene de la escorrentía urbana y rural e incluso agrícola que llega a los estuarios desde donde es exportada al mar. La problemática de la contaminación por MPs a los arrecifes de coral en la Bahía de Tela, representa una problemática que no se limita al ámbito de actuación local.

Nuestros resultados muestran una alta correlación entre las localidades del arrecife y la zona de influencia del Río Ulúa ($r = 0.76$), lo que sugiere que el Río Ulúa es fuente de MPs al arrecife. Implicando que existe importación de MPs al arrecife desde afuera de la Bahía de Tela (Fig. 3), lo que hace que la gestión de los MPs sea aún más compleja. Aunado a que la cuenca del Ulúa es la segunda más grande de Honduras, alberga el núcleo poblacional e industrial más grande del país y es valorada como la mayor fuente de contaminantes al SAM desde Honduras (Burke & Sugg, 2006; Berger et al., 2022). Por otra parte, la gestión de MPs a nivel del municipio de Tela no deja de ser compleja, debido a limitaciones de infraestructura para la disposición de desechos sólidos y por la falta de

conciencia ambiental en parte de la población local y de masas de turistas que visitan las playas (Montalván & Carrasco, 2023).

Basados en el nMDS y las correlaciones observadas, se determinó que las principales fuentes de contaminación por MPs a los arrecifes de coral son la laguna de Los Micos y la importación desde el Río Ulúa. Por otra parte, se observó que los MPs exportados por los ríos Lancetilla y High Land Creek no se correlacionan con lo observado en el arrecife de coral, por lo que estos MPs pudieron ser dispersados por corrientes marinas y estar afectando otras zonas del arrecife en la Bahía de Tela.

Es curioso que la concentración de MPs en el área de arrecife de coral en Punta Sal hayan sido mayores a las observadas en las bocas estuaricas o fuentes emisoras (S8 y S9). Lo que en parte se atribuye a las características geomorfológicas de la Bahía de Tela. El Cabo de Punta Sal se ubica en el extremo oeste de la Bahía de Tela, sobresaliendo de la costa 4 kilómetros mar adentro, con una orientación de 45° NE, por lo que actúa como barrera a las corrientes costeras provenientes del este (Paris & Cherubín, 2008), generando una zona de poca circulación, donde el tiempo de residencia del agua es potencialmente mayor lo que permite la acumulación de MPs (Fig. 5). Esta teoría se refuerza por las grandes acumulaciones en las playas de restos de corales, de árboles, plásticos y otros tipos de escombros. También, en las aguas superficiales del arrecife se han observado temperaturas y concentración de nutrientes inorgánicos mayores a otras áreas de la Bahía de Tela (Carrasco et al., 2024).

La variabilidad en la composición de los MPs observada entre marzo y abril sugiere que, aunque no logramos identificar el factor de variabilidad, podría existir alta sensibilidad a pequeñas perturbaciones en la composición de las descargas de MPs. Por ejemplo, durante la época lluviosa y aún más durante eventos meteorológicos extremos como tormentas tropicales y huracanes, los cuales se pronostica serán cada vez más frecuentes e intensos en la región (IPCC, 2014). El efecto de las tormentas tropicales en la exportación de materiales desde la laguna de Los Micos hacia la Bahía de Tela fue documentado por Carrasco et al. (2020). Los autores observaron que, con una precipitación de 600 mm en menos de 48 horas, el área de la boca estuarica de la laguna incremento 12 veces (46 a 536 m²) y con ello 40 veces el caudal de descarga (18 a 697 m³ s⁻¹), por lo que la laguna de Los Micos exportó a la Bahía de Tela alrededor de 96

millones de metros cúbicos de agua y más del 85% de los nutrientes y del material particulado.

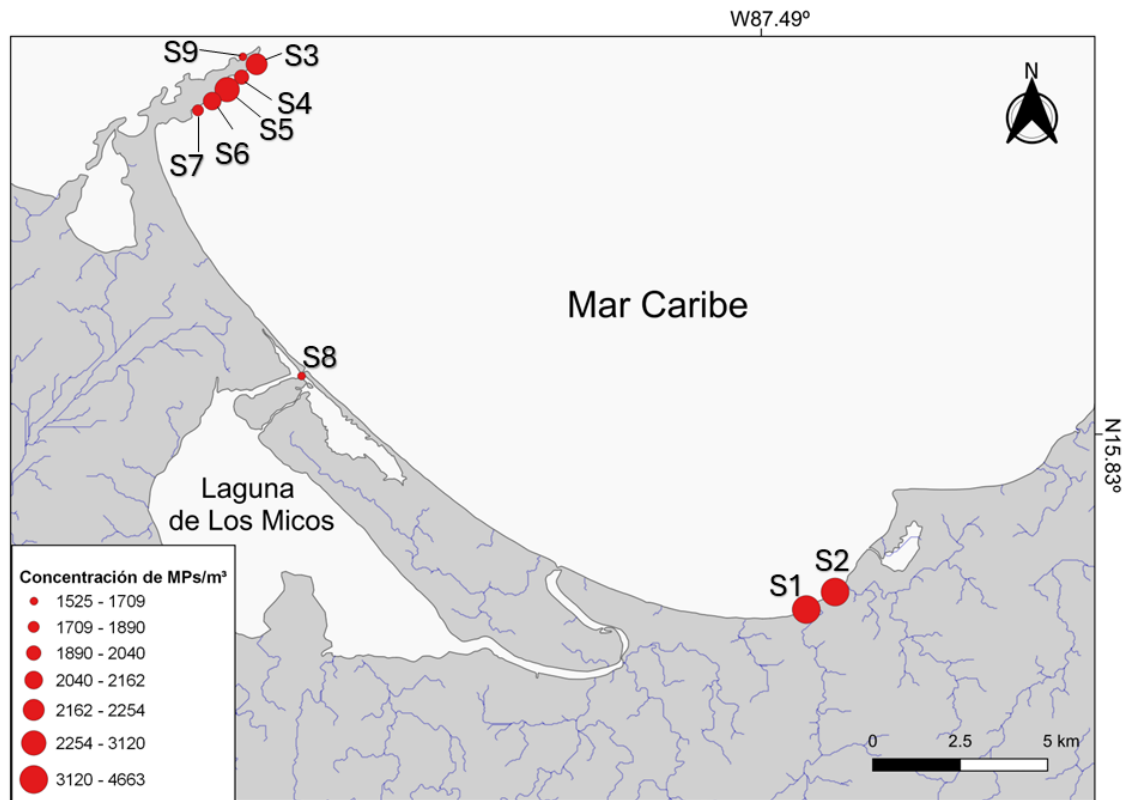


Figura 5. Muestra la concentración de MPs en las 9 estaciones de muestreo. Se observa claramente que existe mayor concentración de MPs en las estaciones S3, S4, S5, S6 y S7 que corresponden del arrecife costero (*A. palmata*) respecto a las fuentes de MPs, es decir, la laguna de Los Micos (S8) y el área de influencia del Río Ulúa (S9).

6. Conclusiones

Los ríos Lancetilla, High Land Creek, Ulúa y la Laguna de Los Micos son fuentes importantes de contaminación por MPs a la Bahía de Tela la cual se encuentra entre moderada y altamente contaminada por MPs. La laguna de Los Micos y el Río Ulúa fueron las principales fuentes de MPs para los arrecifes de coral en Punta Sal. Aunque las colonias de *A. palmata* y *A. prolifera* del PNJK se encuentran en buen estado de salud, aún después del cuarto evento de blanqueamiento global, la alta abundancia de MPs en el Cabo de Punta Sal es un factor de estrés local que puede hacer sinergia con estresores globales como el aumento de la temperatura y la acidificación del océano, los que podrían tener efectos catastróficos en la salud de los corales en el corto plazo. Por lo que se debe considerar el monitoreo permanente como herramienta para la implementación de

ordenanzas municipales y políticas regionales para la reducción del uso de plástico en el SAM.

7. Referencias

- Aronson R, Bruckner A, Moore J, Precht B, Weil E. *Acropora palmata*. The IUCN Red List of threatened species. 2008; e.T133381A3716457. <https://doi.org/10.2305/iucn.uk.2008.rlts.t133006a3536699.en>
- Berger, M., Canty, S.W., Tuholske, C., Halpern, B.S., 2022. Sources and discharge of nitrogen pollution from agriculture and wastewater in the Mesoamerican Reef region. *Ocean Coast.Manag.* 227, 106269. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106269>.
- Burke, L., Sugg, Z., 2006. Hydrologic modeling of watersheds discharging adjacent to the Mesoamerican Reef. On the watershed analysis for the Mesoamerican Reef. WRI/ICRAN (accessed 9 February 2022) https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadi182.pdf.
- Caballero-Aragón, H., Perera-Valderrama, S., Rey-Villiers, N., González-Méndez, J., & Armenteros, M. (2020). Population status of *Acropora palmata* (Lamarck, 1816) in Cuban coral reefs. *Regional studies in marine science*, 34, 101029.
- Carrasco J. C., Paspaspyrou, S., Corzo, & Montalván, C. Nutrient outwelling and integrated water quality assessment in the southern region of the Mesoamerican Reef. In review, *Frontiers In Marine Science*. Manuscript ID: 1406952.
- Carrasco J. C., Paspaspyrou, S., Corzo, A. (2020). Drivers of the seasonal cycle of phytoplankton biomass and primary production in a tropical temporarily open - closed estuarine lagoon. The effect of an extreme climatic event. *Science of the Total Environment*.
- 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.
- Dehault, A., Cassone, A., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., ... & Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental pollution*, 215, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>
- García-Urueña, R., & Garzón-Machado, M. A. (2020). Current status of *Acropora palmata* and *Acropora cervicornis* in the Colombian Caribbean: demography, coral cover and condition assessment. *Hydrobiologia*, 847(9), 2141-2153.
- Hall, N., Berry, K., Rintoul, L., & Hoogenboom, M. (2015). Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Marine Biology*, 162, 725-732. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2619-7>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Huang, Y., Yan, M., Xu, K., Nie, H., Gong, H., & Wang, J. (2019). Distribution characteristics of microplastics in Zhubi Reef from South China

- Sea. *Environmental Pollution*, 255, 113133.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113133>
- Huang, W., Chen, M., Song, B., Deng, J., Shen, M., Chen, Q., ... & Liang, J. (2021). Microplastics in the coral reefs and their potential impacts on corals: a mini-review. *Science of The Total Environment*, 762, 143112.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143112>
- IPCC, 2014. Cambio climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad -Resumen para responsables de políticas. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., et al. (Eds.), Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra.
- Jackson, J. B. C., Donovan, M., Cramer, K., and Lam, V. (eds.). (2014). Status and Trends of Caribbean Coral Reefs 1970–2012. Washington, DC: Global Coral Reef Monitoring Network, International Union for the Conservation of Nature Global Marine and Polar Program. Available online at: http://cmsdata.iucn.org/downloads/executive_summary_caribbean_status_report_eng.pdf
- Kutralam-Muniasamy G., Pérez-Guevara F., Elizalde-Martínez I. y Shruti V.C. (2020). Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution* 267, 115463. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115463>
- Lanctôt, C. M., Bednarz, V. N., Melvin, S., Jacob, H., Oberhaensli, F., Swarzenski, P. W., ... Metian, M. (2020). Physiological stress response of the scleractinian coral *Stylophora pistillata* exposed to polyethylene microplastics. *Environmental Pollution*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114559>
- Lönnstedt, O.M., Eklöv, P., 2016. Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology, ecotoxicology. *Science* 352, 6290.
- Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine pollution bulletin*, 67(1-2), 94-99.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>
- Lusher, A.L., Burke, A., O'Connor, I., Officer, R. (2014). Microplastic pollution in the North East Atlantic Ocean: validated and opportunistic sampling. *Mar. Pollut. Bull.* 88, 325–333.
- Lusher, A. L., O'Donnell, C., Officer, R., & O'Connor, I. (2016). Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish. *ICES Journal of marine science*, 73(4), 1214-1225. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv241>
- McField, M. Soto, N. Craig, A. Giro, I. Drysdale, C. Guerrero, M. Rueda, P. Kramer, S. Canty, I. Muñoz (2022). 2022 Mesoamerican Reef Report Card. *Healthy Reefs Initiative*. www.healthyreefs.org
- Mendrik, F., Henry, T., Burdett, H., Hackney, C., Waller, C., Parsons, D., & Hennige, S. (2021). Species-specific impact of microplastics on coral physiology. *Environmental Pollution*, 269, 116238.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116238>
- Mery (Marine & Environmental Research Institute). (2017). Guide to microplastic identification. Marine & Environmental Research Institute, p 14.
- Montalván, B.C., Carrasco, J. C. (2023). Generación de Residuos sólidos en 16 municipios costeros de la Costa Caribe y Pacífico de Honduras-Línea base.28p.

- Nuelle, M., Dekiff, J., Remy, D., & Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental pollution*, 184, 161-169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
- Ogunola, O., Onada, O., & Falaye, A. (2018). Mitigation measures to avert the impacts of plastics and microplastics in the marine environment (a review). *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9293-9310. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1499-z>
- Paris, C.B., Chérubin, L.M. (2008). River-reef connectivity in the Meso-American Region. *Coral Reefs* 27 (4), 773–781. <https://doi.org/10.1007/s00338-008-0396-1>.
- Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P., & Wilke, T. (2018). Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution*, 237, 955-960. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006>
- Rivera-Sosa, A., Muñiz-Castillo, I., McField, M., & Arias-González, J. (2018). Unusual “Knob-Like Chimney” growth forms on acropora species in the caribbean. *Frontiers in Marine Science*, 5, 41. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00041>
- Saliu, F., Montano, S., Leoni, B., Lasagni, M., & Galli, P. (2019). Microplastics as a threat to coral reef environments: Detection of phthalate esters in neuston and scleractinian corals from the Faafu Atoll, Maldives. *Marine Pollution Bulletin*, 142(January), 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.043>
- Soares, M. O., Rizzo, L., Neto, A. X., Barros, Y., Martinelli Filho, J. E., Giarrizzo, T., & Rabelo, E. F. (2023). Do coral reefs act as sinks for microplastics?. *Environmental Pollution*, 122509.
- Sruthy, S., & Ramasamy, E. V. (2017). Microplastic pollution in Vembanad Lake, Kerala, India: the first report of microplastics in lake and estuarine sediments in India. *Environmental pollution*, 222, 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.038>
- Strokal, M., Vriend, P., Bak, M. P., Kroeze, C., van Wijnen, J., & van Emmerik, T. (2023). River export of macro-and microplastics to seas by sources worldwide. *Nature Communications*, 14(1), 4842.
- Sutton, R., Mason, S.A., Stanek, S.K., Willis-Norton, E., Wren, I.F., Box, C., 2016. Microplastic Contamination in the San Francisco Bay, California, USA. *Mar. Pollut. Bull.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.077s>.
- van Woesik, R., Scott IV, W. J., & Aronson, R. B. (2014). Lost opportunities: coral recruitment does not translate to reef recovery in the Florida Keys. *Marine Pollution Bulletin*, 88(1-2), 110-117.
- Yan, M., Nie, H., Xu, K., He, Y., Hu, Y., Huang, Y., & Wang, J. (2019). Microplastic abundance, distribution and composition in the Pearl River along Guangzhou city and Pearl River estuary, China. *Chemosphere*, 217, 879-886. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.093> 0045-6535
- Zhang, W., Ok, Y., Bank, M., & Sonne, C. (2023). Macro-and microplastics as complex threats to coral reef ecosystems. *Environment International*, 174, 107914. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107914>