

## Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca

Arely Areanely Cruz-Salas<sup>1</sup>, Juan Carlos Alvarez-Zeferino<sup>2\*</sup>, Carolina Martínez-Salvador<sup>3</sup>, María del Rosario Enríquez-Rosado<sup>4</sup>, María del Rocío Gutiérrez-Ortiz<sup>4</sup>, Alethia Vázquez-Morillas<sup>1</sup> & Sara Ojeda-Benitez<sup>2</sup>

### Resumen

**La contaminación de residuos sólidos en playas es uno de los problemas más frecuentes debido a que su presencia disminuye la demanda del turismo y afecta a la micro y macro fauna típica de la zona.** De todos los residuos sólidos en playa, los plásticos son los más abundantes, siendo los microplásticos los más comunes. En este estudio se evaluaron las concentraciones de microplásticos y residuos sólidos urbanos en tres temporadas distintas en una misma zona de la playa Zipolite, en el estado de Oaxaca. En promedio las mayores concentraciones de microplásticos se encontraron en abril de 2019 con 1.06 #MP/kgss, mientras que para residuos sólidos fue en mayo de 2018 con 0.15 piezas/m<sup>2</sup> de macro residuos y 0.11 piezas/m<sup>2</sup> de fragmentos. El material más común fue el plástico (77.6% macro residuos y 91% fragmentos) y los tipos de residuos frecuentes fueron como macro residuos las colillas (40%) y como fragmentos los plásticos rígidos y semirrígidos (54%). En cuanto a las características de los microplásticos las más típicas fueron la forma de fibras (47%), en color

### Abstract

**The solid waste pollution on beaches is the most common problem because its presence lowers tourism and affects to the micro and macro fauna typical of the area.** Of all the solid waste on beaches, plastics are the most abundant, from these, microplastics group are the most common. In this study concentrations from microplastics and urban solid waste were evaluated for three different seasons on the same beach zone in Zipolite, Oaxaca. The highest concentrations of microplastics, on average, were found on April 2019 with 1.06 #MP/kgss, while for solid waste were on May 2018 with 0.15 pieces/m<sup>2</sup> of macro waste and 0.11 pieces/m<sup>2</sup> of fragments. The most common material was the plastic (77.6% macro waste and 91% fragments) and most frequent type of waste were cigarette butts (40%) for macro waste and rigid and semi-rigid plastics (54%) for fragments. On the other hand, the most typical characteristics of microplastics were the fiber shape (47%), blue color (35%) and 1 to 2 mm for size (67.4%). The differences in the high concentrations of

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, Av. San Pablo, No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02200, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Baja California - Instituto de Ingeniería UABC Campus Mexicali, Boulevard Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, C.P. 21280, Mexicali, Baja California, México.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Autónoma de México - Instituto de Ingeniería UNAM, Departamento de Geotécnica, Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

<sup>4</sup> Universidad del Mar - Instituto de Ecología, Campus Puerto Ángel, Ciudad Universitaria, C.P. 70902, Puerto Ángel, Distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

\* **Autor de correspondencia:** [juan.carlos.alvarez.zeferino@uabc.edu.mx](mailto:juan.carlos.alvarez.zeferino@uabc.edu.mx) (JCAZ)

el azul (35%) y tamaño de 1-2 mm (67.4%). Las diferencias de las altas concentraciones de residuos sólidos y microplásticos entre temporadas se atribuye a que los primeros se generan dependiendo de las actividades recreativas típicas que se realizan en playa en cada temporada, mientras que los segundos dependen en gran medida de la ocurrencia de algún evento climático dado que estos influyen en la concentración y dispersión de los microplásticos en el océano y posteriormente en la costa.

**Palabras clave:** Pleamar, plásticos, fragmentos, fibras, colillas de cigarro.

solid waste and microplastics between seasons are attributable to the firsts waste are generated as a result of the typical recreational activities that tourists do on beaches for each season, while the seconds frequently depend on the occurrence of some climatic event.

**Key words:** High tide line, plastics, fragments, fibers, cigarette butts.

Recibido: 10 de noviembre de 2019

Aceptado: 10 de febrero de 2020

## Introducción

Las playas son depósitos de sedimento (roca, arcilla o arena) que se encuentran en la frontera del litoral, entre los límites inferior y superior de las mareas baja y alta (Martínez 2010). Desde el punto de vista ambiental, son un sistema no consolidado complejo que ofrece una enorme variedad de servicios ambientales, desde el aprovisionamiento de alimentos, hasta la protección contra tormentas y ciclones, pasando por servicios recreacionales y estéticos (Rodríguez-Revelo *et al.* 2018). Su relevancia económica es significativa; en México el turismo representa cerca del 9% del producto interno bruto (PIB; Llamosas-Rosas *et al.* 2018), del cual un gran porcentaje se genera en las playas, por lo que se vuelve imperativo el manejo integral y sustentable de los recursos costeros en esos términos.

Las playas arenosas a nivel mundial se encuentran sometidas a múltiples estresores, entre los que se encuentran la contaminación por residuos sólidos, la erosión por las afectaciones en los ciclos de transporte de sedimentos, el aumento del nivel del mar y la destrucción de los ecosistemas marinos, ocasionados por fenómenos naturales y la acción humana (Gündogdu *et al.* 2019). Entre los estresores más relevantes que influyen de forma determinante en la dinámica y los impactos ambientales de las costas y las playas arenosas se encuentran las actividades recreativas y turísticas, por lo que es imperante el

diseño e implementación de la gestión de los residuos generados con motivo de dichas actividades (Defeo *et al.* 2009).

Además de lo anterior, se suman los derrames de embarcaciones, el arrastre de contaminantes por vías fluviales hacia el océano; así como los residuos sólidos, ya sea depositados directamente en las playas o arrastrados por las corrientes hacia los deltas (EPA 2018). Se ha estimado que más del 80% de los plásticos presentes en entornos marinos provienen de fuentes terrestres, y se originan en centros turísticos costeros (Li *et al.* 2016), lo que conlleva a que las playas sean altamente vulnerables a la contaminación vía terrestre y marítima de un sin número de materiales, incluyendo los residuos plásticos, cuya ocurrencia en el mar y playas es mayor que la de cualquier otro residuo sólido (UNEP 2016). Lo anterior vuelve imperante que existan planes de manejo integrales que permitan la gestión y la prevención de generación de residuos sólidos en ambientes costeros.

A nivel mundial, se calcula que en el año 2017 se produjeron cerca de 348 millones de toneladas de materiales plásticos (Plastics Europe 2018). Otros datos sugieren que al menos ocho millones de toneladas de residuos plásticos entran a los ecosistemas marinos cada año (Our World in Data 2018). Los seis tipos de plásticos que se encuentran con mayor frecuencia en entornos marinos son: polietileno (PE, baja y alta densidad), polipropileno

(PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno y poliestireno expandible (PS y PES), poliuretano (PU) y tereftalato de polietileno (PET) (GESAMP 2015).

Cuando los residuos plásticos se depositan en la playa, no sólo se distribuyen de forma aleatoria a diferentes profundidades (Gündogdu *et al.* 2019) sino que se degradan y fragmentan, interactuando de formas complejas con la biota. El principal motor de la degradación de los plásticos es la radiación UV, la cual es abundante en las costas, sobre todo en las latitudes ecuatoriales (UNEP 2016). Dicha interacción produce la fragmentación de plásticos y constituye una fuente significativa para la generación de microplásticos (MPs).

Los MPs son partículas de plástico menores a 5 mm de diámetro, largo o ancho (UNEP 2014). Existe consenso en la comunidad científica para distinguir dos tipos diferentes de MPs: los primarios, manufacturados deliberadamente en tamaños menores a 5 mm (GESAMP 2015, Boucher & Friot 2017) para ser usados así en la industria, y los secundarios (Ryan *et al.* 2018), que como se ha mencionado, son producto de la degradación y fragmentación paulatina de macroplásticos presentes en ambientes marinos.

Entre las múltiples interacciones con el ambiente, los MPs pueden ser ingeridos por la biota marina afectando su desarrollo (Oliveira-Castro *et al.* 2016, Gandara e Silva *et al.* 2016, Birnstiel *et al.* 2019). La ingestión, esencialmente por aves marinas, tortugas, crustáceos y peces, no siempre genera mortalidad inmediata, pero puede afectar negativamente el desarrollo físico, enzimático, crecimiento o reproducción de la biota (Li *et al.* 2016).

Los MPs también pueden actuar como vectores de otros contaminantes, incluyendo los aditivos que se agregan a los plásticos en su producción, lo que facilita su entrada en las cadenas tróficas. La bioacumulación de múltiples contaminantes, en especial orgánicos persistentes, puede ocasionar efectos químicos los cuales son altamente tóxicos y no se degradan fácilmente en condiciones naturales (Li *et al.* 2016).

El presente estudio se realizó con el objetivo de estimar las concentraciones de microplásticos y residuos sólidos urbanos (RSU) en diferentes temporadas de la playa Zipolite, Oaxaca, a partir de muestreos realizados en los años 2018 y 2019.

## Materiales y métodos

Para realizar esta investigación la metodología se dividió en cuatro etapas: 1) selección de zona de muestreo, 2) muestreos en campo, 3) clasificación de residuos sólidos y microplásticos y 4) análisis de resultados.

### Selección de zona de muestreo

El estado de Oaxaca se ubica al sureste de la República Mexicana y está subdividido en ocho regiones geográficas y culturales, una de las cuales corresponde a la región costera (Gobierno del Estado de Oaxaca 2019). En dicha zona se sitúa el municipio de San Pedro Pochutla con coordenadas 16°47' N y 96°28' O, a 150 msnm (H. Ayuntamiento de San Pedro Pochutla n.d.). Entre las diversas playas que pertenecen al municipio, una de las más representativas es Zipolite (Fig. 1), con una población de 1,059 habitantes y un grado de marginación alto (SEDESOL 2013). Con base en lo planteado por Enríquez (2013) en cuanto a las características de las playas mexicanas, zipolite es una playa de arena de color café con granulometría media, pendientes suaves y oleaje fuerte. Es visitada por turismo nacional e internacional a lo largo del año debido principalmente a que es la única playa mexicana donde se permite el nudismo y además en ella se pueden practicar deportes acuáticos a mar abierto.

Para esta investigación en particular se muestreó la zona de la playa Zipolite en tres temporadas distintas: primavera 2018, otoño 2018 y primavera 2019. La selección de la zona de estudio se realizó con base en los siguientes criterios: longitud mínima de 100 m, alejada al menos 1 km de diques y escolleras, presencia de acumulación natural de residuos y ausencia de palapas o infraestructura firme similar.



Figura 1. Ubicación de Oaxaca y playa Zipolite (Fuente: Elaboración propia).

### Muestreos en campo

La metodología empleada para los muestreos de RSU y MP se presenta en la figura 2. Dichos muestreos se llevaron a cabo en la mañana (entre las 6:00 y 8:30 hr) en dos días de fin de semana (sábado y domingo) de mayo 2018, octubre 2018 y abril 2019 con el fin de evaluar si existían diferencias significativas entre los resultados de ambos días. Un aspecto importante por mencionar es la necesidad de realizar los muestreos en las primeras horas de la mañana, ya que generalmente después de las 9:00 hr, aún en temporada baja, playa Zipolite es frecuentada por turistas, los cuales pueden alterar la zona de estudio si pisan el transecto seleccionado o si recogen los residuos presentes con la finalidad de limpiar.

La zona de estudio cumplió con los criterios antes mencionados. Se ubicó enfrente de una posada restaurante de un complejo de tiempos compartidos (Fig. 3).

### Muestreo de residuos sólidos urbanos

Se delimitó, con una cuerda, un transecto de 100 m paralelo a la línea pleamar. Éste se dividió en 20 secciones perpendiculares a la línea del oleaje (de 5 m de ancho cada uno) las cuales se numeraron de izquierda a derecha del 1 al 20 (Opfer *et al.* 2012). Las secciones se delimitaron con un lazo de media pulgada (Silva-Iñiguez & Fischer 2003) y el ancho de playa se consideró desde la línea de agua, hasta la zona de vegetación, dunas o estructura fija (Fig. 4). Posteriormente se seleccionaron cinco secciones de manera aleatoria usando la aplicación digital "Aleatorio UX", para recolectar en cada sección, todos los RSU mayores a 5 mm dentro del transecto o tocados por la cuerda.

Con la finalidad de conocer si los plásticos se estaban fragmentando, y por tanto contribuyendo a la generación de microplásticos, la clasificación de residuos se dividió en macro residuos y fragmentos. De manera general, no existe una definición que distinga tales tipos de residuos; sin embargo, para fines de

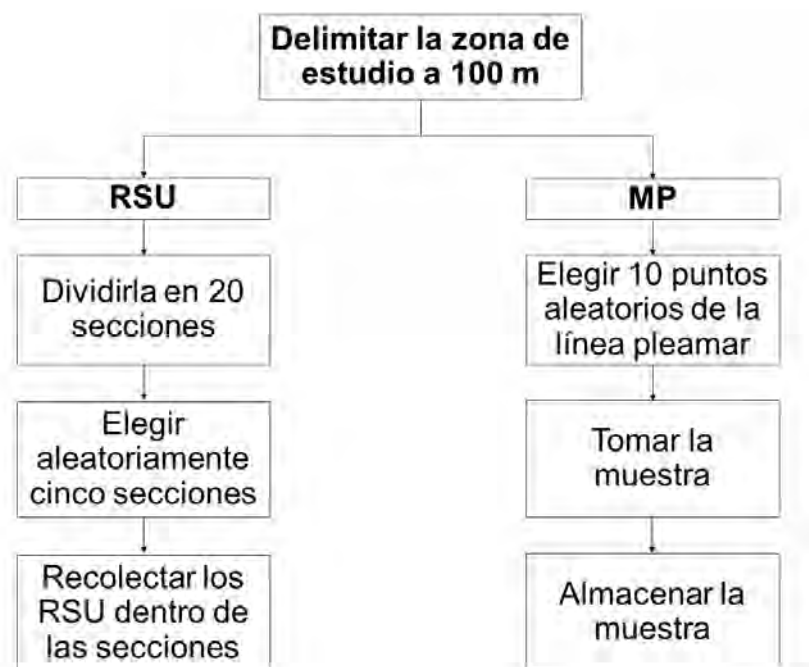


Figura 2. Metodología para muestreo de microplásticos y residuos sólidos (Fuente: Elaboración propia).



Figura 3. Imágenes de la playa Zipolite, Oaxaca: a) vista frontal de la playa y b) vista lateral de la playa.

estudio las piezas completas y aquellos residuos a los que les faltara una pequeña parte pero que aún así fueran distinguibles se consideraron como macro residuos, por otro lado, a los trozos de residuos mayores a 5 mm (de tamaño mayor al de los microplásticos) a los que no fuese posible identificar claramente se les consideró como fragmentos.

### Muestreo de microplásticos

El muestreo de MP se realizó, sobre la línea pleamar, con base en la metodología

propuesta por Alvarez-Zeferino *et al.* (2020). Sobre el mismo transecto de 100 m se seleccionaron aleatoriamente 10 puntos mediante la aplicación digital, que generó números entre 1 y 527, correspondientes al número de veces que cabe el diámetro del muestreador en el transecto de 100 m. Cada punto aleatorio de la cuerda se proyectó perpendicularmente hacia la línea pleamar (Fig. 5). Las muestras de sedimentos se tomaron con un muestreador cilíndrico de policloruro de vinilo (19 cm de diámetro y 5 cm de altura para primer y segundo muestreo; 19 cm de diámetro 3 cm

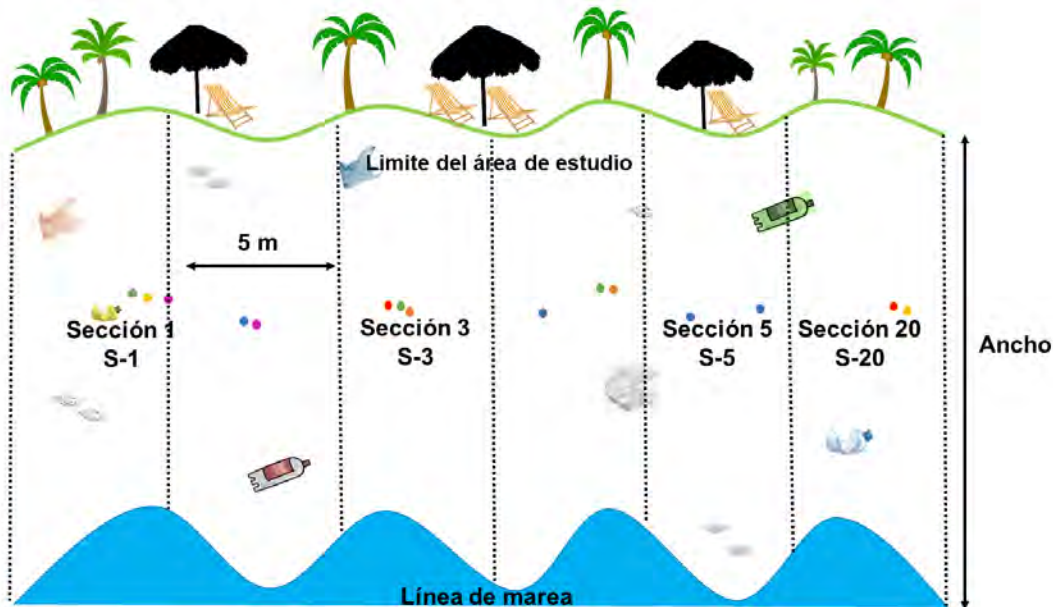


Figura 4. Delimitación de la zona de estudio para el muestreo de residuos (Fuente: Elaboración propia).

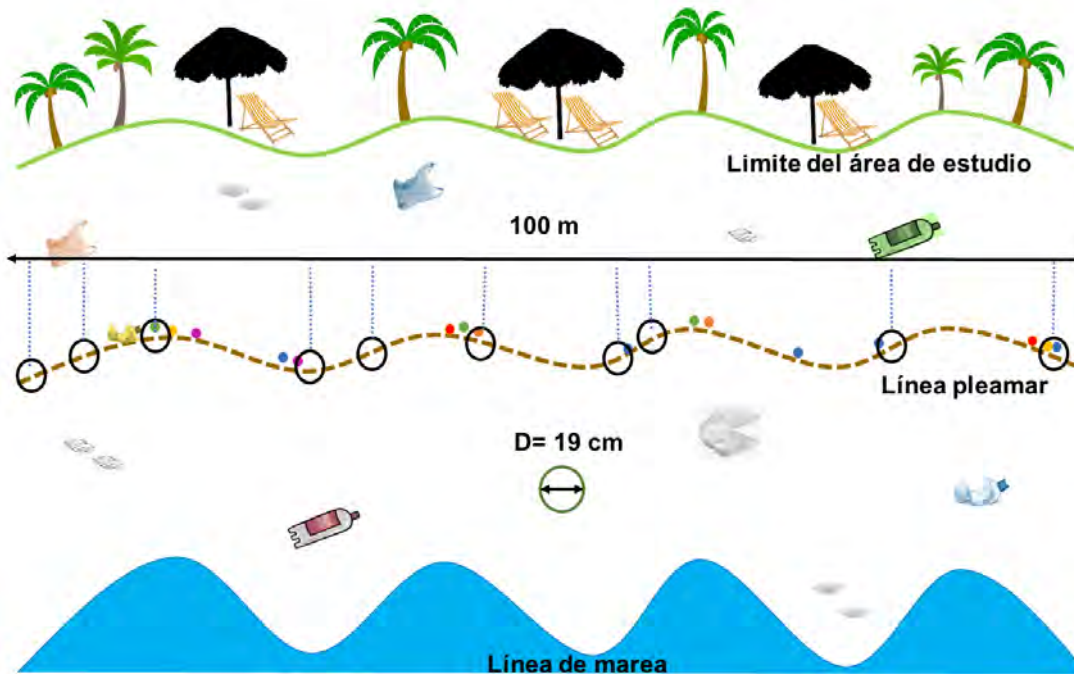


Figura 5. Selección de puntos aleatorios (Fuente: Elaboración propia).

de altura para el tercer muestreo) hasta que el borde superior coincidió con la superficie de la arena. Posteriormente, con una hoja metálica en la parte inferior del cilindro, se separó el volumen de arena contenido en el mismo, se guardó en papel aluminio y bolsas de cierre hermético para su traslado al laboratorio.

### Clasificación residuos sólidos urbanos y microplásticos

Los RSU se clasificaron en las categorías de residuos propuestas en el listado de materiales (cerámicos, madera, metales, plásticos, vidrio, entre otros) publicado por la UNEP (Cheshire *et al.* 2009). En una ficha técnica, se registró el número de piezas y masa seca de cada categoría.

Para los MP, cada muestra de sedimentos se pesó húmeda, se secó en una estufa (a 105°C por 24 h) y se pesó en base seca. Los sedimentos secos se tamizaron en una malla #16 (1.13 mm), y lo retenido en la malla se sometió a pruebas de flotación en una solución de  $\text{CaCl}_2$  con  $p \approx 1.6$  g/ml (Kedzierski *et al.* 2016). La solución se agitó por un minuto y se dejó sedimentar otro minuto. Las partículas que flotaron se extrajeron con pinzas metálicas, se enjuagaron con agua destilada y se secaron en una estufa a 60 °C durante 2 h. Con el fin de eliminar falsos positivos algunas piezas se sometieron a pruebas adicionales, para descartar calcáreos (conchas, exoesqueletos) se utilizó una solución ácida (HCl 0.5 N), y para la materia orgánica se empleó solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30%) (Free *et al.* 2014).

El número total de piezas de MP encontradas en cada punto se contó y se determinó su masa. Posteriormente se clasificaron por color, tamaño y tipo (espumas, fibras, fragmentos rígidos y semirrígidos, pellets y película). Los MP clasificados como fragmentos correspondieron a pequeñas piezas de plástico irregulares (por ejemplo, rectangular o triangular), rígidas o semirrígidas, diferentes de los otros tipos de MP.

### **Análisis de información**

Debido a que la presencia de los microplásticos no es homogénea en la línea pleamar los resultados se reportaron en unidades de #MP/kgss (número de piezas por kilogramo de sedimentos secos), junto con sus valores estadístico-descriptivos como la media, el porcentaje de varianza, mediana e intervalo. Esto se determinó para los dos días (sábado y domingo) de los tres muestreos. Para los microplásticos se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (95% de confianza) con la cual se evaluó si había diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las concentraciones mediante el uso del software Statgraphics®. Por otro lado, para los residuos se empleó un Análisis de Varianza (ANDEVA, 95% de confianza) el cual permitió

conocer si había diferencias significativas entre las medias de la cantidad de macro residuos y fragmentos encontrados. Ambos análisis estadísticos se hicieron por día y por número de muestreo.

### **Resultados**

No existió presencia de residuos orgánicos como sargazo sobre la línea pleamar durante los muestreos realizados en Zipolite, lo que hubiese dificultado la toma de muestras para el estudio de los microplásticos.

#### **Presencia de residuos sólidos urbanos en playa Zipolite**

Se encontraron tanto piezas completas (macro residuos) como fragmentos (Tabla I). El mayor número de residuos se obtuvo durante el primer muestreo (mayo 2018), encontrándose en promedio 120 macro residuos y 84 fragmentos. Adicionalmente, se pudo observar que en promedio la mayor cantidad de estos residuos se generó el domingo (72 macro residuos y 39 fragmentos). Por otro lado, el mayor número de piezas en terminos del área muestreada se tuvo en el primer muestreo con un promedio de 0.15 piezas/m<sup>2</sup> para macro residuos y 0.11 piezas/m<sup>2</sup> para fragmentos.

Con relación al análisis estadístico este arrojó por día un valor-P= 0.6874 para macro residuos y 0.8702 para fragmentos, ambos son mayores a 0.05 y por lo tanto indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre la media de piezas encontradas entre un día y otro. Por otra parte, el análisis comparativo de los muestreos arrojó un valor-P de 0.0101 para macro residuos y 0.0017 para fragmentos; puesto que ambos valores son menores a 0.05 se afirma que existen diferencias estadísticamente significativas entre la media de piezas encontradas entre un muestreo y otro.

#### **Clasificación de los residuos sólidos**

En esta etapa se dividieron los residuos en las categorías mencionadas (macro residuos

**Tabla I.** Total de piezas de macro residuos y fragmentos.

Muestreo	Fecha de muestreo	Día	No. Piezas (macro residuos)	No. Piezas/m <sup>2</sup> (macro residuos)	No. Piezas (fragmentos)	No. Piezas/m <sup>2</sup> (fragmentos)
Primero	Mayo 2018	Sábado	112	0.14	81	0.10
		Domingo	128	0.17	87	0.11
Segundo	Octubre 2018	Sábado	3	0.004	5	0.01
		Domingo	20	0.03	4	0.01
Tercero	Abril 2019	Sábado	42	0.05	14	0.02
		Domingo	67	0.09	27	0.03

y fragmentos), cada categoría se clasificó por día con base en el promedio de piezas y masa seca, sumando los resultados de los tres muestreos. Los resultados muestran que, en los macro residuos, los más frecuentes en ambos días, por número de piezas (Fig. 6a), fueron los plásticos rígidos (76.4% en promedio) mientras que en la clasificación por masa (Fig. 6b), la mayor proporción correspondió al vidrio y la cerámica (33.3% en promedio). Esta diferencia indica que aún cuando hay más piezas de macro residuos plásticos que de vidrio y cerámica, la proporción en masa de los primeros es menor ya que son materiales más livianos (por ejemplo las bolsas y botellas).

En la clasificación de fragmentos por número de piezas (Fig. 7a) se encontró que, al igual que en los macro residuos, los plásticos rígidos correspondieron a la categoría más común, con un 75.5% en promedio. Sin embargo, en la clasificación por masa (Fig. 7b) la categoría “caucho y látex” fue la más común en sábado (44.3%) y para el domingo fueron los plásticos rígidos (44%); en el primer caso los fragmentos de llantas fueron los tipos de residuos que conformaron esta categoría y en el segundo fragmentos de mangueras, plásticos rígidos y semirrígidos.

Para comparar la cantidad de residuos presentes en la playa se calculó el porcentaje de incremento de macro residuos y fragmentos (con base en el número de piezas) entre los días sábado y domingo los cuales fueron del 37% y 18%, respectivamente.

Los tres tipos de residuos específicos más comunes (con base en número de piezas) para los macro residuos fueron colillas (40.52%), orgánicos (18.02%), tapas y anillas de aluminio

(10.49%). En los fragmentos los más relevantes fueron plásticos rígidos y semirrígidos (54.04%), películas (8.35%) y vidrios y cerámicos (8.32%).

### Presencia de microplásticos en playa Zipolite

Los microplásticos estuvieron presentes en ambos días para todos los muestreos realizados. En la Tabla II se presentan los resultados correspondientes expresados en unidades de concentración de #microplásticos/kgss. Los valores se encuentran en un intervalo de 0.7 a 1.29 #MP/kgss con altos coeficientes de variación, que van de 70% a 229%. En promedio, la concentración más alta de microplásticos por muestreo se encontró en el tercer (1.06 #MP/kgss), y por día fue en sábado (1.0 #MP/kgss). En cuanto a las concentraciones de microplásticos se encontró que no existen diferencias tanto por día (Kruskal-Wallis, P= 0.43) como por número de muestreo (Kruskal-Wallis, P= 0.13).

### Características de los microplásticos

En la Figura 8 se muestra la clasificación de los microplásticos por tipo. Los tipos de microplásticos más comunes para el primer y tercer muestreo fueron los fragmentos con 63% y 40%, respectivamente. En cambio, para el segundo muestreo el tipo de microplástico más frecuente fue fibra con 87%. Los pellets y los balines fueron los menos recurrentes.

Por otro lado, en la clasificación por color (Fig. 9) el amarillo fue el más común en el primer y tercer muestreo (26% y 31%, respectivamente) mientras que en el segundo muestreo fue el azul



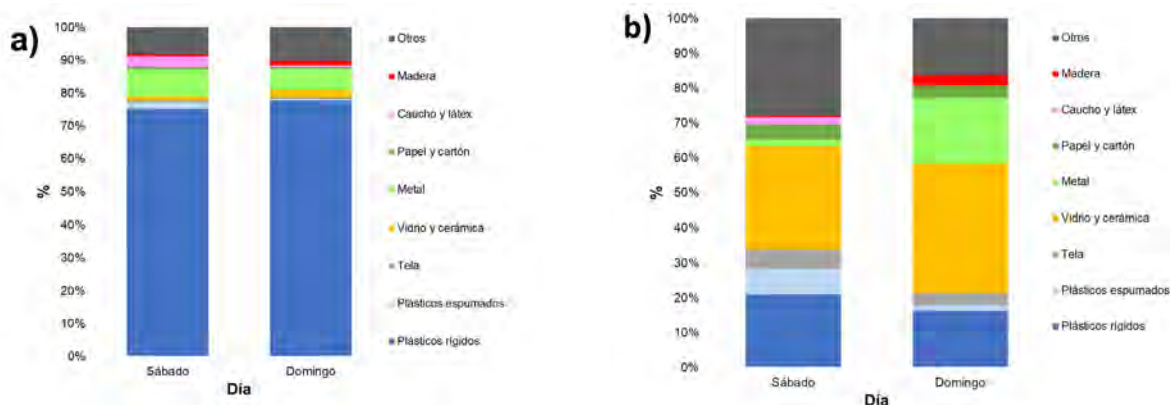


Figura 6. Composición de macro residuos: a) en piezas y b) en masa seca (kg).

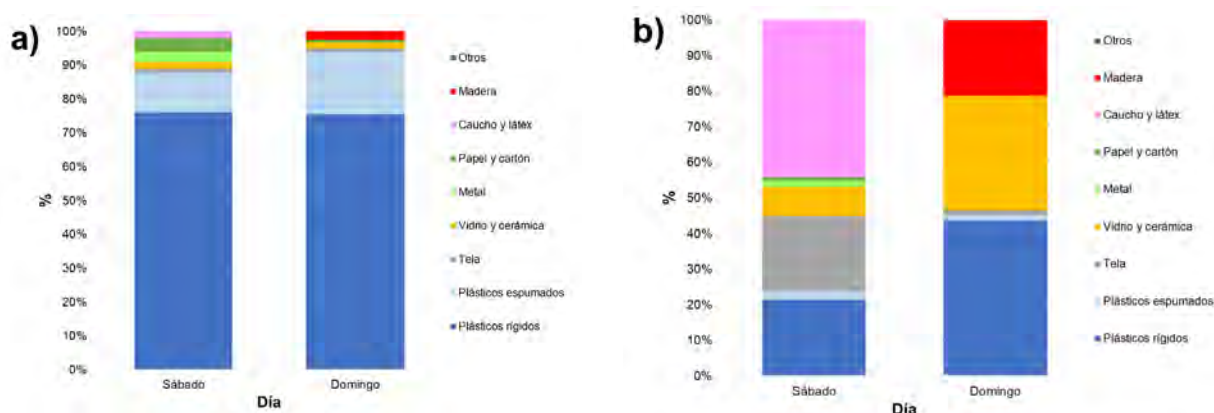


Figura 7. Composición de fragmentos: a) en piezas y b) en masa seca (kg).

Tabla II. Medidas de tendencia central y dispersión de los resultados de microplásticos (#MP/kgss).

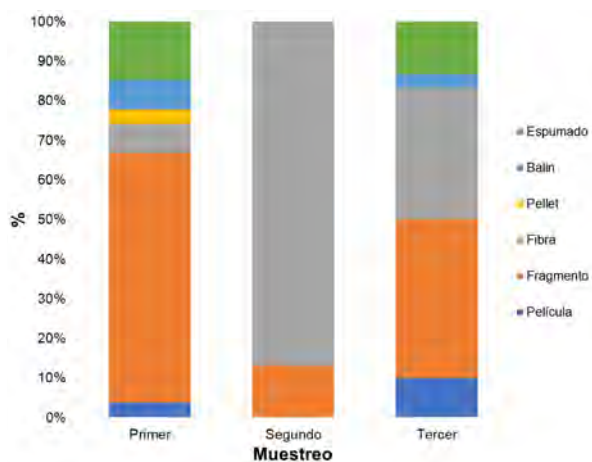
Muestreo	Día	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Mediana	Mínimo	Máximo
Primero	Sábado	0.7	0.5	73.874	0.6	0	1.6
	Domingo	0.9	0.9	101.560	0.6	0	2.6
Segundo	Sábado	1.29	2.95	228.77	0	0	9.33
	Domingo	0.7	0.8	129.155	0.3	0	2.5
Tercero	Sábado	1.02	1.24	121.31	0.69	2	3.82
	Domingo	1.1	0.8	70.732	1.4	0	2.87

(53%). Los colores encontrados en menor proporción en los tres muestreos fueron el rojo y el negro.

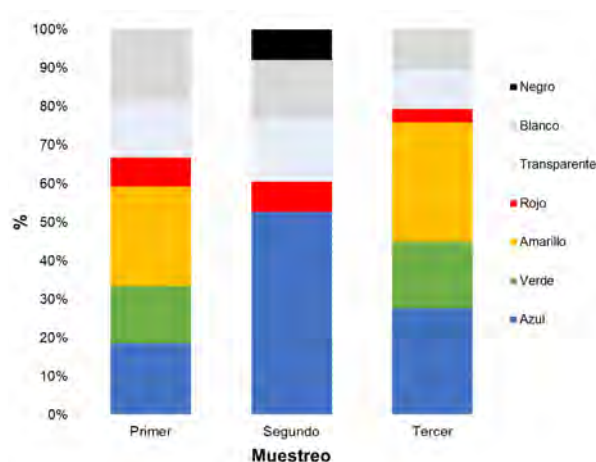
Finalmente, al clasificar los microplásticos por tamaño (Fig. 10), se observó que los tres muestreos tuvieron en su mayoría microplásticos de 1.00–2.00 mm con porcentajes de 56% en el primero, 89% en el segundo y 50% en el tercero.

## Discusión

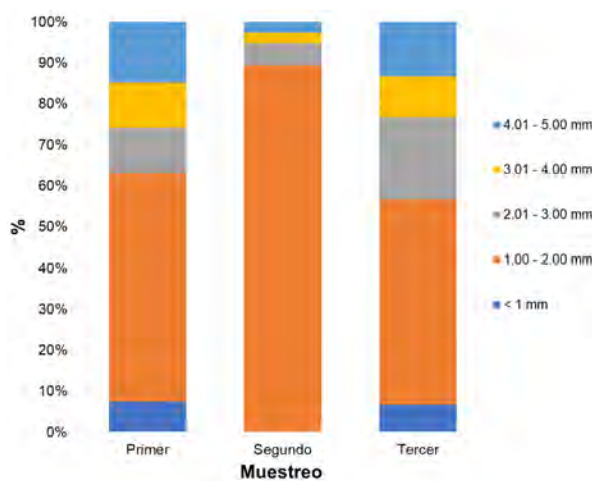
Con base en los análisis estadísticos aplicados (ANDEVA y Kruskal Wallis) se encontró que no hay diferencias entre la media de las concentraciones de macro residuos y fragmentos en función del día de la semana, y tampoco hay diferencias en la mediana de las concentraciones de microplásticos. Esto significa que independientemente de si el muestreo es en sábado o domingo la media o mediana de



**Figura 8.** Clasificación de los microplásticos por tipo (en piezas).



**Figura 9.** Clasificación de los microplásticos por color (en piezas).



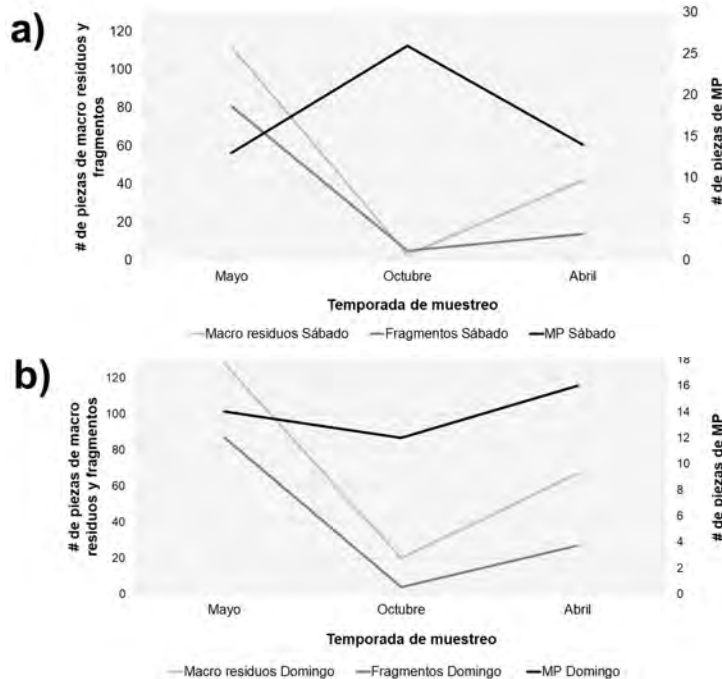
**Figura 10.** Clasificación de microplásticos de acuerdo con el tamaño (en piezas).

las concentraciones es similar, es decir, que el día no es un factor que condicione o afecte las concentraciones de residuos presentes en la playa.

Por otra parte, los análisis estadísticos por muestreo demostraron que si hay diferencias entre la media de las concentraciones de macro residuos y fragmentos en los diferentes muestreos; estas diferencias indican que dependiendo de la temporada de muestreo serán las concentraciones de residuos presentes en la playa. Por ejemplo, el primer muestreo fue en mayo, poco después de vacaciones de semana santa donde hay turismo nacional e internacional y la cantidad de residuos generados aumenta y al no contar en la playa con limpieza continua por parte del municipio, esta se realiza de forma esporádica por los turistas o comerciantes, por

lo cual los residuos de esos días se acumularon. El tercer y segundo muestreo se realizaron en abril (antes de semana santa) y octubre (otoño), respectivamente, cuando no había un flujo constante de turismo y por ende las cantidades de residuos generadas eran menores.

Diversos estudios en playas han mencionado que las actividades recreativas son las principales fuentes de macroresiduos (Liu *et al.* 2013, Munari *et al.* 2016, Hengstmann *et al.* 2017, Portman & Brennan 2017, Rangel-Buitrago *et al.* 2017). Por lo tanto, de manera general se puede establecer que si un estudio se lleva a cabo durante o poco después de temporadas altas (por ejemplo en verano) cuando el uso turístico de la playa aumenta significativamente también incrementarán los residuos generados (Lozoya *et al.* 2016). En cambio si los muestreos se realizan en temporadas bajas (primavera) las concentraciones de residuos en playa serán menores debido a la poca demanda turística (Topçu *et al.* 2013, Asensio-Montesinos *et al.* 2019) y por otro lado si una playa es visitada con la misma intensidad durante todo el año está no presentará diferencias en las concentraciones de residuos entre una temporada u otra (da Silva *et al.* 2018). Además, se debe tener en cuenta si el estudio se realiza durante o después de algún evento climático, ya que, este sería la principal fuente de las altas concentraciones (Topçu *et al.* 2013). Debido a lo anterior es importante considerar y especificar la temporada o estación en la que se realiza el estudio.

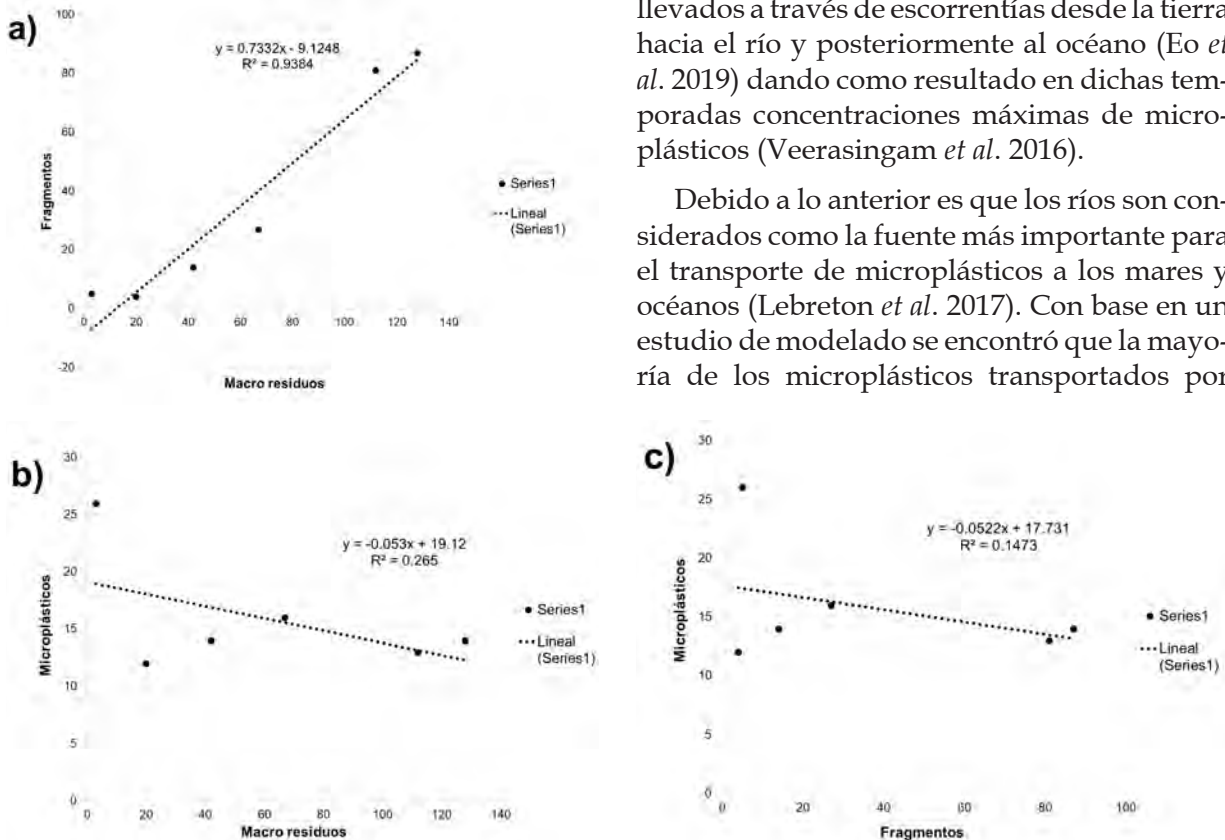


**Figura 11.** Diagramas combinados de macro residuos, fragmentos y microplásticos en piezas: a) sábado y b) domingo.

En cuanto al análisis estadístico por muestreo para los microplásticos, este indicó que las concentraciones de microplásticos de los tres muestreos fueron similares entre sí y no hubo diferencias estadísticas significativas entre una temporada u otra. Esto probablemente se deba a que antes y durante los muestreos realizados no hubo lluvias o algún otro evento climático que ocasionaran aumento de la acumulación de residuos en la pleamar. La concentración y dispersión de los microplásticos puede verse influenciada por el viento (Browne *et al.* 2010, Kukulka *et al.* 2012), la lluvia (Moore *et al.* 2011) y eventos meteorológicos extremos como huracanes o inundaciones

(Thompson *et al.* 2004, Barnes *et al.* 2009). Cuando es temporada de fuertes lluvias los microplásticos que se depositan directamente en el río o en superficies urbanas pueden ser llevados a través de escorrentías desde la tierra hacia el río y posteriormente al océano (Eo *et al.* 2019) dando como resultado en dichas temporadas concentraciones máximas de microplásticos (Veerasingam *et al.* 2016).

Debido a lo anterior es que los ríos son considerados como la fuente más importante para el transporte de microplásticos a los mares y océanos (Lebreton *et al.* 2017). Con base en un estudio de modelado se encontró que la mayoría de los microplásticos transportados por



**Figura 12.** Gráficos de diagramas de dispersión en piezas: a) macro residuos versus fragmentos b) macro residuos versus microplásticos y c) fragmentos versus microplásticos

los ríos son el resultado de la fragmentación y degradación de macroplásticos que entran a los ríos de manera difusa (van-Wijnen *et al.* 2019). En otra investigación de modelado se estimó que entre 1.15 y 2.41 millones de toneladas de macro y microplásticos entran cada año al océano desde los ríos y que Asia es el continente que contribuye con el 67% del total mundial (Lebreton *et al.* 2017).

Para saber de manera general la relación temporal entre macro residuos, fragmentos y microplásticos se hicieron gráficos combinados por día. Tanto en sábado como en domingo (Fig. 11) hay una apreciable relación entre macro residuos y fragmentos. La posible explicación es que la presencia de los fragmentos depende de la cantidad de macro residuos que haya en la playa. En cambio, las concentraciones de microplásticos, aunque se relacionan también con la fragmentación de residuos en la playa, se ven afectadas por lo que depositen las corrientes marinas en la costa.

Lo anterior se puede corroborar mediante regresiones lineales que permien identificar la posible existencia de correlaciones. En la Figura 12 se muestran tres gráficos de diagrama de dispersión, en los cuales se observa una correlación entre la presencia de fragmentos y la de macro residuos (diagrama a), ya que estos muestran una asociación lineal positiva y un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> igual a 0.9384.

En el resto de los diagramas de dispersión hay ausencia de relación lineal y el coeficiente de determinación es bajo, esto indica que la presencia de microplásticos en la línea pleamar es independiente de los macro residuos (diagrama b) y de los fragmentos (diagrama c) presentes en la playa. Estas relaciones tienen sentido, ya que los microplásticos se muestrearon en la línea pleamar y esta zona es el lugar donde existe la mayor acumulación de residuos provenientes de las corrientes marinas. En cambio la presencia de macro residuos y fragmentos se atribuye a lo generado de las actividades recreativas de la playa.

Las concentraciones de microplásticos

y las densidades de macro residuos y fragmentos encontradas en este estudio también se compararon con otros estudios nacionales e internacionales con la finalidad de conocer las tendencias que siguen las concentraciones entre los diferentes tipos de estudios así como el tipo de información que se considera al realizar este tipo de investigaciones.

### Residuos sólidos y fragmentos

Ninguno de los estudios previos sobre residuos han realizado la separación entre fragmentos y macro residuos, sino que los clasifican de manera general como residuos sólidos. Se encontró que tres de seis estudios contemplan a las colillas dentro de la categoría de plásticos (tal como el presente estudio) (Asensio-Montesinos *et al.* 2019, Nachite *et al.* 2019, Alvarez-Zeferino *et al.* 2017), dos las clasifican por separado (da Silva *et al.* 2018, Topçu *et al.* 2013) y un estudio no lo especifica (Slavin *et al.* 2012).

En cuanto al número de piezas/m<sup>2</sup>, cuatro investigaciones evaluaron su presencia en dos temporadas o más y dos estudios lo hicieron sólo en una. Los cuatro estudios demuestran que las densidades de residuos varían dependiendo de la temporada de muestreo (Asensio-Montesinos *et al.* 2019, da Silva *et al.* 2018, Nachite *et al.* 2019, Topçu *et al.* 2013): en Alicante y Brasil las densidades de residuos fueron mayores en verano que en primavera e invierno, respectivamente, tal resultado se atribuye a que en verano hay alta afluencia de turismo y debido a ello se generan más residuos. Otros casos son Marruecos y Turquía donde las densidades de residuos aumentaron en Otoño comparado con las otras estaciones del año; en Marruecos este resultado se relaciona con que en Otoño hay flujo constante de turismo, poca o nula limpieza de la playa de septiembre en adelante y acumulación de residuos pequeños del verano (colillas y tapas); en Turquía este resultado se atribuyó a eventos climáticos antes y durante los muestreos y presencia de actividades pesqueras intensivas.

Comparando las densidades de residuos en los tres muestreos de este estudio se observa

que, al igual que en las investigaciones realizadas en otros países, éstas también presentaron diferencias entre sí (0.26 en el primer, 0.027 en el segundo y 0.095 en el tercero).

En los seis estudios los plásticos fueron el material más relevante con porcentajes que van desde 54.5% en Brasil (verano) hasta 83.6% en Alicante (verano), esto también coincide con el presente trabajo (para el número de piezas) donde los plásticos (rígidos y espumados) fueron los materiales más abundantes para macro residuos y fragmentos (77.6% y 91%, respectivamente).

Finalmente, los residuos específicos más recurrentes en la mayoría de los estudios realizados fueron las colillas (de 9.9% en Marruecos hasta 53.6% en Alicante, en promedio) y los fragmentos de plásticos reconocibles con 52% en Turquía. Estos tipos de residuos también resultaron típicos en lo estudiado en playa Zipolite; en promedio para macro residuos se encontró que las colillas fueron las más abundantes (40.52%) y en los fragmentos los de plásticos rígidos y semirrígidos (54.04%).

### Microplásticos

Al comparar las concentraciones de microplásticos de este estudio con otros realizados a nivel nacional (Piñon-Colin *et al.* 2018, Rosado-Piña *et al.* 2018) e internacional (Li *et al.* 2018, Tiwari *et al.* 2019, Lots *et al.* 2017, Yu *et al.* 2018), las reportadas en este trabajo fueron inferiores. No obstante, es importante recordar que en esta investigación las muestras del primer y segundo muestreo se tomaron a 5 cm de profundidad y las del tercer muestreo a 3 cm. Además de reportar las unidades de concentración también es importante especificar la profundidad a la que se toma la muestra, ya que en estudios de muestreo de microplásticos en playas de arena a diferentes profundidades se encontró que generalmente si una muestra se toma a mayor profundidad la concentración de microplásticos por kilogramo de sedimento se diluye debido a que los microplásticos generalmente presentan mayor concentración en las capas superiores de sedimento (Yu *et al.* 2016, Besley *et al.* 2017).

En cuanto a las características de microplásticos, en los estudios a nivel nacional los tipos más abundantes fueron las fibras (91%) en Baja California y los rígidos (77%) en Tuxpan. En el color se presentan diversas variaciones y el tamaño no es reportado. Para los estudios internacionales, los tipos de microplásticos más comunes correspondieron a las fibras en Europa (99%) y en la India (51%) y los fragmentos en China (93%). La clasificación por color y por tamaño sólo se realizó en dos y tres estudios, respectivamente y no hay alguna tendencia clara. Para playa Zipolite en promedio la forma, color y tamaño más frecuentes fueron fibras (47%), color azul (35%) y tamaño de 1 mm (49%), respectivamente. La única coincidencia entre la presente investigación y los estudios nacionales e internacionales es el tipo de microplástico.

Todas las características de los microplásticos son importantes ya que proporcionan información adicional. Por ejemplo, la forma puede incidir en los efectos adversos si la fauna marina los ingiere (Wright *et al.* 2013); se ha visto que los fragmentos rígidos puntiagudos pueden perforar los órganos y tejidos (Ory *et al.* 2017), no obstante, se considera que las fibras son las más dañinas (Wright *et al.* 2013), porque en los organismos marinos éstas se agrupan y se enredan ocasionando posteriormente problemas en la gestión (Cole *et al.* 2011).

La forma también puede indicar la posible fuente del microplástico. Por ejemplo, las fibras pueden provenir de efluentes de aguas residuales que han sido descargados a las vías fluviales adyacentes y que generalmente contienen fibras sintéticas liberadas de algunas prendas de ropa en cada ciclo de lavado que por su tamaño pequeño no pueden ser retenidas en las plantas de tratamiento de aguas residuales (De Falco *et al.* 2018). Adicionalmente, las fibras también pueden ser resultado de la fragmentación de redes de pesca, líneas y cuerdas abandonadas que comúnmente se encuentran en entornos cercanos a la costa (Abayomi *et al.* 2017), estos residuos en conjunto representan el 18.5% de todos los residuos marinos (Gall & Thompson 2015).

Por otro lado, el color y tamaño se relacionan con la probabilidad de ingesta de microplásticos por la fauna marina. En el color se ha estudiado que algunos peces comerciales confunden a sus presas con microplásticos blanco, marrón y amarillo y por lo tanto tienden a alimentarse de estos frecuentemente (Shaw & Day 1994). En el segundo caso, mientras más pequeño sea el microplástico aumenta su biodisponibilidad para ser ingeridos por una amplia gama de organismos (Wright *et al.* 2013) los cuales tienen una selectividad limitada entre las partículas y generalmente capturan cualquier cosa (Moore 2008).

### Conclusiones

Se realizaron muestreos de macro residuos, fragmentos y microplásticos durante un fin de semana (sábado y domingo) en la misma zona de playa Zipolite para tres temporadas distintas (mayo 2018, octubre 2018 y abril 2019) con la finalidad de evaluar si había diferencias de las concentraciones. Los resultados de los análisis estadísticos demostraron que por día no hubo diferencias entre las concentraciones de los tres tipos de residuos y por muestreo sólo hubo diferencias significativas para las concentraciones de macro residuos y fragmentos. Lo anterior se confirmó a través de regresiones lineales las cuales evidenciaron una correlación lineal positiva entre la presencia de fragmentos y macro residuos, con un coeficiente de determinación  $R^2$  igual a 0.9384, y ausencia de correlación lineal para microplásticos - macro residuos y microplásticos - fragmentos.

Las correlaciones obtenidas son las esperadas ya que los macro residuos presentes en playas son principalmente resultado de las actividades recreativas y en cambio las concentraciones de microplásticos dependen en gran medida de lo que los eventos climáticos como vientos, lluvias, huracanes o tormentas los transporten desde la tierra a los océanos y mares aumentando así las concentraciones de microplásticos en la costa.

Este estudio revela la importancia que tiene el manejo de los residuos no sólo en

las actividades turístico recreativas de cada playa sino también en las actividades llevadas a cabo en tierra. Si se tiene un manejo adecuado de residuos en playas esto evitará que los residuos sólidos por acción del viento, olas o lluvias entren al mar y en el caso de los macro plásticos que se fragmenten y se propicie la formación de microplásticos, además, si se tiene un buen manejo de residuos en las actividades terrestres esto evitará que ante la presencia de algún evento climático se transporten de las superficies urbanas a las vías fluviales y lleguen a los océanos y costas.

### Agradecimientos

Los autores del presente artículo agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de maestría y la beca mixta otorgadas. A la Universidad del Mar (UMAR) *campús* Puerto Ángel por el préstamo de sus instalaciones, material y equipo para realizar la presente investigación. A la Escuela Militar de Ingenieros (EMI) por el préstamo espectrómetro de infrarrojo para la caracterización química de los microplásticos. A un árbitro que realizó valiosos comentarios a nuestro trabajo.

### Referencias

- Abayomi, O.A., P. Range, M.A. Al-Ghouti, J.P. Obbard, S.H. Almeer & R. Ben-Hamadou. 2017. Microplastics in coastal environments of the Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 124(1): 181-188. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2017.07.011.
- Alvarez-Zeferino, J.C., S. Ojeda-Benítez & A. Vázquez-Morillas. 2017. Residuos sólidos urbanos en una playa mexicana, implicaciones en la formación de microplásticos. pp. 390-395, In: VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Alvarez-Zeferino, J.C., A.A. Cruz-Salas, A. Vázquez-Morillas & S. Ojeda-Benitez. 2020. Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 36(1): 151-164. DOI: 10.20937/RICA.2020.36.53540

- Asensio-Montesinos, F., G. Anfuso, P. Randerson & A.T. Williams. En prensa. Seasonal comparison of beach litter on Mediterranean coastal sites (Alicante, SE Spain). *Ocean & Coastal Management*. DOI: 10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104914.
- Barnes, D.K.A., F. Galgani, R.C. Thompson & M. Barlaz. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526): 1985-1998. DOI: 10.1098/rstb.2008.0205.
- Besley, A., M.G. Vijver, P. Behrens & T. Bosker. 2017. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin* 114(1): 77-83. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2016.08.055.
- Birnstiel, S., A. Soares-Gomes & B.A.P. da Gama. 2019. Depuration reduces microplastic content in wild and farmed mussels. *Marine Pollution Bulletin* 140: 241-247. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2019.01.044.
- Boucher, J. & D. Friot. (2017) Primary Microplastics in the Oceans: a Global Evaluation of Sources. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. 43 pp. DOI: dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en.
- Browne, M.A., T.S. Galloway & R.C. Thompson. 2010. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology* 44(9): 3404-3409. DOI: 10.1021/es903784e.
- Cheshire, A., E. Adler, J. Barbière, Y. Cohen, S. Evans, S. Jarayabhand, L. Jeftic, R.-T. Jung, S. Kinsey, E.T. Kusui, I. Lavine, P. Manyara, L. Oosterbaan, M.A. Pereira, S. Sheavly, A. Tkalin, S. Varadarajan, B. Wenneker & G. Westphalen 2009. UNEP/IOC Guidelines on survey and monitoring of marine litter, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 186; IOC Technical Series No. 83, 120 p. Published by United Nations Environment Programme and Intergovernmental Oceanographic Commission.
- Cole, M., P. Lindeque, C. Halsband & T.S. Galloway. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62(12): 2588-2597. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2011.09.025.
- De Falco, F., M.P. Gullo, G. Gentile, E. Di Pace, M. Cocca, L. Gelabert, M. Brouta-Agnésa, A. Rovira, R. Escudero, R. Villalba, R. Mossotti, A. Montarsolo, S. Gavignano, C. Tonin & M. Avella. 2018. Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution* 236: 916-925. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.10.057.
- Defeo, O., A. McLachlan, D.S. Schoeman, T.A. Schlacher, J. Dugan, A. Jones, M. Lastra & F. Scapini. 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81(1): 1-12. DOI: 10.1016/J.ECSS.2008.09.022.
- Enríquez, G. 2003. Criterios para evaluar la aptitud recreativa de las playas en México: una propuesta metodológica. *Gaceta Ecológica* (68): 55-68.
- Eo, S., S.H. Hong, Y.K. Song, G.M. Han & W.J. Shim. 2019. Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Research* 160: 228-237. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.053.
- EPA - Environmental Protection Agency. 2018. Sources of Beach Pollution. Consultado el 21 junio de 2019: [www.epa.gov/beach-tech/sources-beach-pollution](http://www.epa.gov/beach-tech/sources-beach-pollution)
- Free, C.M., O.P. Jensen, S.A. Mason, M. Eriksen, N.J. Williamson & B. Boldgiv. 2014. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin* 85(1): 156-163. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.001.
- Gall, S.C. & Thompson, R.C. 2015. The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92(1-2): 170-179. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2014.12.041.
- Gandara Silva, P.P., C.R. Nobre, P. Resaffe, C. Pereira & F. Gusmão. 2016. Leachate from microplastics impairs larval development

- in brown mussels. *Water Research* 106: 364-370. DOI: 10.1016/j.watres.2016.10.016.
- GESAMP-IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Reports and Studies GESAMP No. 90., 96 p. Edited by P. Kershaw. Published by International Maritime Organization.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. 2019. Oaxaca. Consultado el 19 de junio de 2019: [www.oaxaca.gob.mx/](http://www.oaxaca.gob.mx/)
- Gündoğdu, S., I.N. Yesilyurt & C. Erbas. 2019. Potential interaction between plastic litter and green turtle *Chelonia mydas* during nesting in an extremely polluted beach. *Marine Pollution Bulletin* 140: 138-145. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.032.
- H. Ayuntamiento de San Pedro Pochutla. n.d. Oaxaca - San Pedro Pochutla. Consultado el 4 de diciembre de 2018: [www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20324a.html](http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20324a.html)
- Hengstmann, E., D. Gräwe, M. Tamminga & E.K. Fischer. 2017. Marine litter abundance and distribution on beaches on the Isle of Rügen considering the influence of exposition, morphology and recreational activities. *Marine Pollution Bulletin* 115(1-2): 297-306. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2016.12.026.
- Kedzierski, M., V. Le Tilly, P. Bourseau, H. Bellegou, G. César, O. Sire & S. Bruzard. 2016. Microplastics elutriation from sandy sediments: A granulometric approach. *Marine Pollution Bulletin* 107(1): 315-323. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.041.
- Kukulka, T., G. Proskurowski, S. Morét-Ferguson, D.W. Meyer & K.L. Law. 2012. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research Letters* 39(7). DOI: 10.1029/2012GL051116.
- Lebreton, L.C.M., J. van der Zwet, J.-W. Damsteeg, B. Slat, A. Andrady & J. Reisser. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* 8(15611): n/a-n/a. DOI: 10.1038/ncomms15611.
- Li, J., H. Zhang, K. Zhang, R. Yang, R. Li & Y. Li. 2018. Characterization, source, and retention of microplastic in sandy beaches and mangrove wetlands of the Qinzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin* 13: 401-406. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2018.09.025.
- Li, W.C., H.F. Tse, & L. Fok. 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment* 566-567: 333-349. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.084.
- Liu, T.-K., M.-W. Wang & P. Chen. 2013. Influence of waste management policy on the characteristics of beach litter in Kaohsiung, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 72(1): 99-106. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2013.04.015.
- Llamosas-Rosas, I., E. Rangel-González & M. Sandoval-Bustos. 2018. Medición del Crecimiento Económico en las Principales Zonas Turísticas de Playa Mediante el Uso de Fotos Satelitales. Banco de México, No. 2018-10, 24 p. Consultado el 21 de junio de 2019: [www.anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/documentos-de-investigacion/banxico/%7B5B114FE0-C7D5-D341-0B01-3D2F31744B76%7D.pdf](http://www.anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/documentos-de-investigacion/banxico/%7B5B114FE0-C7D5-D341-0B01-3D2F31744B76%7D.pdf)
- Lots, F.A.E., P. Behrens, M.G. Vijver, A.A. Horton & T. Bosker. 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. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2017.08.057.
- Lozoya, J.P., F. Teixeira de Mello, D. Carrizo, F. Weinstein, Y. Olivera, F. Cedrés, M. Pereira & M. Fossati. 2016. Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents?. *Environmental Pollution* 218: 931-941. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.08.041.



- Martínez, M.L. 2010. Las playas y dunas costeras: un hogar en movimiento. Fondo de Cultura Económica, Distrito Federal, 189 pp.
- Moore, C.J. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108(2): 131-139. DOI: 10.1016/j.envres.2008.07.025.
- Moore, C.J., G.L. Lattin & A.F. Zellers. 2011. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California *Revista de Gestão Costeira Integrada* 11(1): 65-73. DOI: 10.5894/rgci194.
- Munari, C., C. Corbau, U. Simeoni & M. Mistri. 2016. Marine litter on Mediterranean shores: Analysis of composition, spatial distribution and sources in north-western Adriatic beaches. *Waste Management* 49: 483-490. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2015.12.010.
- Nachite, D., F. Maziane, G. Anfuso & A.T. Williams. 2019. Spatial and temporal variations of litter at the Mediterranean beaches of Morocco mainly due to beach users. *Ocean & Coastal Management* 179: 104846. DOI: 10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104846.
- Oliveira-Castro, R., M.L. Silva, M.R.C. Marques & F.V. de Araújo. 2016. Evaluation of microplastics in Jurujuba Cove, Niterói, RJ, Brazil, an area of mussels farming. *Marine Pollution Bulletin* 110(1): 555-558. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.05.037.
- Opfer, S., C. Arthur & S. Lippiatt. 2012. NOAA Marine Debris Shoreline Survey Field Guide. NOAA Marine Debris Program, 14 p.
- Ory, N.C., P. Sobral, J.L. Ferreira & Thiel Martin. 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. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.175.
- Our World in Data. 2018. How much plastic enters the world's oceans?. Consultado el 21 de junio de 2019: ourworldindata.org/plastic-pollution
- Piñon-Colin, T. de J., R. Rodriguez-Jimenez, M.A. Pastrana-Corral, E. Rogel-Hernandez & F.T. Wakida. 2018. Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 131(Part A): 63-71. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2018.03.055.
- Plastics Europe. 2018. Plastics-the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Published by Plastics Europe.
- Portman, M. E. & R. E. Brennan. 2017. Marine litter from beach-based sources: Case study of an Eastern Mediterranean coastal town. *Waste Management* 69: 535-544. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2017.07.040.
- Rangel-Buitrago, N., A. Williams, G. Anfuso, M. Arias & C.A. Gracia. 2017. Magnitudes, sources, and management of beach litter along the Atlantic department coastline, Caribbean coast of Colombia. *Ocean & Coastal Management* 138: 142-157. DOI: 10.1016/J.OCECOAMAN.2017.01.021.
- Rodríguez-Revelo, N., I. Espejel, C. Arredondo-García, L. Ojeda-Revah & M.A. Sánchez-Vázquez. 2018. Chapter 5 Services of Beaches and Coastal Sand Dunes as a Tool for Their Conservation. Pp. 75-100. In: Botero, C.M., Cervantes, O., & Finkl, C.W. (eds), *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies*. Coastal Research Library. vol. 24., Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-58304-4.
- Rosado-Piña, V.L., N. Mendoza-Muñoz, A. Vázquez-Morillas, J.C. Alvarez-Zeferino, M. Beltrán-Villavicencio & S. Ojeda-Benitez. 2018. Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz. pp. 64-72, In: *Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos. Los residuos como recurso*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Guadalajara,

México.

- Ryan, P.G., V. Perold, A. Osborne & C.L. Moloney. 2018. Consistent patterns of debris on South African beaches indicate that industrial pellets and other mesoplastic items mostly derive from local sources. *Environmental Pollution* 238: 1008-1016. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.02.017.
- SEDESOL - Secretaría de Desarrollo Social. 2013. Resumen Municipal de San Pedro Pochutla. Consultado el 4 de diciembre de 2018: [www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=20&mun=324](http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=20&mun=324)
- Shaw, D.G. & R.H. Day. 1994. Colour- and form-dependent loss of Plastic Micro-debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 28(1): 39-43. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90184-8).
- Silva-Iñiguez, L. & D.W. Fischer. 2003. Quantification and classification of marine litter on the municipal beach of Ensenada, Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 46(1): 132-138. DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00216-3.
- da Silva, M.L., R. Oliveira-Castro, A. Souza-Sales & F. Araújo. 2018. Marine debris on beaches of Arraial do Cabo, RJ, Brazil: An important coastal tourist destination. *Marine Pollution Bulletin* 130: 153-158. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2018.03.026.
- Slavin, C., A. Grage & M. L. Campbell. 2012. Linking social drivers of marine debris with actual marine debris on beaches. *Marine Pollution Bulletin* 64(8): 1580-1588. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2012.05.018.
- Thompson, R.C., Y. Olsen, R.P. Mitchell, A. Davis, S.J. Rowland, A.W.G. John, D. McGonigle & A.E. Russell. 2004. Lost at sea: where is all the plastic?. *Science* 304(5672): 838. DOI: 10.1126/science.1094559.
- Tiwari, M., T.D. Rathod, P.Y. Ajmal, R.C. Bhangare & S.K. Sahu. 2019. Distribution and characterization of microplastics in beach sand from three different Indian coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 140: 262-273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.055>.
- Topçu, E.N., A.M. Tonay, A. Dede, A.A. Öztürk & B. Öztürk. 2013. Origin and abundance of marine litter along sandy beaches of the Turkish Western Black Sea Coast. *Marine Environmental Research*. Elsevier 85: 21-28. DOI: 10.1016/J.MARENRES.2012.12.006.
- UNEP - United Nations Environment Programme. 2014. Micro plastics. Nairobi, Kenia. 8 p. Consultado el 4 de febrero de 2018: [wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10745/brochure-microplastics.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10745/brochure-microplastics.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- UNEP - United Nations Environment Programme. 2016. Marine plastic debris and microplastics. Global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi, Kenia. 252 p. Consultado el 11 de noviembre de 2018: [wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7720/-Marine\\_plastic\\_debris\\_and\\_microplastics\\_Global\\_lessons\\_and\\_research\\_to\\_inspire\\_action\\_and\\_guide\\_policy\\_change-2016Marine\\_Plastic\\_Debris\\_and\\_Micropla.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7720/-Marine_plastic_debris_and_microplastics_Global_lessons_and_research_to_inspire_action_and_guide_policy_change-2016Marine_Plastic_Debris_and_Micropla.pdf?sequence=3&isAllowed=y).
- Veerasingam, S., M. Saha, V. Suneel, P. Vethamony, A.C. Rodrigues, S. Bhattacharyya & B.G. Naik. 2016. Characteristics, seasonal distribution and surface degradation features of microplastic pellets along the Goa coast, India. *Chemosphere* 159: 496-505. DOI: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2016.06.056.
- van Wijnen, J., A.M.J. Ragas & C. Kroeze. 2019. Modelling global river export of microplastics to the marine environment: Sources and future trends. *Science of The Total Environment* 673: 392-401. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.04.078.
- Wright, S.L., R.C. Thompson & T.S. Galloway. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution* 178: 483-492. DOI: 10.1016/J.ENVPOL.2013.02.031.
- Yu, X., J. Peng, J. Wang, K. Wang & S. Bao. 2016. Occurrence of microplastics in the beach

sand of the Chinese inner sea: the Bohai Sea. *Environmental Pollution* 214: 722-730. DOI: 10.1016/J.ENVPOL.2016.04.080.

Yu, X., S. Ladewig, S. Bao, C.A. Toline, S. Whitmire & A.T. Chow. 2018. Occurrence and distribution of microplastics at selected coastal sites along the southeastern United States. *Science of The Total Environment* 613-614: 298-305. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2017.09.100.

# Jardín Botánico

Chepilme, Pochutla



El Jardín Botánico de la Universidad del Mar campus Puerto Escondido se encuentra ubicado en el kilómetro 4.5 de la carretera Puerto Escondido a Sola de Vega y tiene una superficie de 16.7 hectáreas.

El jardín mantiene aproximadamente alrededor de 100 especies de plantas, al igual que algunas especies de animales como onzas, zorras, tlacuaches, zorrillos, armadillos, tuzas, ardillas y más de 90 especies de aves.



Horario:

De martes a viernes de 9 a 17 horas

Sábados y domingos de 9 a 13 horas

Tel: (958) 58 43049 Ext. 130

